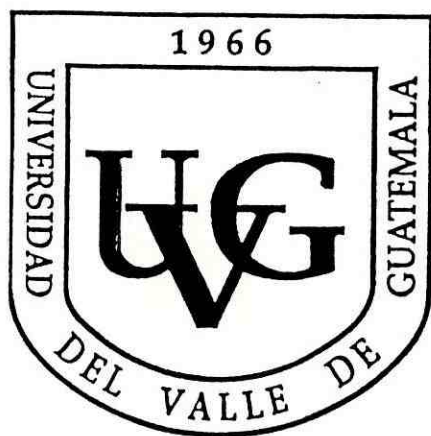


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Química



Extracción y refinación del aceite del grano de
Amaranthus cruentus, y producción de un
concentrado de proteína

KAREN J. WIRTZ VEGA



GUATEMALA

1994

Handwritten notes:
Per
C.A.T.
W.V.

Vo. Bo.:

(f) *Ricardo Bressani*
Doctor Ricardo Bressani
Asesor

Tribunal:

(f) *Ricardo Bressani*
Doctor Ricardo Bressani

(f) *Henry Cukier*
Ingeniero Henry Cukier

(f) *Roberto De León*
Licenciado Roberto De León Fajardo

Fecha de aprobación: 20 de junio de 1994.

INDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	NO. PAGINA
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	4
III. JUSTIFICACIONES	11
IV. OBJETIVOS	12
V. PROBLEMA	13
VI. METODOLOGIA	14
VII. RESULTADOS Y DISCUSION	16
VIII. CONCLUSIONES	28
IX. RECOMENDACIONES	29
X. BIBLIOGRAFIA	30

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Usos y áreas de origen de las especies de <i>Amaranthus</i>	5
2	Composición química de la semilla de <i>Amaranthus cruentus</i>	6
3	Composición química de las fracciones de la semilla de amaranto	8
4	Contenido de ácidos grasos en varios aceites	9
5	Propiedades químicas de los aceites	10
6	Balance de materia para la separación de las fracciones	16
7	Composición química parcial	17
8	Balance de materia para la preparación de un concentrado de proteína	19
9	Composición química del concentrado de proteína	22
10	Pruebas funcionales del concentrado de proteína	23
11	Formación y estabilidad de espuma	24
12	Balance de materia del tratamiento del aceite	26
13	Comparación entre el rendimiento del aceite de amaranto y el de maíz	30

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la factibilidad de producir aceite de la semilla del amaranto, y de ofrecer un concentrado proteico de alto valor nutritivo.

Para llevar a cabo la investigación se utilizó como materia prima el grano de amaranto. El grano está compuesto de dos fracciones: el perispermo y la cáscara/germen. Las dos fracciones se separaron con un molino de abrasión y luego por tamizado. El perispermo constituye un 67 % del grano, mientras que la fracción cáscara/germen constituye un 33 %. Esta segunda fracción contiene niveles relativamente altos de grasa (23.30 %) y de proteína (18.34 %) en comparación con los contenidos en el perispermo, por lo que se utilizó la fracción cáscara/germen como materia prima para extraer el aceite y preparar un concentrado de proteína.

Utilizando un aparato Soxhlet (aparato en el cual se hace reflujar el solvente para que extraiga la máxima cantidad de grasa de la muestra) y hexano como solvente, se extrajo el aceite de la fracción cáscara/germen. De esta etapa del proceso se obtuvieron dos productos: el aceite crudo, al evaporar el solvente y la harina residual.

La harina original (germen/cáscara) contiene 19.68 % de proteína -en promedio y al eliminar la grasa, este valor aumentó a 25.64 %. Para concentrar más la proteína este producto se molió y tamizó con una malla 60 mesh. La proteína aumentó a 31.07 %. Este valor aunque fue alto no fue el

esperado (por lo menos 40 %), por lo que el producto se volvió a tamizar pero con una malla 80 mesh. Esta segunda tamizada dio un producto con un mayor contenido de proteína (34.56 %). Sin embargo el aumento de 3.49 % no justifica las dos etapas de molienda y tamizado intermedias que se deben realizar para concentrar la proteína. Con base en esto se hicieron análisis de proteína en las fracciones que no habían pasado las mallas de 60 y 80 mesh. Los resultados obtenidos fueron 15.64 % y 19.26 %, respectivamente. Esto demostró que la separación hecha con la molienda y el tamizado no fue tan eficiente para concentrar la proteína. Aun así el contenido de proteína en el producto final fue alto y el rendimiento aceptable (64.07 %), por lo que se aconseja la aplicación del concentrado en el campo nutricional. Para lograr una mayor concentración de proteína se podría sustituir la molienda y el tamizado por una separación de las partículas por medio de clasificadores de aire.

Se realizaron varias pruebas funcionales para ver las posibles aplicaciones del producto. La absorción de grasa del concentrado de proteína es de 1.50 ml. de aceite / gr. de muestra. La absorción de agua es de 1.46 gr. de gel / gr. de muestra. La solubilidad de nitrógeno (proteína) en agua depende del pH del medio, por lo que se hicieron dos análisis. El primero al pH del agua desionizada (5.3) y el segundo a un pH de 7.0. Los resultados de solubilidad para un pH de 7.0 fueron mejores que los de pH=5.3, (34.78 %

contra 29.53 % respectivamente). La espuma que formó el concentrado de proteína fue abundante y estable.

La última etapa de la investigación fue la purificación del aceite crudo del grano de amaranto. El aceite crudo es de color ambar y un poco turbio. El primer paso fue la eliminación de gomas y ceras, que se logró por medio de calentamiento con agua, enfriamiento y centrifugación. El resultado de esta etapa fue muy bueno ya que eliminó la turbidez del aceite y lo aclaró más. La recuperación fue de 80.62 % respecto del aceite crudo. Debido a que la acidez del aceite de amaranto es alta (14.6 %), la etapa de refinación es esencial para neutralizar los ácidos grasos libres. Esto se logró con una recuperación de 70.91 % respecto del aceite crudo que se tenía al inicio. Esta etapa clarificó más el aceite. La última etapa del proceso del aceite fue el blanqueado. Este se hizo calentando el aceite con una arcilla blanqueadora llamada "Tierra Pure flo Supreme". El aceite refinado se tornó un poco más claro. Sin embargo, surgió el problema de que el rendimiento disminuyó de 70.91 % para la etapa de refinación a 47.03 % para esta última etapa.

El aceite de amaranto puede compararse con otros aceites comestibles que están en el mercado como el de maíz, tanto en apariencia física como en composición química. Basándose en esto se puede afirmar que el aceite de amaranto puede ser de ayuda para cubrir la demanda de aceite comestible que existe. El único factor que tiende a afectar esto es el precio del

amaranto, ya que es mucho mayor que el del maíz, aunque el rendimiento de obtención del aceite de amaranto puede llegar a ser 1.64 veces que el del maíz al optimizar el proceso de extracción y refinación.

I. INTRODUCCION

El consumo de aceites comestibles en Guatemala se ha estimado que está alrededor de 20 gramos/persona/día (Instituto Nacional de Estadística), lo que equivale a una ingestión promedio de 7.3 Kg/persona/año. Para cubrir esta demanda, el país ha dependido del cultivo del algodón, ya que del mismo se puede extraer aceite comestible de la semilla que queda después de la remoción de la fibra. Debido a los problemas agrícolas en la producción de algodón este cultivo ha decaído sustancialmente en los últimos años. Es por esto que Guatemala ya ha logrado una producción importante de frijol soya, girasol, maní y palma africana. La industria de aceites y grasas ha utilizado el grano de soya y otros de los mencionados anteriormente para llenar parte de la demanda de la población de aceites y derivados. A pesar de esto, las necesidades actuales y futuras de aceite no se han podido cubrir. Estos hechos sugieren la importancia de encontrar otras fuentes de aceite que permitan cubrir las demandas futuras de esta fuente de calorías. Existen varias alternativas, siendo una de estas el grano de amaranto o bleado.

De acuerdo a estudios antropológicos, el grano de amaranto fue cultivado y utilizado por las civilizaciones mayas del pasado, pero por razones no bien definidas, el cultivo de este recurso ha desaparecido para fines prácticos, con la excepción del cultivo del amaranto como verdura. La semilla de amaranto está recibiendo mucha atención a nivel

mundial, ya que se ha demostrado que es un grano con características nutricionales excepcionales, significativamente superior a los cereales, leguminosas de grano y muchos otros productos de origen vegetal. Varios estudios han demostrado que el amaranto puede ser cultivado en Guatemala en diferentes zonas climáticas, con relativamente buenos rendimientos. La especie más adecuada para el país es el *Amaranthus cruentus*, la cual contiene en promedio 16 % de proteína y alrededor de 7.8 % de grasa. Para fines comparativos, el maíz contiene alrededor de 9.5 % de proteína y 4.0 % de aceite. Grano contra grano, no sólo el amaranto es superior al maíz en proteína y grasa, sino también lo es, en forma significativa, en la calidad de la proteína. La grasa en las dos semillas se encuentra concentrada en la fracción germen, y el germen de maíz constituye la materia prima para la obtención del muy solicitado aceite de maíz. En este caso, el grano se procesa para obtener almidón de maíz, para lo cual es necesario separar el germen, que con base en su alto contenido de aceite, ya constituye una materia prima apropiada para la extracción y refinación de aceite comestible. Aunque el mismo enfoque se podría aplicar a la semilla de amaranto, se ha demostrado que a través de una molienda sencilla se obtiene el germen separado del perispermo. Este proceso de separación concentra en forma física el aceite de amaranto.

constituyendo ya una materia prima adecuada para la extracción del aceite. El residuo de la extracción es un material con alto contenido de proteína de buena calidad para otros usos alimenticios, con o sin el perispermo, que puede ser usado como fuente de almidón o directamente en alimentación humana. Los resultados de varios estudios han indicado que el aceite de amaranto contiene un buen patrón de ácidos grasos comparable a los del aceite de maíz, algodón y soya. Además contiene esteroides y escualeno de potencial uso industrial.

Con base en lo expuesto anteriormente, el presente estudio se llevó a cabo con el fin de demostrar la factibilidad de producir aceite comestible de la semilla del amaranto y de ofrecer otros productos de alto valor alimenticio de este recurso.

II. ANTECEDENTES

A. La semilla de amaranto

El amaranto pertenece a la familia Amaranthaceae, que consiste de plantas herbáceas de crecimiento rápido, similares a las plantas de cereales. El amaranto es una planta anual de tallos suculentos cuando es tierno y algo fibroso. En estado de madurez puede medir hasta 2 metros de altura o más. Posee raíces bien desarrolladas con numerosas raíces secundarias. La planta tiene un eje central y tiende a ramificarse a media altura o desde la base del tallo. Las hojas son alternas y anchas; de forma elíptica con nervaduras pronunciadas. El color de la planta va desde el verde hasta el púrpura, con varios colores intermedios como el rojo, rosado y café. Las flores están dispuestas en panícula, la cual presenta en su madurez, una coloración bastante vistosa de amarillo, verde, rosado, rojo y púrpura. Entre sus características agrícolas está su resistencia a la sequía y a varios insectos, alta capacidad de fotosíntesis y producción de semilla (4). Su rendimiento es variable ya que va de 800 a 2800 kg/ha, dependiendo de la especie, la densidad de población, manejo agrícola y tipo de cosecha. La técnica manual de cosecha es la que proporciona mayores rendimientos. La planta de amaranto es bastante aprovechable, ya que tanto sus hojas como las semillas pueden servir como fuentes de alimentación. Las hojas sirven de alimentación como verdura y las semillas como cereales. Asimismo la planta entera con o sin semilla se utiliza en la alimentación porcina y de

ganado de carne y leche (10). En la Tabla 1 se presentan las diferentes especies de *Amaranthus*, sus usos principales y su lugar de origen.

Tabla 1: Usos y áreas de origen de las especies de *Amaranthus* (10).

Especie	Forma natural	Uso	Lugar de Origen
<i>A. blitum</i>	Cultivada	Verdura Ornamentación	Asia
<i>A. caudatus</i>	Cultivada	Grano Verdura Ornamentación	América del Sur (Andes)
<i>A. cruentus</i>	Cultivada	Grano Verdura	Guatemala
<i>A. dubius</i>	Cultivada Silvestre	Verdura	América del Sur
<i>A. hybridus</i>	Silvestre	Verdura	América del Sur
<i>A. hypochondriacus</i>	Cultivada	Grano Verdura	México
<i>A. retroflexus</i>	Silvestre	Verdura	América del Norte
<i>A. spinosus</i>	Silvestre	Verdura	Asia
<i>A. tricolor</i>	Cultivada	Verdura Ornamentación	Asia
<i>A. viridis</i>	Silvestre	Verdura	Africa

El amaranto es cultivado en Centroamérica, Sudamérica, México y en ciertas partes de Asia y Africa. Recientemente se ha informado que se está intensificando su cultivo en Rusia y China continental. Es un cultivo de crecimiento rápido y requiere de poco cuidado una vez está establecido. Además es resistente a la sequía.

La semilla de *Amaranthus cruentus* es de las más antiguas. Es una semilla de color claro a pesar de que hay

variedades de color oscuro. En la Tabla 2 se da la composición química de la semilla de amaranto.

Tabla 2: Composición química de la semilla de *Amaranthus cruentus* (10).

Análisis	Cantidad %
Humedad	6.23-6.71
Proteína cruda	13.2-17.6 *
Lípidos	6.3-8.1 **
Fibra cruda	3.4-5.3 **
Cenizas	2.8-3.6 **
Sodio	31.0 ***
Potasio	290 ***
Calcio	175 ***
Magnesio	244 ***
Hierro	17.4 ***
Zinc	3.7 ***
Cobre	1.2 ***
Manganeso	4.6 ***
Riboflavina	0.19-0.23 ***
Niacina	1.17-1.45 ***
Acido ascórbico	4.5 ***
Tiamina	0.07-0.1 ***
Tanina	0.043-0.13
Fitato	0.50-0.58

* base seca * 6.25

** base seca

*** mg/100 gr. base seca

Una ventaja que tiene el amaranto es que el porcentaje de proteína (13.2 % -17.6 %), es más alto que en la mayoría de granos comunes, excepto la soya y otras leguminosas de grano (9). Otra ventaja de este grano sobre semillas similares, es su contenido de lisina y amino ácidos sulfurosos, 5 % y 4.4 % (gramos/100 gramos de proteína), respectivamente.

La semilla de amaranto es pequeña y de forma ovalada. Su tamaño promedio es de 1.0 - 1.5 mm en diámetro y su peso promedio es de 0.6 - 1.2 g por cada 1,000 semillas. La semilla de amaranto está compuesta de dos partes que pueden ser separadas por el proceso de molienda. Las partes obtenidas son: la cáscara y el germen como una fracción y el perispermo. La primera representa el 26 % del peso del grano y la segunda fracción el 74 % del peso de la semilla. El análisis de la fracción cáscara-germen indica que ésta contiene nitrógeno, grasa, fibra y cenizas. Estos valores alcanzan de 2.3 a 2.6 veces las cantidades de nitrógeno, grasa, fibra y cenizas; de 2.4 a 3.0 veces las cantidades de tiamina, riboflavina y niacina; y de 1.4 a 2.5 veces el contenido de minerales de la semilla original antes de molerla.

La composición química de las partes físicas de la semilla de amaranto es distinta, particularmente en el contenido de grasa, proteína y fibra. Para fines del presente estudio se usó la fracción que contiene los niveles más altos en aceite. Esta porción es la cáscara con germen. La separación de las fracciones de la semilla se puede hacer en un molino perlador, el cual separa la cáscara-germen, del perispermo. Según los análisis realizados con cada una de las fracciones, la cáscara-germen tiene un alto contenido de cenizas, fibra, proteína y grasa. Por el contrario, el perispermo contiene niveles bajos de proteína y grasa, aunque

contiene cantidades significativas de almidones. La composición de cada una de estas fracciones es la siguiente:

Tabla 3: Composición química de las fracciones de la semilla de amaranto (5).

=====		
	Sustancia	Cantidad (%)
=====		
Cáscara + Germen	nitrógeno (proteína)	6.72 (42.0)
	grasa	19.2
	fibra	7.7
Perispermo	cenizas	7.0
	nitrógeno (proteína)	1.23 (7.7)
	grasa	2.3
Semilla entera	fibra	0.9
	cenizas	1.2
	nitrógeno (proteína)	2.96 (18.5)
	grasa	7.4
	fibra	3.3
	cenizas	3.2
=====		

En lo que respecta a vitaminas y minerales, la cáscara tiene un contenido mayor de éstos. Un factor importante de mencionar, es que se ha demostrado que la semilla de *Amaranthus cruentus* tiene el doble de calcio y cinco veces el hierro, si se le compara con el trigo. En lo referente a la proteína, la semilla de amaranto tiene un alto contenido de leucina, que de acuerdo a algunos investigadores, es un amino ácido limitante. Además contiene cantidades relativamente altas de lisina, por lo que la semilla de amaranto puede combinarse con los cereales deficientes en este amino ácido, para obtener un alimento rico en calidad de

proteína.

B. Aceite de la semilla de amaranto

La composición química del aceite de amaranto es similar a la del aceite de algodón y maíz. La tabla 4 muestra el contenido de ácidos grasos del aceite de amaranto en comparación con los del maíz, algodón y soya.

Tabla 4: Contenido de ácidos grasos en varios aceites (3).

Ácido graso	Amaranto (%)	Maíz (%)	Algodón (%)	Soya (%)
Palmitico (16:0)	19	13	25	11
Esteárico (18:0)	4	<4	3	4
Oleico (18:1)	24	35	17	27
Linoleico (18:2)	50	50	53	51
Linolénico (18:1)	1	<3	---	6
No saturados totales	77	83	70	85

Los análisis realizados sobre la grasa de la semilla de *Amaranthus* indican que los ácidos grasos principales son los triglicéridos del linoleico, oleico y palmitico, como se puede observar en la Tabla # 4. Además tiene un poco de ácido linolénico. Otros lípidos presentes son los fosfolípidos, glicolípidos, esteroides y el escualeno.

El ácido graso insaturado predominante en las semillas y el tronco es el linoleico; mientras que en las hojas es el linolénico. El ácido graso principal saturado predominante en la semilla, el tronco y las hojas es el ácido palmitico. La ausencia de ácido behénico y otros ácidos grasos

antinutricionales como el parinámico, indican que el amaranto se puede utilizar como fuente de energía sin ningún riesgo (11).

El aceite de amaranto contiene alrededor de 0.37 % de esteroides totales. De mucho interés es que el aceite contiene niveles relativamente altos de escualeno (6 - 8 %), que es el compuesto principal de la materia no saponificable, el cual es parcialmente removido durante la deodorización y winterizado del aceite.

La tabla 5 representa algunas propiedades del aceite de amaranto respecto de otros aceites.

Tabla 5: Propiedades químicas de los aceites (6).

Tipo de aceite	Acidez	Indice de saponificación	Indice de Yodo
Amaranthus cruentus	14.6	139	87.2
Algodón	1-5%	190-198	105-114
Maíz	1%	187	109-133
Soya	3%	189-195	127-138

La digestibilidad real del aceite crudo de amaranto es menor que la del algodón, según los análisis hechos con animales (6).

III. JUSTIFICACIONES

1. El amaranto es una semilla de alto potencial nutritivo. Su cultivo es sencillo para las condiciones predominantes de Guatemala y su contenido de nutrientes es alto en comparación con el contenido en los cereales.
2. Existe una demanda cada día mayor de aceites comestibles en el país. Una posible fuente es el amaranto, del cual se aprovecharía no sólo el aceite sino los residuos de extracción, que son altos en cantidad y calidad de proteína.
3. La obtención de un aceite de la calidad del aceite de amaranto puede ser un incentivo para la producción del grano de amaranto en el país.
4. La disponibilidad de un aceite como el del amaranto puede ser de beneficio a nivel industrial no sólo como aceite sino también en la elaboración de alimentos a base de aceite.
5. Con la extracción del aceite del grano de amaranto se obtiene un subproducto que es alto en contenido de proteína. La preparación de un concentrado proteico útil en el desarrollo de productos, puede ser un incentivo más para la extracción y refinación del aceite.

IV. OBJETIVOS

a) General

El objetivo principal de esta investigación es la extracción del aceite de *Amaranthus cruentus* y sus subproductos, para determinar sus posibles aplicaciones a nivel nacional, tanto en la industria como en el campo nutricional.

b) Específicos

1. Determinar el porcentaje de humedad, grasa y proteína de la semilla de *Amaranthus Cruentus* antes y después del proceso de molienda.
2. Determinar el rendimiento de molienda según las fracciones obtenidas de cáscara - germen y perispermo.
3. Llevar a cabo los procesos de eliminación de gomas y ceras, así como el refinado y blanqueado del aceite crudo del grano de amaranto.
4. Determinar el rendimiento del proceso utilizado para la extracción del aceite.
5. Llevar a cabo un análisis del rendimiento y composición química de ciertos subproductos como la harina residual del proceso de extracción, para determinar sus posibles aplicaciones.

V. PROBLEMA

El consumo de aceites comestibles en Guatemala es de 7.3 Kg/persona/año. Debido a que el cultivo de algodón a decaído sustancialmente en los últimos años por problemas agrícolas, es necesario encontrar nuevas alternativas que permitan cubrir las demandas futuras de esta importante fuente de calorías.

VI. METODOLOGIA

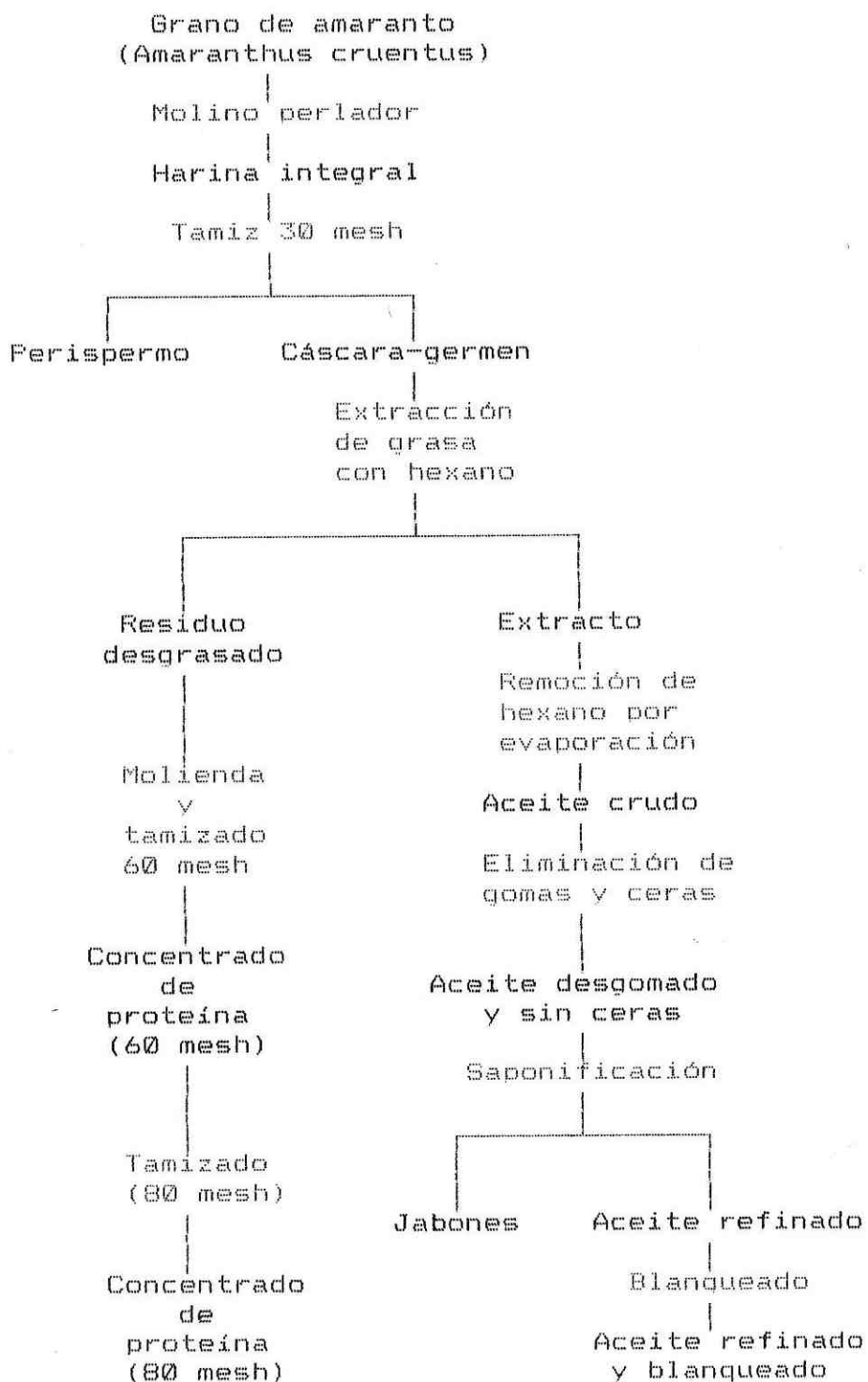
I. Experimentación

- A. Análisis químico de la semilla de amaranto.
- B. Balance de materia y análisis químico después del fraccionamiento de la semilla de amaranto en un molino perlador.
- C. Extracción del aceite de la fracción germen/cáscara con solvente.
- D. Análisis del rendimiento y composición de la harina residual.
- E. Concentración de la proteína en la harina residual.
- F. Análisis del rendimiento y composición del concentrado de proteína.
- G. Eliminación de gomas y ceras del aceite crudo.
- H. Refinación del aceite de amaranto.
- I. Blanqueado del aceite refinado.
- J. Análisis de rendimiento del aceite de amaranto.

II. Evaluación de la alternativa

Figura 1

Diagrama de flujo de la metodología



VII. RESULTADOS Y DISCUSION .

A. Proceso físico para obtener fracciones

El grano de amaranto está compuesto de varias fracciones como se puede observar en la Tabla # 6.

Tabla 6: Balance de materia para la separación de las fracciones (base natural)

Muestra	Masa (gr.)	Fracción %
Grano	1,000.00 ± 0.50	100.00
Perlado o Perispermo	673.64 ± 10.18	67.36
Germen / Afrecho	318.60 ± 7.62	31.86

La separación de estas fracciones se realizó en un molino perlador y al comparar los resultados obtenidos para cada fracción, éstos son similares a los citados en la bibliografía, donde la fracción perispermo o perlado forma 74 % de la semilla y la fracción germen/afrecho, el 26 % de la semilla (5). Según las pruebas experimentales para el grano molido de *Amaranthus cruentus*, el perispermo forma el 67.36 % de la semilla y la fracción germen/afrecho el 31.86 %. La diferencia que existe entre los valores se puede deber a que sólo se tamizó una vez cada batch para lograr un mayor rendimiento, mientras que en la literatura sugieren tamizar 5 veces cada batch (5). Asimismo, la diferencia podría ser

debido al equipo perlador y a la distancia entre los platos. Otro factor que influye en esta diferencia es que en la bibliografía utilizan como materia prima el grano de amaranto seco. Se puede observar de los resultados experimentales que la recuperación de productos es alta, (99.22 %), ya que no hubo mayor pérdida durante el proceso. En este caso se balanceó el rendimiento con la separación ya que al tamizar más veces el rendimiento disminuiría, aunque se obtendría una mejor separación de las fracciones.

La composición química parcial de las distintas fracciones de la semilla de *Amaranthus cruentus* juega un papel muy importante en el uso que se le da a cada una de ellas.

Tabla 7: Composición química parcial (base natural)

Muestra	Humedad %	Proteína %	Grasa %
Grano	13.04 ± 0.17	12.16 ± 0.09	6.87 ± 0.14
Perlado o Perispermo	8.88 ± 0.62	5.43 ± 0.00	0.77 ± 0.02
Germen / Afrecho	11.27 ± 0.81	18.34 ± 0.40	23.20 ± 0.47

En la Tabla # 7 se puede observar claramente que la fracción germen/afrecho es la que contiene la mayor parte de la grasa, 23.20% en comparación con 0.77 % de la fracción perispermo; y de proteína, ya que contiene 18.34 % de proteína en

comparación con 5.43 % del perispermo. Estos datos son similares a los informados por otros investigadores (5). Basados en estos resultados la experimentación se llevó a cabo sólo con la fracción germen/afrecho, ya que los costos de operación para recuperar la proteína y la grasa del perispermo serían demasiado altos para la cantidad que se obtendría de los mismos.

B. Preparación de un concentrado de proteína de la fracción germen/afrecho.

Considerando el porcentaje de proteína contenido en la fracción germen\afrecho se procesó esta parte de la semilla para obtener un concentrado rico en proteína. El proceso se basó en la separación del resto de componentes de la fracción germen/afrecho para ir concentrando poco a poco la proteína. La primera etapa fue la extracción del aceite para obtener una harina "desgrasada". Esto se hizo con un aparato Soxhlet y con hexano. Se puede observar en la Tabla # 8 que la mayor parte de esta fracción está constituida por esta harina desgrasada (85.33 %), mientras que sólo un 15 % está constituido de aceite.

Tabla 8: Balance de materia

Fracción	Masa (gr)	Rendimiento %
Germen / Afrecho	30.00 ± 0.24	100.00
Germen / Afrecho desgrasado	25.60 ± 0.50	85.33
Concentrado de proteína 60 mesh	22.31 ± 0.99	74.37
Fracción que no pasó 60 mesh	1.83 ± 0.17	6.10
Concentrado de proteína 80 mesh	19.22 ± 0.98	64.07
Fracción que no pasó 80 mesh	2.81 ± 0.12	9.37

Al eliminar la grasa, la proteína aumentó 5.96 % como se puede ver en la Tabla # 9.

Tabla 9: Composición química parcial (base natural)

Muestra	Humedad %	Proteína %	Grasa %
Germen / Afrecho	11.27 ± 0.81	19.68 ± 0.26	23.20 ± 0.87
Germen / Afrecho desgrasado	14.70 ± 0.28	25.64 ± 0.26	6.18 ± 0.25
Concentrado de proteína 60 mesh	12.65 ± 0.13	31.07 ± 0.17	5.32 ± 0.16
Concentrado de proteína 80 mesh	12.25 ± 0.02	34.56 ± 0.84	3.67 ± 0.17

Este aumento no fue tan alto como se esperaba, por lo que se

hizo un análisis de grasa a la muestra de harina desgrasada para ver qué tan eficiente había sido la extracción de aceite. En la Tabla # 9 se puede observar que la harina desgrasada tenía 6.18 % de grasa. Esto indica que la extracción de grasa sólo se logró hasta cierto punto y que la presencia de grasa en la harina "desgrasada" disminuyó el porcentaje de proteína. Como el porcentaje de proteína no fue tan alto como se esperaba, se procedió a moler la harina "desgrasada" con un cedazo de 1.0 mm que se aplica para partículas de 90-100 um. Antes de moler se podía observar que la harina estaba compuesta de dos fracciones, ya que en la muestra había una mezcla de dos colores. Después de moler, la muestra se pasó por un tamiz de 60 mesh. Esta separación física dio como resultado dos fracciones, una de las cuales era de color oscuro y otra de color claro. La pérdida de material durante la molienda y el tamizado disminuye el rendimiento del proceso ya que de los 25.60 gr. analizados sólo se recuperaron 24.14 g. Se puede observar en la tabla # 8 que el concentrado de proteína constituye 75.08 % de la harina "desgrasada". El rendimiento fue relativamente bueno ya que lo que se quería lograr era la separación de las dos fracciones.

Al analizar la proteína en el concentrado que pasó el tamiz de 60 mesh se obtuvo un resultado de 31.07 % que implica un aumento de 5.43 %. Una vez más este valor fue menor de lo que se esperaba, ya que se creía que se iba

obtener al menos un 40 % de proteína. Para verificar qué tan buena había sido la separación de las fracciones se volvió a tamizar una vez más la muestra, sólo que esta vez en un tamiz de 80 mesh para lograr una mejor separación. Esta separación concentró la proteína 3.49 % más, ya que se obtuvo un concentrado con 34.56 % de proteína. Los procesos de molienda y tamizado con malla 60 mesh no fueron tan eficientes ya que sólo lograron una separación parcial de las fracciones, por lo que parte de la fracción que no contenía proteína después de ser molida pudo pasar a través del tamiz, lo que contribuyó a que disminuyera el porcentaje de proteína. Además parte del germen que tenía que pasar a través del tamiz de 80 mesh no logró pasar, por lo que hubo una pérdida de fuente de proteína en esta fracción que no pasó el tamiz de 80 mesh. Esto fue confirmado por los valores obtenidos de los análisis de proteína para las fracciones que no pasaron el tamiz. En el caso del tamiz 60 el contenido de proteína en la fracción que no pasó fue de 15.64 % y en la que no pasó el tamiz de 80 mesh el contenido de proteína fue de 19.26 %. El contenido de proteína en esta fracción es alto y se debe a que parte de la fracción que no contiene proteína se pasó por el tamiz. Es por esto que se debe mejorar el método de separación de la fracción que contiene proteína, por lo que se sugiere hacerlo por medio de clasificación por aire. Este método permite hacer una separación de las dos fracciones sin hacer uso de la molienda lo que además de mejorar el

porcentaje de proteína aumenta el rendimiento del proceso. A pesar que el contenido de proteína no fue tan alto como se esperaba, sigue siendo alto respecto de otras harinas obtenidas a partir de otros granos.

Este concentrado se puede considerar de alto valor nutritivo por su contenido de amino ácidos esenciales (3) y por las pruebas biológicas en ratas (6) y pollos (1), por lo que se sugiere su uso en el campo nutricional. Para darse una idea de sus diferentes usos se realizaron varias pruebas funcionales.

Tabla 10: Pruebas funcionales del concentrado de proteína

Prueba	Condiciones	Resultados	Unidades
Solubilidad de nitrógeno en agua	ph = 5.3	29.53 ± 1.30	%
	ph = 7.0	34.78 ± 0.41	%
Absorción de grasa		1.50 ± 0.10	ml.aceite gr.muestra
Absorción de agua		1.46 ± 0.01	gr.de gel gr.muestra

Respecto de la solubilidad de nitrógeno en agua, se puede observar en la Tabla # 10 que se hicieron dos pruebas a distintos niveles de acidez. La primera prueba se realizó con agua desionizada a un ph = 5.3 obteniendo 29.53 % de solubilidad. Este valor podía aumentar un poco si el ph se variaba debido al punto isoeléctrico, por lo que se hizo una nueva prueba a ph = 7.0. Se puede observar en la tabla # 10

cruentus se facilita por la concentración de grasa en la fracción germen/afrecho, ya que hace posible una mayor eficiencia en la extracción con solvente. La eliminación del solvente es sencilla, ya que se lleva a cabo por destilación. El aceite crudo obtenido de la semilla de *Amaranthus cruentus* es opaco y de color ambar.

Tabla 12: Balance de materia en el aceite de amaranto

Muestra	Masa (gr)	Recuperación %
Aceite crudo	20.90 ± 0.90	100.00
Aceite sin gomas y ceras	16.85 ± 0.45	80.62
Aceite refinado	14.82 ± 0.22	70.91
Aceite blanqueado	9.83 ± 0.02	47.03

La turbidez que se observaba en el aceite desapareció al eliminar las gomas y ceras. Este proceso da una mayor claridad al aceite y no disminuye considerablemente el rendimiento, ya que las gomas y ceras sólo constituyen el 6.51 % del aceite crudo. Esta etapa es necesaria para darle al aceite una mayor claridad, ya que mejora su apariencia física pudiéndose comparar con otros aceites como el de maíz. La segunda etapa en el proceso del aceite fue la refinación del aceite que se llevó a cabo para eliminar los ácidos grasos libres. En esta etapa el aceite de amaranto tiene una desventaja ya que su acidez es mayor que la de la mayoría de

aceite de otras fuentes, como se puede observar en el Tabla 5. Es por esto que la etapa de refinación también se considera necesaria no sólo para su aspecto físico sino también para disminuir su acidez. Después de esta etapa el aceite se calentó con arcillas blanqueadoras (Tierra Pure Flo Supreme) para mejorar el color del aceite. Esta tierra contiene elementos catalizadores que hacen más rápido el proceso de blanqueado y además se usa en menor cantidad que las tierras corrientes. Esto es una ventaja, ya que en la mayoría de casos cuando se utilizan las tierras corrientes se les debe agregar carbón activado (7), lo que incrementa el precio del proceso. En la tabla 12 se puede observar que este proceso reduce considerablemente el rendimiento, ya que implica una etapa de filtración en la cual se pierde parte del producto; además, las arcillas blanqueadoras también absorben parte del producto. Aún así esta etapa le dio más claridad al aceite. La extracción del aceite en las condiciones a las que se llevó a cabo da, desde el inicio, un aceite de color amarillo poco turbio, por lo que no se aconseja realizar la última etapa de blanqueado ya que disminuye mucho el rendimiento, aunque la claridad sí aumenta un poco.

No se analizó la composición química del aceite ya que existen investigaciones del contenido de ácidos grasos, materia insaponificable, y esteroides del aceite de amaranto (3). La Tabla 4 presenta datos del contenido de ácidos

grasos del aceite del germen del maíz y del germen/afrecho del amaranto. Se puede observar que los dos son similares, en particular en ácidos grasos no saturados como el linoleico y linolénico. Esto favorece al aceite de amaranto, ya que se sabe que el aceite de maíz es de alta demanda.

El aceite de *Amaranthus cruentus* tiene una digestibilidad de 91.7 % al lado de 98.7 % para el aceite de algodón (6) por lo que podría utilizarse como ayuda para cubrir la demanda de aceites que existe en el mundo y en particular en Centroamérica. El porcentaje de grasa que tiene la semilla de amaranto es de 6.87 % en promedio, como se observa en la Tabla 7. Este valor es más alto que el del trigo, arroz y maíz (3), con valores de 2.0 %, 2.2 % y 4.5 % respectivamente. Por otro lado, el aceite de maíz se obtiene del germen de maíz con procesos similares a los estudiados en este trabajo con el germen/afrecho de amaranto. La Tabla 13 presenta datos de la literatura sobre el peso del germen/cáscara del maíz respecto del grano completo de maíz; y los datos del presente estudio del grano de amaranto.

Tabla 13: Comparación entre el rendimiento del aceite de amaranto y el de maíz

Grano	Fracción Germen-Afrecho % del grano	% Grasa	Gramos de aceite
Maíz	18.0	24.9	4.5
Amaranto	31.9	23.2	7.4

La fracción germen/afrecho en el amaranto es mayor a la fracción germen/cáscara en el maíz. El contenido de aceite en este último es de 24.9 % en promedio, en contra de un valor del 23.2 % para el germen/afrecho de amaranto, con lo cual se puede obtener en teoría 1.64 veces más de aceite de la fracción germen/afrecho de amaranto que de maíz. Sin embargo, el problema radica en el hecho que el precio del maíz es significativamente inferior al del amaranto (4 veces), lo cual no compensaría el aceite adicional que se pudiera obtener. Esto podría cambiar si el precio del grano de amaranto se reduce a niveles comparables a los del maíz.

Considerando todo lo expuesto anteriormente, se puede decir que el amaranto tiene un gran potencial, tanto en el campo de los aceites, como en el campo nutricional por el alto contenido de proteína de la harina residual.

VIII. CONCLUSIONES

- A. Con un molino de abrasión se pueden preparar dos fracciones físicas del grano de amaranto que son diferentes en composición química.
- B. La fracción germen/cáscara es rica en aceite y proteína por lo que se puede usar como materia prima para obtener aceite y un concentrado de proteína.
- C. A través de los procesos de molienda, tamizado y desgrasado se puede concentrar la proteína de 19.68 % a 34.56 %.
- D. El concentrado de proteína del grano de amaranto tiene una absorción de grasa de 1.50 ml. de aceite/g. de muestra; una absorción de agua de 1.46 g. de gel/g. de muestra (esta unidad se lee gramo de gel por gramo de muestra) y tiende a formar una espuma abundante y estable. La solubilidad de proteína (nitrógeno) en agua a un pH de 7.0 es de 34.78 % en peso.
- E. El aceite crudo se pudo refinar como se hace con el aceite de maíz dando rendimientos aceptables y características de calidad similares a éste.
- F. A pesar de que la fracción germen/cáscara de amaranto es mayor en peso y en contenido de grasa que en el maíz, todavía no es rentable su producción.

IX. RECOMENDACIONES

- A. Realizar un estudio para las posibles aplicaciones prácticas de la fracción perispermo, ya que constituye un 67.36 % del grano de amaranto.
- B. Promover el cultivo del grano de amaranto en Guatemala para lograr una reducción del precio a niveles competitivos, para que el aceite pueda ser un posible sustituto de otros aceites como el de maíz.
- C. Hacer un estudio con un enfoque industrial del proceso de extracción de aceite de la semilla de amaranto.
- D. Determinar las condiciones óptimas de molienda y tamizado para separar las distintas fracciones del grano de amaranto.
- E. Investigar otros procesos de separación de las fracciones de la harina residual "desgrasada" para obtener un concentrado con mayor contenido de proteína.
- F. Determinar el proceso y las condiciones óptimas para la extracción del aceite presente en la fracción cáscara/germen, ya que con esto se maximiza tanto el rendimiento del proceso del aceite como el contenido de proteína en la harina residual.
- G. Considerar las aplicaciones prácticas del concentrado de proteína del amaranto en el campo nutricional.

X. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Acar, N. et.al. Nutritional evaluation of grain amaranth for growing chickens. 1988 Poultry Sci. 67:1166.
- 2.- AOCS. Official and tentative methods of the American Oil Chemists' Society. 1973 Champaign, IL.
- 3.- Becker, R. Preparation, Composition, and Nutritional Implications of Amaranth Seed Oil. 1989 Cereal foods World 34:950-963.
- 4.- Becker, R., Wheeler, E.L., Lorenz, K., Stafford, A.E., Grosjean, D.K., Betschart, A.A., v Saunders, R.M. A compositional study of amaranth grain. 1981 Journal of Food Sci. 46:1174.
- 5.- Betschart, A.A., Irving, D.W., Shepherd, A.D., v Saunders, R.M. Amaranthus cruentus: Milling characteristics, distribution of nutrients within seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. 1981 J. Food Sci. 46:1181.
- 6.- García, L.A., Alfaro, M.A. y Bressani, R. Digestibility and nutritional value of crude oil from three amaranth species. 1987 J. Am. Oil Chem. Soc. 64:371.
- 7.- Lyon, C.K. y Becker, R. Extraction and refining of oil from amaranth seed. 1987 J. Am. Oil Chem. Soc. 64:233.
- 8.- Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12th edn., 1975 AOAC, Washington, DC.
- 9.- Pant, K.C. The nutritional quality of grain amaranth. 1983 Nutr. Rep. Int. 28(6) 1445-1456.
- 10.- Teutonico, R.A. v Knorr, D. Amaranth: Composition, properties, and applications of a rediscovered food crop. 1985 Food Technology. 39:49.
- 11.- Tudor, F. y Bean, G. Fatty Acids and Sterols of Amaranthus tricolor L. 1984 Food Chemistry. 15:233.