

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



“CUANTIFICACION DEL CONTENIDO DE ACIDO FITICO EN CUATRO  
HARINAS DEL GRANO DE AMARANTO OBTENIDAS CON DIFERENTES  
TRATAMIENTOS Y EN EL GRANO SIN TRATAR”

Trabajo de Graduación Presentado Por:  
**ROXANA PATRICIA SOLANO JIMENEZ**

Para Optar al grado de:

**LICENCIADA EN QUÍMICA Y FARMACIA**

Septiembre 2002

San Salvador, El Salvador, Centro América



**© 2001, DERECHOS RESERVADOS**

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento,  
sin la autorización escrita de la Universidad de El Salvador

**SISTEMA BIBLIOTECARIO, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL

Licda. Lidia Margarita Muñoz Vera

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

DECANA

Licda. María Isabel Ramos de Rodas

SECRETARIA

Licda. Ana Arely Cáceres Magaña

**ASESORES**

Dra. Blanca Elba Berganza Carranza

Lic. Mario Santamaria Chilín

**JURADO CALIFICADOR**

Lic. Mercedes Gómez de Díaz

Lic. Rocío Ruano de Sandoval

Lic. Rhina Antonieta Toledo

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, Todopoderoso por iluminarme, cuidarme y orientarme durante toda mi carrera y mi vida, por que sin su ayuda nada es posible.

A mis padres Pedro Raúl y Yanira Haydeé por su incondicional apoyo, compañía y amor, gracias por estar siempre a mi lado y apoyarme en todas las decisiones que he tomado en mi vida.

A mis queridos hermanos Raulito y Metzi por enseñarme a desarrollar la paciencia y el amor fraternal.

A mis asesores Lic. Mario Santamaría, Dra. Blanca Berganza por su confianza y apoyo durante el desarrollo del trabajo, y en especial al Dr. Ricardo Bressani por brindarme la oportunidad de desarrollar el trabajo de graduación y por su orientación.

Al Jurado Calificador: Lic. Mercedes Gómez de Díaz, Lic. Rocío de Sandoval y Lic. Rhina Toledo, por su disposición y accesibilidad durante la evaluación del trabajo.

A mis amigos que me apoyaron incondicionalmente en las diversas etapas del trabajo, muchísimas gracias, especialmente a Diana que estuvo conmigo hasta el último momento y a Jorge Carranza por darme la motivación y el amor para terminar el trabajo.

Y a todas las personas y familiares que de una u otra forma están pendientes de mi y que me brindaron su amistad y cariño durante mi carrera en especial a mi Tía Miriam y a mi Tía Gloria.

## INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
RESUMEN	I
INTRODUCCION	II
CAPÍTULO 1	
FUNDAMENTOS TEORICOS	
1.0 Generalidades sobre el Amaranto	1
1.1 Características botánicas del <i>Amaranthus cruentus</i>	3
1.1.1 Características de las semillas	3
2.0 Composición Química del grano de Amaranto	5
2.1 Almidón	6
2.2 Proteína	6
2.3 Acidos Grasos	7
2.4 Minerales y Vitaminas	7
3.0 Valor Nutricional del Grano de Amaranto	8
3.1 Factores Antinutricionales del grano de Amaranto	10
4.0 Procesamiento de Grano de Amaranto	11
4.1 Extrusión	11

4.2 Reventado	12
4.3 Nixtamalización	13
4.5 Germinación	14
5.0 Importancia del Hierro en la alimentación	15
5.1 Funciones	15
5.2 Fuentes Dietéticas	16
5.3 Absorción de Hierro	17
5.4 Factores que influyen en la absorción de hierro	19
6.0 El Ácido Fítico en la alimentación (Fitatos)	20
6.1 Estructura Química	21
6.2 Factores que influyen en el contenido de Acido Fítico	22
CAPITULO II	
PARTE EXPERIMENTAL	
1.0 Preparación de las Harinas del grano Amaranthus cruentus	24
1.1 Extrusión	24
1.2 Nixtamalizado	25
1.3 Germinado	25
1.4 Reventado	25
2.0 Determinación de Acido Fítico	27

2.1 Material, Equipo y Reactivos	27
2.2 Preparación de las soluciones	27
2.3 Procedimiento de determinación de Acido Fítico	30
2.4 Cálculos	32
3.0 Determinación de hierro total en Harinas	36
3.1 Materiales, Equipo y Reactivos	36
3.2 Preparación de soluciones	36
3.3 Procedimiento para la determinación de hierro total en harinas	38
3.4 Calculos para la determinación de hierro total	39
CAPITULO III	
RESULTADOS Y DISCUSION	42
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES	50
CAPITULO V	
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFIA	54
ANEXOS	

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 Composición Química del grano de Amaranto	5
TABLA 2 Puntaje Proteínico de algunos alimentos	9
TABLA 3 Factores que influyen en la absorción de Hierro	20
TABLA 4 Concentración de Acido Fítico en algunas semillas	23
TABLA 5 Características físicas de las Harinas del grano de amaranto sometido a diferentes tratamientos	43
TABLA 6 % P/P de Acido Fítico obtenidas para cada muestra en los diferentes tratamientos	44
TABLA 7 % de Reducción de Acido Fítico de los diferentes tratamientos con respecto al grano crudo	46
TABLA 8 Resultados de la determinación de Hierro Total	48

## **RESUMEN**

## RESUMEN

La presente investigación se orienta en el estudio del contenido de ácido fólico y de hierro total en el grano entero y en el grano tratado del Amaranthus cruentus.

Se utilizó esta especie de amaranto debido a que es la que se cultiva en la región

Centroamericana, el grano utilizado procedió de la misma cosecha. El grano se sometió a cuatro tratamientos: reventado, estrusado, nixtamalizado y germinado, obteniéndose de ellos diferentes harinas a las cuales se les determinó el contenido de Acido Fólico, debido a que esta sustancia es un potente inhibidor de la absorción de hierro.

Según los resultados los tratamientos que disminuyeron el contenido de Acido Fólico

fueron el reventado y el germinado con respecto a los valores del grano crudo; debido a que el amaranto es una alternativa nutricional se recomienda estos tratamientos para la elaboración de alimentos infantiles, ya que en centroamérica la deficiencia de hierro es uno de los principales problemas en la niñez, y se busca las mejores alternativas para la nutrición; los demás tratamientos se recomiendan para la elaboración de otro tipo de alimentos. También se determinó el contenido de hierro total, el cual no sufre variación excepto en los tratamientos de nixtamalizado a 10 minutos porque en este tratamiento la cal se adsorbe sobre los granos y la cal contiene hierro y también varía el contenido de hierro en el tratamiento de germinado.

## **INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

En la actualidad, la nutrición es un tema de mucho interés que ha motivado diversas investigaciones en la búsqueda de nuevas alternativas que satisfagan las necesidades alimenticias de la población, lo que lleva al estudio de granos como el Amaranto que fue utilizado por nuestros antepasados y que en la actualidad se ha comprobado que éste posee atributos dignos de una serie de estudios que han revelado en su composición química altos niveles de proteínas, fibra no fermentable lo cual puede bajar los niveles de colesterol, ácidos grasos insaturados en su mayor parte ácido linoleico que es un ácido graso esencial en la nutrición humana, almidón microcristalino de uso en la industria plástico biodegradable y cosmética; además tiene la capacidad de someterse a diferentes tratamientos como el germinado, reventado, extrusado, nixtamalizado para preparar diferentes alimentos; pero también se han encontrado factores antinutricionales como hemaglutininas, taninos, fitatos, éstos últimos se ha comprobado que interfieren en la biodisponibilidad del hierro, el cual es un mineral indispensable en el funcionamiento del organismo.

La investigación se orientará hacia el estudio específico del antinutriente Acido Fítico (Acido Hexafosfórico de Inositol), sustancia que se encuentra en los granos en forma de fitatos sales de minerales como Ca, Na, dicho antinutriente se evaluó en el grano previo y posteriormente al tratamiento de reventado, germinado, nixtamalizado, extrusado; para evaluar la capacidad de cada tratamiento de disminuir la cantidad de ácido fítico en el grano, así como también se determino el

## III

contenido de hierro, ya que no se conoce la cantidad de hierro que poseen las harinas después de los diferentes tratamientos, y evaluar si hay algún cambio en el contenido con respecto al grano sin tratar, además se reconoció los tratamientos que disminuyen más el contenido de ácido fítico para así recomendar su uso en la elaboración de alimentos infantiles.

## I. FUNDAMENTOS TEORICOS

### 1.0 Generalidades sobre el Amarantho

El Amarantho es una planta anual de tipo herbáceo perteneciente a la clase Dicotiledonea, orden Centrospermeae, familia Amaranthaceae, es originaria del continente americano, es un cultivo que ha existido desde hace más de 500 años, y según datos históricos gozaba de gran tradición e importancia en las culturas precolombinas (21,14).

Se le conocía en México por los Aztecas como "Huathli" y actualmente como "Huazontle" o "Alegría", en maya le llamaban "Xtez", y en Perú "kiwicha". Dentro del género *Amaranthus* se han identificado alrededor de sesenta especies de las cuales unas son nativas de los trópicos y otras de las regiones templadas. Especies como *Amaranthus caudatus* crecen en los Andes, *Amaranthus hypochondriacus* en México y el *Amaranthus cruentus* en Centro América. Siendo uno de los principales granos que se cultivaba en América, se desconoce con exactitud su origen y no está definido que especie silvestre dio origen a las actuales y el porqué desapareció su cultivo, algunos historiadores asumen que fue al hecho de que los españoles introdujeran otros cultivos y a la prohibición que ejerció la iglesia durante la época colonial sobre las prácticas religiosas, ya que los Aztecas utilizaban las semillas tostadas mezcladas con sangre llamadas "tzoalí" para elaborar ídolos en sus festividades.(21).

Gracias a su potencial nutricional y económico, la National Academy of Sciences lo ha incluido dentro de las 23 plantas alimentarias que pueden ser utilizadas para mejorar la nutrición y calidad de vida de los pueblos en vía de desarrollo.(14)

La planta de Amaranto puede ser utilizada de múltiples formas, debido a su valor nutritivo, ya sea como grano, como verdura, o como forraje.

Técnicamente el grano es considerado como un pseudocereal, ya que tiene características similares a las de los granos de cereales verdaderos de las monocotiledóneas (Ej. Maíz, arroz), al igual que éstos, contiene cantidades importantes de almidón, con la diferencia de que éste se encuentra almacenado en el perispermo, y el embrión ocupa gran parte del grano, conformando así una buena fuente de lípidos y también de proteínas, sin embargo, por ser una dicotiledónea no es considerado como un cereal verdadero.

Este grano presenta una gran versatilidad pudiéndose utilizar en la preparación de diferentes alimentos, ya que tiene la capacidad de ser sometido a diferentes procesamientos para su consumo.(2,21)

## **1.1 Características botánicas del Amaranthus cruentus**

Las plantas son hierbas anuales erectas, con hojas simples, alternas y largamente pecioladas. Alcanzan hasta dos metros de altura, con un solo eje central y pocas ramificaciones laterales. El tallo es estriado con aristas fuertes y hueco en el centro en su etapa de madurez; la raíz es corta y robusta; las flores son hermafroditas, en densos racimos cimosos situados en las axilas de las hojas; las semillas son amarillas en forma de granos; el fruto es ovoide dehiscente que contiene una sola semilla.

### **1.1.1 Características de las semillas**

Las semillas son pequeñas de 1.0 a 1.5 mm de diámetro, de forma lenticular.

Su morfología en la siguiente:

- a) Cáscara o revestimiento de la semilla. Es una capa delgada y única conteniendo en el exterior el pigmento que proporciona el color a la semilla. Es rica en calcio y magnesio y por estudios de molienda, se ha encontrado que las cenizas están concentradas en un 66 % en el revestimiento de la semilla y en la fracción del germen.
- b) Embrión o germen: Circunda el perispermo.
- c) Perispermo: Está localizada en el centro de la semilla y consiste en una pared delgada de parenquima celular.
- d) Endosperma: Aquí se ubican los cuerpos proteínicos cuyo diámetro está entre 1.5 y 2  $\mu\text{m}$  ((2,14).

**Fotografía de la planta de Amaranthus cruentus**



## 2.0 Composición Química del grano de Amaranto

La semilla del grano de amaranto posee un alto valor nutritivo debido a su composición ya que es rica en almidón, lípidos y proteínas pero la importancia de los nutrientes no solo radica en la cantidad de estos sino en la calidad, además la semilla posee minerales y vitaminas indispensables para el organismo.

### Composición Química del grano de Amaranto \*

**Tabla 1**

<b>Humedad %</b>	<b>6.2 - 10.7 %</b>
<b>Proteína %</b>	<b>21.0 - 17.8 %</b>
<b>Extracto etéreo %</b>	<b>4.4 - 9.0 %</b>
<b>Fibra cruda %</b>	<b>3.2 - 9.2 %</b>
<b>Carbohidratos %</b>	<b>60.0 - 71.0 %</b>
<b>Ceniza %</b>	<b>1.09 - 4.9 %</b>
<b>Calcio ppm</b>	<b>1250 - 4600</b>
<b>Fósforo ppm</b>	<b>2900 - 7500</b>
<b>Hierro mg/100g</b>	<b>3.1 - 21.5</b>
<b>Magnesio ppm</b>	<b>2300 - 5400</b>
<b>Zinc ppm</b>	<b>35 - 46</b>
<b>Cobre ppm</b>	<b>35 - 46</b>
<b>Riboflavina mg/100 g</b>	<b>0.03 - 0.32</b>
<b>Niacina mg/100 g</b>	<b>1.19 - 4.3</b>
<b>Vitamina C mg/ 100 g</b>	<b>1.7 - 7.24</b>
<b>Tiamina mg/ 100 g</b>	<b>0.07 -0.90 %</b>

\* Los valores reportados en la literatura respecto a la composición Química son muy variables atribuyéndose ésta variación a prácticas agronómicas, genotipo, clima, pero estos valores se mantienen sobre ciertos rangos (3,13,14)

## **2.1 Almidón.**

El almidón es el componente más abundante constituyente entre el 60 y 71 % de su peso seco. Está constituido por amilopectina y sólo del 5 a 7 % de amilosa. Los granos amiláceos son de forma poligonal y muy pequeños de 1 a 3  $\mu\text{m}$  de diámetro, debido a su tamaño tiene características que lo hacen muy prometedor en la industria, además posee baja temperatura de gelatinización, alto poder de hinchamiento; por lo que puede utilizarse para espesar salsas, sopas o para imitar la consistencia de la grasa. Además le imparte al grano alto contenido energético.(2,21,8)

## **2.2 Proteína**

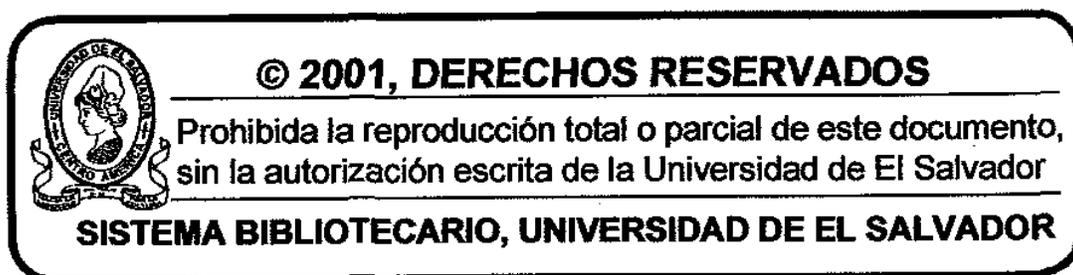
Es el segundo componente en cuanto a abundancia, en el grano y constituye entre el 13.0 al 17.8 % para todas las especies, pero su importancia no radica sólo en la cantidad sino en la calidad de la proteína, ya que presenta un excelente balance de aminoácidos. Por su composición, se asemeja a la de la leche y se acerca mucho a la proteína ideal propuesta por la FAO (Food and Agriculture Organization) para la alimentación humana, posee un contenido importante de lisina aminoácido esencial en la alimentación humana y que comúnmente es el más limitante en otros cereales, el aminoácido que se ha encontrado limitante es la leucina, por lo cual se opta por hacer una combinación de granos con arroz, maíz y trigo; para lograr un buen complemento de aminoácidos.(21).

### 2.3 Acidos Grasos

El grano de Amaranto contiene de 6 -10% de aceite el cual es alrededor del 76% insaturado de los cuales un 40 % es ácido linoleico (C 18:2) el cual es una ácido graso esencial en la nutrición humana contiene además ácido oleico (C 18:1) y palmítico (C 16:0) en cantidades apreciables y trazas de esteroides y ésteres de esteroles y de 4.6 a 6.7% de escualeno, siendo éste un excelente aceite para la piel es lubricante y precursor del colesterol que se obtiene comúnmente de animales como la ballena y el tiburón, en aceites como el de oliva y el del germen de trigo se encuentra en un contenido menor del 1 % por lo cual el grano de Amaranto es considerado una excelente fuente de escualeno.(21,14)

### 2.4 Minerales y Vitaminas

Las semillas son excelentes fuentes de minerales tanto de macronutrientes que son los que se necesitan en mayor cantidad como el calcio, fósforo y magnesio así como minerales que se utilizan en cantidades pequeñas que se les denomina elementos trazas u oligoelementos como el hierro, zinc y cobre, además poseen vitaminas del complejo B como riboflavina, niacina y tiamina y la semilla también contiene vitamina C. Los valores encontrados se detallan en la Tabla 1.(9)



### **3.0 Valor Nutricional del grano de Amaranto**

Debido al alto contenido de grasa y carbohidratos, el grano de Amaranto representa una excelente fuente de energía. La suplementación de harinas de otros granos con harinas de Amaranto, logra una excelente combinación de nutrientes. Las harinas de Arroz y el Amaranto en iguales cantidades se aproximan a las especificaciones de proteína de la FAO, además el 12.7 % de harina de Amaranto agregada a harina de maíz satisface las necesidades de proteína de los niños, si es usado para proveer el 90 % de energía en la dieta. La Organización de las Naciones Unidas ha reconocido que la cantidad y calidad de la proteína deben ganar reconocimiento, ya que posee un alto “puntaje proteínico” éste es una medida de comparación de la calidad proteínica de los alimentos considerando 100 como valor ideal.(2)

La Tabla 9 muestra una comparación del “puntaje proteínico” entre varios alimentos.

La calidad nutricional de un alimento depende tanto de la cantidad como de la calidad de los nutrientes presentes. La cantidad de nutrientes en las harinas depende del grano del cual proceden, afectada por la variedad de las especies del grano, la región donde se cultiva y las prácticas agronómicas empleadas. Por su parte la disponibilidad biológica que es la cantidad de nutriente ingerido que es absorbido y por lo tanto disponible para el uso metabólico en el cuerpo depende de muchos factores: contenido de fibra, fitatos y los componentes de la dieta en general debido a que estos pueden interferir en la absorción de algunos nutrientes.

La biodisponibilidad es importante porque toda ingesta nutricional debe ser disponible para varios sistemas en el cuerpo, como por ejemplo, el crecimiento, el mantenimiento de los tejidos, la reproducción y otros factores. Si los nutrientes no son biodisponibles no importa si el nivel de nutrientes es alto o si el producto está bien formulado, con la consecuente pérdida de dinero y esfuerzo.(3,17).

### **“Puntaje proteínico” de algunos alimentos (2)**

**Tabla 2**

<b>Alimento</b>	<b>Puntaje proteínico</b>
Amaranto	75
Leche de vaca	79
Frijol de soya	68
Cebada	69
Trigo	60
Cacahuete	59
Maíz	44

### **3.1 Factores Antinutricionales del grano de Amaranto**

Algunos estudios han tratado de identificar los posibles factores tóxicos presentes en el grano de Amaranto, éstos indican que la semilla contiene un factor que disminuye su gustosidad y señalan como responsables a los compuestos fenólicos(taninos).

Otros estudios realizados por diversos autores indican que en el grano de Amaranto se encuentran:

- Fitatos, que interfieren en la biodisponibilidad del hierro, difíciles de eliminar en los alimentos.(14)
- Actividad antitripsina de 8017 UTI/g (Unidades Inhibidoras de Tripsina) que disminuye a 1636 UTI/g en semilla tostada. Valores bajos al compararlos con 10,000 UTI/g que es la cifra que se considera apta en productos para consumo humano. La Actividad Antitripsina es una propiedad que poseen algunas sustancias que se encuentran en muchas plantas no cocidas para desactivar la tripsina la cual es una enzima que divide las proteínas en el proceso de digestión (19,14)
- Hemaglutininas en grano crudo no en grano tostado, lo cual indica la presencia de hemaglutininas en harina cruda y no en harina procesada. Son un tipo de proteína que se fijan en las células de la pared intestinal. Esta unión bloquea la absorción de nutrientes, por lo que convertiría a los alimentos que las poseen en antinutrientes, estas sustancias a la vez aglutinan las células rojas de la sangre. Las hemaglutininas son eliminadas de los alimentos que las poseen con proceamientos térmicos al igual que los taninos. (17,18)

- Taninos presentes en las testas de semillas variedades parda y negra, en mayor proporción que en el grano claro, los cuales pueden ser eliminados por procesos térmicos.(14)

#### **4.0 Procesamiento del grano de Amaranto**

El procesamiento de un alimento se refiere al conjunto de fases sucesivas que involucra la transformación de materias primas en productos acabados. Una de las categorías dentro del procesamiento de productos agrícolas es la transformación de un material crudo, mediante diferentes operaciones unitarias, en un producto con características aceptables por el consumidor transformaciones que en la mayoría de los casos alteran las propiedades físicoquímicas y nutricionales de la materia prima original.(14)

Después de cosechado, el grano de Amaranto se somete a acciones de limpieza, secado y procesos como reventado, extrusión, nixtamalizado (cocimiento alcalino) o germinado con el objeto de obtener productos para consumo humano.

#### **4.1 Extrusión**

Es el proceso por el cual un material alimenticio es forzado a correr bajo una o más variedades de condiciones de mezclado, calor y deslizamiento, a través de un conducto diseñado para formar y/o secar el extrusado, formándose bolas, que posteriormente se someten al proceso de molienda. En este proceso, el almidón y/o las proteínas son convertidos en una masa plastificada y viscosa, dando como resultado el rompimiento molecular, mezclado, esterilización, gelatinización del

almidón, desnaturalización de la proteína, inactivación de ciertas enzimas que pueden deteriorar los alimentos en almacenamiento y destrucción de sustancias tóxicas.

Algunas ventajas del proceso extrusión son: versatilidad debido a que se pueden fabricar diferentes alimentos, alta productividad porque hay un alto rendimiento de amaranto extrusado, bajo costo, forma productos difíciles de obtener con otro procesamiento, mejora la digestibilidad por gelatinización de los almidones y desnaturalización de las proteínas, sin afectar la disponibilidad de los aminoácidos. (14).

#### **4.9 Reventado**

Es la forma más común de consumo según datos históricos fue el proceso que utilizaron las antiguas civilizaciones y que actualmente todavía se utiliza en varias partes de México. El proceso puede realizarse mediante dos métodos: a) con aire caliente, en reventadores de amaranto diseñados especialmente para ese fin, en el cual el grano es dosificado por una banda sin fin a la cámara de aire caliente (950 °C) cuya velocidad es tal que sostiene a la semilla flotando durante 5 ó 10 seg., tiempo suficiente para que éste reviente y al mismo tiempo se desplace hacia la salida del compartimiento caliente, b) método artesanal utilizado domésticamente en éste el grano está en contacto directo con una superficie caliente, hasta que la mayor parte de los granos ha tomado un color blanco, se observen expandidos y no se escuche más el ruido del reventado, se remueve constantemente para evitar que se quemem,

siendo el método a nivel industrial el de mayor rendimiento, debido a que la mayoría de los granos revientan.

El proceso de reventado incrementa el volumen de la semilla desde valores reportados de 390 a 1050 %, incremento que se atribuye al tamaño de los gránulos de almidón, a su bajo contenido de amilosa, bajo poder de hinchazón, alta solubilidad, gran capacidad de retención de agua.

Factores importantes en el volumen de expansión:

- Humedad del grano al tostarse
- Temperatura de reventado
- Temperatura y condiciones de almacenamiento

El reventado imparte sabor, color y aroma agradable, destruye factores antifisiológicos, mejora la digestibilidad facilita la molienda para la obtención de harinas (14,8)

### **4.3 Nixtamalización**

El término “Nixtamalización” es también llamado método alcalino de cocción. Este proceso consiste en cocinar el Amaranto con el agregado de cal que varía entre 0.4 - 1.3% del peso en grano; el tiempo de cocción es no mayor de 10 minutos, ya que la temperatura de gelatinización es baja, a mayor tiempo de cocimiento el grano se gelatinizaría por completo. Este proceso lleva consigo cambios favorables como aumento en cenizas inducidos por la cal, aumentos altamente significativos en el contenido de calcio, aumento en la biodisponibilidad de la niacina, reduce en forma

significativa los taninos, reduce el desarrollo de la acidez de la grasa permitiendo una mejor vida de anaquel. Estos cambios son similares a los que se producen en el maíz nixtamalizado.(13)

#### **4.5 Germinación**

Es un proceso antiguo que ofrece una alternativa para incrementar la calidad nutritiva del grano.

El grano después de lavado se somete a un tratamiento para disminuir la cuenta bacteriana en las semillas utilizando un antimicrobiano, seleccionado a partir de estudios realizados al respecto.

Las investigaciones realizadas con diferentes antimicrobianos, como el hipoclorito de calcio al 5% P/V, formaldehído 0.5 % V/V y etanol al 70% V/V, encontraron que disminuyen significativamente la cuenta bacteriana, pero el hipoclorito de calcio, disminuye la capacidad germinativa de la semilla al 50 %, el etanol la inhibió completamente y con el formaldehído se obtiene una capacidad germinativa del 87 %, por lo cual se opta por utilizarlo como antimicrobiano, previo al tratamiento de germinación.

Después que el grano ha sido sometido a la acción antimicrobiana se coloca en condiciones de humedad y a temperatura de 25- 30 °C (Temperatura ambiente) las cuales son las óptimas para la germinación del grano de amaranto. Durante la primera etapa los componentes de la semilla se liberan por medio de diferentes cambios bioquímicos que ocurren dentro de ella, sin embargo, después que estos

compuestos se liberan son degradados y aprovechados para la formación de la nueva planta y por ello disminuyen.

Mediante la gráfica (anexo 1) se puede observar el cambio en cuanto a composición proteínica que sufre el grano, determinándose el tiempo óptimo de germinación entre 48 y 79 h, tiempo en el cual presenta mayor composición proteínica. La composición química del grano germinado es la que presenta mayor contenido de proteína comparado con otros procesamientos y por sus características químicas se incorpora mejor en mezclas de harinas, ya que posee menor viscosidad que las harinas sometidas a otros tratamientos y permite incorporarla en mayor proporción cuando se utiliza para elaborar atoles.(13,6)

## **5.0 Importancia del hierro en la alimentación**

### **5.1 Funciones**

El hierro es esencial para la formación de hemoglobina, el pigmento rojo de la sangre. El hierro de la hemoglobina se combina con el oxígeno y lo transporta a través de la sangre a los órganos del cuerpo. El cuerpo humano contiene entre 3,5 y 4,5 gramos de hierro, dos tercios de los cuales están presentes en la hemoglobina. El resto se almacena en el hígado, el bazo y la médula de los huesos, una cantidad pequeña está presente en forma de mioglobina, que actúa como depósito de oxígeno en los músculos.

La deficiencia de hierro puede llevar a la anemia, los depósitos de hierro del cuerpo llegan a estar agotados y la síntesis de hemoglobina se inhibe, entre los síntomas de la anemia están el cansancio, falta de energía, falta de aliento, dolores de cabeza, insomnio, pérdida del apetito y palidez. Todos estos síntomas se asocian con un aporte disminuido de oxígeno a los tejidos y a los órganos. El hierro también forma un papel importante en el sistema inmunitario, teniendo las personas con niveles bajos de hierro una resistencia menor ante las infecciones, también se ha demostrado que una deficiencia de hierro se asocia con el funcionamiento cerebral disminuido, y la deficiencia en los niños puede resultar en problemas con la capacidad de aprendizaje y el comportamiento.

La deficiencia de hierro es el problema nutricional más frecuente en el mundo: En los países en vías de desarrollo se ha dicho que dos tercios de los niños y de las mujeres en edad de tener hijos son anémicos, y un tercio sufre de deficiencias severas y anemia; en los países desarrollados, entre el 10 y 90% de las mujeres en edad de tener hijos son anémicas.(20,24).

El aumento de masa corporal durante el período neonatal y la niñez aumenta los requerimientos de hierro.

### **5.9 Fuentes Dietéticas**

El hierro dietético existe bajo dos formas diferentes, el hierro hemático llamado HEME que sólo existe en los tejidos animales, mientras que en los alimentos

vegetales el hierro está presente en forma no hemática o inorgánica denominado (NO HEME).

En una dieta omnívora mixta alrededor del 95 % del hierro está presente en forma no hemática, esta forma es absorbida con menor facilidad por parte del cuerpo que el tipo hemático. La cantidad de hierro asimilado de los alimentos varía entre el 1 al 10% de los alimentos vegetales y el 10 al 90 % de los alimentos animales.(22)

### **5.3 Absorción de Hierro**

El hierro es el segundo mayor elemento en abundancia en la superficie terrestre (como mineral), para la vida el hierro es más precioso que el oro.

El promedio de reserva es acerca de 1 a 3 gramos de hierro en el cuerpo, un adecuado balance entre la ingesta dietética y la pérdida mantienen el balance. Alrededor de 1 mg de hierro es perdido cada día a través de la descamación de las células de la piel y superficies mucosas incluyendo el revestimiento del tracto gastrointestinal; en las mujeres la menstruación incrementa el porcentaje diario de pérdida de hierro, alrededor de 9 mg por día. No existe un mecanismo fisiológico de excreción del hierro, consecuentemente la absorción sólo se regula en el cuerpo con los depósitos de éste.

La absorción del hierro ocurre predominantemente en el duodeno y en la parte superior del yeyuno, existe un mecanismo de compensación que aumenta la absorción en personas con deficiencia, en contraste con personas sin deficiencia.

El estado físico del hierro que entra al duodeno influye grandemente en su absorción. El hierro no hemático de la dieta se encuentra en estado ferroso y las secreciones gástricas lo liberan de los puntos de fijación de los alimentos. A pH fisiológico el hierro ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) es rápidamente oxidado a la forma insoluble férrica ( $\text{Fe}^{+3}$ ). La acidez gástrica baja el pH en la proximidad del duodeno, aumentando la solubilidad y la absorción del ión ferrico, las células mucosas en el duodeno y en la parte superior del yeyuno absorben el hierro, éste es capturado por la transferrina (Tf) una proteína transportadora de hierro sintetizada en el hígado que posee dos sitios de fijación y lo lleva dentro de la circulación la cual lo libera dentro de las células del cuerpo en donde es convertido en forma HEME. (Anexo 2) Cuando la acidez gástrica disminuye, la absorción es disminuida substancialmente.

La señal principal para la célula intestinal (Tf) parece guardar relación con la reserva corporal total de Hierro. Se ha comprobado que la concentración sérica de transferrina guarda una relación inversa con la cantidad de hierro absorbido; es posible que la transferrina proporcione dicha señal. (22,23)

La forma HEME es absorbido por mecanismos completamente diferentes a la forma inorgánica, el proceso es más eficiente y es independiente del pH del duodeno, ya que contiene hierro enlazado a aminoácidos, facilitando su absorción por consiguiente las carnes son excelentes fuentes de hierro, la deficiencia de carne en la alimentación de mucha gente en el mundo se añade a las causas de deficiencia de hierro. (Anexo 3) (9,23).

#### **5.4 Factores que influyen en la absorción de hierro**

Existen sustancias que pueden actuar como facilitadoras o inhibidores de la absorción de hierro en el organismo. (Tabla 3)

Los ascorbatos y citratos incrementan la absorción de hierro aumentando la acidez, por lo tanto ayudan a solubilizar el metal en el duodeno, y es rápidamente transferido a dentro de las células.

Mientras que los inhibidores de absorción de hierro encontrados en los vegetales y granos son los fitatos que se consideran los principales y los taninos, estos compuestos son quelantes y atrapan el hierro impidiendo su absorción; los antiácidos al disminuir la acidez en el tracto gastrointestinal disminuyen la absorción de hierro. Los fitatos son encontrados en semillas, mientras que los taninos en las infusiones de casi todas las partes de las plantas. El plomo es otro inhibidor de la absorción, bloquea la absorción por competición, interfiriendo con un gran número de pasos metabólicos en los que interviene el hierro.

El ácido ascórbico es el más potente promotor de la absorción de hierro, al agregar sustanciales cantidades de ácido ascórbico a comidas de origen vegetal, la absorción del hierro puede aumentar hasta seis veces, la influencia es más pronunciada en comidas que contienen altos niveles de fitatos y polifenoles, el efecto solubilizante del ácido ascórbico equilibra la negativa influencia de los inhibidores, cuando es consumido en la misma comida. El efecto es mayor en individuos deficientes de hierro que en individuos con estatus de hierro normal. El ácido cítrico, málico o

tartárico encontrado en frutas y vegetales mejoran la absorción del hierro de dos a cuatro veces.(14,22,23).

### Factores que influyen en la absorción del hierro (19)

**Tabla 3**

Estado físico (biodisponibilidad)	Heme > Fe <sup>+3</sup> > Fe <sup>+2</sup>
Inhibidores	Fitatos (principal) , taninos, plomo, antiácidos
Facilitadores	Ascorbato, citrato, aminoácidos, en caso de existir deficiencia de hierro en el organismo, esta deficiencia contribuye a facilitar la absorción de este

#### 6.0 El ácido fítico en la alimentación (Fitatos)

El fósforo en cereales sin refinar, leguminosas, semillas, y tubérculos está presente en mayor proporción como ácido fítico (fitatos).

El Acido Fítico es conocido comúnmente como Fitatos, es un compuesto de inositol y ácido fosfórico, encontrado en los alimentos, bajo la forma de sal insoluble. Dado que el fitato es negativamente cargado sus complejos con iones positivos como Fe<sup>+3</sup> hacen disminuir la biodisponibilidad de éste mineral en el organismo,

Se combina fácilmente a nivel intestinal con el hierro impidiendo la absorción de éste, por lo tanto inhibe su biodisponibilidad.

### **6.1 Estructura Química**

Los fitatos representan una compleja clase de compuestos que tienen influencia funcional y nutricional en las propiedades de los alimentos.

Numerosos inositoles polifosforados pueden ser encontrados en la naturaleza, y dependiendo del complejo formado, pueden existir una amplia variedad de compuestos. El ácido fítico es comúnmente llamado myo-inositol ácido hexafosfórico o, científicamente, 1,2,3,4,5,6 - hexacis (dihidrogeno fosfato) myo-inositol (IUPAC) (Ver estructura en Anexo 4). Ha sido demostrada la existencia de compuestos con menor cantidad de grupos fosfatos, que pueden ser compuestos de degradación del hexafosfato por la acción de una enzima fosfatasa llamada comúnmente fitasa.(9)

Aunque el inositol hexafosfato es la principal forma del ácido fítico en los alimentos al procesarlos éste sufre degradación y se convierte en monofosfato, difostato y trifosfatos de inositol, los cuales no son tan inhibitorios como la forma hexa y penta. Recientes estudios han mostrado que el trifosfato es un potente anticancerígeno el cual protege del cáncer de colón, esto podría explicar la baja incidencia de cáncer de colón en la población vegetariana (10). El grado de hidrólisis del inositol hexafosfato puede variar dependiendo del tipo de alimento o tipo de procesamiento a los cuales son sometidos, el ácido fítico puede tener propiedades antioxidantes dependiendo

del grado de grupos fosfatos unidos al anillo inositol, las formas mono, di y tri fosfato son las que poseen estas cualidades. El efecto neto del ácido fítico sobre la biodisponibilidad del hierro y las funciones antioxidantes dependerán del porcentaje de distribución de las formas individuales. Es razonable considerar al ácido fítico no como entidad aislada, si no como una serie de formas, y el estudio de la cinética de sus interconversiones.(9,10) (ver estructura en anexo No 4)

## **6.2 Factores que influyen en el contenido de ácido fítico**

La cantidad de fósforo, con la que e abonan los terrenos de donde provienen los alimentos se ha encontrado que tiene influencia en el contenido de ácido fítico ya que el fósforo especialmente en los granos se encuentra en forma de fitatos. Además el someter a los alimentos a diferentes procesamientos puede influenciar en el contenido de ácido fítico en ellos, se ha encontrado que los procesos de fermentación , germinación y el tostado ; son los que poseen mayor influencia en la disminución de los fitatos en los alimentos.(9,3).

**Concentración de Acido Fítico en algunas semillas (9)****Tabla 4**

<b>Semilla</b>	<b>Acido Fítico % p/p</b>
Cebada	0.97 - 1.08
Frijoles	1.00
Semilla de Algodón	2.86
Sésamo	1.44
Soya	1.00 - 1.47
Trigo	0.62 - 1.35
Avena	0.84-1.01

## **II. Parte Experimental**

### **1.0 Preparación de las Harinas del grano Amaranthus cruentus:**

El grano fue proporcionado en la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, traído directamente de los campos de cultivos ubicados en la cooperativa El gramal a una altura sobre el nivel del mar de 665 metros, una precipitación pluvial de 1701 mm anuales, la Humedad Relativa del aire es de 76%, la temperatura máxima media es de 32.9 °C y temperatura mínima media de 17.5 °C, la duración promedio de luz solar es de 8 horas diarias, la velocidad media del viento de 5.5 km/hora. Se utilizó grano de la misma cosecha, para someterlo a los diferentes tratamientos.

El grano antes de someterse a los tratamientos, se limpió, pasándolo por tamices, para separar restos vegetales y partículas extrañas, se lavó con una solución de Bicarbonato de Sodio al 5% P/V, para eliminar la astringencia a la semilla; posteriormente se lavó con abundante agua hasta que el agua salió clara y se secó al sol sobre lienzos de tela, cuando el grano está seco, ya está listo para someterse a los diferentes tratamientos. Ver esquema (Anexo 5)

### **1.1 Extrusión**

Este proceso se efectuó previamente en la industria alimenticia FAMOSA.

El grano después de lavado y secado es colocado dentro de un extrusor el cual previamente se ha calentado a una temperatura entre 154-163 °C, dejándose allí por 2 ó 3 minutos, obteniéndose unas bolas los cuales posteriormente se someten al proceso de molienda, el cual da por resultado la harina de amaranto extrusado.

## **1.2 Nixtamalizado**

El grano después de lavado y secado se vierte en una olla de uso común conteniendo agua hirviendo, y se agrega cal (hidróxido de calcio) en una proporción de 0.4g/100g de grano de amaranto, se retira del fuego y se remueve constantemente durante 7.5 y 10 minutos, se lava inmediatamente con agua en un tamiz después se extiende en lienzos de tela para su secado al sol. Posteriormente se somete al proceso de molienda en un molino de nixtamal de uso común.

## **1.3 Germinado**

El grano después de lavarse y secarse al sol se lava con una solución de formaldehído al 0.5 % V/V, con el objetivo de disminuir la cuenta bacteriana de la semilla antes de someterla a germinación, ya que la humedad provoca crecimiento de hongos y con esta solución se obtiene una capacidad germinativa del 87% (6). Se colocan las semillas dentro de cajas petri, sobre papel filtro humedecido, se tapan se colocan en un lugar cerca de la luz y se deja germinar por 60 horas, al germinar se destapan las cajas se secan al sol. Cuando está seco se separa con un tamiz la parte vegetativa que ha crecido y después se somete al proceso de molienda el residuo de la semilla en un molino de uso común.

## **1.4 Reventado**

El grano completamente seco se revienta en una cacerola de uso común, se coloca la cacerola al fuego y cuando está caliente se agregan los granos los cuales están en

contacto directo con la superficie caliente removiendo constantemente hasta que los granos se revientan. El grano reventado se tamiza para remover los granos tostados que no reventaron. Posteriormente se muele el grano reventado en un molino de uso común.

## **2.0 Determinación de Acido Fítico (11,12)**

### Principio:

El análisis consiste en la precipitación del ácido fítico como fitato férrico por medio del calentamiento de un extracto del producto en un baño de agua (90 °C/1hr mínimo) a fin de llevarlo a una solución ácida de hierro III con un contenido conocido de hierro. El contenido de hierro que no reacciona con el ácido fítico es el que se determina por un cambio colorimétrico con bipyridina, la disminución en el contenido de hierro será la medida de la cantidad de ácido fítico. La cuantificación del fitato se obtiene a partir de espectrofotometría, midiendo la absorbancia a 519 nm de la solución tratada y comparándola contra una curva de calibración (Concentración de fitato vrs. Absorbancia).

### **2.1 Material, Equipo y Reactivos (ver anexo 6)**

#### **2.2 Preparación de las Soluciones**

##### **2.2.1 Preparación de solución Stock de Fitato (1500 µg/ml)**

La información enviada por el proveedor Sigma-Aldrich del estándar sal sódica de ácido fítico No. P8810 es: 99.0% de pureza.

Para lograr el equivalente de 150 mg de ácido fítico, se pesó en una balanza analítica 183.5 mg de la sal sódica de ácido fítico.

Peso molecular de la sal ( $C_6H_{12}O_{24}P_6Na_6$ ) = 792 gramos

Peso molecular del Acido ( $C_6H_{18}O_{24}P_6$ ) = 660 gramos

Cálculo del peso de la sal: 660 gramos (PM Acido) ———792 gramos (PM sal)  
 0.150 gramos (Acido) ———**X=0.180** gramos de sal

Ajuste de la sal debido a que esta al 99.0%

0.180 gramos de sal (100.0%) = X gramos de sal (99.0 %)

0.180 gramos de sal (100.0%)/(99.0 %) = X gramos de sal

0. 1818 gramos = **X gramos de sal**

La cantidad real pesada es 0.1835 gramos de sal, se obtuvo el peso real de la sal tomando en cuenta la pureza:

0.1835 gramos pesados (99.0%) = X gramos de sal reales (100.0%)

0.1835 gramos pesados (99.0%)/(100.0%) = X gramos de sal reales

0.1817 gramos = **X gramos de sal al 100%**

El equivalente de Acido Fítico a la cantidad real de sal es:

792 gramos (PM de sal) ——— 660 gramos (PM del Acido)

0.1817 gramos de sal ——— X= 0.1514 gramos de Acido

que luego se diluyeron en 100.0 mL de agua destilada (solución stock 1500µg/ml de ácido fítico) . Ver en anexo 7 concentraciones reales.

### **2.2.2 Preparación de Soluciones Estándar de Fitato entre 30 y 300 µg/ml de fitato.:**

Medir 33.3 mL. de solución stock 1500 µg/mL. y colocar en un balón volumétrico de 100 mL. llevar a volumen con HCl 0.2 N y se obtiene una solución de concentración de 500 µg/mL. Partiendo de esta solución se realizan

las siguientes diluciones llevando **a volumen de 10 mL**. Las diluciones se realizaron utilizando bureta.

Alicuota de la solución De 500 µg/mL mL tomados	Concentración de estándares µg/mL .
0.6	30
1.2	60
1.8	90
2.4	120
3.0	150
3.6	180
4.2	210
4.8	240
5.4	270
6.0	300

### **2.2.3 Preparación de Solución Férrica.**

Pesar 0.2 g de  $(\text{NH}_4)\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  (Sulfato Férrico Amónico) y disolver en 100 mL de HCl 2N y diluir a 1000.0 mL con agua destilada.

#### **2.2.4 Preparación de Solución de 2,2-Bipiridina.**

Pesar 5g de 2,2-Bipiridina y medir 10 mL de ácido tioglicólico y agregar en un balón de 500 mL., llevar a volumen con agua destilada.

#### **2.3 Procedimiento de determinación de Acido Fítico**

**2.3.1** Pesar aproximadamente 60 mg. de las cuatro harinas, y del grano crudo que ha sido previamente triturado en un mortero, colocar cada una en un tubo de ensayo con rosca y agregar 10.0 mL. de ácido clorhídrico 0.2 N extraer por una hora. Colocar el extracto en tubos de centrifuga con tapón y centrifugar por 5 minutos para sedimentar la harina suspendida.

**2.3.2** Pipetear 1.0 mL. del extracto en un tubo y adicionar 2.0 mL. de solución férrica. Tapar el tubo y agitar.

**2.3.3** Calentar el tubo en baño de agua hirviendo por una hora, en este punto se presenta formación de una nube blanquecina que corresponde al Fitato de Hierro que ha precipitado.

**2.3.4.** Enfriar el tubo con agua fría o hielo a fin de que llegue a temperatura ambiente.

**2.3.5** Agitar las muestras y transferir 1.0 mL de la solución a otro tubo. Adicionar 1.5 mL de solución de biperidina y agitar, se desarrolla el color rosado del complejo formado por la biperidina y el hierro sobrenadante.

**2.3.6** Realizar un blanco en el espectrofotómetro con agua destilada calibrar a 0 de absorbancia después leer la absorbancias de las muestras y soluciones de

referencia a 519 nm. Entre muestra y muestra, limpiar las celdas con agua destilada.

Las soluciones estándar se comienzan a preparar desde el punto 2, "Pipetear 1 mL. de solución estándar y adicionar 2 mL. de solución férrica..." De acuerdo a la curva de calibración, se calcula las concentraciones de ácido fítico en cada muestra .

**2.3.7** Se realizaron 3 muestras por proceso; llevándose por triplicado cada determinación.

## 2.4 Cálculos (12)

Utilizando los datos leídos de las muestras en el espectrofotómetro a 519 nm, graficar y obtener la regresión lineal de la curva de calibración concentración de fitato vrs. Absorbancia (Anexo 7) y determine la ecuación de la línea recta.

$$Y = m(X) + b$$

Donde Y es absorbancia, (X) es concentración de fitato (C $\mu$ g/mL) y m (pendiente) y b (intercepto), son constantes obtenidas del cálculo estadístico.

$$A = m C_{\mu\text{g/mL}} + b$$

$$C_{\mu\text{g/mL}} = A - b/m$$

**2.4.1** Con la ecuación de la recta, calcule la concentración de fitato (C $\mu$ g/mL) en las muestras, sustituyendo A por la absorbancia leída.

$$C_{\mu\text{g/ml}} = A - b / m$$

Para grano crudo muestra 1(**M1**):

De acuerdo a la gráfica Absorbancia vrs Concentración la ecuación de la recta es

$$Y = -0.0032 X + 0.9645 \text{ (Ver Anexo 7)}$$

Sustituyendo el valor de **Absorbancia** en eje Y y la **C $\mu$ g/ml** en el eje X

$$A = -0.0032 C_{\mu\text{g/ml}} + 0.9645$$

$$C_{\mu\text{g/ml}} = \frac{A - 0.9645}{-0.0032}$$

Introduciendo los valores de absorbancia del amaranto (grano crudo) se obtuvieron las concentraciones siguientes:

Para Muestra 1 (M1) y Lectura 1 (L1)

$$\mathbf{M1L1 \text{ C}\mu\text{g/ml} = 0.727 - 0.9645 / -0.0032 = 74.22 \mu\text{g/ml}}$$

De la misma forma se calculó el resultado para la lectura 2 (L2) y lectura 3 (L3)

$$\mathbf{M1L2 \text{ C}\mu\text{g/ml} = 76.40 \mu\text{g/ml}}$$

$$\mathbf{M1L3 \text{ C}\mu\text{g/ml} = 72.30 \mu\text{g/ml}}$$

**2.4.2** Encontrar los mg de ácido fítico en la muestra.

$$\text{mg ácido fítico} / : \mathbf{C\mu\text{g/ml} \times \text{FD} \times 1\text{mg}}$$

$$\mathbf{1000\mu\text{g}}$$

FD: Factor de Dilución 10

Para Muestra 1 (M1), Lectura 1 (L1)

$$\text{mg ácido fítico: } \frac{74.22 \mu\text{g/ml} \times 10 \times 1 \text{ mg}}{1000 \mu\text{g}} = \mathbf{0.74 \text{ mg en peso de muestra}}$$

De la misma forma se calculó el resultado para la lectura 2 (L2) y Lectura 3 (L3)

$$\mathbf{M1L2 \text{ mg ácido fítico} = 0.76 \text{ mg en peso de muestra}}$$

$$\mathbf{M1L3 \text{ mg ácido fítico} = 0.72 \text{ mg en peso de muestra}}$$

### **Porcentaje de ácido fítico**

Peso de muestra g \_\_\_\_\_ g de ácido fítico

100 g \_\_\_\_\_ X g = % de ácido fítico

Para L1 (Lectura 1)

$$\begin{array}{l} 0.0592 \text{ g} \quad \text{_____} \quad \mathbf{0.00074 \text{ g}} \\ 100.00 \text{ g} \quad \text{_____} \quad \mathbf{X = 1.25 \text{ g} = \%} \end{array}$$

De la misma forma se calculó el resultado para la lectura 2 (L2) y lectura 3 (L3)

$$\mathbf{\%L2 = 1.29 \%}$$

$$\mathbf{\%L3 = 1.22\%}$$

Obtener el promedio de las determinaciones

$$\bar{X} = 1.29 + 1.25 + 1.22 / 3 = \mathbf{1.25 \% P/P}$$

De la misma manera obtener los promedios de las otras dos muestras **M2** y **M3** y

encontrar la desviación estándar

$$\mathbf{M1 = 1.25 \% P/P}$$

$$\mathbf{M2 = 1.24 \% P/P}$$

$$\mathbf{M3 = 1.21 \% P/P}$$

$$\text{Promedio } \bar{X} = \sum X_1 + X_2 + \dots X_n / n$$

$$\bar{X} = 1.25 + 1.24 + 1.21 / 3$$

$$\bar{X} = \mathbf{1.23 \% P/P}$$

Obtener la Desviación Estándar

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$\text{Muestra 1} = (1.25 - 1.23)^2 = 0.0004$$

$$\text{Muestra 2} = (1.24 - 1.23)^2 = 0.0001$$

$$\text{Muestra 3} = (1.21 - 1.23)^2 = 0.0004$$

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{(0.0004) + (0.0001) + (0.0004)}{3-1}}$$

$$\text{Desviación estándar} = 0.021$$

El resultado se expresa como el promedio de los resultados  $\pm$  la desviación estándar la cual no debe ser mayor del 10 %: (Ver anexo 8)

$$1.23 \pm 0.021 \text{ \% P/P}$$



No existe una variación significativa y el contenido de hierro se mantiene (0.5 g de hierro)

3.2.3 Solución de Cloruro de Hidroxilamina: Disolver 10 g. De  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  en agua destilada y diluir a 100.0 mL. Guardar en frasco ambar en refrigeración.

3.2.4 Solución de Buffer de Acetato: Disolver 8.3 g de acetato de sodio anhidro (previamente secado a  $100^\circ\text{C}$ ) en agua destilada, agregar 12 mL de ácido acético glacial, y diluir a 100.0 mL.

3.2.5 Preparar estándares de trabajo como sigue: Tomar alícuotas de la solución estándar de hierro de acuerdo a la tabla abajo expuesta, y colocarlos en frascos volumétricos de 100.0 mL, agregar 2.0 mL. de HCl concentrado a cada uno, diluir y aforar.

Alícuota de la solución De $10\mu\text{g}/\text{mL}$ . mL. tomados	Concentración final de Fe p.p.m. de curva de estándares
0	0
2	0.2
5	0.5
10	1.0
15	1.5
20	2.0
25	2.5
30	3.0
35	3.5
40	4.0
45	4.5

Mezclar invirtiendo los balones de 10-20 veces. Usar 10.0 mL. de cada una de éstas soluciones estándar, siguiendo desde el paso 3.2.7.

### **3.3 Procedimiento para la determinación de hierro total en harinas**

- 3.3.1 Cuidadosamente pesar 5 g de muestra en un crisol limpio.
- 3.3.2 Incinerar en mufla a 550 °C por siete horas.
- 3.3.3 Remover el crisol de la mufla y enfriar a temperatura ambiente.(Comenzar a preparar la solución blanco, en éste punto de la misma manera que la muestra).
- 3.3.4 Cuidadosamente agregar 5 mL. de HCl concentrado, evaporar a sequedad en un baño de vapor.
- 3.3.5 Disolver el residuo al agregar 2 mL de HCl concentrado, cuidadosamente medido; cubrir con un vidrio reloj y calentar 5 min. Sobre un baño de vapor.
- 3.3.6 Enjuagar el vidrio reloj con agua destilada, filtrar en un balón volumétrico de 100.0 mL., diluir a volumen y mezclar.
- 3.3.7 Pipetear una alícuota de 10.0 mL de la solución anterior en un balón volumétrico de 25.0 mL. y agregar 1.0 ml de cloruro de hidroxilamina. Mezclar.
- 3.3.8 Después de 5 min. Agregar 5.0 mL. de solución buffer, y 1.0 mL. de o-fenantrolina; diluir a volumen. Mezclar.

3.3.9 Dejar reposar por 30 min. Entonces medir las absorbancias de la muestra, estándar y blanco en un espectrofotómetro a 510 nm.

3.3.10 De cada muestra se tomaron 3 lecturas, se efectuaron 3 muestras.

**Nota:** Al efectuar este procedimiento las muestras presentan valores de absorbancias mas altas que el blanco por lo cual se realizó una dilución más, en el paso 3.2.7.

Por lo tanto el paso 3.3.7 para las muestras es el siguiente:

3.3.7 Pipetear una alícuota de 5.0 mL del paso 3.2.6 en un balón volumétrico de 25.0 mL., aforar y posteriormente, pipetear 10 mL. de esta solución en un balón de 25.0 mL agregar 1.0 ml de cloruro de hidroxilamina. Mezclar. Seguir pasos 3.2.8 y 3.2.9.

### **3.4 Cálculos para la determinación de hierro total.**

3.4.1 Graficar Absorbancia vrs. Concentración (en p.p.m.) de las soluciones estándar.

Obtener la ecuación de la línea recta y despejar la concentración

$Y = mX + b$ , donde  $X = C_{\mu\text{g/mL}}$   $Y = \text{Absorbancia corregida por blanco}$

$m = \text{pendiente}$   $b = \text{intercepto}$

$$Ax = mC_{\mu\text{g/mL}} + b$$

$$C_{\mu\text{g/mL}} = Ax - b/m$$

De acuerdo a la gráfica Estándares de Hierro vrs. Absorbancia la ecuación de la línea recta es:

$$Ax = 0.084 C_{\mu\text{g/mL}} + 0.0459 \quad (\text{Ver Anexo 9})$$

$$C_{\mu\text{g/mL}} = Ax - 0.0459/0.084$$

- 3.4.2 Obtener la concentración de las soluciones muestras, en base a la gráfica Absorbancia vrs. Concentración, usando la ecuación de la línea recta, restando al valor de Absorbancia de cada muestra el valor del blanco

$$A_{\text{muestra}} - A_{\text{blanco}} = Ax$$

$$C_{\mu\text{g/mL}} = Ax - b/m$$

Para Muestra 1 (M1) Lectura 1 (L1) tenemos

$$C_{\mu\text{g/mL}} = (0.159 - 0.026) - 0.0459/0.084 = 1.03 \mu\text{g/mL}$$

- 3.4.3 Calcular la concentración de hierro en mg/100 g de muestra debido a que así lo expresa la bibliografía.

$$\text{mg de hierro/g de muestra} = \frac{C_{\mu\text{g/ml}} \times \text{FD}}{P_{\text{muestra}} \times 1000 \mu\text{g}}$$

FD: Factor de dilución 500

Pmuestra: Peso de muestra en gramos

Pmuestra1: 5.0149 g

Para M1 (muestra 1) , L1 (Lectura 1) tenemos:

$$\text{mg de hierro/g de muestra} = \frac{1.03 \mu\text{g/ml} \times 500}{5.0149 \text{ g} \times 1000 \mu\text{g}} = 0.1026 \text{ mg de hierro/g de muestra}$$

Para 100g de muestra:

mg de hierro/g de muestra \_\_\_\_\_ 1g de muestra

X= mg de hierro \_\_\_\_\_ 100 g de muestra

Para M1

0.1026 mg de hierro/g de muestra \_\_\_\_\_ 1g de muestra

X= mg de hierro \_\_\_\_\_ 100 g de muestra

**X= 10.26 mg de hierro/100 g de muestra**

De la misma forma se calculó el resultado para la lectura 2 (L2) y lectura 3 (L3)

**L2 = 10.57 mg/100 g muestra**

**L3 = 10.10 mg/100 g muestra**

Obtener el promedio de las determinaciones

$\bar{X} = 10.26 + 10.57 + 10.10 / 3 = \mathbf{10.33 \text{ mg/100 g muestra}}$

Así obtener los promedios de las otras dos muestras **M2** y **M3** y encontrar la desviación estándar como en 2.3.4

**M1= 10.3 mg /100 g de muestra**

**M2= 9.60 mg /100 g de muestra**

**M3= 9.73 mg /100 g de muestra**

El resultado se expresa como el promedio de los resultados  $\pm$  la desviación estándar la cual no debe ser mayor del 10 %: (Ver Anexo 10)

Contenido de hierro total en el grano de Amaranthus cruentus:

**9.86  $\pm$  0.32 mg / 100g de muestra**

### **III. Resultados y Discusión**

A continuación se presentan los resultados de la fase experimental del estudio.

Para facilitar la comprensión de los resultados éstos se han agrupado en tablas, para la determinación de ácido fítico y hierro total se detallan, los pesos de la muestra, las absorbancias obtenidas para cada peso, el resultado final de cada muestra obtenido del promedio de las tres determinaciones, expresado con la desviación estándar; en la tabla de las características físicas de las harinas se detalla el tipo de harina con sus respectivas características.

En la determinación de ácido fítico los resultados se expresan en porcentaje peso sobre peso (P/P), por que de esa forma reporta la bibliografía el contenido de ácido Fítico en otros granos.

En cuanto a la determinación de hierro, los resultados se expresan en ppm, por que así lo reporta la bibliografía de la cantidad de hierro para Amaranto

## 1.0 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS HARINAS DEL GRANO DE AMARANTO SOMETIDO A DIFERENTES TRATAMIENTOS.

**Tabla 5**

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Característica Física de la harina</b>
Extrusado	Polvo grumoso color beige, inodoro, sin sabor.
Nixtamalizado	Polvo fino de color beige, inodoro, sin sabor
Reventado	Gránulos blandos color café claro, con olor y sabor característico.
Germinado	Polvo color café oscuro, sin olor y sin sabor

Cada tratamiento le imparte a la harina características físicas propias, lo cual permite diferenciarlas a simple vista, excepto en los tratamientos de nixtamalizado a 7.5 min. y 10 min. que ambas presentan similares características. El tratamiento de reventado es el que le imparte color, olor y sabor característico a la harina.

**% P/P DE ACIDO FITICO OBTENIDAS PARA CADA MUESTRA EN LOS  
DIFERENTES TRATAMIENTOS**

**Tabla 6**

<b>Tratamiento</b>	<b>% Acido Fítico P/P</b>
<b>Grano Crudo</b>	<b>1.23 ± 0.021</b>
<b>Nixtamalizado 7.5 min</b>	<b>1.11 ± 0.045</b>
<b>Nixtamalizado 10 min</b>	<b>0.81 ± 0.040</b>
<b>Extrusado</b>	<b>1.16 ± 0.035</b>
<b>Reventado</b>	<b>0.069 ± 0.024</b>
<b>Germinado</b>	<b>0.23 ± 0.011</b>

**Discusión**

Las determinaciones se realizaron con grano de amaranto de la misma cosecha para que la muestra fuese representativa y que hubiese estado bajo las mismas condiciones de cultivo, ya que puede haber una variación en el contenido de ácido fítico en los cereales, para evaluar la disminución de este después de someterlo a los diferentes tratamientos.

En base a los resultado se determinó que el contenido de Acido Fítico en los tratamientos de nixtamalizado 7.5 min y extrusado no tienen una disminución significativa por lo tanto se considera que no disminuye el Ácido Fítico.

El tratamiento de nixtamalizado 10 min. muestra una disminución, comparándose con el grano crudo y con el nixtamalizado 7.5 min. por lo cual se concluye que a mayor tiempo de cocción disminuye el ácido fítico, atribuyéndose al contacto con la cal y los iones calcio que reaccionan con el ácido fítico.

El tratamiento de reventado muestra una disminución bastante significativa debido a los cambios químicos que ocurren dentro del grano con este proceso.

El tratamiento de germinado es el que brinda mayor disminución en el contenido de ácido fítico, esto se atribuye a que en el proceso de germinación se activa la enzima fitasa debido a la humedad a la que es sometido el grano, esta enzima degrada el ácido fítico en inositol y fósforo dando como resultado las formas menos sustituidas del ácido ( trifosfato de inositol, difosfato de inositol, monofosfato de inositol) , evidenciándose un descenso en el contenido de ácido fítico.

### 3.0 % de Reducción de Acido Fítico de los diferentes tratamientos con respecto al grano crudo

**Tabla 7**

<b>Tratamiento</b>	<b>% Acido Fítico P/P</b>	<b>% de Reducción</b>
<b>GRANO CRUDO</b>	<b>1.23</b>	
<b>Nixtamalizado 7.5 min</b>	<b>1.11</b>	<b>9.75</b>
<b>Nixtamalizado 10 min</b>	<b>0.81</b>	<b>34.14</b>
<b>Extrusado</b>	<b>1.16</b>	<b>5.69</b>
<b>Reventado</b>	<b>0.069</b>	<b>43.9</b>
<b>Germinado</b>	<b>0.23</b>	<b>81.3</b>

$$\% \text{ de Reducción} = \frac{\text{Acido Fítico grano} - \text{Acido Fítico Tratamientos}}{\text{Acido Fítico del Grano}}$$

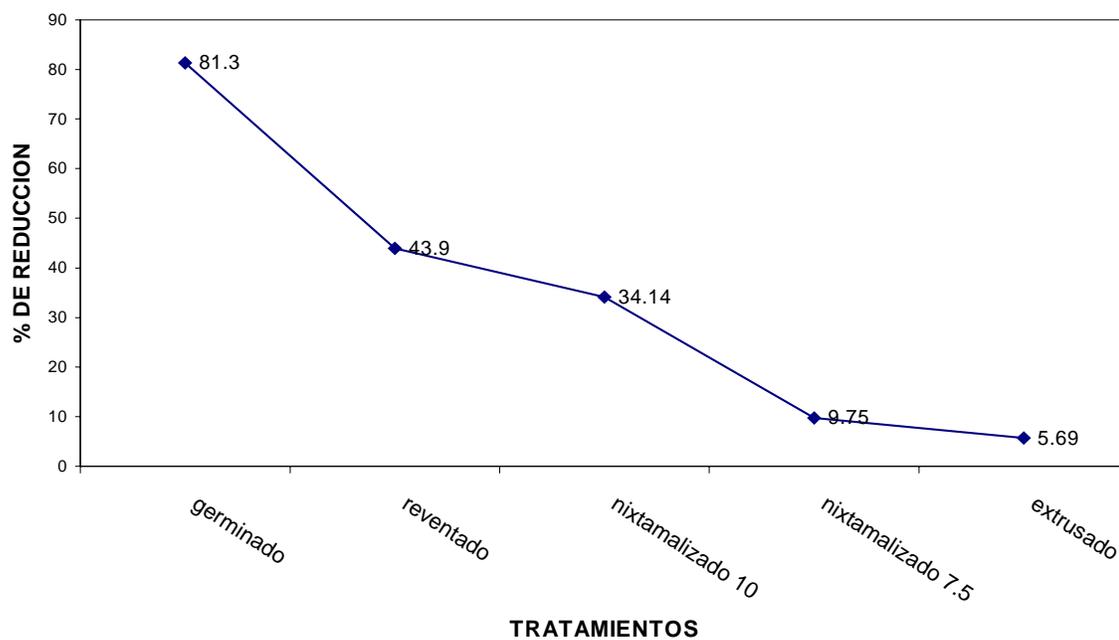
Ej. Para Tratamiento de Nixtamalizado 7.5 min

$$\% \text{ de Reducción} = \frac{1.23 - 1.11}{1.23} \times 100$$

$$\% \text{ de Reducción} = 9.75 \%$$

De la misma forma se calculó para los diferentes tratamientos

### % de Reducción de Acido Fítico de los diferentes tratamientos respecto al grano crudo



#### 4.0 RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE HIERRO TOTAL

**TABLA 8**

<b>Tratamiento</b>	<b>mg/100 g</b>
<b>Grano Crudo</b>	<b>9.86 ± 0.32</b>
<b>Nixtamalizado 7.5 min</b>	<b>9.88 ± 0.29</b>
<b>Nixtamalizado 10 min</b>	<b>16.87 ± 0.45</b>
<b>Extrusado</b>	<b>9.90 ± 0.30</b>
<b>Reventado</b>	<b>8.45 ± 0.06</b>
<b>Germinado</b>	<b>20.28 ± 0.45</b>

#### **Discusión:**

El contenido de hierro determinado para el *Amaranthus cruentus*, se encuentra dentro de los valores reportados en la bibliografía. (3.1 -21.5 mg/100 g)(14)

Con respecto a los tratamientos el nixtamalizado 7.5 min., extrusado y reventado, mantienen valores similares, por lo tanto dichos tratamientos no causan ninguna variación en el contenido de hierro.

El tratamiento de germinado muestra un aumento considerable en la cantidad de hierro total, el cual se atribuye a concentración de minerales debido a la eliminación de la parte vegetativa durante el proceso, al quitar la parte vegetativa queda el interior del grano por lo tanto la muestra se concentra.

En cuanto al nixtamalizado 10 min. hubo un aumento del contenido de hierro con respecto al grano, atribuyéndose a dos razones, la primera a que la cal utilizada posee hierro, ya que se hizo un análisis cualitativo para detectar presencia del hierro y el resultado fue positivo; la segunda a que con un cocimiento de 10 minutos el grano de amaranto se gelatiniza más que con el tratamiento a 7.5 minutos adsorbiendo más cal sobre sus granos, la diferencia entre los dos tratamientos es debido a la baja temperatura de gelatinización del grano, por que a medida que aumenta el tiempo de cocción el grano tiende a gelatinizarse lo cual implica un hinchamiento irreversible del grano que hace que al pasar el tiempo el grano tienda a solubilizarse y en ese proceso ocurre la adsorción de la cal .

#### IV. CONCLUSIONES

En las harinas obtenidas por tratamientos de nixtamalizado 7.5 min. y extrusado el contenido de Acido Fítico no tiene una disminución significativa, por lo que se concluye que dichos procesamientos no disminuyen el Acido Fítico.

El tratamiento de nixtamalizado 10 min. muestra una disminución, comparándose con el grano crudo y con el nixtamalizado 7.5 min. por lo cual se puede concluir que a mayor tiempo de cocción reacciona el calcio sobrenadante de la cal, con el ácido fítico del grano disminuyendo el contenido de éste.

El tiempo máximo de nixtamalización del grano de amaranto es de 10 minutos, por que se ha comprobado que a un tiempo mayor de cocimiento el grano se gelatiniza completamente perdiendo sus características y se convierte en una solución viscosa.

El tratamiento de reventado muestra una disminución bastante significativa de ácido fítico, corroborándose lo expresado por la bibliografía.(10)

El tratamiento germinado es el que brinda mayor disminución del contenido de Acido Fítico con un valor de 81.3% y el que menor reducción presentó fue el tratamiento de extrusado con un porcentaje de reducción de 5.69%.

En cuanto al contenido de hierro los tratamientos de Nixtamalizado, Extrusado y reventado, mantienen valores similares, en cambio en el germinado hay un aumento de hierro que puede ser debido a concentración, por que en este tratamiento se elimina la parte vegetativa y solo queda el interior del grano en el cual se encuentran los minerales.

En cuanto al nixtamalizado 10 min. hubo un aumento del contenido de hierro con respecto al grano, atribuyéndose a dos razones: primera a que la cal utilizada posee una cantidad detectable de hierro, ya que se hizo un análisis cualitativo y el resultado fue positivo; segundo que con un cocimiento de 10 min. el grano de amaranto se gelatiniza adsorbiendo más cal en los granos que con el tratamiento a 7.5 min que prácticamente no sufre gelatinización.

Los mejores tratamientos para disminuir el ácido fítico son el germinado y el reventado por lo cual las harinas obtenidas de estos tratamientos se recomiendan para la elaboración de alimentos infantiles.

En base a resultados se concluye que la harina germinada es la que posee un contenido más alto de hierro, menos ácido fítico, y según otras investigaciones mayor contenido de proteína.(6)

## V. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos se recomienda la harina obtenida mediante el tratamiento de reventado para su uso en alimentación infantil, debido a su disminución en ácido fítico y a sus características organolépticas, ya que es la que presenta mejor sabor y olor, también se recomienda el uso de harina obtenida mediante el tratamiento de germinado, debido a que además de su bajo contenido de ácido fítico, posee alto contenido de hierro y mayor contenido de proteína comparada con los otros tratamientos; además tiene la característica de incorporarse mejor en mezclas de harinas, debido a que posee menor viscosidad que las demás harinas de amaranto por lo cual se incorpora en mayor cantidad en los alimentos cuando se utiliza en la elaboración de atoles.

Para aumentar la absorción de hierro se recomienda ingerir alimentos con Vitamina C (ascorbatos), debido a que es un facilitador en la absorción de este mineral, también se recomienda evitar el consumo de antiácidos antes de las comidas, así como infusiones de hierbas las cuales poseen taninos con lo cual se evita un bloqueo en la absorción.

Con el fin de mejorar la nutrición se recomienda a las industrias alimenticias conocer además de los nutrientes en los alimentos los posibles antinutrientes que poseen, para mejorar la calidad nutricional de los mismos.

Se recomienda hacer investigaciones de contenido de ácido fítico en otros granos, para conocer la cantidad de este antinutriente en ellos y verificar la reducción mediante tratamientos, así como para tomar las medidas necesarias para que no afecten la nutrición.

Se recomienda el uso de las harinas obtenidas mediante los tratamientos de nixtamalizado y extrusado para otros alimentos en general ingiriéndolos con Vitamina C para mejorar la absorción del hierro.

Para la producción de harina de amaranto germinado, se recomienda mantener un extremo cuidado en el proceso, debido a que si el grano no es desinfectado adecuadamente con la solución antimicrobiana este sufre contaminación, además se recomienda mantener el grano húmedo, no mojado ni seco por que de lo contrario el proceso de germinación se interrumpe.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **LIBROS**

- 1- ANDREWS,J.S. "Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist" .7<sup>th</sup> Edition. Published by American Association of Cereal Chemist, USA , 1976.
- 2- BRENNER, David "Cereals y Pseudocereals" International Consultant in Agricultural Research, Washington D.C., USA , 1995
- 3- CARRASCO, Ritva. " Introducción a la Ciencia y Tecnología de Cereales y de Granos Andinos" . 1<sup>ra</sup>. Edición, Perú: Edi-Agraria, 1998.
- 4- GARCIA PELAYO, Ramón. "Larousse diccionario manual ilustrado" 10<sup>o</sup> Edición, México, 1998
- 5- OCEANO, Grupo editorial, "Diccionario de medicina Oceano Mosby" , España, 1996.
- 6- SUAREZ RAMOS, Guadalupe "Coloquio Nacional del Amaranto." 1<sup>ra</sup>. Edición. Editorial Instituto de Desarrollo Estatal para la Acción Social de Querétaro, México, 1987.

- 7- TAPIA, Mario "Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación"  
Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustria 1ª. Edic. Perú, 1990
- 8- WEBER, Leon. 1990 "Amaranth: Perspectives on Production, Processing and  
Marketing", 1ª. Edición, University of Minnesota Agriculture, Minnesota,  
USA, 1990.

#### PUBLICACIONES

- 9- AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY. January/February; "Phytate Its  
Chemistry, Occurrence, Food Interactions, Nutritional Significance, and Methods  
of Analysis" vol 30. No. 1. USA, 1982.
- 10- FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS. January "Phytate Degradation During  
Traditional Cooking: Significance of the Phytic Acid Profile in Cereal-Based  
Vegetarian Meals"; vol 12.No. 1.USA, 1999.
- 11- SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURAL. "Sensitive Method for the Rapid  
Determination of Phytate in Cereals and Cereal Products" February; vol. 34  
No.1, Alemania. 1983.

- 12- URIZAR, Ana Lucrecia "Determinación de Fitatos (Acido Fítico) en maíz y productos derivados del maíz" Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, Guatemala, 1995.

#### TESIS

- 13- LOPEZ, Claudia. "Elaboración de un Alimento Infantil de Alto Valor Nutricional a Base de Amaranto-Arroz y Amaranto-Maiz". El Salvador: Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador, 1998.
- 14- MARTINEZ DE MARTELL, Elba Concepción. Evaluación de Adultos Humanos, de la Calidad Proteínica del Grano de Amaranto Sometido a Diferentes Procesos Tecnológicos". Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 1998.

#### SITIOS CONSULTADOS EN INTERNET (RED INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN ELECTRÓNICA)

- 15- [www.Abctusalud.com](http://www.Abctusalud.com)

- 16- [www.albiom.com](http://www.albiom.com)

- 17- [www.albionlabs.com](http://www.albionlabs.com)

18- [www.Consumaseguridad.com](http://www.Consumaseguridad.com)

19- [www.echonet.com](http://www.echonet.com).

20- [www.ivu.org](http://www.ivu.org)

21- [www.menssana.com](http://www.menssana.com)

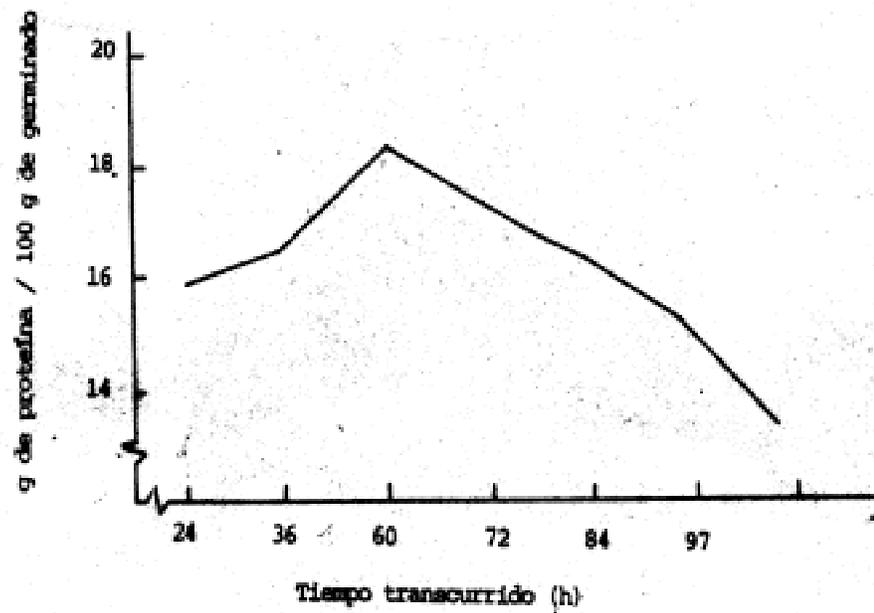
22- [www.msd.com](http://www.msd.com)

23- [www.parners.org](http://www.parners.org)

24- [www.webmasters.com](http://www.webmasters.com)

25- [www.uib.es](http://www.uib.es)

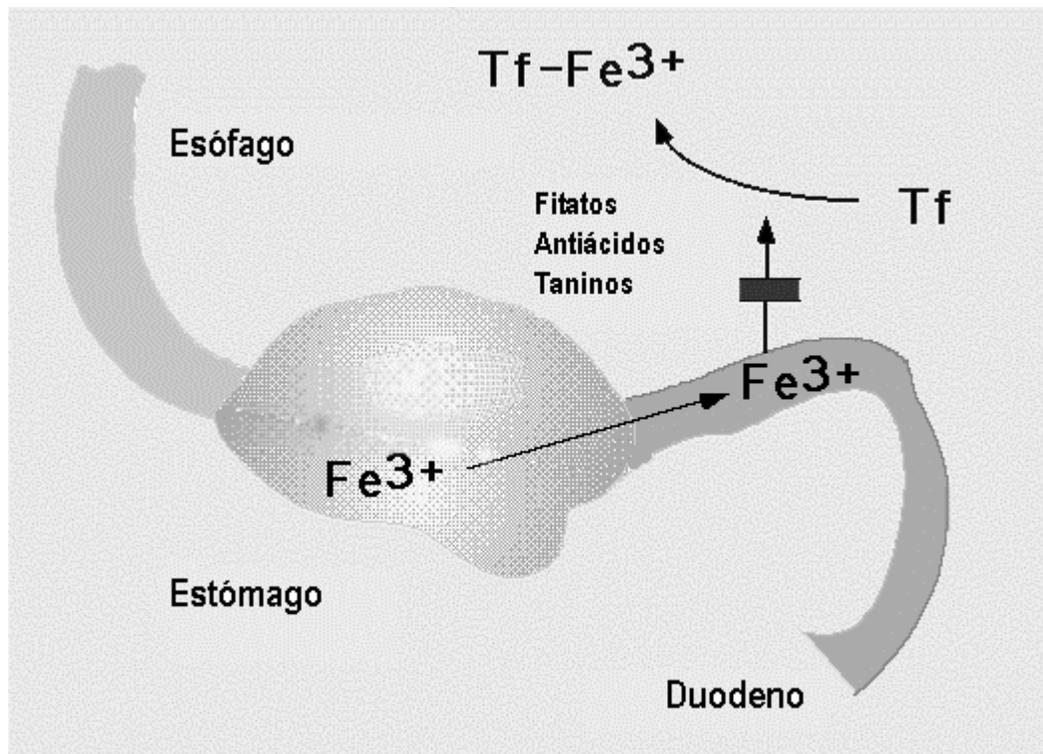
## ANEXO 1

**Gráfica g de proteína/100 g de germinado vrs. Tiempo transcurrido (horas)**

**Comportamiento del porcentaje de proteína con respecto al tiempo de germinación (6)**

## ANEXO 2

Esquema de absorción e inhibición de hierro No Heme a nivel gastrointestinal

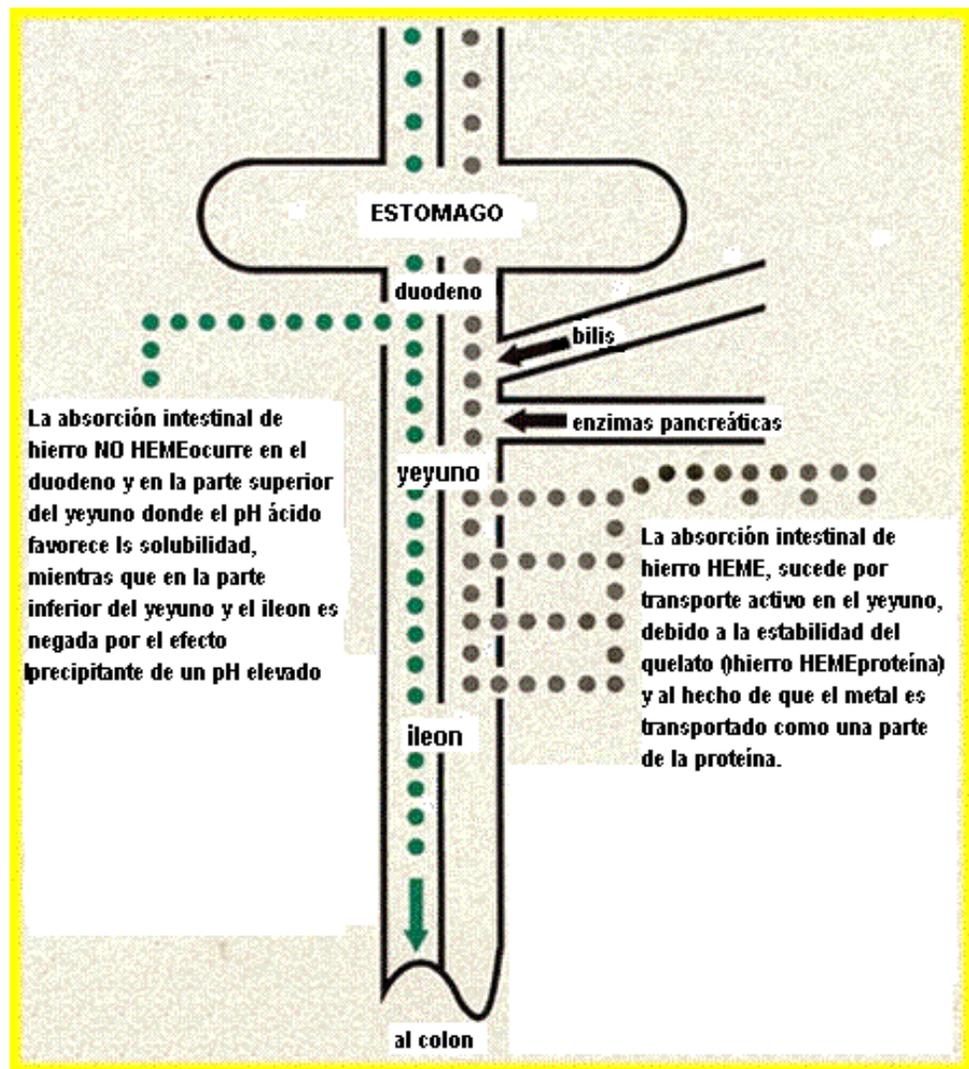


### ABSORCIÓN DE HIERRO NO HEME

Al ingerirse el hierro, entra al estómago desde el esófago, es oxidado al estado  $Fe^{+3}$ , el cual no es el estado original en que es ingerido. La acidez gástrica previene la precipitación del normalmente insoluble  $Fe^{+3}$ . Las células mucosas intestinales del duodeno y de la parte superior de yeyuno absorben el hierro. El hierro es enlazado a la transferrina (Tf) en la circulación, la cual lo libera dentro de las células del cuerpo, Los fitatos, taninos y antiácidos, bloquean su absorción. (20)

## ANEXO 3

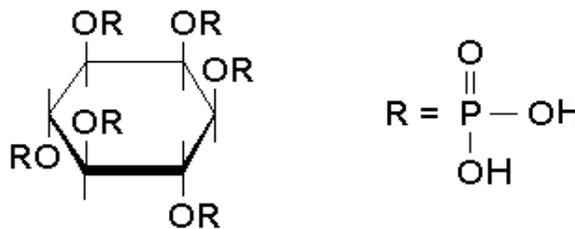
### Diferentes mecanismos de absorción de la forma de hierro HEME y no HEME (16)



## ANEXO 4

**Estructura química del Acido Fítico (Acido y Sal)**

Estructura química de la Sal Sódica del Acido Fítico



Estructura química del Acido Fítico

ACIDO FITICO (Inositol Hexafosfato)

Peso molecular de la sal ( $C_6H_{12}O_{24}P_6Na_6$ ) = 792 gramos

Peso molecular del Acido ( $C_6H_{18}O_{24}P_6$ ) = 660 gramos

El Acido Fítico es un compuesto de inositol y ácido fosfórico, encontrado en granos y legumbres como el maíz, trigo, avena, bajo la forma de sal insoluble.

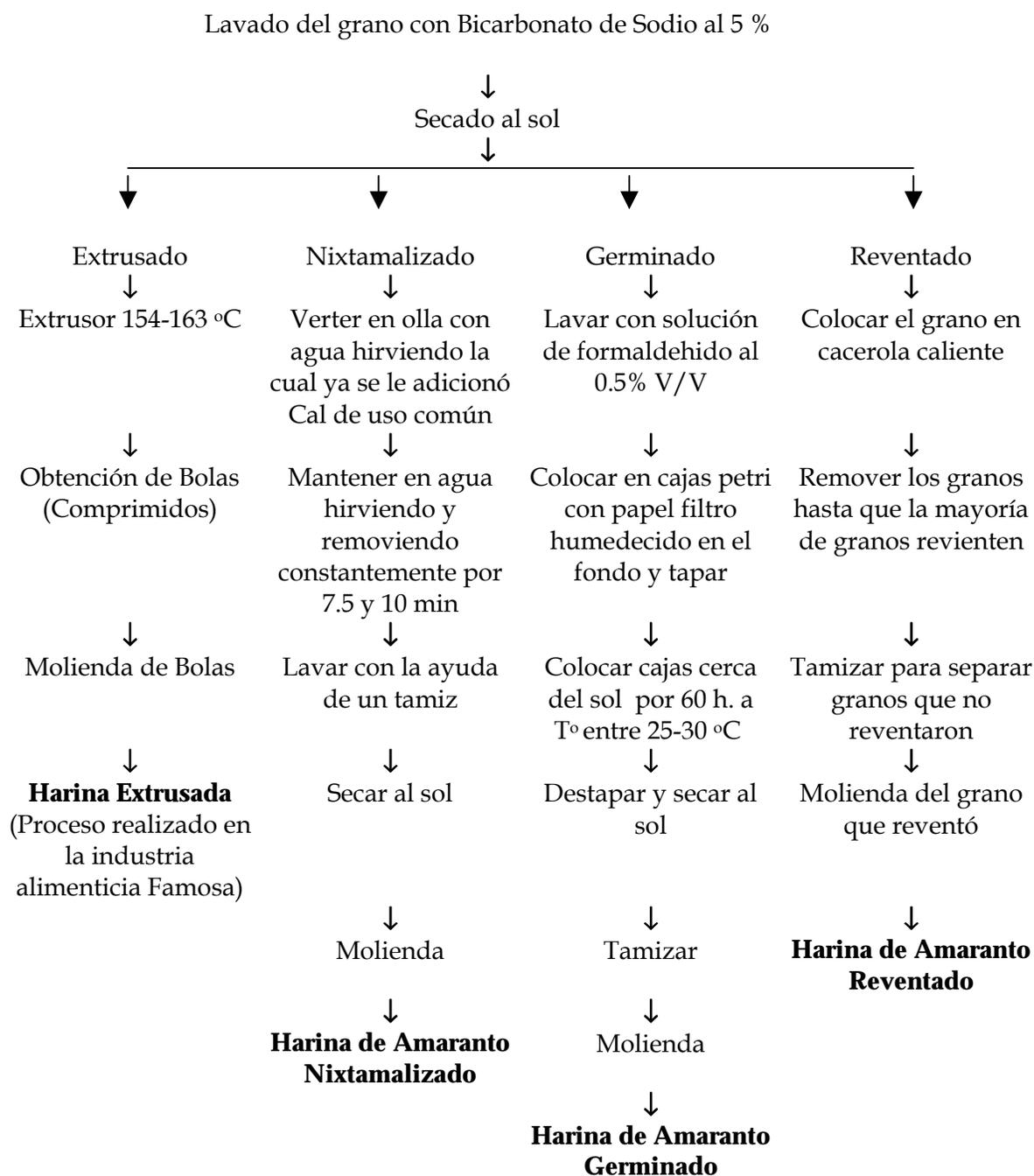
Se combina fácilmente con minerales como el hierro impidiendo la absorción de éste a nivel intestinal, por lo tanto inhibe la biodisponibilidad de éste.

Sin embargo se conoce que sometiendo a los alimentos a diferentes tratamientos se disminuye significativamente la cantidad de Acido Fítico.(19)

La sal sódica es polvo de color blanco a beige, soluble en agua.

## ANEXO 5

## Esquema de preparación de las harinas de grano de Amaranto mediante diferentes tratamientos



## **Anexo 6**

### **Material, Equipo y Reactivos Utilizados en la Determinación de Acido Fitico y Determinación de Hierro Total**

**A)**

#### **MATERIAL EQUIPO Y REACTIVOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE ACIDO FITICO**

##### **MATERIAL**

Balones aforados de 10.0 ml, 100.0 ml, 500.0 ml, 1000.0 ml

Beakers de vidrio Pyrex de 250 ml y 500 ml

Buretas Pyrex de 25 ml

Frascos de vidrio

Pipetas volumétricas de 1.0 mL

Tubos de vidrio de 10 x 75 mm con tapón de rosca Pyrex con capacidad de 10 ml o menos.

Celdas de cuarzo para espectrofotómetro

Pinzas para buretas Soporte

Soporte para tubos de ensayo

Grano y Harinas de Amaranto

##### **EQUIPO**

Espectrofotómetro Cecil serie1000

Balanza analítica Bosch sal 200 (+/-0.0001)

Estrusor regulado a una temperatura de 160 °C Labconco

Cocina Eléctrica

## REACTIVOS

Sal sódica de ácido fítico 99.0% proveedor Sigma-Aldrich

Sulfato ferrico amónico  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , 99.0 % Merck

HCl Acido Clorhídrico concentrado proveedor Merck

2,2-Bipiridina, proveedor Merck, 99.5%

Acido Tioglicólico, proveedor Merck, 99.0%

## B)

### **MATERIAL EQUIPO Y REACTIVOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE HIERRO TOTAL**

#### MATERIAL

Balones aforados de 25.0 mL, 100.0 mL, 50.0 mL,

Beakers de vidrio Pyrex de 250 mL y 500 mL

Buretas Pyrex de 25 mL

Pipetas volumétricas de , 5.0 mL, y 10.0 mL

Celdas de cuarzo para espectrofotómetro

Crisoles de porcelana

Pinzas para crisol

Embudos de vidrio

Grano y Harinas de Amaranto

#### EQUIPO

Espectrofotómetro Cecil serie1000

Balanza analítica Bosch sal 200 (+/-0.0001)

Mufla Nabertherm model L3K6

#### REACTIVOS

Sulfato ferroso amónico  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  99% de pureza

HCl , Acido clorhídrico concentrado.

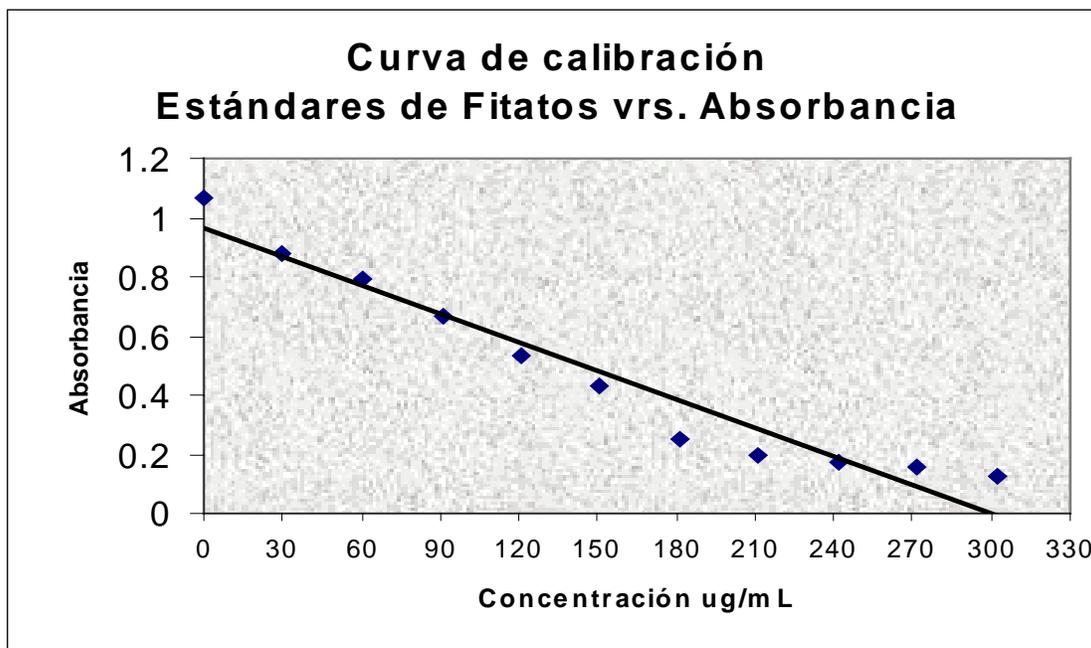
Ortofenantrolina, proveedor Merck, 99.0%

Cloruro de Hidroxilamina, proveedor Merck, 99.0 %

Acetato de Sodio, proveedor Merck ,99.5 %

Acido Acético Glacial

## ANEXO 7



Ecuación de la Línea Recta  $Y = m X + b$

Donde  $m$  = Pendiente = - 0.0032

$b$  = Intercepto = 0.9646

$$Y = -0.0032X + 0.9646$$

<b>C<math>\mu</math>g/mL Teóricas</b>	<b>C<math>\mu</math>g/mL Reales</b>	<b>Absorbancia</b>
0.000	0	1.068
30.000	30.228	0.875
60.000	60.456	0.793
90.000	90.684	0.668
120.000	120.912	0.531
150.000	151.140	0.435
180.000	181.368	0.252
210.000	211.596	0.199

240.000	241.824	0.17
270.000	272.052	0.157
300.000	302.228	0.125

Obtención de la Ecuación de la Línea Recta mediante el método de  
Mínimos Cuadrados

En donde X= C $\mu$ g/mL Reales

y Y= Absorbancia

la fórmula para la pendiente (m) mediante este método es:

$$m = [ n \sum_{i=1}^n x_i y_i - ( \sum_{i=1}^n x_i ) ( \sum_{i=1}^n y_i ) ] D^{-1}$$

$$b = [ \sum_{i=1}^n (x_i^2) - ( \sum_{i=1}^n x_i )^2 ] D^{-1} - ( \sum_{i=1}^n x_i ) ( \sum_{i=1}^n x_i y_i ) ] D^{-1}$$

$$D = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - ( \sum_{i=1}^n x_i )^2$$

X	Y	<u>X<sup>2</sup></u>	Y <sup>2</sup>	XY
0	1.068	0	1.141	0
30.228	0.875	913.732	0.766	26.450
60.456	0.793	3654.928	0.629	47.942
90.684	0.668	8223.588	0.446	60.577
120.912	0.531	14619.712	0.282	64.204
151.140	0.435	22843.230	0.189	65.746
181.368	0.252	32894.354	0.035	45.705
211.596	0.199	44772.867	0.040	42.108
241.824	0.17	58478.847	0.029	41.110
272.052	0.157	74012.291	0.025	42.712
302.228	0.125	91341.764	0.016	37.779
<b><math>\Sigma X = 1662.488</math></b>	<b><math>\Sigma Y = 5.273</math></b>	<b><math>\Sigma X^2 = 351755.313</math></b>	<b><math>\Sigma Y^2 = 3.598</math></b>	<b><math>\Sigma XY = 474.333</math></b>

Sustituyendo obtenemos:

$n = \text{número de datos} = 11$

$$\mathbf{D} = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$

$$\mathbf{D} = 11 ( 351755.313 ) - (1662.488)^2$$

$$\mathbf{D} = 3869308.443 - 2763866.35$$

$$\mathbf{D} = 1105442.093$$

Para obtener la pendiente:

$$\mathbf{m} = \left[ n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) \right] \mathbf{D}^{-1}$$

$$\mathbf{m} = \left[ 11 (474.333) - (1662.488) (5.273) \right] (1105442.093)^{-1}$$

$$\mathbf{m} = \left[ 5217.663 - 8766.230 \right] (1105442.093)^{-1}$$

$$\mathbf{m} = - 3548.567 (1105442.093)^{-1}$$

$$\mathbf{m} = - \mathbf{0.0032}$$

Para obtener el intercepto

$$\mathbf{b} = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i^2) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) \right] \mathbf{D}^{-1}$$

$$\mathbf{b} = \left[ (351755.313) (5.273) - (1662.488) (474.333) \right] (1105442.093)^{-1}$$

$$\mathbf{b} = \left[ 1854805.765 - 788557.921 \right] (1105442.093)^{-1}$$

$$\mathbf{b} = \left[ 1066232.08 \right] (1105442.093)^{-1}$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{0.96}$$

## ANEXO 8

**% P/P DE ACIDO FITICO OBTENIDAS PARA CADA MUESTRA EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS**

<b>Pesada de muestra mg</b>	<b>Absorbancia</b> Lectura1 Lectura2 Lectura3	<b>% P/P</b> Lectura1 Lectura2 Lectura3	<b><math>\bar{X}</math> % P/P</b>
<b>Grano crudo</b>			
59.2	0.727 0.720 0.733	1.25 1.29 1.22	1.25
		$\bar{X} = 1.25$	
61.6	0.721 0.726 0.716	1.21 1.26 1.24	1.24
		$\bar{X} = 1.24$	
63.1	0.721 0.730 0.712	1.21 1.16 1.25	1.21
		$\bar{X} = 1.21$	<b>1.23 ± 0.021</b>
<b>Reventado</b>			
60.9	0.840 0.835 0.829	0.63 0.66 0.70	0.66
		$\bar{X} = 0.66$	
62.6	0.826 0.821 0.829	0.69 0.69 0.68	0.69
		$\bar{X} = 0.69$	
62.1	0.823 0.819 0.829	0.71 0.73 0.71	0.72
		$\bar{X} = 0.72$	<b>0.69 ± 0.024</b>

<b>Pesada de muestra mg</b>	<b>Absorbancia</b> Lectura1 Lectura2 Lectura3	<b>% P/P</b> Lectura1 Lectura2 Lectura3	$\bar{X}$ % P/P
<b>Nixtamalizado 7.5 min</b>			
61.0	0.755 0.753 0.761	1.07 1.08 1.04	1.06
		— X=1.06	
61.6	0.738 0.742 0.733	1.15 1.13 1.17	1.15
		— X= 1.15	
62.0	0.742 0.740 0.740	1.12 1.13 1.13	1.12
		— X=1.12	<b>1.11 ± 0.045</b>
<b>Nixtamalizado 10 min</b>			
61.7	0.811 0.810 0.800	0.78 0.78 0.80	0.79
		— X= 0.79	
62.5	0.809 0.801 0.808	0.78 0.82 0.78	0.79
		— X=0.79	
61.7	0.792 0.798 0.791	0.87 0.84 0.88	0.86
		— X= 0.86	<b>0.81 ± 0.040</b>

<b>Pesada de muestra mg</b>	<b>Absorbancia</b> Lectura1 Lectura2 Lectura3	<b>% P/P</b> Lectura1 Lectura2 Lectura3	$\bar{X}$ % P/P
<b>Extrusado</b>			
60.5	0.738 0.739 0.740	1.17 1.16 1.16	1.16
		$\bar{X}$ = 1.16	
62.5	0.739 0.737 0.744	1.13 1.14 1.10	1.12
		$\bar{X}$ = 1.12	
61.5	0.728 0.726 0.733	1.20 1.21 1.18	1.19
		$\bar{X}$ = 1.19	<b>1.16 ±0.035</b>
<b>Germinado</b>			
62.0	0.923 0.923 0.918	0.21 0.21 0.23	0.22
		$\bar{X}$ = 0.22	
60.9	0.916 0.914 0.921	0.25 0.26 0.22	0.24
		$\bar{X}$ = 0.24	
61.0	0.921 0.920 0.924	0.22 0.23 0.21	0.22
		$\bar{X}$ = 0.22	<b>0.23 ±0.011</b>

### ANEXO 9

Ecuación de la Línea Recta  $Y = m X + b$  Los valores se obtienen mediante el método de mínimos cuadrados (Ver anexo 6)

Donde  $m =$  Pendiente  $= 0.084$

$b =$  Intercepto  $= 0.0459$

$$Y = 0.084x + 0.0459$$

Los valores de  $C \mu\text{g/mL}$  Teórica y Real son los mismos debido a que en el peso del estándar no hubo variación significativa

<b>C <math>\mu\text{g/mL}</math> Teórica</b>	<b>C <math>\mu\text{g/mL}</math> Real</b>	<b>Absorbancia</b>
0	0	0.026
0.2	0.2	0.047
0.5	0.5	0.118
1	1	0.126
1.5	1.5	0.199
2	2	0.216
2.5	2.5	0.25
3	3	0.294
3.5	3.5	0.323
4	4	0.38
4.5	4.5	0.433

**ANEXO 10**  
**RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE HIERRO TOTAL**

<b>Peso de muestra g</b>	<b>A</b> <b>Lectura 1</b> <b>Lectura 2</b> <b>Lectura 2</b>	<b>mg/100g</b> <b>Lectura 1</b> <b>Lectura 2</b> <b>Lectura 2</b>	<b><math>\bar{X}</math> mg/100g</b>
<b>Grano</b>			
5.0149	0.159 0.161 0.157	10.3 10.6 10.1	10.33
		— $\bar{X} = 10.33$	
5.0095	0.154 0.155 0.151	9.7 9.8 9.3	9.60
		— $\bar{X} = 9.60$	
5.0090	0.155 0.154 0.156	9.6 9.7 9.9	9.73
		— $\bar{X} = 9.73$	<b>9.86 +/- 0.32</b>
<b>Reventado</b>			
5.0112	0.143 0.144 0.142	8.4 8.5. 8.3	8.40
		— $\bar{X} = 8.4$	
5.0021	0.142 0.142 0.145	8.3 8.7 8.4	8.47
		— $\bar{X} = 8.5$	
5.0069	0.144 0.143 0.145	8.5 8.4 8.7	8.47
		— $\bar{X} = 8.5$	<b><math>\bar{X} = 8.45 \pm 0.06</math></b>

<b>Peso de muestra g</b>	<b>A</b> <b>Lectura 1</b> <b>Lectura 2</b> <b>Lectura 2</b>	<b>mg/100g</b> <b>Lectura 1</b> <b>Lectura 2</b> <b>Lectura 2</b>	<b><math>\bar{X}</math> mg/100g</b>
<b>Nixtamalizado 7.5 min</b>			
5.0025	0.154 0.155 0.153	9.7. 9.9 9.6	9.73
		— $\bar{X} = 9.73$	
5.0002	0.154 0.152 0.155	9.8 9.5. 9.9	9.73
		— $\bar{X} = 9.73$	
5.0066	0.159 0.157 0.158	10.3 10.1 10.2	10.20
		— $\bar{X} = 10.20$	<b>9.88 ± 0.29</b>
<b>Nixtamalizado 10 min</b>			
5.0080	0.217 0.219 0.216	17.2 17.5 17.1	17.26
		— $\bar{X} = 17.26$	
5.0149	0.211 0.209 0.212	16.4 16.3 16.6	16.43
		— $\bar{X} = 16.43$	
5.0033	0.214 0.217 0.213	16.7 17.3 16.8	16.93
		— $\bar{X} = 16.93$	<b>16.87 ± 0.45</b>

Peso de muestra g	A Lectura 1 Lectura 2 Lectura 2	mg/100g Lectura 1 Lectura 2 Lectura 2	$\bar{X}$ mg/100g
<b>Extrusado</b>			
5.0063	0.156 0.155 0.156	9.9 9.9 9.9	9.90
		$\bar{X}= 9.90$	
5.0086	0.154 0.152 0.153	9.7 9.5 9.6	9.60
		$\bar{X}=9.60$	
5.0030	0.158 0.159 0.156	10.2 10.3 10.1	10.20
		$\bar{X}= 10.20$	<b>9.9. ± 0.3</b>
<b>Germinado</b>			
5.0147	0.239 0.238 0.241	19.8 19.7 20.0	19.83
		$\bar{X}= 19.83$	
5.0037	0.243 0.240 0.244	20.4 20.0 20.5	20.30
		$\bar{X}= 20.30$	
5.0159	0.247 0.243 0.246	20.8 20.5 20.7	20.73
		$\bar{X}= 20.76$	<b>20.28± 0.45</b>

