

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ciencias Agrícolas

76
UVF
Agro
M42m
1985

EL AMARANTO, SU CULTIVO Y EVALUACION NUTRICIONAL DE UN
ALIMENTO PRODUCIDO POR EXTRUSION

Carlos Enrique Mendoza Montano

GUATEMALA
1985

EL AMARANTO, SU CULTIVO Y EVALUACION NUTRICIONAL DE UN
ALIMENTO PRODUCIDO POR EXTRUSION

Vo. Bo.

(f) Ricardo Bressani
Dr. Ricardo Bressani (Ph.D.)
Asesor

Comité de Tesis

(f) Ricardo Bressani
Dr. Ricardo Bressani (Ph.D.)

(f) Concepción M. de Bosque
Licda. Concepción M. de Bosque

(f) _____
Ing. Agr. Manuel del Valle (Ms.Sc.)

Agradezco la valiosa colaboración de las personas e instituciones que me ayudaron a realizar este trabajo.

Al Dr. Ricardo Bressani por sus enseñanzas, orientación y estímulo para desarrollar el presente trabajo.

Al personal de la División de Química Agrícola y Ciencias de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), por toda la ayuda prestada.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	5
A. El Cultivo de Amaranto	5
1. Características botánicas	5
2. Distribución mundial y ecología	6
3. Características agronómicas	7
B. El grano de Amaranto	9
1. Morfología	9
2. Composición Química	10
3. Procesamiento del grano	14
C. Industrialización del grano de Amaranto	15
D. Extrusión	16
III. MATERIALES Y METODOS	19
A. Trabajo de Campo	19
B. Extrusión	24
C. Ensayos biológicos	26
D. Pruebas físico-químicas	27
E. Hidrólisis de almidón	28
F. Preparación de la bebida instantánea	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	31

	Página
A. Trabajo de Campo	31
1. Siembra	31
2. Germinación	31
3. Fertilización	31
4. Floración	31
5. Cosecha	32
6. Enfermedades	32
7. Rendimiento de grano	34
8. Análisis químico proximal	38
B. Extrusión	38
C. Ensayos biológicos	41
D. Pruebas físico-químicas	45
E. Hidrólisis de almidón	55
F. Preparación de la bebida instantánea	58
V. CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	62

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Comparación del rendimiento del Amaranto con algunos cereales y leguminosas.	8
2.	Comparación entre la composición química del grano de Amaranto y tres especies de cereales.	11
3.	Contenido de proteína, aminoácidos limitantes y puntaje de proteína de diferentes granos.	13
4.	Condiciones de procesamiento de las muestras obtenidas por el proceso de extrusión.	25
5.	Receta para bebida instantánea de Amaranto.	30
6.	Rendimiento de grano de la variedad GUA-17.	35
7.	Rendimiento de grano de CAC-38.	36
8.	Composición química proximal de los granos de las variedades GUA-17 y CAC-38.	38
9.	Porcentaje de nitrógeno, proteína y humedad de las muestras obtenidas por extrusión.	39
10.	Resultados de aumento de peso de las ratas, alimento consumido, cantidad de proteína ingerida y NPR.	41
11.	Resultados de NPR, digestibilidad verdadera y lisina disponible.	42
12.	Características funcionales de harinas crudas y extruídas de Amaranto.	45

Cuadro		Página
13.	Temperatura y Unidades Bravender alcanzadas por pico máximo de viscosidad de las harinas crudas y extruídas.	50
14.	Estabilidad de suspensión de harinas de GUA-17 ext 1 a 5%, 10%, 15% y 20%.	52
15.	Estabilidad de suspensión de harinas de GUA-17 ext 2 a 5%, 10%, 15% y 20%.	53
16.	Estabilidad de suspensión de harinas de CAC-38 ext a 5%, 10%, 15% y 20%.	54
17.	Características físico-químicas y nutricionales de las harinas de GUA-17 ext 1 y GUA-17 hidrolizada.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución de parcelas en el ensayo de campo.	20
2.	Parcelas de la variedad GUA-17 en el momento de su cosecha.	22
3.	Corte de inflorescencia de la variedad GUA-17 e introducción de las mismas en sacos.	23
4.	Curvas amilográficas de harinas crudas y extruídas de GUA-17.	48
5.	Curvas amilográficas de harina cruda y extruída de CAC-38.	49

RESUMEN

En el municipio de Villa Canales se sembraron dos variedades de amaranto; la variedad GUA-17 de la especie Amaranthus cruentus y la variedad CAC-38 de la especie Amaranthus caudatus, con el objeto de comparar rendimientos de grano. Con la variedad GUA-17 se obtuvo un rendimiento de 64.74 kilogramos/240 m², significativamente superior al rendimiento de 15.11 kilogramos de la variedad CAC-38.

Los granos obtenidos en la cosecha anterior fueron procesados por extrusión en el Brady Crop Cooker. Con el material procesado se realizaron ensayos biológicos de NPR con ratas, para establecer el efecto del proceso de extrusión sobre el valor nutritivo del grano. Los granos de la variedad GUA-17 fueron sometidos a dos temperaturas de procesamiento. En todos los casos se encontraron aumentos en el valor nutritivo con el procesamiento. En GUA-17, se observó diferencias en el valor nutricional de las muestras procesadas a diferentes temperaturas. La muestra cocida a mayor temperatura tuvo un NPR mayor.

A las harinas crudas y extruídas se les realizó pruebas de índice de absorción y retención de agua, viscosidad amilográfica, almidón dañado y lisina disponible. Los resultados indicaron que por extrusión se obtuvo un producto muy soluble en agua, con alta viscosidad y con un alto grado de gelatinización.

Con el objeto de aumentar la fluidéz de la mezcla de las harinas extruídas con agua, se hidrolizó el almidón de las harinas a través de enzimas contenidas en granos germinados de amaranto. Ensayos biológicos y análisis químicos indicaron que el proceso de hidrólisis no afectó el

valor nutricional del producto.

Con la harina extruída se preparó una bebida instantánea, siguiendo una receta para preparar horchata de harina de arroz.

I. INTRODUCCION

El amaranto es una planta que probablemente tiene su origen en el continente americano. El grano del amaranto fue parte importante de la alimentación de los pueblos americanos antes de la llegada de los conquistadores españoles. A partir de esa época el uso del amaranto empezó a declinar, hasta su casi completa desaparición (25).

Fue hasta hace unos años que investigadores de distintas partes del mundo (24) empezaron a descubrir el potencial que tiene el amaranto como una fuente de alimento para el ser humano, por el alto valor nutritivo, tanto de sus hojas, como de su semilla.

Se ha observado que la proteína del grano de amaranto contiene niveles aceptables de los aminoácidos lisina, triptofano y metionina (32), a diferencia de lo que sucede con cereales y leguminosas de uso común. Eso ha hecho pensar que el grano de amaranto se podría usar en combinación con los granos de cereales y leguminosas para mejorar la calidad de la proteína ingerida por los habitantes de los países en desarrollo.

Además del alto valor nutritivo del amaranto, también la planta presenta algunas ventajas de tipo agrícola, como son, altos rendimientos, relativa resistencia a la sequía y tiempo corto para obtener producción (17).

Guatemala es centro de origen de algunas especies de amaranto. Actualmente el uso del grano está reducido a unas pequeñas zonas de Guatemala; sin embargo, la hoja tierna de algunas especies (bledo) se consumen por los habitantes rurales de varias regiones del país (15).

Lo anterior hace pensar como muy factible, el uso de algunas variedades de origen guatemalteco en la producción de grano.

Algunos investigadores (5, 8) han reportado que con el cocimiento aumenta el valor nutritivo del grano de amaranto. Lo que sugiere que el grano crudo contiene ciertos factores termolábiles que hacen que la proteína no esté del todo disponible, o que existen sustancias que interfieren con su aprovechamiento.

El proceso de extrusión es un sistema que ha sido muy usado para procesar granos de cereales y leguminosas. Este sistema ha demostrado tener ventajas sobre los demás en cuanto a la calidad de los productos obtenidos, así como ahorro de combustibles y mano de obra. En este proceso, los materiales sufren gelatinización, mezcla, cocción, expansión y secado (1, 30). Hasta el presente no se ha encontrado reportado ningún estudio en el que el grano de amaranto se someta a extrusión.

En vista de lo anterior se decidió procesar el grano de amaranto por extrusión y estudiar el efecto que produjo sobre el valor nutritivo y sobre las características funcionales del grano.

Con el producto extruído se pensó formular una bebida instantánea de buenas características organolépticas y de alto valor nutritivo. Los primeros ensayos indicaron que era necesario hidrolizar el almidón de las harinas si se deseaba obtener un producto con buena fluidéz. Para lo cual se decidió usar las enzimas producidas naturalmente en el proceso de germinación de la misma semilla de amaranto. Al final se analizó los cambios químicos y nutricionales que ocasionaban este proceso, sobre las harinas anteriormente extruídas.

Los objetivos de este trabajo son:

A. Generales:

1. Producir grano de amaranto a través de la siembra de dos variedades de amaranto, Amaranthus cruentus GUA-17 y Amaranthus caudatus CAC-38.
2. Evaluar el efecto del proceso de extrusión sobre el valor nutritivo del grano de amaranto.
3. Caracterización funcional de las harinas producidas por extrusión y su posible aplicabilidad en la elaboración de productos para el consumo humano.

B. Específicos:

1. Comparar los rendimientos de grano de GUA-17 y CAC-38 en la región de Villa Canales, Guatemala.
2. Determinar diferencias en el valor nutritivo de la proteína de harinas crudas y extruídas.
3. Evaluación de las características funcionales de las harinas de amaranto producidas por extrusión.
4. Establecer si es posible, utilizar granos germinados de amaranto para hidrolizar el almidón de las harinas de amaranto extruídas.
5. Determinar cambios químicos y nutricionales que se producen al hidrolizar el almidón de las harinas.
6. Desarrollar una bebida instantánea a partir de las harinas extruídas.

En este trabajo se plantean los siguientes hipótesis:

1. En la región de Villa Canales es posible obtener buenos rendimientos de grano de amaranto.

2. El proceso de extrusión aumenta el valor nutritivo del grano de amaranto y le otorga buenas características funcionales.
3. Es posible utilizar granos de amaranto germinados para hidrolizar el almidón de las harinas extruídas.
4. El hidrolizado del almidón no afecta el valor nutritivo de los productos extruídos de amaranto.

II. REVISION DE LITERATURA

A. El Cultivo del Amaranto

"Tres familias de vegetales: Chenopodiaceae, Polygonaceae y Amaranaceae constituyen un interesante grupo de plantas conocidas en la terminología vulgar como pseudocereales, quizá porque producen grano o semilla del tipo común en los cereales, pero de tamaño más pequeño. En dicho grupo está comprendido el género Amaranthus con más de cincuenta especies. Algunas especies han sido utilizadas por la humanidad desde tiempos muy remotos, solas o asociadas a otras semillas para elaborar productos alimenticios de estimable calidad.

En las altiplanicies de varias regiones de América y Asia, se cultivó extensamente el Amaranto hasta llegar a constituir un importantísimo rubro de su economía primitiva. Sin embargo, por razones esencialmente de carácter religioso y no técnico, su cultivo empezó a declinar en forma acelerada desde el siglo XVII, hasta que en la actualidad sólo dos países, la India y México, lo conservan celosamente aunque a escala muy precaria. En otros países que otrora lo practicaron con intensidad, ya casi se ha olvidado " (31).

"Los indios mayas de México y Guatemala fueron quienes lo adaptaron como cultivo de alto rendimiento. No obstante, para los aztecas tuvo aún más importancia, pues formaba parte de sus tradiciones y ceremonias religiosas. Durante la conquista y el coloniaje español el cultivo casi se extinguió y desde entonces se supo poco sobre él" (23).

1. Características botánicas

"El género Amaranthus comprende hierbas anuales precumbentes o

erectas, con hojas simples, alternas, enteras y largamente pecioladas. Plantas generalmente matizadas con un pigmento rojizo llamado Amarantina, algunas formas cultivadas son intensamente coloreadas. Las flores son universales, monóicas o dióicas, en densos racimos situados en las axilas de las hojas, en algunas especies, en tirso terminales, densos, sin hojas; cada dicacio lleva una bractea persistente de punta espinosa. Pétalos libres, 3-5, en flores estaminadas, 0-5 en flores pistiladas. Estambres libres de 3 a 5. Utrículo circunscísil o indehiscente. Semilla lenticular, pardo oscuro o blanco, con el embrión enrollado alrededor de un endospermo amiloso " (31).

2. Distribución mundial y Ecología del cultivo

"El cultivo debe ser dividido de acuerdo a su uso como vegetal verde y a su uso como grano, ya que las variedades aptas para cada uso difieren alrededor del mundo. Como cultivo verde se encuentra principalmente en los trópicos lluviosos de baja elevación, se encuentra en las regiones húmedas de Africa, Indonesia, República Popular de China y en algunas regiones de Sud América. El amaranto para grano se cultiva principalmente en la porción occidental de Sud América, Centro América, México, India y Nepal " (18).

Existen varias regiones americanas donde los amarantos se cultivan para grano, cada uno con su propia especie peculiar. Amaranthus hypocondriacus en México y Suroeste de Estados Unidos de América, Amaranthus cruentus en Guatemala, Amaranthus caudatus en Perú y Bolivia y Amaranthus edulis en Argentina. Parece existir algo de difusión de especies entre los centros mexicano y guatemal-

teco y entre los andinos y el argentino, pero en general, los rangos de las especies en el Nuevo Mundo están bien determinados.

"El amaranto crece desde climas tropicales húmedos hasta climas templados de relativa altitud. La semilla requiere temperaturas de 18°C o más en el suelo para germinar. Para obtener crecimiento óptimo de la planta se necesita buena humedad, especialmente en las primeras fases del crecimiento. Cuando se ha alcanzado suficiente crecimiento vegetativo, la planta es bastante resistente a condiciones de sequía " (18).

La planta puede desarrollarse bien sobre un amplio rango de condiciones de suelos, desde los muy ácidos, hasta suelos muy salinos; desde suelos con una textura muy arenosa hasta suelos de textura fina (18).

3. Características Agronómicas

El amaranto tiene muy bajos requerimientos de agua. Está clasificado como una planta resistente a la sequía. Requiere bastante menos agua que el maíz, trigo y otros cereales (29).

Según Hauptli (17), el amaranto es un cultivo con algunas ventajas desde el punto de vista agrícola: Primeramente, la mayor parte de especies fijan carbono por el mecanismo C₄. El mecanismo C₄ es mucho más eficiente que el C₃; plantas con C₄ usan aproximadamente 3/5 de la cantidad de agua que utilizan las plantas C₃ para producir la misma cantidad de material vegetal. Segundo, la mayoría de especies silvestres de amaranto son muy resistentes a la sequía, probablemente debido a la longitud de su sistema de raíces. La abundancia de proteína en hojas y semillas, así como

de la alta concentración de nitratos en las vacuolas de las células indican alta eficiencia en fijación de nitrógeno.

Desde el punto de vista económico, el Amaranto tiene el atractivo de sus altos rendimientos, comparando con el rendimiento de otras plantas productoras de grano. A continuación se compara el rendimiento de amaranto en kilogramos por hectárea con el de otros cultivos.

Cuadro 1. Comparación del rendimiento de amaranto con algunos cereales y leguminosas.

Cultivo	Rendimiento Promedio Kg/ha
Cebada	2,000
Avena	1,700
Maíz	4,500
Trigo	1,800
Soya	1,580
Amaranto	3,900

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) 1974.

Ensayos de rendimiento efectuados en la granja experimental Organic Gardening and Farming de Filadelfia demostraron que un metro cuadrado de amaranto puede producir un kilogramo de semillas. Bajo condiciones ideales estos rendimientos podrían aún ser mayores (31).

"En estudios llevados a cabo en Etiopía, fertilizados con 200 Kg/ha de nitrógeno, se obtuvo un rendimiento de 6.3 toneladas/ha., comparado con 1.7 Ton/ha de la cebada y 2.7 Ton/ha del triticale.

Luego del desarrollo algo lento de la plántula, el amaranto crece en forma rápida y ahoga las malezas competidoras. En un experimento en el que tres lotes se mantuvieron libres de maleza, el amaranto rindió 4.8 Ton/ha, el trigo y el triticale dieron 2.7 y 2.6 Ton/ha, respectivamente. Cuando las malezas no se combatieron del todo, los rendimientos del trigo y triticale cayeron en un 75%, pero el del amaranto bajó apenas 8%.

Esos experimentos parecen indicar que el amaranto está especialmente adecuado para países en desarrollo donde la disponibilidad de ciertos factores de producción como fertilizantes y herbicidas es limitada " (23).

B. El grano de amaranto

1. Morfología

"Las semillas de amaranto, de forma lenticular, son muy pequeñas, ya que tienen un diámetro de 1 a 1.5 milímetros y un peso de 0.6 a 1.0 gramo por 1,000 semillas. Las semillas tipo grano, generalmente tienen colores pálidos, pero el color puede variar desde blanco, hueso a beige, pardo claro rojo, pardo y negro.

El embrión (germen) circunda el perispermo en uno de sus cantos. La envoltura de la semilla y el perispermo están firmemente unidos el uno al otro, pero son susceptibles de separar por molienda abrasiva. El revestimiento de la semilla es una capa delgada y única, cuya porción exterior contiene el pigmento que imparte color a la semilla.

Los cuerpos proteínicos están ubicados en los tejidos embrionicos y del endospermo, pero el tamaño de la célula y del cuerpo proteínico varían. En el perispermo la proteína se presenta en forma de depósito entre los pequeños gránulos amiláceos " (5).

3. Composición química

Varios autores reportan resultados similares en cuanto a la composición química del grano y a su potencial como alimento humano: Según Sánchez (31), el grano de amaranto tiene un promedio de 14.7% de proteína, 3.1% de grasa y 60.7% de carbohidratos, 510 miligramos de calcio, 397 miligramos de fósforo y 11 miligramos de hierro. Según el mismo autor, lo más importante del grano es la calidad de su proteína, que es rica en los aminoácidos lisina y metionina, los cuales, como es bien sabido, tienen una proporción que limita el valor biológico de los cereales y leguminosas.

Becker et al (6) reportaron valores de 16 por ciento de proteína, 7.5 de grasa, 60 de carbohidratos, y 2.4 por ciento de fibra.

A continuación se compara la composición química del amaranto con tres especies de cereales.

Cuadro 2. Comparación entre la composición química del grano de amaranto y tres especies de cereales.

	Proteína %	Grasa %	Carbohidrato %	Fibra %
Amaranto	16	7.5	60	2.4
Maíz	10	4.3	73	1.8
Arroz	7	1.9	77	0.9
Trigo	10	2.2	67	2.3

Fuente: Becker, et al (6).

"El contenido de proteína del grano de amaranto es 15% en promedio, lo que es un valor alto comparado con otros granos. La proteína del maíz, trigo, arroz son deficientes en el aminoácido esencial lisina y la proteína de las leguminosas es deficiente en aminoácidos azufrados. El amaranto es rico tanto en lisina como en aminoácidos azufrados. Además, la composición de aminoácidos de la proteína de amaranto corresponde en forma más estrecha a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (OMS y FAO).

Los aminoácidos treonina, leucina, isoleucina, valina están en niveles menores a los recomendados por FAO y OMS, pero esos aminoácidos están en cantidades adecuadas en los cereales de uso común. Por tanto, el grano de amaranto combinado con los cereales pueden

proveer una proteína que se aproxima a los valores standard recomendados por FAO y OMS (32). "

Estudios llevados a cabo por diversas investigaciones, muestran al aminoácido leucina, como el aminoácido limitante (13, 32) a diferencia de los cereales que presentan el aminoácido lisina y las leguminosas que presentan a los aminoácidos azufrados como limitantes. El puntaje de proteína (score) se determina por la menor razón entre el contenido de aminoácido del grano en comparación al nivel de ese aminoácido recomendado por FAO y OMS. La razón es multiplicada por 100 para dar el puntaje o score de la proteína (22).

Cuadro 3. Contenido de proteína, aminoácidos limitantes y puntaje de proteína de diferentes granos.

	% Proteína	Aminoácido limitante	Score de Proteína
Amaranto	15	leucina	67
Cebada	9	lisina	58
Maíz	9	lisina	35
Avena	15	lisina	62
Arroz	7	lisina	69
Frijol Soya	34	A. azufrados	89
Trigo	14	lisina	47

Fuente: Senft (32)

"La composición de la semilla de amaranto varía con las prácticas agronómicas. La mayoría de investigadores han observado un contenido de 62-69% de almidón, 14 a 15% de proteína, 2-3% de azúcares totales, 6-7% de lípidos, 3% de cenizas. Por consiguiente, el almidón es el principal componente del perispermo, así como el componente más abundante de carbohidrato de la semilla de amaranto. El almidón está constituido principalmente por amilopectina, con sólo 5 a 7% de amilosa.

El pequeño tamaño del gránulo y el alto contenido de amilopectina pueden tener aplicaciones únicas en la fabricación de productos tales como aerosoles y pastas " (5).

Según Becker et al (4), el almidón es el carbohidrato más abundante del grano de amaranto (62%). Los mismos autores compararon los gránulos de almidón de amaranto con gránulos de almidón de trigo, encontrando que los gránulos de amaranto son más pequeños y con mucho menos cantidad de amilosa.

El grano de amaranto contiene algunas enzimas que hidrolizan carbohidratos: invertasa, amilasa, galactosidasa (4).

3. Procesamiento del grano

El grano de amaranto, después de cosecharlo se somete a distintos sistemas de procesamiento que incluye secado, molienda, cocimiento, antes de consumirse. Distintos investigadores han reportado que el valor nutritivo del grano de amaranto mejora al cocerse el grano. Ensayos biológicos llevados a cabo con animales de prueba, indican que los granos cocidos inducen mayores niveles de crecimiento que dietas hechas a base de grano crudo (5, 8).

Según Bressani (8) los anteriores resultados indican que los aminoácidos de la proteína del grano crudo no están del todo disponibles, o que la harina cruda contiene sustancias que interfieren con la utilización biológica de los nutrientes que contienen.

"En un experimento en materia de alimentación de polluelos, se determinó un valor de 3 kilocalorías por gramo de energía metabolizable para Amaranthus cruentus. Al sustituir este por parte de la ración basal de maíz-soya, la ganancia de peso corporal del polluelo sufrió una depresión lineal a medida que el amaranto de la dieta se incrementaba de 0 a 30%. Al someter el amaranto a tratamiento por autoclave se eliminó el descenso en la ganancia de peso,

hecho que sugiere la presencia de antinutrientes termolábiles.

Si bien se ha determinado bajos niveles de inhibidor de la tripsina y de actividad hemaglutinante en la semilla de amaranto, hasta ahora no se ha logrado identificar claramente cuales son los factores responsables de la depresión de crecimiento que se observa en los animales sometidos a ensayo " (5).

C. Industrialización del grano de amaranto

"El grano de amaranto se ha usado en la elaboración de diversos productos alimenticios de un aceptable valor nutritivo. México es uno de los países en que todavía se usa el grano en la elaboración de polvos de consumo directo llamado Pinole, o bien mezclados con agua para elaborar atole o tamales y otros productos primitivos, algunos de los cuales se siguen elaborando en la actualidad y consumiéndose en algunas regiones, aunque realmente muy limitadas. En la mayoría de ellas el grano de amaranto ha sido sustituido por el de maíz para confeccionar los referidos productos. Asimismo, se usa el polvo o harina en combinación con miel de abejas o jarabes para obtener cierto tipo de golosina " (31).

Otras veces el polvo o harina se mezclan con maíz para preparar tortillas de idéntica manera a como se elaboran las de maíz en la actualidad. "Las mezclas de harinas de amaranto y maíz, aún cuando no resultan muy satisfactorias para la panificación desde el punto de vista de la sociedad de consumo de altos ingresos, pueden sin embargo, recomendarse cuando lo que se persigue son fines sociales y no de lucro. Esas mezclas representan una mejora en la calidad bromatológica

de los productos a que dan lugar. La mezcla de harina de maíz (80 por ciento) y amaranto (20 por ciento) da una tortilla que reúne las características especificadas por las normas oficiales. El sabor no es afectado en lo absoluto y el costo del producto es propiamente el mismo. Si ambos granos se nixtamalizan previamente, la textura de la masa y de las tortillas se mejoran y el valor nutricional se eleva quízá a consecuencia del aumento de la digestibilidad, el contenido de calcio y los incrementos en proteína y grasa " (31).

También se han hecho mezclas de harina de amaranto y trigo en la elaboración de pan. "El agregado de cantidades crecientes de harina de amaranto a mezclar de este con harina de trigo, incrementa los tiempos de prueba y volúmenes específicos del pan y disminuye los puntajes totales del pan, mientras que el color de la miga si oscurece.

A niveles de sustitución de Amaranto de 10 y 15 por ciento el grano del pan se hace más poroso, cobra una textura más tosca y se oscurece el color de la miga. Usualmente se describe a los panes hechos con harina de amaranto como de sabor a nueces, agradable al paladar " (5).

En México también se preparan atoles con la semilla de amaranto. Se prepara con la harina integral de las semillas de amaranto agregando simplemente agua o leche de vaca y procediendo a hervir la mezcla durante unos minutos. Pueden agregarse a manera de saborizantes, vainilla, ciruelas, nueces molidas y otros productos " (31).

D. Extrusión

"Extrusión de alimentos es un proceso en 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 (30).

"El cocido por extrusión combina el calor de los productos con el acto de extrusión para crear un producto cocido.

Extrusión se puede definir como un proceso mediante el cual materiales compuestos de almidón y/o proteína con cierta humedad son convertidos en una masa plastificada y viscosa.

El resultado de cocer los alimentos por extrusión da como resultado gelatinización del almidón, desnaturalización de proteína, inactivación de ciertas enzimas que causan deterioro de los alimentos bajo al macenamiento, destrucción de ciertas sustancias tóxicas de los alimentos " (1).

El proceso de extrusión presenta ciertas ventajas con respecto a otros métodos de procesamiento. Según Smith (30) las principales ventajas de usar el cocimiento por extrusión son las siguientes:

1. Versatilidad. Gran variedad de alimentos pueden ser producidos en el mismo extrusor usando condiciones similares.
2. Alta productividad. Un extrusor provee de un sistema de procesamiento contínuo, teniendo mayor producción que otros sistemas.
3. Bajo costo. Los requerimientos de mano de obra y espacio por unidad de producción son menores que los de otros sistemas.
4. Forma de los productos. El cocimiento por extrusión le da cierta forma a los alimentos que no es fácil de obtener con otro procesamiento.
5. Calidad de los productos. Este sistema reduce la degradación de sustancias nutritivas de los alimentos, al mismo tiempo mejora la digestibilidad por gelatinización de almidón y desnaturalización

de las proteínas. También este proceso destruye algunas sustancias indeseables que tienen efectos antinutricionales como inhibidores de tripsina, hemaglutininas y gossipol.

6. Eficiencia de energía. En vista que se trabaja a bajos niveles de humedad, se ahorra la energía que normalmente se usa para secar los productos después de cocinados.
7. Producción de nuevos alimentos. Ya que se pueden modificar proteínas vegetales, almidones y otros muchos materiales alimenticios.

La extrusión fue desarrollada primero como un método sencillo y económico de gelatinización de almidón, pero luego se modificaron los aparatos y actualmente es un proceso para elaborar una amplia gama de productos.

El Bradi Crop Cooker es un equipo sencillo y económico que se ha utilizado en los últimos años para la elaboración de suplementos alimenticios a base de cereales con Soya (11).

Harper (15) y Jansen (21) han señalado detalladamente las ventajas de la extrusión de mezclas de cereales en el Bradi Crop Cooker desde el punto de vista funcional y nutricional.

III. MATERIALES Y METODOS

A. Trabajo de Campo

En el presente estudio se sembraron dos variedades de amaranto: la variedad GUA-17 de la especie Amaranthus cruentus y la variedad CAC-38 de la especie Amaranthus caudatus.

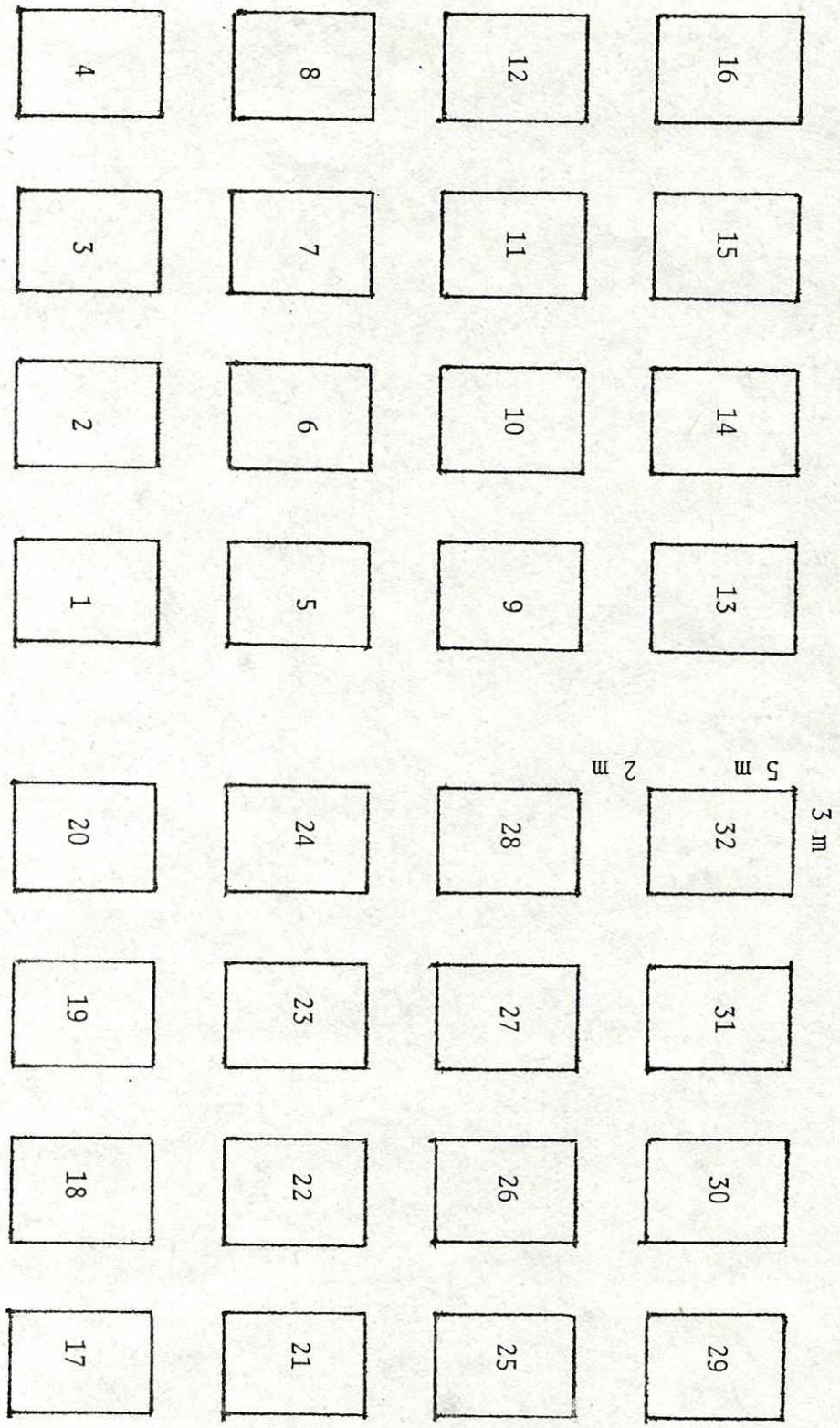
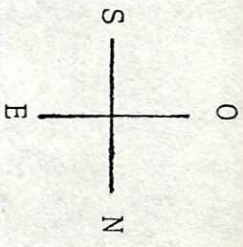
La primera es de origen guatemalteco y la segunda de origen peruano. Para el estudio se usó semilla de la colección del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).

La siembra se realizó en la finca San José La Laguna, localizada en el municipio de Villa Canales, Departamento de Guatemala. La finca está a 1,300 metros sobre el nivel del mar. Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la precipitación media anual en esta localidad es de 1,681 milímetros. La humedad relativa es de 76%. La temperatura media de la máxima es de 27 grados centígrados y de la mínima 16.8 grados centígrados.

Para realizar este estudio se utilizó un área de aproximadamente 500 metros cuadrados. El área se dividió en dos, dejando una mitad para cada una de las variedades (Fig. 1). A su vez cada mitad se subdividió en 16 parcelas de 5 por 3 metros, para dar un área de 15 metros cuadrados en cada parcela. La distancia entre parcelas fue de 2 metros.

El motivo de sembrar en parcelas fue que, en un principio, se quiso evaluar distintos tratamientos y obtener una segunda cosecha, propósitos que no fueron realizados.

La siembra se realizó en 4 surcos a un metro de distancia entre sí.



GUA-17

CAC-38

Fig. 1 Distribución de parcelas en el ensayo de campo.

La semilla se depositó al boleó a una profundidad de un centímetro. Cuando las plantas alcanzaron los 20 centímetros de altura se realizó un entresaque, dejando plantas a 20 centímetros de distancia. Dos días después del entresaque se fertilizaron todas las plantas con una fórmula completa 12-24-22. El fertilizante se aplicó en hileras a 15 centímetros, a cada lado de las plantas, a razón de 125 gramos por parcela. La cosecha se realizó a mano, cortando las espigas o inflorescencias desde su base con cuchillos bien afilados. El material cortado fue introducido en costales, donde se identificó el material extraído de cada parcela. Seguidamente las espigas se pusieron a secar a temperatura ambiente. Luego el grano se separó de la inflorescencia. (Figuras 2 y 3)

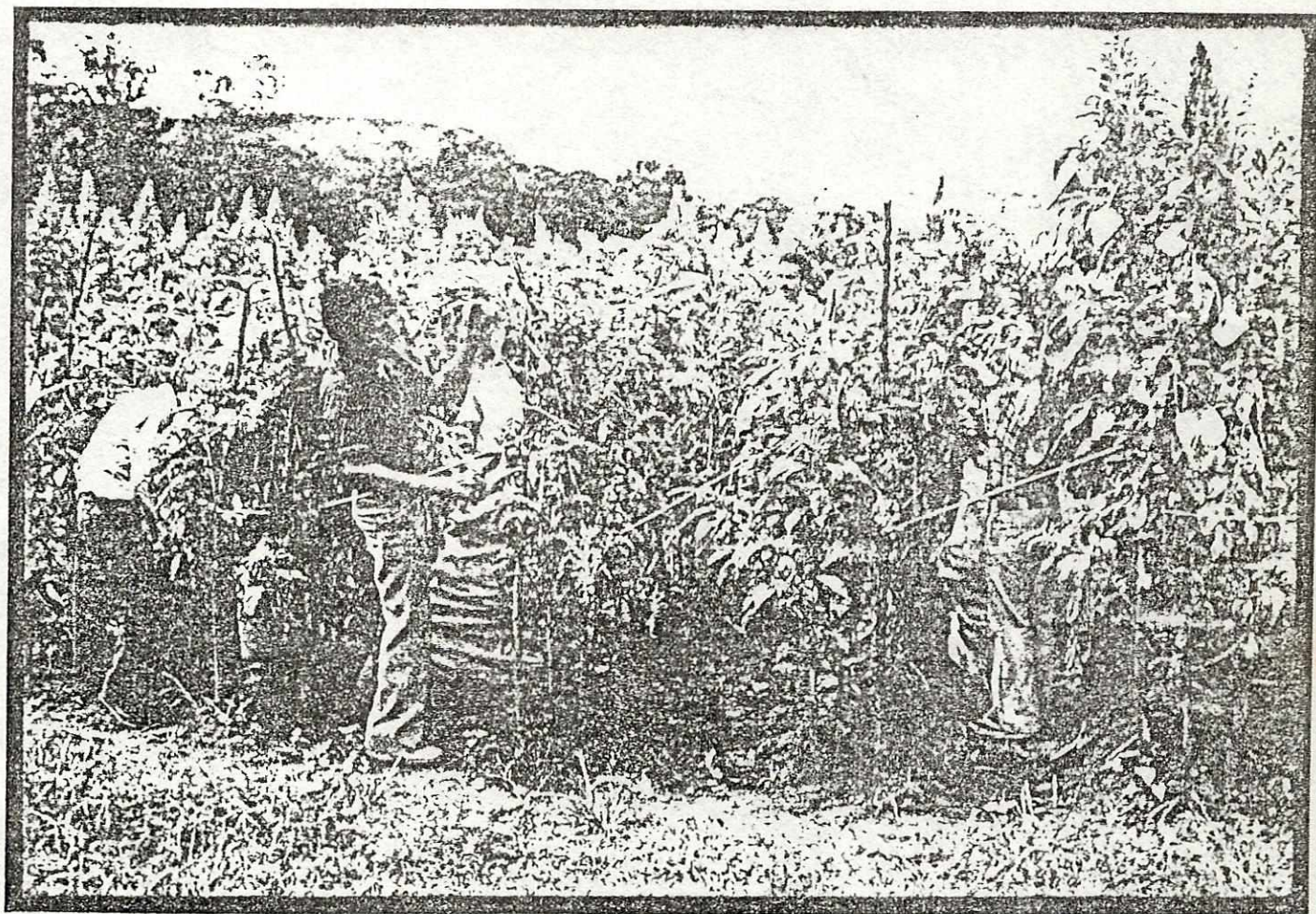


Fig. 2 Parcelas de la variedad GUA-17 en el momento de su cosecha.

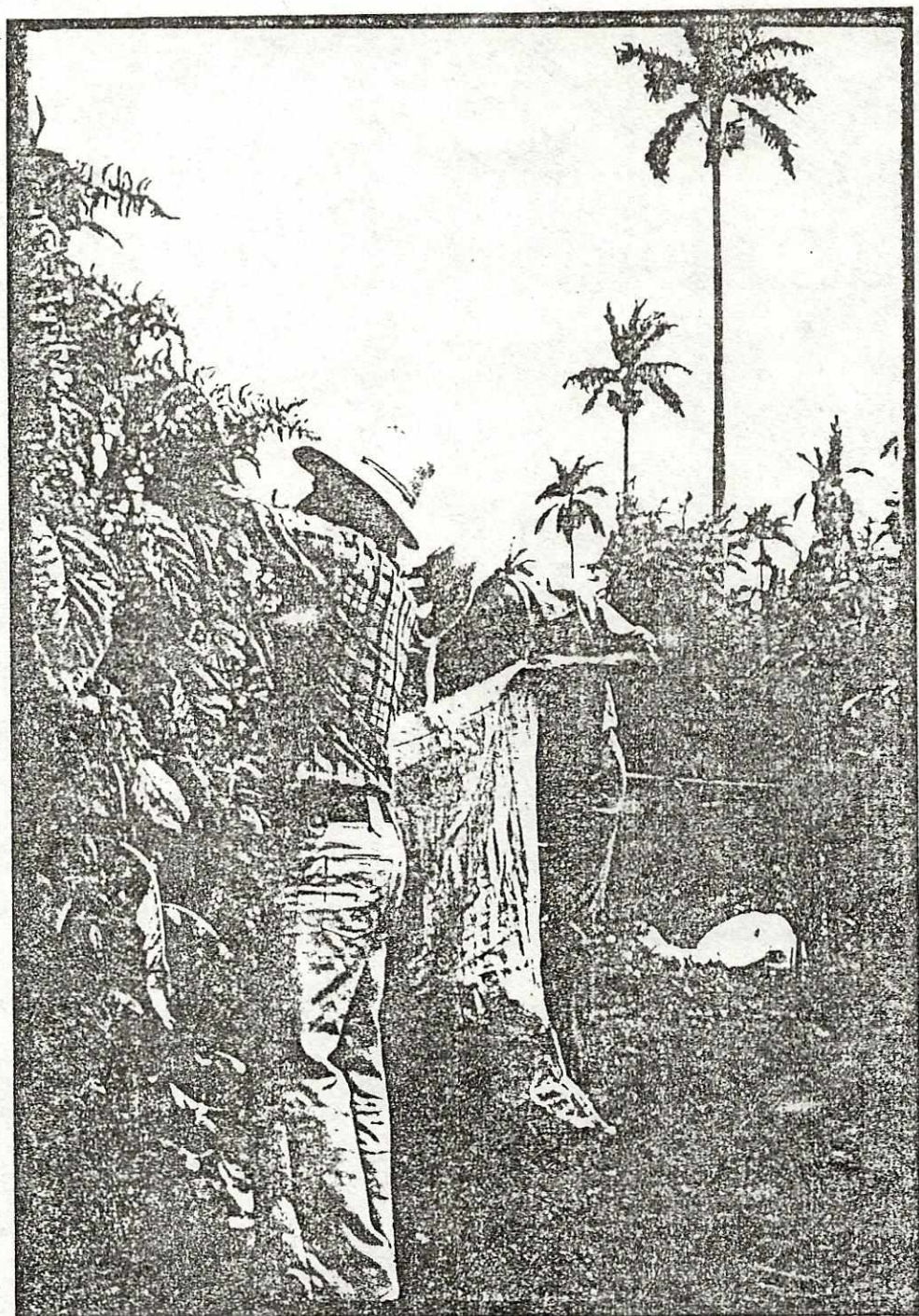


Fig. 3 Corte de inflorescencia de la variedad GUA-17 e introducción de las mismas en los sacos.

Luego de separado el grano, se pesó el rendimiento obtenido en cada parcela. Los resultados fueron expresados en rendimientos por parcela, rendimiento promedio por planta y el rendimiento total de cada variedad. Lo anterior se hizo en vista de que se encontraron diferencias en el número de plantas en cada parcela.

En el grano recolectado se practicaron los siguientes análisis químicos:

1. Humedad. Por el método micro, en el que se pesa de 0.3 a 0.7 gramos de muestra (2).
2. Grasa. Por el método de extracto heteréneo utilizando el aparato de micro soxhlet (28).
3. Proteína. Por el método Kjeldahl (28) en donde el nitrógeno obtenido se multiplica por 6.25.
4. Fibra cruda. Por digestión ácida y alcalina de la muestra (28).
5. Ceniza. Calentando la muestra hasta 500 grados centígrados (28).

En la parte de resultados se reporta altura alcanzada por las plantas, tiempo de germinación, floración y cosecha. También se reporta el aparecimiento de enfermedades y el uso de pesticidas usados para su control.

B. Extrusión

Con el grano recolectado en el ensayo de campo anterior, se realizó el estudio de extrusión en el Brady Crop Cooker. El aparato se trabajó con una tasa de alimentación constante igual a dos (6.8 kilogramos/minuto) y una abertura de cono no mayor de 1.5 milímetros. El aparato se calentó a 330 grados fahrenheit aproximadamente (167°C), utilizando Soya.

Con la variedad GUA-17 se obtuvieron dos muestras, una procesada a un intervalo de temperatura de 295 y 310°F (147 y 156°C), la otra procesada con temperaturas entre 315 y 325°F (159 y 164°C). La muestra de la variedad CAC-38 se coció a una temperatura estable de 310°F (156°C). De todas las muestras obtenidas se desecharon aproximadamente los primeros 3 kilogramos procesados, porque se sospechó que pudieran estar contaminados con la Soya que sirvió para calentar el aparato. En todas las muestras obtenidas por extrusión se determinó el porcentaje de proteína por el método Kjeldahl (3).

En el cuadro siguiente se resumen las temperaturas de procesamiento de los materiales.

Cuadro 4. Condiciones de procesamiento de las muestras obtenidas por el proceso de extrusión.

Variedad	Temperatura de cocimiento (°F)	Velocidad de alimentación (Kg/min)	Abertura de cono
GUA-17	295-310	6.8	menor de 1.5mm.
GUA-17	315-325	6.8	menor de 1.5mm.
CAC-38	310	6.8	menor de 1.5mm.

Las tres muestras extruídas se molieron en un molino con tamíz número 80. También se molió un lote de granos sin cocimiento de cada una de las dos variedades, para ser usados como control.



C. Ensayos biológicos

Las harinas crudas y extruídas fueron sometidas a ensayos biológicos con ratas.

Con cada una de las harinas se prepararon dietas que contenían aproximadamente un 10 por ciento de proteína del material a prueba. Además a cada una de las dietas se le agregaron los siguientes porcentajes de sustancias nutritivas: 4 de minerales (19), 1 de aceite de bacalao, 5 de aceite de algodón, 5 milímetros de solución de vitaminas (24), por último la suficiente cantidad de almidón de maíz para ajustar a 100%.

De la misma forma anterior, se preparó una dieta de caseína y una libre de nitrógeno.

Cada dieta se suministró a ratas Wistar de 21-23 días de edad, provenientes de la colonia animal de INCAP, las cuales fueron seleccionadas de manera que el peso entre grupos fuera similar (± 1 gramo) y que cada grupo estuviera constituido por 8 animales, 4 machos y 4 hembras. Los animales fueron colocados en jaulas individuales con piso de malla metálica. Las dietas y el agua se administraron ad libitum durante 14 días. Los animales y el alimento se pesaron al inicio y al final del experimento. Con los anteriores datos y el análisis de nitrógeno respectivo, se calculó la razón de proteína neta (NPR), el cual se define como la ganancia de peso del grupo experimental, corregido por la pérdida de peso de otro grupo igual, pero alimentado con una dieta libre de nitrógeno, dividido por la ingesta de proteína (7). También se calculó la digestibilidad real de la proteína de cada una de las harinas, al final del experimento del NPR. Para este propósito los animales fueron mantenidos en sus mismas jaulas y se les dio las

mismas dietas evaluadas. Las heces fueron recolectadas después de 5 días. El nitrógeno de las heces se determinó por el método Kjeldahl (3).

La fórmula para calcular la digestibilidad verdadera fue:

$$\text{Digestibilidad verdadera} = \frac{\text{N. dieta} - (\text{N. heces} - \text{N. endógeno})}{\text{N. dieta}}$$

donde N. = Nitrógeno

donde nitrógeno endógeno es el nitrógeno en las heces de las ratas que consumieron dieta libre de nitrógeno. En la interpretación de resultados de NPR y digestibilidad se realizaron análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas significativas entre los valores obtenidos.

D. Pruebas físico-químicas

Con el propósito de establecer algunas características funcionales que el proceso de extrusión había producido en las harinas, se realizaron las siguientes pruebas:

1. Índice de absorción y retención de agua por el método de Anderson, et. al (1).
2. Almidón dañado mediante el método de Farrand (14).
3. Amilografía por el amilógrafo de Bravender, modelo OHG.
4. Lisina disponible por el método descrito por Carpenter (10).
5. Estabilidad de la suspensión del producto, se hizo preparando sus pensiones de las harinas al 5%, 10%, 15%, 20% en agua fría.

Las suspensiones se pusieron en probetas de 100 mililitros, después de agitar bien, las suspensiones se dejaron en reposo por 30 minutos.

Al final se observó qué volumen de la suspensión tenía sedimento y qué volumen de la partesuperior estaba claro.

E. Hidrólisis del almidón de las harinas extruídas a través de enzimas del grano de amaranto germinado

1. Germinación

- a. Se lavó con agua destilada un lote de 200 gramos de grano de la variedad GUA-17.
- b. Se dejó en remojo por 8 horas.
- c. Se drenó el agua sobrante y se extendieron los granos sobre toallas absorbentes en bandejas de metal, luego se humedeció con agua destilada y se cubrieron los granos con toallas absorbentes. Los granos se dejaron germinar por 48 horas.
- d. Luego del período de germinación, el grano se puso a secar en un horno de aire a 60°C por una noche. Al estar secos, se molieron en un molino con tamíz número 20.

2. Tratamiento de amaranto extruído

- a. Se pesaron 1,900 gramos de harina de amaranto GUA-17 extruída número 1.
- b. Se agregaron 8 litros de agua caliente de 80°C hasta obtener una solución espesa.
- c. Se adicionó 190 gramos del grano germinado molido. Se revolvió bien y se dejó que transcurriera una hora.
- d. Seguidamente se deshidrató la muestra por el secador de rodos el cual tenía una presión de vapor de 70 PSI y una velocidad de 3 revoluciones por minuto.

El material así obtenido, fue sometido a los siguientes análisis físicoquímicos:

- a. Azúcares totales por el método de la antrona (26). Esto con el objeto de tener una idea aproximada del grado de hidrólisis producida en el almidón y el aumento en azúcares simples en la harina.
- b. Índice de absorción y retención de agua por el método de Anderson y col. (1).
- c. Lisina disponible por el método descrito por Carpenter (10).
- d. Con la harina hidrolizada se preparó una dieta para ratas y se calculó el NPR, con el objeto de compararlo con el NPR obtenido de la harina sólo extruída. Las técnicas utilizadas fueron las mismas descritas en los ensayos biológicos hechos anteriormente con las harinas obtenidas por extrusión. Al final se realizó un análisis de varianza para establecer diferencias significativas entre los resultados de la harina hidrolizada y la procesada sólo por extrusión.

F. Preparación de la bebida instantánea

Para este propósito se decidió seguir una receta existente (34) para preparar horchata. La única variación fue que se sustituyó la harina de arroz tradicional por la harina de amaranto extruída e hidrolizada.

Cuadro 5. Receta para bebida instantánea de amaranto.

Ingrediente	Cantidad	Porcentaje	Porcentaje en base seca
Harina de amaranto	681 gramos	10.70	45.64
Agua	4 litros	62.80	---
Leche	1 litro	15.72	8.71
Azúcar	681 gramos	10.70	45.64

La leche utilizada en esta bebida fue leche líquida, fría, de una marca comercial.

Al mismo tiempo se preparó una bebida, siguiendo la receta tradicional con harina de arroz. Las dos bebidas obtenidas se dieron a degustar a un grupo de personas con el objeto de que éstas dieran su opinión sobre las características del nuevo producto y lo compararan con el tradicional de harina de arroz.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A. Trabajo de Campo

1. Siembra

Como se indicó en el capítulo de materiales y métodos, la semilla se sembró al boleó a 1 centímetro de profundidad. Para cada una de las variedades, se usaron aproximadamente 205 gramos de semilla para sembrar 240 metros cuadrados.

2. Germinación

La semilla de las dos variedades germinaron a los 4 días de la siembra. En ambas variedades se observó germinación uniforme a lo largo de los surcos en todas las parcelas.

3. Fertilización

La fertilización se realizó un mes después de la siembra, en ese momento, las plantas tenían un promedio de 25 centímetros de altura.

4. Floración

En la variedad GUA-17 se inició la floración siete semanas después de la siembra, en la variedad CAC-38 empezó nueve semanas después de la siembra.

En las dos variedades cuando empezó la floración, las plantas tenían un promedio de 110 centímetros aproximadamente.

En la variedad GUA-17 se observó cierta heterogeneidad en el color de las inflorescencias, la mayor parte de las plantas tienen la florescencia de un color amarillo-verdoso, similar al color de las hojas; sin embargo, un pequeño grupo de plantas presentaban color

púrpura.

5. Cosecha

La cosecha en la GUA-17 se efectuó a los 106 días de la siembra, la cosecha de la CAC-38 fue a los 138 días de la siembra. El tiempo de cosecha muestra que la variedad GUA-17 es más precoz que la CAC-38. Lo anterior está de acuerdo con diversos estudios (29) que mencionan que variedades de la especie caudatus son más tardías que variedades de otras especies.

Al momento de la cosecha, las plantas de la variedad GUA-17 tenían una altura promedio de 158 centímetros y las plantas de la CAC-38 tenían 162 centímetros aproximadamente.

En la variedad GUA-17 hubo más heterogeneidad en las alturas, pues se observaron plantas de 185 y 190 centímetros y por el otro lado, plantas de sólo 1 metro de altura. En la variedad CAC-38 se observó más uniformidad en las alturas, con respecto al promedio.

En cuanto al color de la floración, también la variedad CAC-38 presentó más uniformidad que la GUA-17. Aproximadamente un 3 por ciento de las plantas de GUA-17 tenían una coloración púrpura, diferente al color amarillo predominante de la variedad.

Las diferencias anteriores indican que la variedad GUA-17 podría tener una constitución genética más heterogénea que la CAC-38, lo que explicaría las diferencias en morfología de las plantas y otras características externas.

6. Enfermedades

A los pocos días de la germinación, se observó muerte de plantas recién germinadas. Las plantas presentaban características de la enfermedad llamada mal del talluelo o dampin off, que es una

enfermedad producida por algunos géneros de hongos como Pythium, Rhizoctonia y Fussarium. Esta enfermedad se caracteriza por lesiones en los tallos que estrangulan las plantillas y provocan la muerte (31).

El avance de la enfermedad se logró contener realizando dos fumigaciones, con intervalo de una semana, del fungicida cloruro de mercurio metoxietílico. Para el efecto, se hizo una mezcla de 25 gramos del fungicida, disueltos en 15 litros de agua. La mezcla fue aplicada a las plantas a través de una bomba manual de mochila.

Las pérdidas ocasionadas por el mal del talluelo o dampin off podrían evitarse utilizando como medidas preventivas, el mismo plan fitosanitario utilizado en este estudio para combatir el mal ya existente. Esto debería hacerse recién empiece la germinación de las plantas.

Otra forma de prevenir la enfermedad sería mediante una adecuada desinfección del terreno, antes de la siembra.

Algunas semanas después de la siembra, algunas plantas de la variedad CAC-38 se empezaron a enfermar con una enfermedad fungosa producida por el hongo Sclerotia SP. La enfermedad provoca necrosis en los tallos, lo que resulta en muerte de la planta. Lo anterior está de acuerdo con otros estudios (29) que mencionan a las variedades de la especie caudatus como susceptibles al ataque de esta bacteria. Esta enfermedad se trató con el fungicida Benomil. La dosis de ataque fue de 25 gramos de fungicida por bomba de 15 litros. Se efectuaron dos aplicaciones con intervalo de 7 días. La enfermedad no llegó a ser controlada totalmente, aunque

si se pudo disminuir su incidencia.

7. Rendimiento de grano

El rendimiento total de grano en base seca de la variedad GUA-17 fue de 64.74 kilogramos en un área de 240 metros cuadrados.

En el Cuadro 6 se expresa el rendimiento obtenido por parcela, número de plantas cosechadas por parcela, rendimiento en gramos por planta.

Cuadro 6. Rendimiento de grano de la variedad GUA-17.

Parcela	Kilogramo de grano	Número de Plantas	g/Planta
1	4.61	65	70
2	4.15	60	70
3	3.51	46	80
4	4.86	69	70
5	4.96	73	70
6	4.62	60	80
7	3.58	45	80
8	3.78	57	60
9	4.79	74	60
10	3.78	56	70
11	3.39	65	50
12	4.25	61	70
13	4.03	69	60
14	3.67	57	60
15	2.67	43	60
16	4.07	52	80

$$\bar{x} = 4.05$$

$$* S = 0.62$$

$$\bar{x} = 60$$

$$S = 9.85$$

$$\bar{x} = 68$$

$$S = 9.01$$

Cada parcela tiene 15 m²

*S = desviación estándar.

El rendimiento total de grano de la variedad CAC-38 fue de 11.15 kilogramos en un área de 225 metros cuadrados.

Cuadro 7. Rendimiento de grano de la variedad CAC-38.

Parcela	Kilogramo de grano	Número de Plantas	g/Planta
17	1.46	68	21
18	0.73	48	15
19	0.33	27	12
20	0.51	40	13
21	0.66	56	12
22	0.86	55	16
23	1.51	65	23
24	1.01	49	21
25	1.46	66	22
26	0.46	36	13
27	0.47	36	13
28	1.21	41	29
29	1.49	59	25
30	1.44	68	21
31	1.52	52	29
32	--	--	--

$$\bar{x} = 1.01$$

$$* S = 0.44$$

$$\bar{x} = 51$$

$$S = 12.65$$

$$\bar{x} = 19$$

$$S = 5.80$$

*S = desviación estandard.

El rendimiento total de grano fue significativamente mayor en la variedad GUA-17 que en la CAC-38. La variedad GUA-17 produjo 64.74 kilos, mientras que la CAC-38 produjo sólo 15.11 kilos. Como se observa en los Cuadros 6 y 7, el rendimiento por planta también fue significativamente mayor en GUA-17 que en CAC-38, 68 gramos para GUA-17 contra 19 para CAC-38.

El menor rendimiento total de CAC-38, en parte puede explicarse por el hecho de que hubo un número menor de plantas cosechadas por parcela ($\bar{x} = 51$) que en GUA-17 ($\bar{x} = 60$).

Sin embargo, si se observa el rendimiento promedio por planta se nota que las plantas de GUA-17 produjeron significativamente más grano. Esto nos indica que la variedad CAC-38 no se adaptó a las condiciones ambientales de la localidad. Las variedades de la especie caudatus son originarias de regiones andinas del Perú, que están en algunos casos, a más de 3,000 metros sobre el nivel del mar. Es de esperarse entonces, que esas variedades estén adaptadas a condiciones ambientales muy diferentes a las existentes en la región de Villa Canales.

Lo anterior puede ser el motivo que impidió obtener mayores rendimientos con el CAC-38.

El rendimiento equivalente de GUA-17 en kilogramos por hectárea sería de 2,696. Algunos estudios reportan rendimientos mayores de 3,000 Kg/ha., según se ve en el Cuadro 1. Tal vez sería posible obtener con la variedad GUA-17 rendimientos de 3,000 Kg/ha. aumentando la densidad de siembra, mejores sistemas de fertilización, o seleccionando semilla de plantas más rendidoras.

Los resultados de los análisis de humedad, proteína, grasa, fibra

cruda, ceniza se presenta en el Cuadro 8.

8. Análisis químico proximal

Cuadro 8. Composición química proximal de los granos de las variedades GUA-17 y CAC-38.

Variedad	Humedad Residual g%	Proteína g%	Extracto Hetéreo g%	Fibra Cruda g%	Ceniza g%
GUA-17	10.3	15.9	6.6	4.5	2.6
CAC-38	10.6	16.5	5.9	4.1	2.7

El valor de 16.5% de proteína obtenida en CAC-38 es mayor que el promedio de 14.6% de proteína encontrado por Imeri (20) en 25 variedades de caudatus. Este valor alto puede ser debido a una característica per se de la variedad o el efecto del nitrógeno del fertilizante que fue aplicado después de la siembra.

El valor de proteína encontrado en GUA-17 es de 15.9%. Este resultado también es ligeramente mayor que valores reportados para Amaranthus cruentus por otros autores (6, 31).

B. Extrusión

En el Cuadro 9 se presentan los valores de nitrógeno, proteína y humedad encontrados en las muestras extruídas. Se observa que las primeras muestras procesadas (muestras desechadas), tuvieron valores de proteína bastante mayores que las muestras crudas, lo que indica contaminación

de los materiales con Soya. En las otras muestras, GUA-17 ext. 1, GUA-17 ext 2 y CAC-38 ext, se nota un pequeño aumento en el porcentaje de proteína, lo cual puede explicarse por aumento en el porcentaje de materia seca de las muestras, al disminuir la humedad durante el proceso de extrusión. Además de los cambios en porcentaje de proteína y humedad, se observó en las muestras desechadas, en color café más oscuro similar al de la soya utilizada para calentar el aparato.

Cuadro 9. Porcentaje de nitrógeno, proteína y humedad de las muestras obtenidas por extrusión.

	% Nitrógeno	% Proteína	% Humedad
GUA-17			
Harina cruda	2.59	16.2	10.3
Muestra desechada	3.04	19.0	5.6
Muestra extruída 1	2.75	17.2	5.8
Muestra extruída 2	2.84	17.8	5.2
CAC-38			
Harina Cruda	2.72	17.0	10.6
Muestra desechada	3.32	20.7	5.9
Muestra extruída	2.90	18.1	5.4

Como se indicó en el capítulo de materiales y métodos, se obtuvo por el proceso de extrusión dos muestras de la variedad GUA-17 y una de la variedad CAC-38, además, para los análisis señalados, se incluyó una muestra de grano molido crudo. A continuación se indica el significado de la nomenclatura dada a las muestras en el reporte de resultados.

- GUA-17 cruda: granos molidos sin procesamiento de la variedad GUA-17.
- GUA-17 ext 1: harina de granos extruídos a temperaturas entre 295 y 310°F.
- GUA-17 ext 2: harina de granos extruídos a temperaturas de 315 a 325°F.
- CAC-38 cruda: harina obtenida de granos solamente molidos de la variedad CAC-38.
- CAC-38 ext: harina extruída a 310°F de granos de CAC-38.

C. Ensayos biológicos

Cuadro 10. Resultados de aumento de peso de las ratas, alimento consumido, cantidad de proteína ingerida y NPR.

Muestra	Aumento de peso promedio (g)	*S	Alimento consumido (g)	*S	Proteína ingerida (g)	NPR	*S
GUA-17 cruda	29.0	4.5	164.0	5.8	16.2	2.19	3.9
GUA-17 ext 1	60.0	4.0	220.0	7.1	22.0	3.04	3.5
GUA-17 ext 2	64.9	3.2	199.0	6.9	19.9	3.59	4.1
CAC-38 cruda	21.0	3.7	123.1	5.0	11.7	2.35	3.8
CAC-38 ext	53.3	3.1	179.4	7.4	18.1	3.30	3.0
Caseína	58.0	3.2	182.0	7.0	20.4	3.16	3.4

*S = Desviación estandar.

Cuadro 11. Resultados de NPR, digestibilidad verdadera y lisina disponible.

Harina	NPR	Digestibilidad (%)	*S	Lisina Disponible (g/g de N)
GUA-17 cruda	2.19	78.0	2.9	0.39
GUA-17 ext 1	3.04	79.0	3.1	0.39
GUA-17 ext 2	3.59	75.0	3.7	0.35
CAC-38 cruda	2.35	76.0	2.8	0.38
CAC-38 ext	3.30	78.0	3.0	0.36
Caseína	3.16	93.0	3.3	--

*S = Desviación estandar.

Los resultados del ensayo biológico de NPR aparecen en el Cuadro 10. Se observa claramente que el valor de NPR aumenta en las muestras extruídas, tanto en GUA-17 como en CAC-38. El análisis de varianza demostró que existen diferencias significativas entre los resultados de las muestras crudas y extruídas ($P < 0.05$). A través de la prueba estadística de tukey también se determinó que existe una diferencia significativa entre los valores de NPR de GUA-17 ext 1 y GUA-17 ext 2. Lo anterior confirma lo encontrado por otros autores (5,8): que el procesamiento mejora el valor nutritivo del grano de amaranto. Esto indica la presencia de ciertas sustancias antifisiológicas que deprimen el crecimiento de animales alimentados con harina de grano crudo. Durante el procesamiento, el calor desactiva a estas sustancias, aumentando el valor nutritivo del producto. Aún no se ha establecido cuales son las sustancias responsables de este fenómeno. También el anterior fenómeno podría deberse a que el procesamiento aumenta la biodisponibilidad de nutrientes, entre ellos la proteína y carbohidratos.

En GUA-17 se observa que la muestra procesada a mayor temperatura, GUA-17 ext 2, tuvo un NPR de 3.59, mayor que 3.04 de GUA-17 ext 1. Eso podría sugerir que a mayor temperatura mayor cantidad de sustancias antifisiológicas inactivadas.

Con la variedad GUA-17 se obtuvo un valor de 3.59 y con la CAC-38 un valor de 3.30, que superan el valor 3.16 de la caseína. Esto confirma el alto valor nutritivo que se obtiene al procesar el grano de amaranto, a través de un proceso como el de extrusión.

Los valores obtenidos para digestibilidad verdadera aparecen en el Cuadro 11. Los valores oscilan entre 75 y 79%. Se estableció que no existe diferencia significativa entre los valores de digestibilidad ($P < 0.05$) por lo que el proceso de extrusión no parece tener efecto

sobre la digestibilidad de la proteína de amaranto. Lo anterior concuerda con los resultados encontrados por Imeri (20) quien reporta que la digestibilidad de harinas de algunas variedades de Amaranthus caudatus no varió entre muestras crudas y cocidas por diversos métodos húmedos.

Los resultados de lisina disponible se aprecia también en el Cuadro 11. Esta determinación es muy importante, ya que el aminoácido lisina es muy susceptible de reaccionar con otros compuestos y perder su capacidad de ser aprovechado para la síntesis de proteínas. Esto puede ocurrir bajo ciertas condiciones inadecuadas de procesamiento, como excesivas temperaturas o presencia de azúcares reductores.

En el Cuadro 11 se observa que no hubo cambios apreciables en los valores de lisina disponible. En GUA-17 ext 1, se obtuvo el mismo valor aproximado 0.39 g/g de N de la harina cruda. En GUA-17 ext 2, la mayor temperatura de procesamiento, dio un valor levemente menor de 0.35 g/g de N. En la variedad CAC-38, la temperatura de procesamiento no produjo cambios significativos en la lisina disponible.

Los resultados de lisina disponible obtenidos nos indican que el proceso de extrusión, con las temperaturas utilizadas en este estudio, no tuvo ningún efecto adverso apreciable en la calidad y el valor nutritivo de la proteína de amaranto. Esto concuerda con los altos valores de NPR obtenidos en el ensayo biológico. Lo anterior confirma lo expuesto por Smith (33) que el proceso de extrusión es un método con el que se obtienen productos de alto valor nutritivo, por la propiedad de inactivar sustancias tóxicas de los alimentos, sin afectar la calidad de las proteínas de esos mismos alimentos.

D. Pruebas físico-químicas

Cuadro 12. Características funcionales de harinas crudas y extruídas de amaranto.

Harina	Indice de absorción de agua	Retención de agua ml/%	Almidón dañado %
GUA-17 cruda	0.96	1230	8.40
GUA-17 ext 1	3.51	1500	59.90
GUA-17 ext 2	3.31	1600	70.50
CAC-38 cruda	1.41	1200	0
CAC-38 ext	2.45	1600	81.15

En el Cuadro 12 aparecen los resultados de las características funcionales de las harinas.

El índice de absorción de agua aumentó significativamente en ambas variedades con el procesamiento. En GUA-17, desde 0.96 hasta 3.51 y 3.31, en GUA-17 ext 2 y GUA-17 ext 2. En CAC-38 de 1.41 a 2.45.

El porcentaje de retención de agua también aumentó con el tratamiento térmico. Esto se debe a que al romperse el gránulo de almidón, las cadenas de amilosa y amilopectina quedan libres para formar más puentes de hidrógeno con moléculas de agua.

El porcentaje de almidón dañado aumentó apreciablemente de las muestras crudas a procesadas. En la variedad GUA-17, la muestra cruda tiene un pequeño porcentaje de almidón dañado, 8.4, probablemente producido por la molienda. En esta variedad se observa que una mayor temperatura de procesamiento aumentó el porcentaje de daño en el almidón. El mayor porcentaje de almidón dañado se ve en la muestra cocida de CAC-38, 81.15%.

Altos índices de absorción, retención de agua y almidón dañado en las harinas, indican que son muy solubles en agua.

Los datos de temperatura y unidades Bravender obtenidos aparecen en el Cuadro 13. Las curvas amilográficas del mismo experimento aparecen en las Fig. 4 y 5. El punto máximo de viscosidad en la gráfica indica el momento cuando el rompimiento del gránulo de almidón es mayor, lo que a su vez produce el máximo grado de gelatinización. Esto le da ciertas características al alimento, como buena suspensión, consistencia y más susceptibilidad al ataque de enzimas.

La curva amilográfica de CAC-38 cruda tiene la máxima viscosidad a

47.5°C, temperatura cercana a la de 49.0°C encontrada por Imeri (20) en otras variedades de la especie caudatus.

La curva de GUA-17 cruda dio una temperatura de máxima viscosidad de 61°C, mayor que la de CAC-38. Eso podría indicar un gránulo de almidón más grande y un mayor contenido de amilosa en CAC-38.

Las curvas de las harinas extruídas, tanto en CAC-38, como en GUA-17, dieron temperaturas de máxima viscosidad menores que las harinas crudas. Esto señala que el proceso de extrusión pregelatinizó el almidón, a través del rompimiento del gránulo. Comparando las dos harinas extruídas de GUA-17, se observa que la mayor temperatura de procesamiento en GUA-17 ext 2, produjo un grado de pregelatinización mayor.

Al observar la curva de la harina extruída de CAC-38, se observa que el grado de gelatinización alcanzado en el extrusor fue mayor que las harinas de GUA-17, ya que el pico máximo es al inicio, luego la curva empieza a descender.

El punto en que la curva empieza a bajar, es el momento en que las cadenas de almidón ya no pueden absorber más agua, con lo que la gelatinización y viscosidad empiezan a disminuir.

Los resultados de las curvas amilográficas están de acuerdo con los resultados obtenidos de almidón dañado, ambos indicaron que a mayores temperaturas de procesamiento, mayores grados de gelatinización del almidón se alcanzaron.

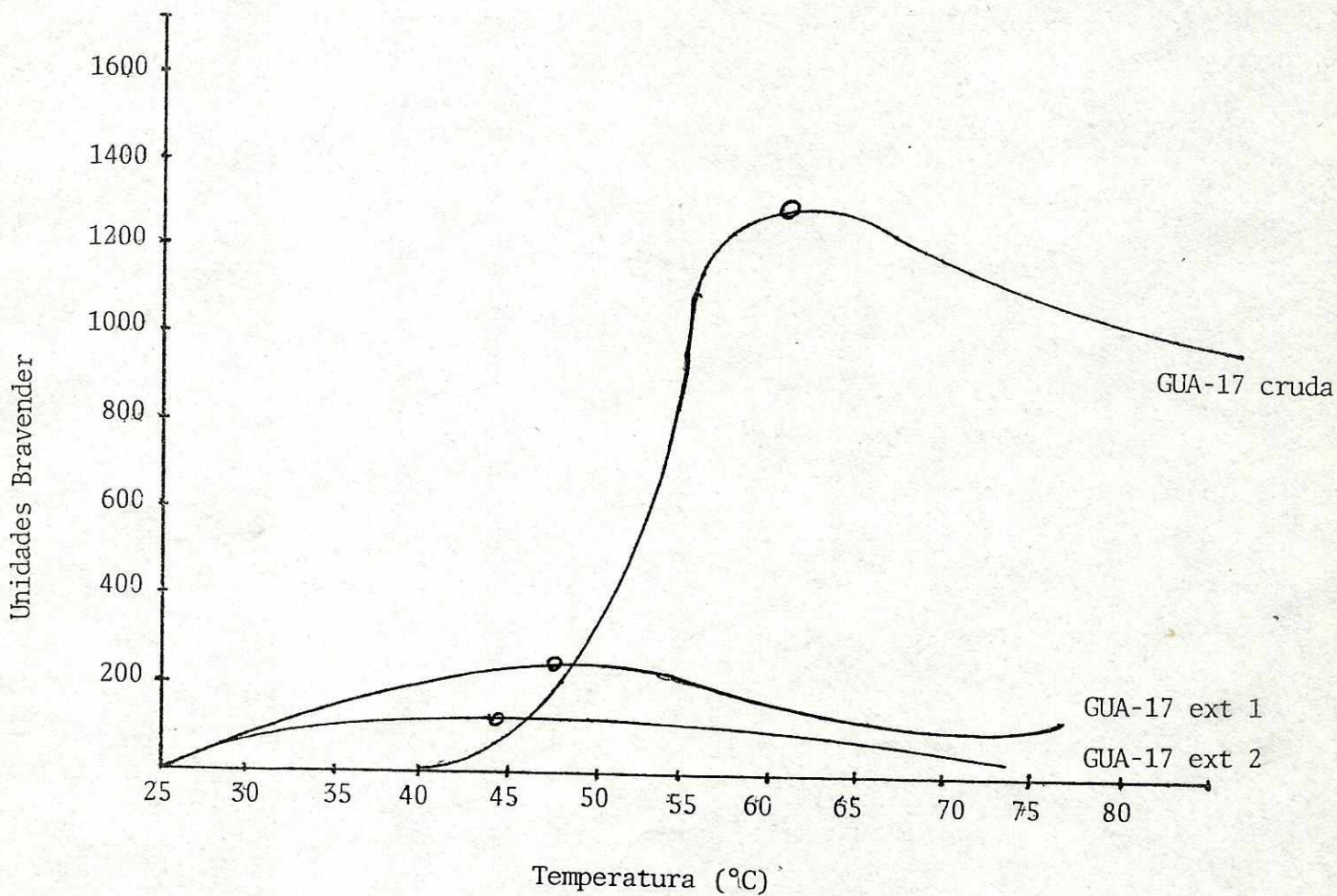


Fig. 4 Curvas amilográficas de harinas crudas y extruídas de GUA-17

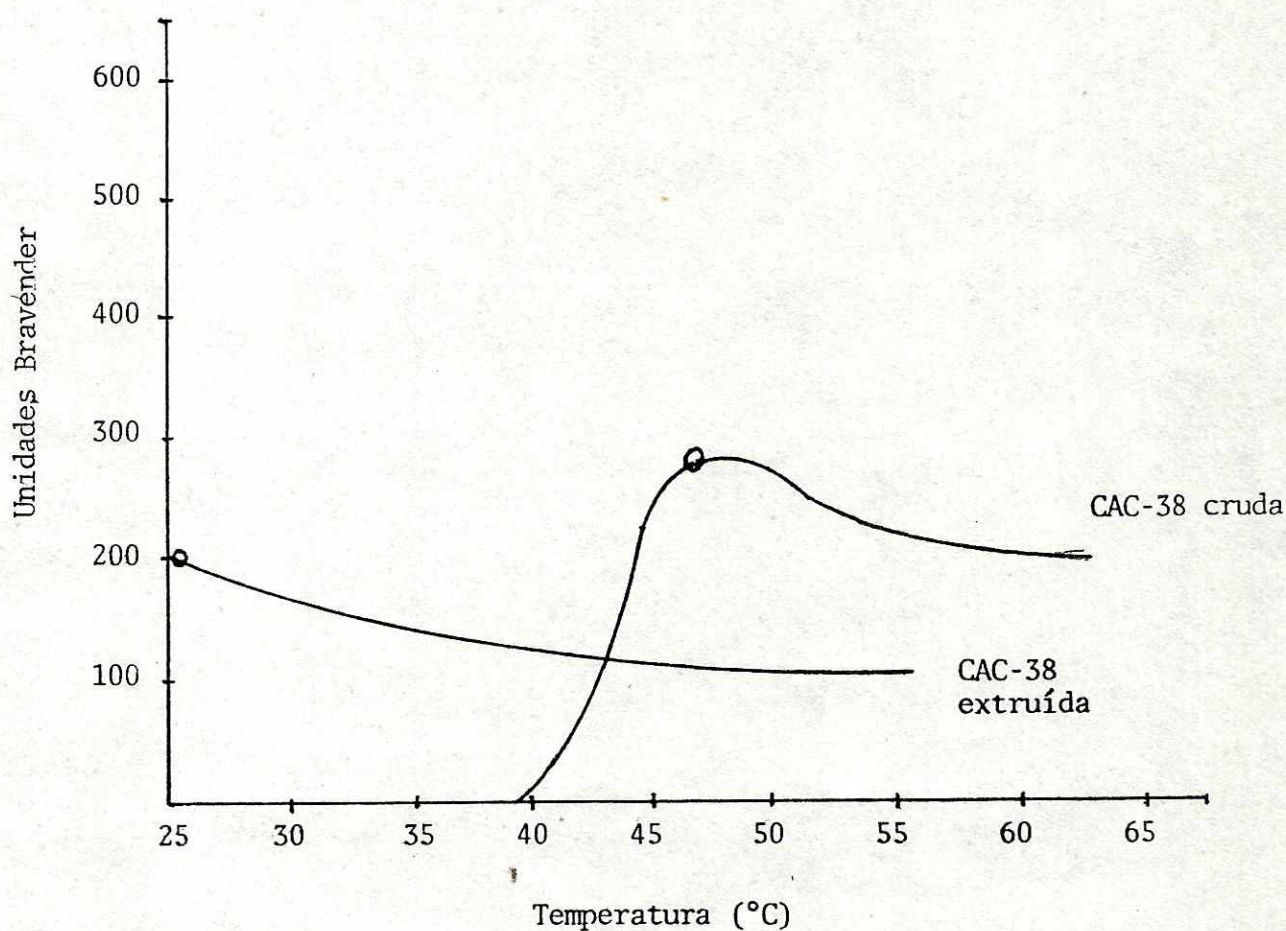


Fig. 5 Curvas amilográficas de harina cruda y extruída de CAC-38

Cuadro 13. Temperatura y unidades Bravender alcanzadas por pico máximo de viscosidad de las harinas crudas y extruídas.

Harina	Temperatura	Unidades Bravender
GUA-17 cruda	61.0	1,280
GUA-17 ext 1	47.5	240
GUA-17 ext 2	44.5	120
CAC-38 cruda	47.5	285
CAC-38 ext	25.0	200

La suspensión en agua de las harinas se aprecia en los Cuadros 14, 15 y 16. En todas las muestras se observan buenas características de suspensión, aún después de 30 minutos. A concentraciones mayores del 10%, la suspensión fue de 100% después de 30 minutos, en todas las harinas. La alta capacidad de suspensión puede darle a estos productos ciertas ventajas de presentación en la preparación de algunas bebidas. Se observó, sin embargo, que a concentraciones mayores de 10% se obtiene un producto muy viscoso y poco fluido, no apto para la elaboración de una bebida instantánea que podría usarse en la alimentación de niños pequeños a través de biberones.

La alta viscosidad y poca fluidez resultante, se deben a que el almidón de amaranto es rico en amilopectina (4).

El anterior problema hizo necesario hidrolizar parte del almidón de las harinas, de tal modo que se lograra obtener un producto más fluido a concentraciones mayores de 10%. Lo anterior se hizo a través del uso de amilasas de granos germinados, como se indica en la parte de materiales y métodos.

Cuadro 14. Estabilidad de suspensión de harinas de GUA-17 ext 1 a 5%, -10%, 15% y 20% de concentración.

Tiempo (Minutos)	ml de sobrenadante			
	5%	10%	15%	20%
0	5	0	0	0
10	10	3	0	0
20	30	5	0	0
30	45	5	0	0

Cuadro 15. Estabilidad de suspensión de harinas de GUA-17 ext 2 a concentraciones de 5%, 10%, 15% y 20%.

Tiempo (Minutos)	ml de sobrenadante			
	5%	10%	15%	20%
0	3	0	0	0
10	7	0	0	0
20	12	0	0	0
30	15	0	0	0

Cuadro 16. Estabilidad de suspensión de harinas de CAC-38 ext a concentraciones de 5%, 10%, 15% y 20%.

Tiempo (Minutos)	ml de sobrenadante			
	5%	10%	15%	20%
0	5	0	0	0
10	10	8	0	0
20	20	15	0	0
30	30	20	0	0

E. Hidrólisis de Almidón de la harina GUA-17 ext 1

Una hora después de que los granos germinados y molidos de amaranto fueron mezclados con la harina de GUA-17 ext 1, se observó un aumento de la fluidez del producto. Esto indica que hubo hidrólisis de las cadenas de almidón por las amilasas naturales contenidas en los granos germinados. En este estudio no se realizó ninguna prueba para determinar si se trata de una hidrólisis producida por amilasas alfa, beta, u otro tipo de amilasas. Tampoco se encontró algún estudio en la literatura que mencione el tipo de enzima amilasa liberada en el proceso de germinación del grano de amaranto.

Las pruebas realizadas en la harina hidrolizada aparecen en el Cuadro 17. Los valores de azúcares totales aumentaron con el hidrolizado, de 7.15 mg/100 g en la harina sólo extruída, a 19.59 mg/100 g en la harina hidrolizada. Lo anterior confirma que parte del almidón fue hidrolizado a azúcares como glucosa, maltosa y dextrinas.

Los valores de absorción y retención de agua aumentaron con el proceso de hidrólisis. Lo anterior podría ser debido a que los azúcares liberados por la hidrólisis, compiten con el almidón por las moléculas de agua. Las moléculas de glucosa estarían formando enlaces con el agua a través de sus grupos hidróxilo y carbonilo libres, por lo que habrían más puntos de enlace con las moléculas de agua. Los altos valores de absorción y retención de agua da a las harinas hidrolizadas mayor solubilidad que las harinas sólo extruídas.

La determinación de lisina disponible se hizo pensando en la posibilidad de que parte de la lisina se perdiera por reacciones de Maillard, al reaccionar con azúcares liberados por la hidrólisis de almidón.

En los resultados del Cuadro 17, se observa que con el proceso de hidrólisis del almidón, la cantidad de lisina disponible disminuyó de 0.39 a 0.36 g/g de N. en la muestra de harina hidrolizada, lo que parece confirmar que una pequeña parte de la lisina se perdió por reacciones con azúcares.

En el mismo Cuadro 17 se presenta el valor de NPR obtenido para la harina hidrolizada, que fue de 3.14, el NPR de la harina extruída, sin hidrolizar fue de 3.04. El análisis de varianza realizado indicó que no existe diferencia significativa para $P < 0.05$ entre los dos valores de NPR.

El ensayo biológico del NPR y el análisis de lisina disponible, indican que el proceso de hidrólisis de almidón llevado a cabo, no afectó el valor nutritivo de las harinas, anteriormente alcanzado por el proceso de extrusión.

Cuadro 17. Características físico-químicas y nutricionales de las harinas de GUA-17 ext 1 y GUA-17 hidrolizada.

Harina	Azúcares Totales (mg %)	Indice de absorción de agua	Retención de agua (g%)	Lisina disponible (g/g de N)	NPR	*S
GUA-17 Ext 1	7.15	4.02	1500	0.39	3.04	3.5
GUA-17 hid.	19.50	4.08	1815	0.36	3.14	3.9
Caseína	---	--	--	--	3.18	5.1

*S = Desviación Estandar

F. Preparación de la bebida instantánea

En cuanto a la preparación de la bebida a base de la harina hidrolizada, se siguió exactamente la receta que aparece en el Cuadro 8.

Primero, desde el punto de vista nutricional, los análisis químicos y nutricionales, pusieron de manifiesto el alto valor nutritivo de las harinas obtenidas por extrusión, lo cual es suficiente para obtener una bebida de alto valor nutritivo.

Al mezclar la harina con leche, se piensa que aumenta el valor nutritivo del producto por cierto efecto suplementario de la leche sobre el amaranto, observado en anteriores estudios (9).

En cuanto a la aceptación del producto, las personas encuestadas mencionaron algunos puntos interesantes:

Algunos indicaron que la bebida preparada no tenía la suficiente fluidez para ser un refresco instantáneo como la horchata. Una mayor fluidez podría lograrse aumentando el grado de hidrólisis del almidón, a través de una proporción mayor de granos germinados, en la harina que se desea hidrolizar. Una mayor hidrólisis podría provocar pérdidas mayores en el aminoácido lisina, sin embargo, la lisina perdida en la harina podría ser compensada por el aporte de lisina de la leche con lo que no se perdería el valor nutritivo del producto.

El sabor tuvo aceptación en algunos entrevistados, otros mencionaron que se podría mejorar la aceptación del producto si se usaran saborizantes artificiales de fresa, vainilla o chocolate.

El color de las harinas de amaranto es pardo, similar al de Incaparina. Algunas personas mencionaron que el color del producto lo hace más apropiado para una bebida tipo atol.

La mayor parte de los entrevistados estuvieron de acuerdo en que, dadas las características de viscosidad, sabor, olor y color, el producto presentado tuvo características más apropiadas para consumirse como atol, que como una bebida fría e instantánea. Sin embargo, al darle más fluidez al producto, si se utilizan en algunos casos saborizantes especiales y algunos otros procedimientos, es factible llegar a obtener un producto de aceptación similar al de las horchatas y con un alto valor nutritivo.

Por último, es importante mencionar que las harinas de amaranto obtenidas por extrusión, además de utilizarse en una bebida como la propuesta en este estudio, también podrían ser usadas en productos como galletas, sopas, harinas para panqueques, pastelería y muchos otros productos.

V. CONCLUSIONES

1. El rendimiento total de grano de la variedad GUA-17 fue de 64.74 kilogramos en 240 m². El rendimiento de la variedad CAC-38 fue de 15.11 kilogramos en 225 m².
2. El rendimiento de grano de la variedad GUA-17 fue significativamente superior al rendimiento de la variedad CAC-38.
3. El contenido de humedad, proteína, extracto hetero, fibra cruda y cenizas de GUA-17 fueron de 10.3, 15.9, 6.6, 4.5 y 2.6 g%. Los valores de CAC-38 fueron de 10.6, 16.5, 5.9, 4.1 y 2.7 g%.
4. El proceso de extrusión mejoró el valor nutritivo del grano de amaranto, tanto en la variedad GUA-17 como en la CAC-38.
5. El cocimiento por extrusión no tuvo efecto significativo sobre la digestibilidad verdadera de las harinas de GUA-17 y CAC-38.
6. Los ensayos biológicos y análisis químicos indicaron que el proceso de extrusión no afectó significativamente la disponibilidad del aminoácido lisina.
7. Los elevados valores de almidón dañado, absorción y retención de agua indican que los productos obtenidos son altamente solubles en agua.
8. Las curvas amilográficas realizadas mostraron alta viscosidad en los productos y altos grados de gelatinización del almidón.
9. Es posible hidrolizar el almidón de harina de amaranto, a través de enzimas contenidas en los granos germinados de amaranto.

10. Con la hidrólisis del almidón se obtuvo una harina que al mezclarla con agua, dio un producto más fluido, con valores mayores de azúcares totales, absorción y retención de agua.
11. El proceso de hidrólisis de almidón no afectó el valor nutritivo de las harinas de amaranto anteriormente extruídas.
12. Las harinas de amaranto procesadas por extrusión pueden ser utilizadas como alimento de alto valor nutritivo en bebidas instantáneas, atoles, harinas para panqueques, sopas y otra gran variedad de productos.

BIBLIOGRAFIA

1. ANDERSON, R.A. et al. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today*. 14 (1) 4.7, 11-12, 1969.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Washington, D.C. Official methods of analysis of the A.O.A.C., 11th. ed., Washington, D.C. 1970; 1015 P.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, Washington, D.C. Official methods of analysis of the A.O.A.C., 12th. ed., Washington, D.C. 1975 1084 P.
4. BECKER, R. et al Saccharides and Stach of Grain Amaranth. In. Proceedings of the second amaranth conference, Pa. Rodale Press Inc. 1980, 184 P. PP 58.
5. BECKER, R. et al El Amaranto: Su morfología, composición y usos como alimento y forraje. In. El amaranto y su potencial. Boletín No. 1 Guatemala. Archivos latinoamericanos de nutrición, 1984.
6. BECKER, R. et al A compositional study of amaranth grain. *J. Food Sci.* 46 (4): 1180, 1981.
7. BENDER, A.E. et al. Biological evaluation of proteins, a new aspect. *British J. of Nut.* 11:140-148, 1957.
8. BRESSANI, R. Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda y procesada. In. El Amaranto y su potencial. Boletín No. 3, Guatemala, Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 1983.

9. BRESSANI, R. et al Institute of Nutrition of Central America and Panama (INCAP). Program on Amaranth grain. Presented at the 3rd. Amaranth Conference, Rodale Research Center Press, Kutztown Pa., 1984.
10. CARPENTER, K.J. The estimation of the available lysine in animal proteins food. Broch. J. 77: 604-610, 1960.
11. CHAUVIN, J.V. Desarrollo Experimental de un Proceso Combinado de Extrusión e Hidrólisis enzimática para la elaboración de un suplemento Alimenticio a base de arroz y soya. Tesis (Magister Scientifical). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia INCAP/CESNA. Curso de Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guatemala, 1981.
12. COLE, J.N. Amaranth, from the past for the future. Rodale Press Inc., Emaus, Pa. 1979.
13. ELIAS, J. Food composition table for comparative nutrient composition of Amaranth greens and seeds. In. Proceedings of the first Amaranth Seminar. Pa. Rodale Press Inc. 130 P. PP 16-35, 1977.
14. FARRAND, E.A. Flour properties in relation to the modern bread process in the United Kingdom with special reference to alpha amylase and starch damage. Cereal Chem. 41:98-110, 1984.
15. HARPER, J.M. Lec Technology, where does it fit? In. Low cost extrusion cookers. Second International Workshop Proceedings. Dar es Salam, Tanzania, Ed. Fort Collins, Colorado, Dep. of Agricultural and Chemical Engineering. Colorado State University PP 15-27, 1979.

16. HAUPTLI, H. et al Germ plasm exploration in Central and South America. In. Proceedings of the second amaranth conference. Pa. Rodale Press Inc. PP. 117-122, 1980.
17. HAUPTLI, H. Agronomic potential and breeding strategy for grain amaranthus. In. Proceedings of the first amaranth conference. Pa. Rodale Press Inc. PP. 71-76, 1977.
18. HARWOOD, R. The present and future status of amaranth. In Proceedings of the second amaranth conference. Pa. Rodale Press Inc. PP. 153-160, 1980.
19. HEGSTED, D.M. et al Choline in the nutrition of chicks. J. Biol. Chem 138:454-466, 1941.
20. IMERI, A.G. Estudio de algunos aspectos químicos, biológicos y tecnológicos de 25 variedades de Amaranthus caudatus. Tesis (Magister Scientifcae). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. INCAP/CESNA. Curso de Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guatemala, 1981.
21. JANSEN, R.G. A consideration of Allowable fibre levels in weaning foods. Food Nutritional Bulletin 2: PP. 38-47, 1980.
22. JOINT FAO/WHO AD HOC EXPERT COMMITTEE. Energy and Protein Requirements. Who Technical Report Series No. 522. FAO Nutrition Meeting Report. Series No. 52. WHO, Geneva; FAO, Roma, 1973.
23. LEES, P. Amaranto ¿El supercultivo del futuro? Agricultura de las Américas (Kansas) No. 8 PP. 16-32, 1983.

24. MANNA, L. et al A possible relationship of vitamin B12 to erotic acid. J. Biol. Chem. 202: 91-96, 1953.
25. MARX, J.L. Amaranth: a comeback for the food of the Aztecs? Science 198 (4312): 40, 1977.
26. MC-READY, R.M. et al Determination of starch and amylose in vegetables. Application to peas. Analytical Chem. 22, 1156-1160, 1950.
27. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Under exploited tropical plants with promising economic value. Washington, D.C., National Academy of Sciences, P. 1975.
28. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, 7th. ed. P. 346, Washington, D.C., 1950.
29. PENNSYLVANIA, Rodale Research Gardening Farm. Amaranth Grain Production Guide. Emmaus Pa. Rodale Press Inc. 1983. 80 P.
30. ROSSEN, J.L. et al Food extrusion. Food Tech. 27:46-53, 1973.
31. SANCHEZ, A. Potencialidad agroindustrial del amaranto, México, Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo (CEESTEM), 1980 328 P.
32. SENFT, J. Protein quality of amaranth grain. In. Proceedings of the second amaranth conference. Pennsylvania, Rodale Press Inc. 1980. 184 P. PP. 43-47.
33. SMITH, O.B. History and status of specific protein rich foods. Extrusion processed cereal foods. In. Protein enriched foods for world

needs. Milner, M. Ed. American Association of Cereal Chemistry. Saint Paul Minn., 1969, 140 P.

34. TORIELLO, L.C. Planificación del Departamento de Alimentación y Nutrición del Sanatorio "Nuestra Señora del Pilar". Tesis (Licenciado Nutricionista). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. INCAP/CESNA. Escuela de Nutrición, Guatemala, 1985.