

**ELABORACIÓN Y APLICACIONES DE TRES TIPOS
DIFERENTES DE HARINA DE AMARANTO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Alimentos



**ELABORACIÓN Y APLICACIONES DE TRES TIPOS
DIFERENTES DE HARINA DE AMARANTO**

MARÍA GABRIELA ROSALES DESTARAC


Trabajo de Graduación presentado para optar al grado académico de:

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA
DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

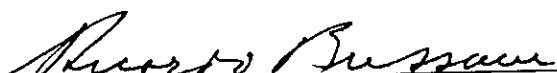
Guatemala
2000

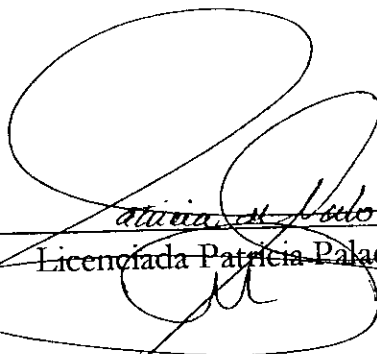


Vo.Bo.:

(f): 
Doctor Ricardo Bressani
Asesor

Tribunal:

(f): 
Doctor Ricardo Bressani

(f): 
~~Licenciada Patricia Palacios de Palomo~~

(f): 
Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Fecha de aprobación: 28 de Junio de 2000

A mi familia, a mi prometido y a Dios.

Gracias.

CONTENIDO:

	PÁGINAS
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
A. El amaranto	5
B. Usos del amaranto	8
C. Procesamiento de amaranto	8
1. Malteo	8
a. Germinación	8
2. Modificación del almidón	9
a. Acción enzimática	9
b. Acción de los tratamientos químicos	9
c. Acción de la temperatura en presencia de la humedad	10
3. Secado	10
a. Actividad de agua	10
b. Mecanismos de secado	10
c. Efectos de secado	11
D. Tratamientos para amaranto	12
1. Cocción en agua abierto a presión ambiental	12
2. Cocción en agua adentro de la olla de presión	12
3. Secado en secador de tambor	13
4. Extrusión	13
5. Expandido	13
6. Tostado	14
7. Molienda	14
8. Germinación	14
9. Cocción en microondas	14

E. Harina	17
1. Harina de fuerza moderada	17
2. Harina dura	17
3. Harina suave	17
F. Harina de amaranto	18
1. Estudios realizados previamente	18
V. MATERIALES Y MÉTODO	20
A. Materiales	20
B. Método	20
1. Elaboración de harina	20
2. Análisis químico de las muestras	21
3. Formulación de alimentos	21
4. Recetas	22
5. Evaluación de alimentos	22
6. Evaluación sensorial	23
7. Análisis estadístico	23
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
VII. CONCLUSIONES	36
VIII. RECOMENDACIONES	37
IX. ANEXOS	38
A. Gráficas adicionales	38
B. Análisis de varianza	41
X. BIBLIOGRAFÍA	48
A. Páginas de Internet	51

CONTENIDO DE TABLAS Y GRÁFICAS:

		Páginas
Tabla		
1.	Comparación de nutrientes entre cereales en 100 gramos	6
2.	Contenido de amino ácidos en miligramos por gramo de nitrógeno	7
1R.	Resultados del análisis proximal de las harinas en base natural	25
2R.	Resultados de los análisis de propiedades funcionales	26
3R.	Galleta Control: 100% harina de trigo	29
4R.	Galletas con sustitución de harina de trigo por harina de amaranto, amaranto cocido en agua	29
5R.	Galletas con sustitución de harina de trigo por harina de amaranto, amaranto cocido en microondas	29
6R.	Galletas con sustitución de harina de trigo por harina de amaranto, amaranto expandido	30
7R.	Análisis de varianza de los Datos obtenidos de los diámetros y grososores de las galletas	30
8R.	Resultados obtenidos de textura con el penetómetro en 10s	31
9R.	Diferencias de color contra la muestra control de trigo determinadas por colorímetro de Hunter	31
10R.	Panqueque Control: 100% harina de trigo	32
11R.	Sustitución de harina de trigo por harina de amaranto al 50% en el panqueque	32
12R.	Análisis de varianza de los datos obtenidos de los diámetros y grososores de los panqueques	33
13R.	Viscosidad de los atoles elaborados con las harinas	34
14R.	Tiempo de sedimentación observado de los atoles después de la cocción	34
15R.	Intervalos de confianza al 95% de la evaluación sensorial	34
Figura		
1.	La planta de amaranto.	4

	Páginas
Gráficas	
1R. Tiempo de cocción en microondas y humedad del amaranto	24
2R. Viscosidad de solución de amaranto crudo al 4.77%	26
3R. Viscosidad de harina de amaranto cocida en agua al 4.71%	27
4R. Viscosidad de solución de harina de amaranto cocida en seco en microondas 4.39%	27
5R. Viscosidad de solución de harina de amaranto expandida 4.51%	27
6R. Comparación de curvas de viscosidad de las harinas de amaranto a 3RPM	28
1a. Viscosidad del amaranto crudo a diferentes RPM y velocidad alta	37
2a. Viscosidad de la harina de amaranto cocida en agua por 10 minutos	38
3a. Harina de amaranto cocido en microondas por 2 minutos a diferentes RPM y velocidad alta	38
4a. Viscosidad de la harina de amaranto expandida en una plancha caliente a diferentes RPM y velocidad alta	39
5a. Comparación de curvas de viscosidad de las harinas de amaranto a 3RPM	39
6a. Comparación de curvas de viscosidad de las harinas de amaranto a 100 RPM	39
7a. Comparación de curvas de viscosidad de las harinas de amaranto a 300 RPM	40

I. INTRODUCCIÓN:

Todos los guatemaltecos somos consumidores, al igual que el resto del mundo, de productos derivados de las harinas (Penfield, et.al., 1990). Estos productos como pan, galletas y tortillas, son el sustento principal de nuestras dietas. Entre las harinas que se consumen con más regularidad son las de maíz, en la tortilla; y la de trigo, en pan. Estos cereales se siembran desde la época precolombina. Pero al igual que estos granos, existe otro que también fue sembrado desde este momento, el amaranto. Sin embargo, por razones desconocidas, su cultivo declinó y casi desapareció (Mendoza, 1985). Hoy en día, después de siglos, se vuelve a impulsar su siembra, pues ya se sabe de su alto valor nutricional. Por este motivo es el protagonista principal de muchos estudios recientes.

Entre las ventajas que presenta este grano se puede mencionar su alto contenido en aminoácidos, fibra, hierro y calcio (www.nuworldamaranth.com, 1999). El contenido de aminoácidos de este grano es lo más cercano que existe a las referencias de la FAO/WHO (Canjura, 1987; Ortiz, 1995). A diferencia de la mayoría de alimentos, en el amaranto, los aminoácidos son más disponibles a medida que se le da un tratamiento térmico (Bressani, 1983).

En este estudio se van a elaborar tres diferentes tipos de harina del grano de amaranto, por métodos distintos. La harina A consiste en una cocción sencilla y secado en horno de convección. La B será sometida a una cocción en seco en un microondas. La C será expandida en seco en una plancha caliente. Para obtener las harinas, el grano será molido en un molino de discos. Una vez elaboradas las harinas se procederá a determinar la composición química, formular los alimentos seleccionados, evaluar sus propiedades funcionales, confirmar su aceptabilidad por el consumidor y a hacer el análisis estadístico.

Con este estudio se pretende demostrar que es posible producir diferentes tipos de harinas de un mismo cereal, con diferentes aplicaciones; a partir de diferentes tratamientos de procesamiento. Así se obtendrán, productos con propiedades funcionales diferentes, con altos contenidos nutricionales y de agrado al consumidor en general.

II. OBJETIVOS:

1. Elaborar tres harinas del grano de amaranto por medio de diferentes procesos.
2. Realizar los análisis de las propiedades químicas y funcionales a los tres tipos de harina de amaranto.
3. Elaborar tres diferentes alimentos con las harinas de amaranto con sustitución parcial y total de harina de trigo.
4. Evaluar la aceptabilidad de los productos por medio de la evaluación sensorial.

III. HIPÓTESIS:

Por medio de tres tipos de procesos se puede elaborar tres clases de harinas con propiedades funcionales diferentes; aptas para elaborar distintas clases de productos alimenticios de alta calidad nutricional y buena aceptabilidad.

Figura #1: La planta del Amaranto.

TAMPALA

Amarantácea

Amaranthus hypocondriacus L.

A. leucocarpus L.

“Amarante”

“Amaranth”

“Amaranto”



dibujo por Philippe Cujo

(Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia. 1989).

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

A. amaranto:

El amaranto (ver figura #1) es un pseudo cereal que pertenece a la clase Dicotiledónea. Actualmente han sido aceptados alrededor de 60 géneros de *Amaranthaceae* y más de 50 especies *Amaranthus* (Matz, 1991).

A pesar de que se tiene conocimiento de los usos alimenticios del amaranto; las hojas como vegetal y las semillas como cereal, desde la época precolombina, es un alimento relativamente nuevo, pues su aplicación por la industria alimenticia recién empieza (Ortiz, 1995; y Oke, 1983).

Algunas de las poblaciones indígenas sembraban ya el amaranto, junto con el maíz y los frijoles. Sin embargo, la práctica de la siembra de esta planta decayó con la llegada de los españoles. Se sabe que fue en este momento cuando el cultivo de este grano cesó, aunque las razones no se conocen con certeza. Debido a que se conoce su composición química y el excepcional valor nutricional que aporta, hoy en día, se está retomando la siembra de este grano, y promoviendo su utilización para la alimentación (Kauffman, 1992; Ortiz, 1995). Para dar una idea de lo que este grano significa para la alimentación, se mencionan algunos de los hallazgos más impresionantes que los científicos han encontrado (ver tabla #1); éste, tiene tres veces más fibra que el trigo y cinco veces más hierro que el maíz (www.nuworlدامaranth.com, 1999). Sin embargo, no debe faltar mencionar que el mérito más importante del amaranto, es su alto contenido de proteína y su alto nivel de los aminoácidos esenciales lisina, triptofano y aminoácidos azufrados; a diferencia de los demás cereales. En el cuadro #1 se muestra el desglose de los aminoácidos esenciales para el *A. Cruentus*. Este cuadro también muestra el patrón de referencia de aminoácidos de la FAO/WHO. En él se muestra que el contenido de lisina cumple con el 99%, la treonina 95%, el triptofano 120% de las referencias de la FAO. A pesar que el contenido de leucina es bajo, la investigación no demuestra que éste sea un aminoácido limitante (Canjura, 1987; Ortiz, 1995).

Tabla # 1: Comparación de nutrientes entre cereales en 100 gramos (base seca)

Grano	amaranto Expandido	Trigo	Maíz	Arroz	Avena
Proteína (g)	19	12.8	9.4	5.6	15.8
Fibra (cruda)(g)	5.6	2.3	3	0.3	3
Grasa (cruda)(g)	6	1.7	4.7	0.6	6.9
Carbohidratos(g)	65	71	74	79.4	66
Calcio(mg)	250	29.4	7	9	54
Hierro(mg)	15	4	2.7	4.4	5
Calorías	414	334	365	360	389

(www.nuworldamaranth.com)

El grano del amaranto, aparte de aportar un alto contenido de aminoácidos, contribuye en la nutrición con un alto contenido de proteína de buena calidad. De estas el 35% del total se encuentra en el endospermo y el 65% en el germen y la cáscara (Matz, 1991). No sólo la alta composición de proteína es una ventaja sobre el resto de granos; sino que mejor aún, la calidad proteica del amaranto aumenta con el procesamiento térmico, cualquiera que éste sea (Bressani, 1992).

El contenido lipídico del amaranto, el cual según la literatura va desde 6% hasta 7.6%, es otra ventaja sobre otros granos, del cual alrededor del 77% es ácidos grasos insaturados con alta porción de ácido linolénico (Matz, 1991).

Tabla #2: Contenido de amino ácidos en miligramos por gramo de nitrógeno

Amino Ácido	Species			
	<i>A. Caudatus</i>	<i>A. Hypochondriacus</i>	<i>A. Cruentus</i>	<i>A. Edulis</i>
Lisina	364	374	337	329
Treonina	230 (92.0)	268	238 (92.5)	212 (84.8)
Metionina	148	106	118	125
Cystina	116	131	127	123
Azufradas Totales	264	237	245	248
Valina	264 (86.8)	237 (76.4)	269 (86.8)	254(81.9)
Isoleucina	218 (87.2)	250	222 (88.8)	216 (86.4)
Leucina	349 (79.3)	382 (86.8)	344 (78.2)	348 (79.1)
Fenilalanina	238	328	263	250
Tirosina	205	269	200	207
Arómicas Totales	443	597	463	457
Triptofano	86	84	75	59
Histidina	158	169	159	150
Histidina	556	506	434	541
Arginina	495	506	485	500
Ácido Aspártico	400	500	387	265
Serina	1003	1037	956	870
Ácido Glutámico	254	287	244	223
Prolina	453	525	461	415
Glicina	229	244	216	215
Alanina				

(Bressani, 1983).

2. Usos del amaranto:

El amaranto tiene gran variedad de aplicaciones en la industria de alimentos; como grano entero, expandido o harina. Puede ser usado en productos como cereales para desayuno, recubrimientos para carnes, pescado o vegetales, golosinas, repostería, condimento de ensaladas, productos horneados y alimentos dietéticos; incluso se puede utilizar como un sustituto de grasa (www.nuworldamaranth.com, 1999).

Las tendencias en cuanto a la utilización del grano, según Ortiz (1995) son:

- Uso del grano solo. Esta aplicación se justifica por el alto contenido de nutrientes presentes en el amaranto (Ortiz, 1995).
- En mezclas con otros productos. Los productos con los que normalmente se mezcla son otros cereales, leguminosas y cereales; y en harina con otras harinas e incluso leche. El objetivo de las mezclas, es la obtención de productos de mejor valor nutritivo (Ortiz, 1995).

3. Procesamiento del grano de amaranto:

Después de ser cosechado, el grano de amaranto, es sometido a diferentes tipos de procesamiento o tratamientos: malteo, secado, molienda, cocimiento; antes de ser consumido. En relación a esto, diferentes científicos han reportado que el valor nutritivo del amaranto mejora luego de ser procesado (Mendoza, 1985).

1. Malteo:

Los fines que persigue este proceso no son más que preparar el grano para tratamientos posteriores, mejorar el sabor del producto final y modificar el almidón del grano. El proceso consiste de dos pasos: la germinación del grano en condiciones conocidas y luego el secado del grano en condiciones controladas para mantener la actividad enzimática (Lapedes, 1977).

a. Germinación:

Las semillas, el grano, representa el estado del desarrollo de la planta en que es particularmente resistente al calor y al frío. Durante la germinación se distinguen

tres estados. El primero es en el que el grano absorbe agua y se asocia con el incremento de la respiración. Se sabe del segundo estado, aunque los cambios que ocurren no son medibles. Sin embargo, es el estado crítico pues es el punto en que se determina si el grano va a germinar o no. Hasta este momento, la germinación es reversible. La semilla puede ser secada hasta su condición inicial sin afectar la posibilidad de germinar después. La etapa final es el momento en que crece el embrión. Para que se dé la germinación existen ciertos requerimientos de humedad, temperatura y la presencia del oxígeno (Lapedes, 1977).

Algunos granos presentan una germinación retardada. Esto puede deberse a cualquiera o a la combinación de cuatro factores, que pueden ser: la presencia de inhibidores de la germinación que pueden ser removidos por percolación, como ocurre con las lluvias fuertes. Se ha encontrado inhibidores de este tipo en el género *Amaranthus*, dichos inhibidores también reprimen la respiración del grano. El segundo factor es el exceso de sales minerales en el suelo, que también puede eliminarse con el lavado. El tercer factor es la presencia de residuos de la fruta o planta en que se encontraba. Por último, el cuarto factor es la dureza de la cáscara de la semilla, que puede ser controlado al frotar las semillas contra arena o piedras (Lapedes, 1977).

2. Modificación del almidón:

El almidón puede ser modificado por reacciones enzimáticas, químicas o por acción de la temperatura en presencia de humedad (Canjura, 1987).

- a) Acción enzimática: Varias son las enzimas que actúan sobre la amilasa y la amilopectina. Las β -amilasas y las exoenzimas, en específico, son las encargadas de llevar a cabo el malteo del almidón. Su forma de actuar es hidrolizando los enlaces α -1,4. Esta hidrólisis es llevada a cabo para liberar la maltosa de la amilopectina. Las hidrólisis enzimáticas practicadas en los gránulos del almidón se realizan con frecuencia para producir siropes dulces (Penfield, et al., 1990).
- b) Acción de los tratamientos químicos: El objeto de estos tratamientos es crear un almidón mejorado. Estas mejoras pueden ser, mayor resistencia a los tratamientos

térmicos, medios ácidos, entre otros. Con esto se consigue crear un granulo en el que la temperatura de hinchamiento se ve modificada, así como también crear un almidón que provee mayor vida de anaquel a los alimentos que están destinados a ser almacenados en temperaturas muy bajas (Penfield, etal., 1990).

- c) Acción de la temperatura en presencia de humedad: Cuando los gránulos de almidón crudo entran en contacto con el agua, se hinchan. Si a la vez se le aplica más calor y agua, la amilasa se degrada fuera del granulo. A este proceso se le conoce con el nombre de proceso de gelificación (Canjura, 1987).

3. Secado:

El secado es un proceso por el que se retira agua de la materia, a lo que también se le conoce como deshidratación. El objeto de este tratamiento es preservar los alimentos (Toledo, 1991).

Para comprender con claridad cuál es el efecto de la deshidratación en los alimentos es necesario definir los siguientes términos:

- a) Actividad del agua:

La actividad, también conocida como A_w , es la medida del equilibrio de la humedad relativa, aunque también se conoce como el porcentaje de la humedad relativa atmosférica que está en contacto con el contenido de agua en equilibrio de un alimento. Se define como la razón entre la presión parcial del agua de un producto y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura (Toledo, 1991).

- b) Mecanismo de secado:

Está compuesto de 4 etapas:

- b.1) Tasa de secado constante: en este período ocurre una vaporización del agua libre de la superficie de la materia y su composición y la presión de vapor permanecen constantes. La estructura del material no tiene influencia en esta etapa (Kirk, etal.,1985).

- b.2) Contenido de humedad crítico: es el contenido de humedad que se alcanza después de la etapa de secado constante. Esta cantidad es función de las propiedades de la materia, la tasa de secado constante y el tamaño de la partícula (Kirk, et al., 1985).
- b.3) Contenido de humedad en equilibrio: es el estado en el que la humedad del material higroscópico entra en equilibrio después de ser expuesto al ambiente. Esta condición es independiente de la tasa de secado o del método, y es función de las propiedades de la materia (Kirk, et al., 1985).
- b.4) Período de disminución de secado: esta etapa es función de la continuidad de difusión del líquido, homogeneidad del material, capilaridad, difusión de vapor, entre otros (Kirk, et al., 1985).
- c) Efectos del secado:
- Se pueden mencionar algunos que son dañinos para el alimento cuando se somete a estos tratamientos y pueden ser:
- c.1) Disminución de tamaño del alimento: Una porción celular, ya sea vegetal o animal, contiene una característica que se conoce como turgencia. Esta propiedad es función del contenido líquido de la célula y se entiende como la firmeza celular debido a la tensión que ejerce el volumen de agua. Cuando el alimento se somete a un tratamiento de deshidratación, este volumen de agua disminuye. Con esto el estrés al que está sometida la célula se aminora y pierde su tensión. La estructura celular es capaz de reducir el tamaño de su perímetro, por la ayuda de la elasticidad de las paredes celulares. Sin embargo, esta reducción de tamaño es mínima, por lo que al depender de la cantidad de agua que se extrae del alimento se deforma y pierde firmeza. Este daño es reversible en un mínimo porcentaje y ocurre en todos los casos de deshidratación a excepción de "freeze drying" (Van Arsdel, 1964).
- c.2) Empardeamiento: El efecto negativo menos deseado que acompaña a la deshidratación es el empardeamiento del alimento. El cual consiste en el cambio de color irreversible, que se da por diferentes reacciones químicas. Ocurre con mayor frecuencia en las frutas y verduras, que en los granos y cereales (Van Arsdel, 1964).

- c.3) Migración de solutos: Esta, consiste en el movimiento de los solutos hacia el centro del alimento. Estos generalmente son azúcares en su mayoría, seguido por minerales y vitaminas (Van Arsdel, 1964).
- c.4) Pérdida irreversible de la habilidad para rehidratar: Este efecto es función de la agresividad del secado. Pues al secar el alimento se cambian las estructuras celulares, generalmente son dañadas y pierden la habilidad de retomar su forma original. Cuando un alimento se somete a un proceso de rehidratación, lo que consiste en la reabsorción de agua, las estructuras más externas sufren estrés severo. El cual provoca el hinchamiento de la superficie celular, ya que favorece la migración de los solutos a los extremos e impide la reestructuración de la turgencia (Van Arsdel, 1964).
- c.5) Pérdida de Constituyentes Volátiles: Cuando el agua de un alimento está siendo volatilizada acarrea consigo sustancias volátiles que además son solubles. Este efecto es irreversible y generalmente, implica la pérdida parcial y en algunos casos total, de sabor y olor de los alimentos (Van Arsdel, 1964).

D) Tratamiento para amaranto:

1. Cocción en agua a presión ambiental: es el proceso de cocción utilizado con más frecuencia. Consiste en cocinar el grano del amaranto dentro de un recipiente abierto a la atmósfera, con agua, puesto directamente a una fuente de calor para que hierva. Según Bressani (1992), para su estudio realizado en Guatemala, con una relación de agua-amaranto de 3:1, el tiempo de cocción máximo para obtener un grano con sus mejores características nutricionales, es de 10 minutos, siendo también el tiempo óptimo. Transcurridos más de 10 minutos se experimenta un daño irreversible tanto en los gránulos de almidón como la cualidad de las proteínas del grano de amaranto (Bressani, et al., 1992).
2. Cocción en agua dentro de la olla de presión: Este tipo de cocción se realiza en una olla que es una especie de retorta casera. Tiene la característica que se puede cerrar, aislándola de las condiciones del entorno. Este tipo de dispositivo permite la ascensión de la presión y permite alcanzar temperaturas más altas que la de ebullición del agua. Bressani (1992), para su estudio, clasificó los granos de amaranto en dos clases: los granos claros

y los oscuros y encontró que la proteína de los granos de amaranto claro tienen mejor calidad que la de los oscuros. Entre otras de las diferencias que encontró es que el tiempo de cocción óptimo, con la relación agua-amaranto, 3:1, también varía al depender del color, ya que para los claros es de 20 minutos únicamente y para los oscuros es de 40 minutos (Bressani, et al., 1992).

3. Secado en Secador de Tambor: Para el estudio llevado a cabo por Bressani (1992), el grano del amaranto fue previamente cocinado por 30 minutos y luego fue secado en un secador de rodos. Entre los resultados obtenidos por sus estudios se observa que la digestibilidad y la calidad de la proteína no varían significativamente; al variar las condiciones de la cocción y del secado en el secador de rodos, la humedad del grano y la velocidad de los rodos. Sin embargo, la calidad de la proteína se vio mejorada por la cocción del grano previo a este proceso (Bressani, et al., 1992).
4. Extrusión: Este método de procesamiento de alimentos consiste en la cocción por medio del calor que puede ser inyectado como vapor por presión, o el ocasionado por la fricción del dispositivo por donde pasa el grano (Penfield, 1990). Según Potter (1995), en la mayoría de los casos no es necesario aplicarle calor, pues la presión que se alcanza provoca un incremento en la temperatura. Este método de cocción del grano del amaranto presenta ventajas sobre los otros tipos de métodos, como su relativo bajo costo, que el consumidor final no necesita volver a cocinarlo y su aumento en la calidad del valor nutricional respecto al grano crudo. Para el estudio de Bressani (1992), se observó que no hay necesidad de humedecer el grano para extruirlo por que posee alto contenido de grasa. Entre otros de los efectos obtenidos al extruir el grano son el descenso de la temperatura de gelatinización, el aumento en el índice de absorción de agua y el aumento de la cantidad de gránulos de almidón dañados (Bressani, et al., 1992).
5. Expandido: Este método consiste en poner el grano de amaranto sobre una superficie caliente para conseguir que por efecto de la alta temperatura se reviente. Es el método más común de cocción del amaranto (www.nuworlamaranth.com, 1999). Según Bressani (1992), la calidad de la proteína mejora, así como la digestibilidad de ésta, después de sometido a este tratamiento (Bressani, et al., 1992).

6. Tostado: Para este método, el grano también es sometido a temperaturas altas para conseguir un cambio de color, textura y sabor. Aquí la temperatura es controlada para evitar la expansión, así como la carbonización del alimento (Gili, 1992). En los estudios realizados por Bressani (1992), se discute que también se observa un aumento en la calidad y digestibilidad de la proteína. Sin embargo, los resultados no muestran que las cualidades obtenidas sean mejor a las provocadas por la expansión y se observó que la lisina se inactiva parcialmente por este método (Bressani, 1992).
7. Molienda: Es el proceso mecánico de reducción de tamaño de la partícula de un alimento, por la aplicación de una fuerza (Douglas, 1974). Según Bressani (1992), las cualidades obtenidas en la molienda varían dependiendo del tipo de molino que se utiliza y los estudios que han sido realizados, no son suficientes para determinar que tipo de molino es el más adecuado para este grano (Bressani, et al., 1992).
8. Germinación: Este proceso tiene efecto en cambios químicos y físicos importantes, especialmente en la composición nutritiva y en la aceptabilidad por el consumidor. Según la literatura citada por Colmenares de Ruiz (1990), a medida que un grano se germina, se observa un gasto de las reservas de carbohidratos y en algunos casos de proteína. Para este análisis, los granos fueron lavados y remojados en una solución con etanol y cloruro de calcio por 5 minutos. Luego los granos fueron lavados y puestos a remojar por 5 horas. En esta prueba se observa que concluidas 48 horas de germinación del 75-85% de este había germinado. Durante la germinación se observó que las reservas de carbohidratos habían disminuido, mientras que las cantidades de azúcares solubles habían aumentado. También se observó la reducción del ácido fítico y el aumento en los gránulos de almidón dañados. Aunque se esperaba una variación en las reservas y niveles de proteínas, no fue el caso para el amaranto. Entre las variaciones nutricionales observadas, se encuentra la del aumento general de las vitaminas en el grano por acción de la germinación. Sin embargo, se obtuvo que el grano germinado que se cocina sufre una disminución general en su valor nutritivo (Colmenares, et al., 1990).
9. Cocción en microondas: Las ventajas de este tipo de procesamiento es la reducción en los costos del equipo y la energía utilizada. Las microondas

tienen un gran poder de penetración en el alimento y éste experimenta con rapidez un calentamiento sin gradiente de temperatura. Estas características son función de la frecuencia y la propiedades dieléctricas del sistema. Sin embargo presenta un reto: optimizar los intervalos de calentamiento y conseguir una uniformidad en la temperatura (Schwartzberg, 1990; Yoshida, et.al, 1990; Yoshida, et.al., 1995).

Dentro de la cocción se han observado interacciones entre las microondas y los alimentos, tales como rotación de las moléculas de agua y migración de los iones en los alimentos. Aunque no se ha encontrado evidencia que las microondas interactúan con los lípidos, se ha logrado establecer que sí aumenta el valor calórico de los alimentos después de ser sometidos a este proceso. También debe mencionarse, que aparentemente, los nutrientes de los alimentos cocidos en microondas sufren menos daño que la cocción convencional (Schwartzberg, 1990; Svanberg, et.al., 1997). Se debe indicar que durante este procesamiento se observan puntos fríos y calientes en el alimento. En la superficie la temperatura que se alcanza es más caliente que en el centro del alimento, por el comportamiento de las microondas (Schwartzberg, 1990).

Es importante considerar el siguiente riesgo: las microondas son capaces de calentar los aceites de los alimentos con bajo contenido de humedad y alta cantidad de grasa, a sus temperaturas de ignición y que cause la combustión del alimento (Schwartzberg, 1990).

En los estudios realizados por Yoshida (1995), en soya, a medida que se aumenta la humedad del grano por inmersión en agua y/o disminuye el tiempo de cocción, se inhibe el empardeamiento. También observó que la energía del grano de soya aumenta y lo atribuye a la elevación de la temperatura del grano, y a la vaporización del agua interna. Una de sus observaciones importantes fue que mientras menor es el contenido de humedad y mayor es el tiempo de exposición al agua, se nota un incremento de ácido palmítico y el descenso del ácido linoleico, así como también el aumento de la temperatura interna del grano después del tratamiento. También existe un descenso de los fosfolípidos, que puede ser por descomposición o por formación de complejos con proteína o carbohidratos.

En un estudio realizado previamente por Yoshida (1988), se observó que si se ponen los granos de soya dispersos en el fondo de un recipiente de vidrio cerrado, una caja petri, estos no se rajan ni se expanden. El tiempo óptimo de cocción de microondas observado es de 6 minutos, ya que en este tiempo es que no se observa la caramelización de azúcares liberados, el empardeamiento del grano ni un cambio significativo en la composición de los triglicéridos. Entre los hallazgos de sus análisis, determinó que el proceso de microondas no es el mejor para inhibir la acción de la tripsina. Sin embargo, a medida que sometía el grano a procesos más largos de cocción se extrajo mayores volúmenes de lípidos, lo que se atribuye a la desnaturalización de las proteínas. También se observó el descenso gradual de la concentración de triglicéridos y el aumento de los lípidos no polares, a medida que se exponía a las microondas por más tiempo aunque la humedad parece inhibir este comportamiento. De los resultados obtenidos en esta prueba el más importante pareciera ser que hasta antes del alcanzar el empardeamiento las grasas saturadas disminuyen, aunque la composición de los ácidos grasos no varía significativamente cuando la soya fue remojada previamente.

En 1985, Hafez realizó pruebas con soya y observó que al someterla al microondas por un período de tiempo de 9 a 12 minutos, se redujo la solubilidad de ésta en agua sin iones. También demostró que esta exposición daña la estructura cuaternaria de la mayoría de las proteínas de la soya. Entre otro de sus hallazgos importantes se menciona, que aparentemente este tratamiento protege los ácidos grasos insaturados de la oxidación por la inactivación de la lipoxigenasa, ya que mejoran el valor nutritivo de sus aceites.

En 1997, Svanberg realizó pruebas de cocción de arvejas con microondas. Su hallazgo más importante es que la fibra de las arvejas se ve menos dañada al cocinarla en microondas, que someterla a un proceso de escaldado.

4. Harinas:

La harina es la parte fundamental de la dieta humana hoy en día, la cual está constituida principalmente por pan ya que la harina es el principal ingrediente del pan. Lo que según Penfield (1990) representa la quinta parte de la ingesta calórica diaria. Debido a esto, se ha estudiado la posibilidad de producir harinas de otros granos y no sólo de trigo. Hasta ahora, no se ha tenido éxito en la sustitución de la harina de trigo por harinas de otros granos. Esto se debe principalmente a que las características funcionales deseadas para la harina dependen principalmente del gluten y las proteínas del trigo (Penfield, et al., 1990).

La harina es el ingrediente que incide en las respuestas y comportamiento de las masas y las propiedades finales de los productos terminados. Esta influencia se debe a la proporción y contenido proteínico de la harina (Matz, 1992).

Existen diferentes clases de harinas de trigo, que dependen principalmente del porcentaje de proteína y la cantidad de gluten, que es a lo que se le conoce como la fuerza de la harina. Se clasifican como:

1. Harinas de fuerza moderada: Contienen de 11 al 13% de proteína. Debido a su fuerza son aptas para la producción de pan de molde (Kirk, et al., 1966).
2. Harinas duras: Son las que contienen valores más altos de proteína. Tienen la característica que sus gránulos de almidón tienen una adherencia particular con las proteínas. Estas propiedades le permiten formar mayores cantidades de gluten, de mejor calidad al mezclarla con agua. Este tipo de harina es ideal para elaborar pan en general (Penfield, et al., 1990).
Otras de las cualidades es que son harinas ásperas al tacto y generalmente tienen un color crema. Poseen una alta capacidad para absorber agua. Pero también son las que necesitan mayor tiempo de fermentación. Su contenido protéico puede llegar hasta un 15% (Unisola, 1999).
3. Harinas Suaves: Son las que contienen valores menores de proteína y son las adecuadas para elaborar pasteles y productos de repostería (Penfield, et al., 1990).
Contienen 7 y 8% de proteína y se compensa con la adición de otras harinas o con leche (Unisola, 1999).
Algunos de los parámetros de control de calidad para las harinas son sus contenidos de minerales, la capacidad para fermentar, la acidez y la viscosidad de la harina suspendida en agua (Kirk, et al., 1966).

Se encontró en la literatura que para 2 onzas de harina de amaranto: 200 calorías, 8 gramos de proteína, 35 gramos de carbohidratos, 3 gramos de grasa, 0 miligramos de colesterol, menos de 1 miligramos de sodio y 3.9 gramos de fibra (Netzer, 1992).

F. Harina de amaranto:

En la actualidad se comercializan ya muchos productos elaborados a base de amaranto. Estos productos pueden adquirirse en supermercados de países con industrias alimenticias más avanzadas. Incluso, se comercializan a través del Internet (www.nuworldamaranth.com, 1999).

A pesar que pocos estudios se han realizado en relación a la elaboración de harinas de amaranto, es posible adquirirla como materia prima para el procesamiento de otros productos como pastas, galletas, cereales, bebidas, entre otros (Paredes-Lopez, et al., 1990).

1. Estudios realizados previamente:

De los pocos estudios que se encontraron en la literatura, hay algunos datos interesantes que no deben pasar inadvertidos:

Según, Paredes-Lopez (1990), el contenido de amilosa es relativamente bajo en la harina de amaranto 3-7%, comparado con la harina de arroz que varía de 14-32%.

Es obvio que los diferentes procesos tienen efectos en las harinas del amaranto. Como en el estudio realizado por Singhal (1991), en el que se obtiene que la capacidad de la harina para retener agua y grasa aumentó al expandir el grano. Sin embargo, la capacidad de absorber agua es mayor a la de absorción de grasa, sea inflado el grano o no. De lo que se sugiere que la mayoría de las proteínas del amaranto son hidrofílicas. Esto concuerda con la literatura previa a este análisis, en la que se había encontrado que los principales componentes proteicos del cereal son las albúminas y globulinas. Entre otros de sus resultados, se observa que la harina del grano que no es extruida tiene valores más altos de viscosidad, que la expandida. Este es un resultado que debe tomarse en cuenta para la aplicación que se le proponga a este tipo de harina.

En los estudios realizados por Sánchez-Marroquín (1986), se demostró que la harina de amaranto es un ingrediente con cualidades inigualables, que podría aplicarse en la industria de alimentos infantiles. También se menciona en este estudio que la harina

de amaranto entera, es más barata de producir que la que se fracciona en un clasificador con aire. Sin embargo, la segunda tiene algunas ventajas como menor volumen específico y mayor contenido proteico. Es importante mencionar que la harina de amaranto en general es un producto que puede usarse en alimentos hipoalergénicos pues no contiene gluten ni lactosa.

Entre los estudios, fue posible encontrar uno realizado por Sánchez-Marroquín (1985), en el que se menciona que la temperatura de gelatinización disminuye cuando el grano es sometido a temperaturas altas. Este es un factor importante, pues se ha demostrado que existe relación entre la viscosidad inicial y la temperatura de gelatinización inicial. El estudio consistía en realizar mezclas de harina de trigo y amaranto, para luego preparar productos horneados y estudiar las diferencias de sus propiedades funcionales. Entre estas diferencias se observaron cambios en la expansión y extensión de los productos y variaciones en las características de la corteza. Dado que el resto de variables se mantuvieron constantes, se pueden atribuir los cambios al aumento en el contenido de la proteína. Se logró establecer que las relaciones de harina de trigo:amaranto de 90:10, son las más adecuadas para hornear, ya sea que la harina fuera a base de amaranto crudo o tostado. En general se logró determinar, para los productos elaborados con una mezcla de harinas, que los niveles de absorción de agua de las masas aumentaron, así como que se da una mejoría en el sabor y un aumento en la calidad nutricional de los productos horneados.

V. ***MATERIALES Y MÉTODO EXPERIMENTAL:***

A. **Materiales:**

1. Materia Prima:

- Amaranto: La variedad de amaranto que se utilizó es *A. cruentus* blanco cosechado en El Salvador alrededor de Octubre de 1999.
- Harina de trigo: Se utilizó marca Gold Medal, elaborada en Guatemala por INHSA, con número de lote GMKT2-BD8.
- Fécula de maíz: Se utilizó marca Maizena, elaborada en Guatemala por MAISA en Enero de 2000, con número de lote 00118809.

B. **Método:**

1. Elaboración del harina:

Se inició lavando el amaranto con una solución de cloro para remover contaminantes y luego con agua Salvavidas para eliminar las trazas de cloro y suciedad. Se dejó secar al aire libre sobre bandejas plásticas cubiertas con papel absorbente. Luego se procedió con el tratamiento térmico. Los procedimientos del proceso se realizaron en duplicado.

- La harina de amaranto cocido a presión atmosférica, muestra A. Para este proceso se utilizó el proceso elaborado por Bressani (1992). Con las condiciones siguientes: relación de agua:amaranto de 3:1 y se dejó ebullición por un período de 10 minutos en una olla abierta al ambiente. Después de cocido el grano, se dejó escurrir para eliminar el exceso de agua y se secó en un horno convencional a 250°F por 30 minutos. Se procedió a moler 6 veces en un molino de discos. Una vez elaborada la harina se almacenó en bolsas de polietileno resellables, marca Ziploc, en una refrigeradora a 7°C, proximadamente.
- La harina de amaranto cocido en un microondas, muestra B. Para este proceso no se cuenta con información de experimentos realizados previamente en amaranto. Por lo que se elaboraron dos curvas; una de tiempo de cocción y humedad final y tiempo de cocción y humedad perdida, para el grano entero. En la curvas se determinó que dos minutos es el tiempo en el que el grano se

coce en un horno de microondas marca Sharp de 60Hz y 8A. Esto se determinó por la pérdida de la mayor humedad, sin que el grano llegara a quemarse. Dado que se quería evitar la pérdida de humedad durante la cocción, se utilizó un recipiente de vidrio Pyrex tapado con nylon durante el proceso. Después de la cocción se dejó reposar el grano por 15 minutos, para que se enfriara y absorbiera el agua que se condensó durante la cocción. Después se procedió a moler 6 veces en un molino de discos. Una vez elaborada la harina se almacenó en bolsas de polietileno resellables, marca Ziploc en una refrigeradora a 7°C aproximadamente.

- La harina expandida, muestra C. Para este proceso se expuso el grano limpio a una sartén con tapadera, caliente a 216°C por 20 segundos. La tapadera tenía como función evitar que el grano se perdiera durante la expansión, así como facilitar la agitación para evitar que se quemara. El grano expandido tenía una composición de 10% de grano quemado, 50% de grano expandido y 40% de grano tostado, aproximadamente. Se dejó enfriar y se procedió a moler 6 veces en un molino de discos. Una vez elaborada la harina se almacenó en bolsas de polietileno resellables, marca Ziploc, en una refrigeradora a 7°C, aproximadamente.

2. Análisis Químico de las muestras:

Tanto la muestra de amaranto cruda como las tres harinas obtenidas por los procesos descritos fueron analizadas químicamente en cuatro repeticiones. El contenido de sólidos totales, humedad, cenizas, proteína y grasa fueron establecidos por el método de la AOAC (AOAC,1965). Los carbohidratos totales se obtuvieron por diferencia. El índice de absorción de agua y de fracción soluble se determinaron por el método propuesto por Anderson (Anderson, et al., 1969). Para la determinación de la viscosidad de las harinas se utilizó el viscosímetro de Fann a 3, 100 y 300 RPM, con una muestra preparada con 15g de harina en 350 ml de agua Salvaídas a 30°C.

3. Formulación de los alimentos:

Se elaboraron panqueques a partir de las tres harinas de amaranto con un nivel de sustitución del 50% de harina de trigo. También se elaboraron galletas de

mantequilla, con niveles de sustitución de harina de trigo por harina de amaranto en 0% (muestra control), 33%, 66% y 100%. Para poder analizar las diferencias de funcionalidad, es muy importante que la medida utilizada sea la misma para elaborar los panqueques y galletas. Por último se una bebida con las tres harinas, tomando como base el atol de maizena con el 100% de sustitución de la harina de original por harina de amaranto.

4. Recetas:

- Panqueque clásico: Bata ligeramente un huevo. Agregar $\frac{1}{4}$ de taza de leche, mézclele $\frac{1}{2}$ taza de harina, $\frac{1}{2}$ cucharadita de royal, 1 cucharadita de azúcar y $\frac{1}{4}$ de cucharadita de sal. Mezcle todo con un tenedor para crear una pasta uniforme. Caliente un sartén pequeño, póngale un poquito de margarina. Vierta la cuarta parte de la mezcla y deje cocinar a fuego moderado, hasta que las orillas estén un poco secas y haga burbujas. Dele vuelta con una espátula y deje que se dore. Salen 4 panqueques de tamaño regular (Pérez, 1997).
- Galleta de mantequilla: Batir $\frac{1}{2}$ libra de mantequilla, con una paleta. Agregar $\frac{1}{2}$ libra de azúcar y cuando esté bien mezclado, agréguele 1 huevo y una cucharadita de mantequilla. Después de cernir 3 tazas de harina y 1 cucharadita de royal, incorpórelo a la primera mezcla. Haga bolitas con la masa y colóquelas, separadas, en latas para hornear engrasadas. Hornee a 375°F por 10-12 minutos. Rinde 6 docenas (Pérez, 1997).
- Atol de amaranto: Ponga a hervir un 1litro de leche con azúcar al gusto (4 a 6 cucharadas) y una raja de canela. Disuelva $\frac{1}{2}$ taza de harina de amaranto en 2 tazas de agua fría. Cuando la leche esté a punto de hervir agregue la solución del harina de amaranto. Cocine durante 3 minutos sin dejar de mover. Rinde 4 vasos (Maizena, 1999).

5. Evaluación de los Alimentos:

Las características funcionales de los productos control y los sustituidos por harina de amaranto fueron evaluados. Para las galletas y panqueques se midió el diámetro y grosor, utilizando una regla graduada en cm y mm. Las diferencias de color respecto al control se establecieron por el método del colorímetro Color Quest de Hunter Lab. La dureza, expresada en penetración, se determinó por el método del

penetómetro marca Precision. Para el Atol se midió la viscosidad, después dedejarse enfriar con el viscómetro de Fann. El tiempo de sedimentación, es el observado a partir del momento en que se retiró de la hornilla de la estufa y se sirvió en un vaso de vidrio.

5. Evaluación Sensorial:

Se realizó la Prueba de Aceptabilidad por Escalas, entre la fórmula original y las sustituciones de la harina control, con las de amaranto. Esta se realizó con 30 personas, principalmente seleccionadas del campus de la Universidad del Valle.

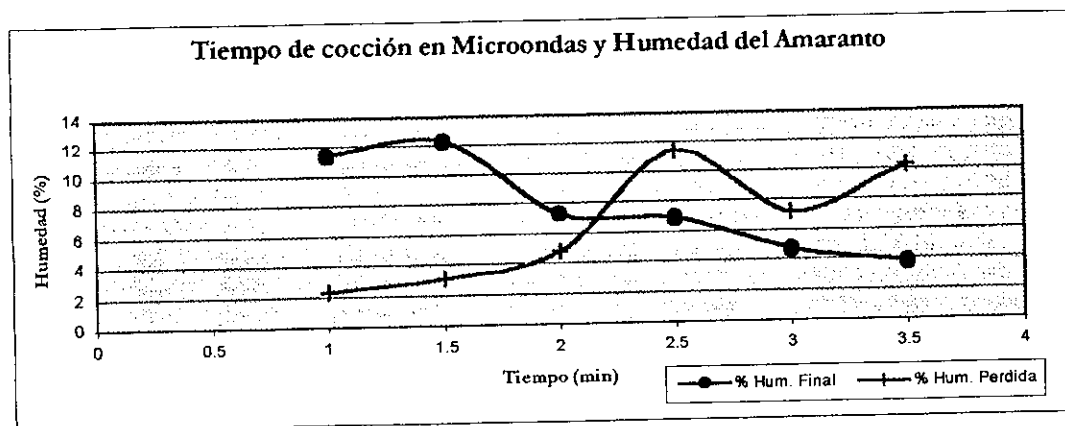
6. Análisis Estadístico:

Para establecer el grado de significancia de las variaciones observadas en los datos de la evaluación de los productos, se utilizó el análisis de varianza con el programa de ANDEVA. Para el grado de aceptabilidad y sustitución del consumidor, por los productos de harina de amaranto, se realizó el análisis estadístico de los promedios ponderados con una escala de límite de confianza al 95%.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Durante este trabajo de investigación se elaboraron tres tipos de harinas a partir del grano del amaranto, por tres diferentes procesos de cocción seguido de una molienda. Para elaborar las harinas A y C, ya se tenía establecido el procedimiento a seguir. Sin embargo, para determinar el tiempo de cocción de la tipo B se utilizó la gráfica #1R, en la cual se observa que, transcurridos dos minutos de procesamiento, el grano ha alcanzado un valor de humedad constante, así como ha sufrido la pérdida de humedad, a un valor moderado. Después de los 2.5 minutos, la pérdida de humedad es más violenta y el porcentaje de humedad en el grano ha descendido bruscamente; también se observa que el grano se ha quemado. De esto se determina que el tiempo más aceptable de cocción a las condiciones dadas en el horno de microondas es de 2 a 2.5 minutos.

Gráfica #1R:



Análisis Proximal:

Las características evaluadas en las harinas son: humedad final, ceniza, grasa, proteínas y carbohidratos totales. Las medias y las respectivas desviaciones estándar de los datos obtenidos en cuatro repeticiones se muestran en la tabla #1R.

Tabla #1R: Resultados del Análisis Proximal de las harinas en Base Natural
(g/100g)

Harina	Humedad	Cenizas	Grasa	Proteína	Carbohidratos
Cruda	14.91±0.01	2.64±0.04	7.09±0.08	15.20±0.31	60.14±0.42
Cocida	7.26±1.03	2.56±0.14	4.45±0.22	15.50±0.55	70.28±1.72
Microondas	19.08±0.38	2.28±0.19	5.81±0.53	12.33±0.34	60.51±0.40
Expandida	3.05±0.06	2.41±0.23	3.95±0.15	14.88±0.45	75.72±0.67

Es muy importante notar que el componente que más varió fue la humedad. De 14.91% de la muestra cruda a 7.26% A; 19.08% B; y 3.05% C. El contenido final de humedad de la harina C, a pesar de ser tan bajo, es aceptable. Para expandir es necesario que el grano pierda un alto porcentaje y violentamente. La alta humedad obtenida en la harina B se debe posiblemente a la condensación, ocurrida durante la cocción en el recipiente de vidrio tapado. Esta agua condensada es el exceso de la absorbida por el grano durante el lavado y el secado al ambiente.

Como era de esperarse, los valores de ceniza no variaron significativamente respecto de la harina de amaranto crudo, lo que muestra que el contenido de compuestos no orgánicos permanece constante durante los tratamientos.

En los valores de grasa sí se observan variaciones respecto del control. En el caso de la A y C se atribuye la disminución observada a la pérdida de una porción germen, ya que disminuye así la cantidad de grasa. En la A, esta pérdida probablemente se debe al raspado de las bandejas metálicas en las que se secó el grano, pues a causa del homeo, el grano cocido se pegó en la superficie de éstas y fue imposible remover el material de las bandejas sin el uso de una espátula. En la C, la pérdida es por el proceso de expansión propiamente. La disminución de grasa observada en general, la cual es una fracción pequeña como en B, puede atribuírsele al proceso de molienda, pues es probable que durante la fricción de los discos se hubiera perdido una porción de la grasa.

Las variaciones observadas en el contenido de proteína no son significativas. Lo mismo ocurre con las variaciones de los carbohidratos, pues esta muestra una relación inversa con la de la humedad.

Propiedades Funcionales:

El análisis de propiedades funcionales es imprescindible en esta investigación, para predecir el comportamiento de los productos producidos con las harinas de amaranto. En la tabla #2R, se muestra los valores para los índices de Absorción de Agua y Sólidos Solubles. Se observa que las tres harinas presentan valores menores de Sólidos Solubles después de ser tratadas térmicamente. Este índice determina el porcentaje de harina que es soluble en agua. Se observa en la tabla, que la harina elaborada a partir del grano cocido en horno de microondas tiene el mayor valor para las tres. Sin

embargo, es significativamente menor que el valor para la del grano crudo. Por el contrario, la harina del grano expandido muestra el menor valor de sólidos solubles.

Tabla #2: Resultados de los Análisis de Propiedades Funcionales

Harina	Absorción de Agua (g gel/g harina)	Solubilidad en Agua (g sólidos solubles/g harina)
Crudo	9.950±1.29	13.63± 0.48
Cocida	5.20±0.29	8.13± 0.24
Microondas	10.00±1.18	8.45± 0.50
Expandida	3.79±0.11	6.20± 0.57

El índice de absorción de agua consiste en la determinación de la habilidad para las harinas de formar geles. En la tabla #2R se observa que el mayor valor lo presenta la harina B, aunque el valor obtenido no es significativamente mayor a la del grano crudo.

A excepción del valor de absorción de agua de la harina B, todos los datos para la solubilidad y la absorción de agua son significativamente menores a los del grano crudo al 99% y 95%, respectivamente. De lo anterior se hace obvio que existe un daño en la estructura de la amilosa del almidón, que es el principal componente responsable de la retención de agua. Una gelatinización parcial del almidón propiciada por las condiciones semihúmedas, explicaría el descenso de la solubilidad de la harina B. Sin embargo, el descenso en la absorción de agua probablemente también es responsabilidad de la desnaturalización de proteínas, que en su mayoría son hidrofílicas. Por los datos obtenidos se puede decir que las modificaciones son más severas en el caso de la harina C, en donde se sospecha la dextrinización propiciada por las condiciones de temperatura y sequedad.

La viscosidad de las harinas a 300 RPM, se describen en las gráficas # 2R, 3R, 4R y 5R.

Gráfico #2R:

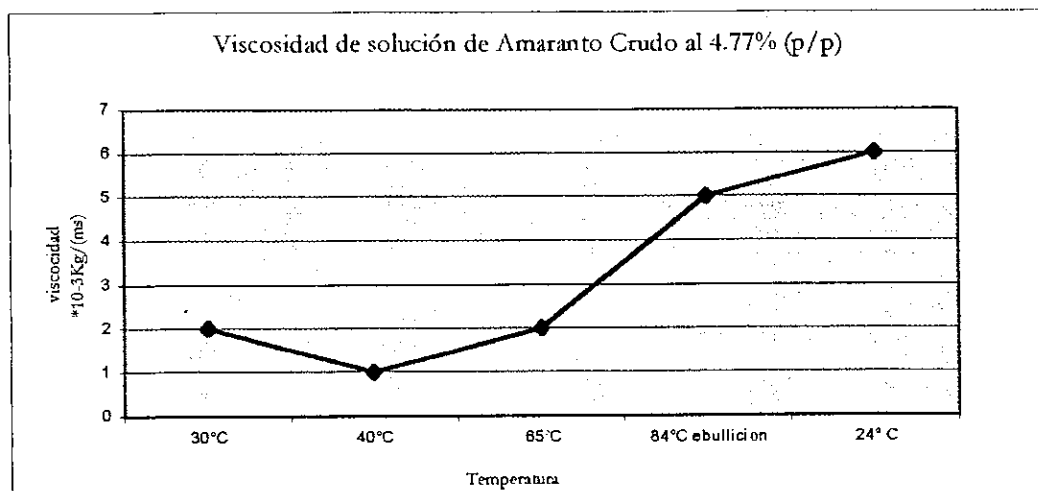


Gráfico #3R:

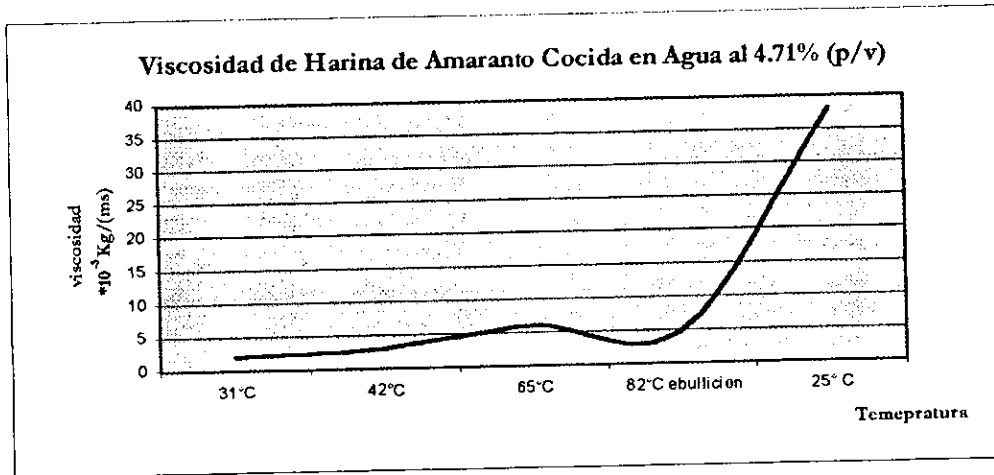


Gráfico #4R:

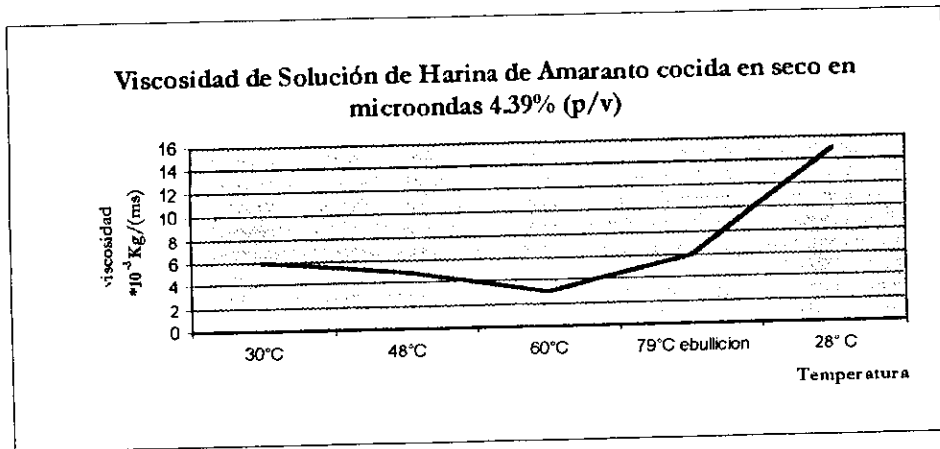
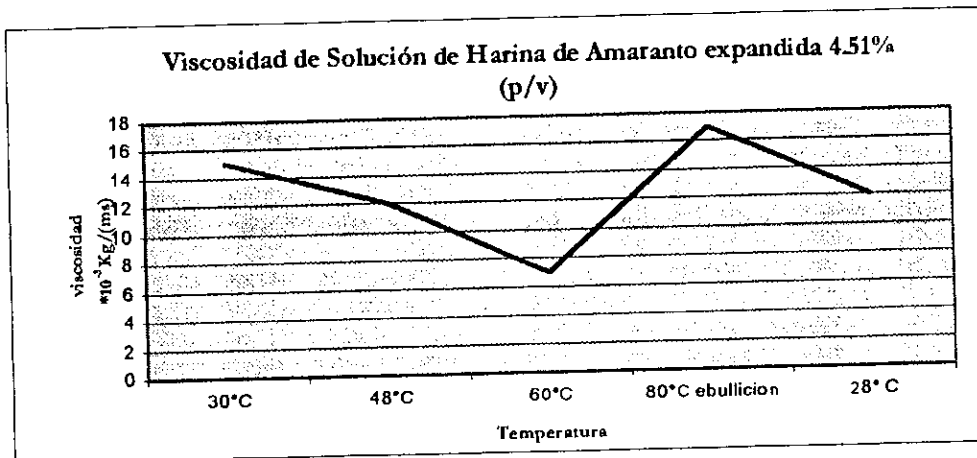
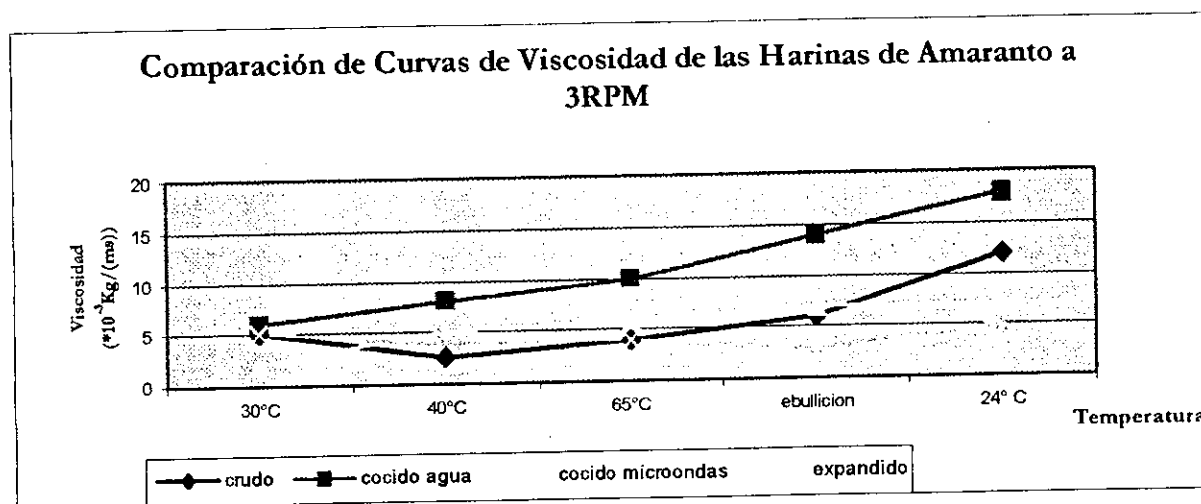


Gráfico #5R:



En las gráficas se observa que las harinas del amaranto crudo, A y B tienen una curva con comportamiento similar, aunque los valores de viscosidad para la A son mayores. Las gráficas presentan una variación observable a la del grano crudo. Esto indica que ocurrió una modificación del almidón durante los procesamientos, que probablemente es la retrogradación de la amilosa. Este suceso se observa más agresivamente en la curva del expandido, ya que en general todos los valores disminuyeron y no se observa la gelificación. Debido al comportamiento de la gráfica #5R, se puede pensar que también se dio la retrogradación de una porción de la amilopectina. Para su mejor comprensión en los Anexos 1, se encuentran curvas de viscosidad a 3, 100 y 300 RPM.

Gráfica #6R:



En la gráfica #6R se encuentran todas las curvas de viscosidad a # 3 RPM para la mejor visualización de las diferencias del procesamiento. Con el fin de analizar el efecto de los procesamientos térmicos, es importante observar los valores de la viscosidad a la temperatura de enfriamiento. Es de interés notar que la harina A presenta el mayor valor, 18 a 24°C, siendo también una con los menores índices de absorción de agua y sólidos solubles. En esta harina los carbohidratos aumentan en relación al descenso del agua, por lo que se encuentran más disponibles para los puentes de hidrógeno con el agua. A pesar que los valores de viscosidad observados son mayores que para la cruda, sus índices de solubilidad y absorción de agua disminuyeron en relación a ésta. Los menores valores de viscosidad en la cruda, probablemente se ven afectados porque las proteínas que no han sido alteradas por el tratamiento térmico compiten por el agua con el almidón. En el caso de la B, la temperatura alcanzada por el grano durante el procesamiento es mayor que en la A, por lo que el daño a las proteínas es mayor, ya que se elimina la competencia por el agua. Esto explica los valores de viscosidad ligeramente mayores que la del crudo. Sin embargo en la

temperatura de enfriamiento se observa menor valor y éste se debe al descenso del índice de solubilidad de la harina.

Evaluación de los Productos:

Los productos se elaboraron tomando en cuenta cualquier probable factor que tuviera efecto en las mediciones posteriores. Por lo que únicamente se modificaron dos variables, tipo de harina y/o concentración de sustitución. En el caso de las galletas y panqueques, se pesaron los ingredientes y se utilizaron las mismas medidas para preparar los productos. Entre las variables que se midieron en los productos ya terminados, para luego compararlos contra un control, son: diámetro y grosor de la galleta y panqueque; diferencias del color y distancia de penetración. En los atoles se controlaron las cantidades de ingredientes utilizados y los tiempos de cocción. Entre las variables medidas se tiene viscosidad, diferencias del color y tiempo de sedimentación.

Galletas: El control de comparación es la galleta de mantequilla al usar 100% de la harina de trigo. En las tablas #3R, 4R, 5R y 6R se observan los valores de diámetro y grosor.

Tabla #3R: Galleta Control: 100% Harina de Trigo

Muestra	Diámetro (cm)	Grosor (cm)
Promedio	2.67	1.97
Desviación	0.06	0.15

Tabla #4R: Galletas con sustitución de Harina de Trigo por Harina de Amaranto (amaranto cocido en agua)

Muestra	Sustitución del 33%		Sustitución del 66%		Sustitución del 100%	
	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)
Promedio	3.20	1.90	3.77	1.97	3.70	2.00
Desviación	0.26	0.10	0.06	0.06	0.26	0.26

Tabla #5R: Galletas con sustitución de Harina de Trigo por Harina de Amaranto (amaranto cocido en microondas)

Muestra	Sustitución del 33%		Sustitución del 66%		Sustitución del 100%	
	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)
Promedio	3.60	2.23	4.57	1.63	4.30	1.17
Desviación	0.53	0.12	0.15	0.12	0.79	0.15

Tabla #6R: Galletas con sustitución de Harina de Trigo por Harina de Amaranto
(amaranto expandido)

Muestra	Sustitución del 33%		Sustitución del 66%		Sustitución del 100%	
	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)
Promedio	3.70	1.90	3.90	1.77	3.23	1.87
Desviación	0.10	0.10	0.10	0.15	0.06	0.06

El control tiene un diámetro promedio de 2.67 cm y todas las demás galletas presentan variaciones significativas al 99% respecto del control. Por el otro lado, se observan variaciones significativas al 99% entre las tres diferentes harinas de amaranto y significancia al 95% de las variaciones obtenidas respecto de la concentración de sustitución de harina de trigo. En el caso del grosor, el control, galleta de trigo, presenta un promedio de 1.97 cm y el resto de las galletas tienen un grosor muy semejante a excepción de la sustituida 100% por harina de amaranto cocido en microondas. A pesar de la similitud, la variación de las harinas y concentraciones contra el control son significativas al 99%, tabla #7R. Esta significancia también se observa para los datos obtenidos entre las tres harinas de amaranto. Se puede, entonces, afirmar que el grosor de las galletas depende de la harina que sustituya la de trigo y la concentración que se usa.

Dado que las únicas diferencias en la preparación de las galletas son las concentraciones y el tipo de harina usados, no puede atribuírsele a otra variable las variaciones de los diámetros y grosores.

Tabla #7R: Análisis de Varianza de los datos obtenidos de los diámetros y grosores de las galletas

Variable	Factor	F	P>F
Diámetro	Clases de Harina: A, B, C y Trigo	7.9596	0.003
Diámetro	Sustituciones: 0%, 33%, 66% y 100%	35.0133	0.000
Grosor	Clases de Harina: A, B, C y Trigo	6.1837	0.000
Grosor	Sustituciones: 0%, 33%, 66% y 100%	10.3837	0.000
Diámetro	Clases de Harina: A, B y C.	7.7623	0.005
Diámetro	Sustituciones: 33%, 66% y 100%	5.9403	0.012
Grosor	Clases de Harina: A, B y C.	8.5775	0.003
Grosor	Sustituciones: 33%, 66% y 100%	12.6404	0.001

En la tabla #8R se muestran las distancias de penetración de las galletas. Se puede observar que son más blandas que la galleta control, que es la que presenta un valor menor de penetración. La galleta que permite una mayor penetración son las sustituidas en los porcentajes de 33% y 100% por harina C. Es necesario mencionar que probablemente estas medidas se ven afectadas por la facilidad con que estas galletas se quebraban, ya que oponían menor resistencia a la penetración.

En la tabla #9R se muestran las diferencias de color de las galletas, en la que la única galleta que pasa los niveles de tolerancia es la que tiene 33% de harina de amaranto cocido en agua. Los demás productos variaron significativamente respecto de su control en cuanto al color.

Tabla #8R: Resultados obtenidos de textura con el Penetómetro en 10s

Muestra	Penetración (mm)	% de Penetración
Galleta T100	0.10	0.51
Galleta A033	0.10	0.53
Galleta A066	1.20	6.09
Galleta A100	0.20	1.00
Galleta B033	1.60	7.17
Galleta B066	0.70	4.29
Galleta B100	1.60	13.67
Galleta C033	2.90	15.26
Galleta C066	0.40	2.26
Galleta C100	2.70	14.44
Panqueque T100	4.08	51.27
Panqueque A050	3.00	91.82
Panqueque B050	2.90	90.91
Panqueque C050	7.95	91.25

Tabla #9R: Diferencias de color contra la muestra control de trigo determinadas por Colorímetro de Hunter

Muestra	Estatus
Galleta T100	Control
Galleta A033	No perceptibles
Galleta A066	Perceptibles
Galleta A100	Perceptibles
Galleta B033	Perceptibles
Galleta B066	Perceptibles
Galleta B100	Perceptibles
Galleta C033	Perceptibles
Galleta C066	Perceptibles
Galleta C100	Perceptibles
Atol Mz100	Control
Atol A100	Perceptibles
Atol B100	Perceptibles
Atol C100	Perceptibles
Panqueque T100	Control
Panqueque A050	Perceptibles
Panqueque B050	Perceptibles
Panqueque C050	Perceptibles

En las tablas #4R, 5R, 6R y 8R, vemos que las galletas que presentan las características más alteradas respecto son las de la harina B, mayores diámetros y con los mayores porcentajes de penetración. Estas alteraciones probablemente están relacionadas con que es la harina con mayor capacidad de absorción de agua y solubilidad. Esta harina es la que produce las galletas más blandas con uno de los mayores porcentajes de penetración. Al tacto esta masa cruda se sentía más líquida probablemente al alto contenido de humedad absorbida. El producto obtenido daba la sensación estar envejecido, por lo que se cree que sí se provocó una retrogradación y daño en las proteínas. Estas modificaciones impiden la formación del complejo proteína-almidón. Este impedimento se hace más claro con la poca habilidad de la harina B de producir galletas de grosor parecido al control, pues a medida que la sustitución es mayor, el grosor disminuye.

En las tablas #4R, 5R, 6R y 8R, se observa que la galleta con porcentaje de penetración, grosor y diámetro más parecido al control es sustituida al 33% con harina A. También es la única que no tiene variación de color perceptible. Estas similitudes la hacen la galleta más aceptada de todas las elaboradas con harina de amaranto. A pesar que no tiene altos valores de solubilidad y absorción de agua, es la harina con mejor curva de gelificación, lo que probablemente le da sus características sensoriales. Esto también va de acuerdo con que es la harina en la que el almidón sufrió un menor daño.

Panqueques: En las tablas #10R, 11R, y 12R se presentan los datos obtenidos para los panqueques.

Tabla #10R: Panqueque Control: 100% Harina de Trigo

Muestra	Diámetro (cm)	Grosor (cm)
Promedio	2.67	0.80
Desviación	0.06	0.10

Tabla #11R: Sustitución de Harina de Trigo por Harina de Amaranto al 50% en el Panqueque

Muestra	amaranto Cocido en Agua		amaranto cocido en microondas		Amaranto Expandido	
	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (cm)
Promedio	4.87	0.33	5.13	0.33	4.80	0.87
Desviación	0.15	0.15	0.21	0.06	0.20	0.06

Aquí se muestra que el diámetro y grosor de un panqueque de trigo son de 2.67 cm y 0.80 cm respectivamente. En el caso de la sustitución del 50% de la harina de trigo por amaranto se observa que los diámetros de los panqueques son mayores, especialmente en el caso del grano cocido en microondas y el grosor de los panqueques es menor.

Tabla #12R: Análisis de Varianza de los Datos obtenidos de los Diámetros y Grosos de los Panqueques

Variable	Factor	F	P>F
Diámetro	Clases de Harinas: A, B, C y Trigo	2.1203	0.170
Diámetro	Sustituciones: 0% y 50%	1050.903	0.000
Grosor	Clases de Harinas: A, B, C y Trigo	12.6735	0.002
Grosor	Sustituciones: 0% y 50%	33.4658	0.000

En la tabla #12R se observa que los diámetros de los panqueques son significativamente diferentes al 99% del control. Sin embargo, no hay diferencia significativa entre las harinas. Sin embargo, el grosor de los panqueques sí varía significativamente al 99% respecto de la harina usada y respecto del control. Es importante notar que el panqueque del grano cocido en microondas es el que tiene mayor diámetro de las tres harinas y menor grosor en proporción; mientras que la harina del grano expandido es de menor tamaño y mayor grosor, comparativamente. Esto, se cree que va ligado con sus índices de absorción y solubilidad, pues los mayores índices son para el grano cocido en microondas y el menor es para el grano expandido. Así también los diámetros son mayores para el cocido en microondas y menores para el expandido. Sin embargo, no se observa una relación entre los índices y el grosor. Estas propiedades tienen efecto en la aceptabilidad. La menos aceptable es la que presenta una diferencia más perceptible del color, la del grano expandido. Entre las propiedades funcionales, la más importante es la variación del porcentaje de penetración, en la que los panqueques de amaranto en general, tienen mayor porcentaje. Esto se percibe como más suaves y menos elásticos. En la tabla #8R se muestran las distancias de penetración para los panqueques. La mayor diferencia percibida entre los grosos, es que el control es un panqueque más compacto y duro, y se le atribuye a la modificación del almidón durante el proceso térmico. Pues retiene menos agua, la cual durante la cocción que se evapora y deja agujeros que permiten mayor suavidad.

Atoles: Es necesario notar que la muestra control utilizada para esta sección no es la más adecuada, pues la maicena es fécula de maíz. También se cometió otro error en la preparación de los atoles pues se utilizó leche como base y no agua. A pesar del error cometido, en las tablas #13R y 14R se muestran los valores de viscosidad de los atoles y los tiempos de sedimentación, para ilustrar mejor las propiedades de las harinas elaboradas. El atol más viscoso es el control, atol de Maizena, pues como ya se mencionó es almidón de maíz, el cual se observa gelificado después de enfriado. El de harina B es el de mayor viscosidad entre las harinas de amaranto. A pesar que no se gelificó no se observó sedimentación. Las viscosidades y tiempos de sedimentación varían proporcionalmente a los índices de solubilidad y absorción. A medida que estos son mayores, la viscosidad es mayor y el tiempo de sedimentación también es mayor. Estas propiedades están relacionadas directamente con el daño del almidón. En el caso del atol de la harina C se da una precipitación casi inmediata y se debe a la poca habilidad de solubilizarse y absorber agua.

Tabla #13R: Viscosidad de los Atoles elaborados con las Harinas

Muestra	Viscosidad de los Atoles en $*10^{-3}Kg/(ms)$ a $30^{\circ}C$		
	Velocidad a 3RPM	Velocidad a 100PRM	Velocidad a 300RPM
Atol Mz100	51	195	300
Atol A100	4	34	80
Atol B100	12	79	140
Atol C100	4	13	46

Tabla #14R: Tiempo de Sedimentación observado de los atoles después de la cocción

Muestra	Tiempo
Atol Mz100	no sedimenta
Atol A100	8 minutos
Atol B100	no sedimenta
Atol C100	1:30 minutos

Evaluación Sensorial: En la tabla #15R de resultados se muestran los intervalos de aceptabilidad de cada muestra, recolectados de la evaluación sensorial. Para la evaluación sensorial se realizó una prueba de aceptabilidad con categorías para facilitar la comprensión y poder determinar el grado de sustitución del control por el producto de interés. La escala incluye “me disgusta muchísimo” (1), “me disgusta” (2), “ni me disgusta ni me gusta” (3), “me gusta” (4) y “me gusta muchísimo” (5).

Tabla #15R: Intervalos de confianza al 95% de la Evaluación Sensorial

Muestra	Valor	Media	Desviación	Limite Inf.	Limite Sup.
Galleta T100	4.43				
Galleta A033	3.93				
Gallera A066	3.60				
Galleta A100	3.03				
Galleta B033	2.90				
Galleta C066	3.07				
Galleta C100	3.23				
Resumen		3.17	0.42	2.90	3.45
Atol Mz100	4.57				
Atol A100	3.93				
Atol B100	4.53				
Atol C100	3.93				
Resumen		4.13	0.35	3.74	4.52
Panqueque T100	4.17				
Panqueque A050	4.77				
Panqueque B050	4.13				
Panqueque C050	4.43				
Resumen		4.44	0.32	4.08	4.81

La galleta control presenta un promedio ponderado de sus puntajes de 4.43. Lo que se interpreta como me gusta. El intervalo de puntajes ponderados con un límite de confianza de 95% para las galletas de las harinas de amaranto es de (2.90, 3.45), con un promedio ponderado de 3.17. De lo que se observa que las galletas no son de desagrado pero tampoco de agrado. En el caso de los atoles se observa que el control, Atol de Maizena, tiene un promedio ponderado de 4.57 y las demás muestras se encuentran en un intervalo con una confianza del 95% de (3.74, 4.52) con un promedio ponderado de 4.13. Con este intervalo se hace evidente que los atoles de las harinas de amaranto tienen una alta aceptabilidad por los consumidores. Sin embargo, ningún atol tiene una aceptabilidad mayor que la del control. En el caso de los panqueques, el control tiene un promedio ponderado de 4.17, mientras las demás muestras presentan un intervalo de (4.08, 4.81), por lo que se puede decir que el consumidor siente más agrado por los panqueques de amaranto que por el de trigo. Es interesante notar que los panqueques de harina de amaranto cocido en microondas y expandido tienen un mejor puntaje de aceptación que el control.

Es importante observar en la tabla #15R que el consumidor en general acepta los productos elaborados con las harinas de amaranto.

VII. CONCLUSIONES:

- 1) Fue posible elaborar tres harinas de amaranto con diferentes propiedades funcionales con los diferentes procesos de cocción del grano.
- 2) El procesamiento térmico del grano de amaranto provoca una disminución en los sólidos solubles y en la absorción de agua.
- 3) Las tres harinas obtenidas pueden ser utilizadas en la elaboración de panqueques y atoles.
- 4) A partir de las harinas de amaranto es posible elaborar galletas de mantequilla.
- 5) Las propiedades funcionales de las galletas y panqueques variaron respecto del tipo de harina y la concentración de sustitución.
- 6) Desde el punto de vista sensorial, las mejores sustituciones por harina de amaranto son: para las galletas de mantequilla, harina de amaranto cocido en agua al 33% como máximo; para la elaboración de atoles, harina de amaranto cocido en microondas; y para los panqueques, la harina de amaranto cocido en agua.
- 7) Las harinas elaboradas a partir de amaranto son duras.

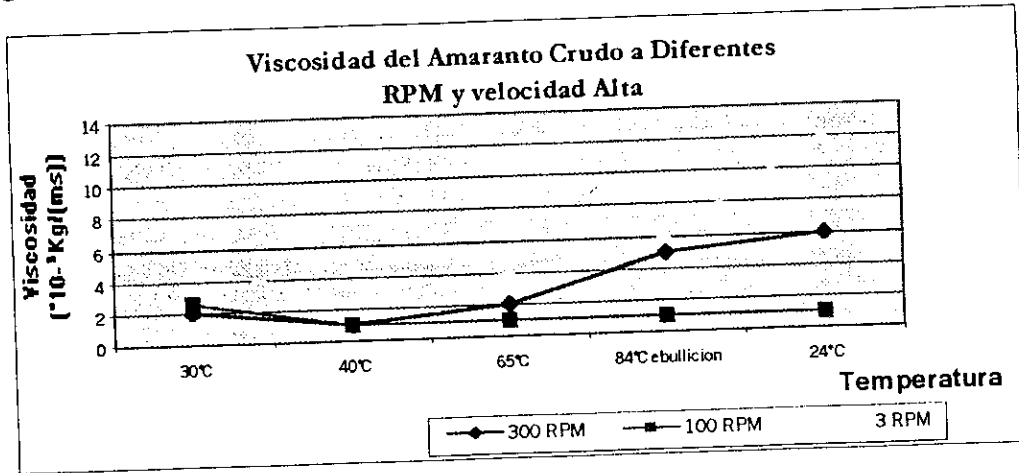
VII. RECOMENDACIONES

- 1) Es interesante observar las características de la harina de amaranto obtenida por la cocción del grano en microondas. Por lo que se recomienda profundizar la investigación en esta área.
- 2) Se recomienda para estudios posteriores, en los que se elaboren galletas a partir de las harinas de amaranto, evaluar niveles de sustitución menores al 33% y mejorar o aplicar otros métodos de procesamiento del grano, como extrusión.
- 3) Se recomienda elaborar estudios para poder obtener un método para obtener un producto expandido más uniforme y con mejores propiedades.
- 4) Ampliar el estudio analítico de los carbohidratos del grano de amaranto crudo y procesado.
- 5) Se recomienda profundizar en los estudios con relación a los atoles de amaranto y utilizar un control a base de una harina de algún cereal.

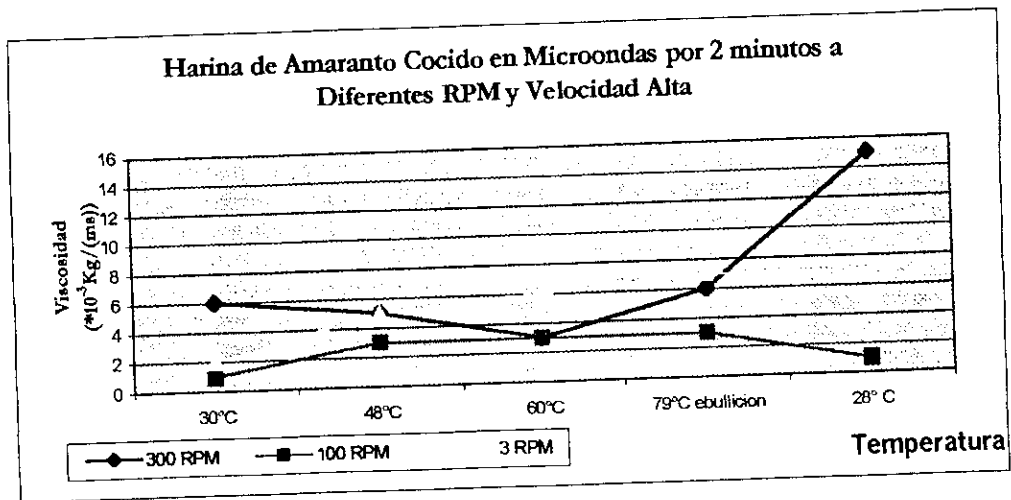
VIII. ANEXOS 1

A. Gráficas Adicionales:

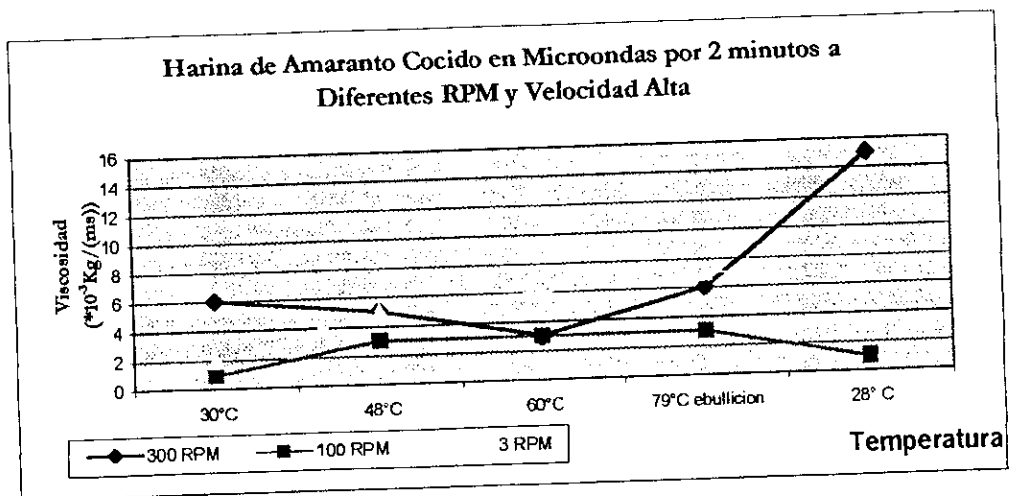
Gráfica # 1a:



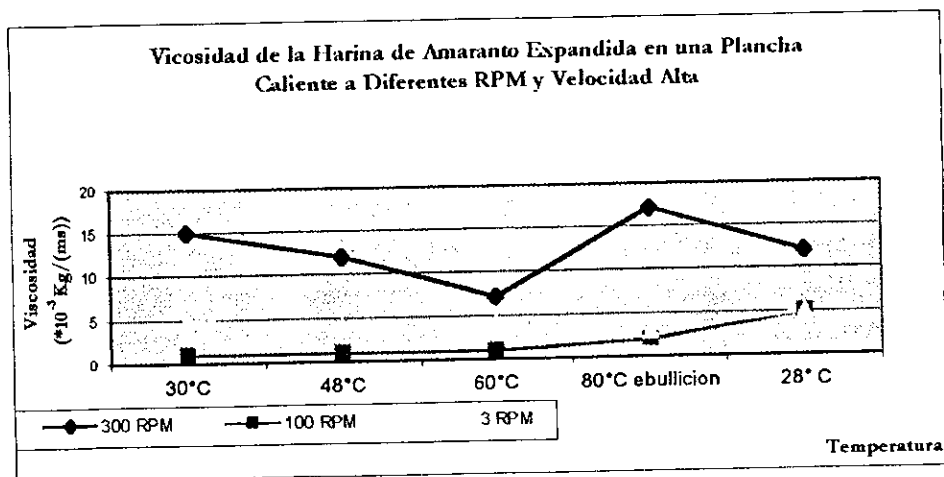
Gráfica # 2a:



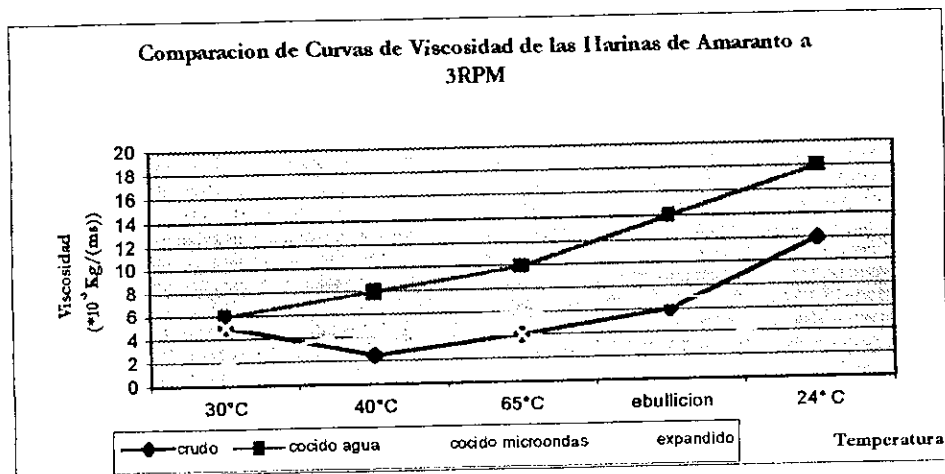
Gráfica # 3a:



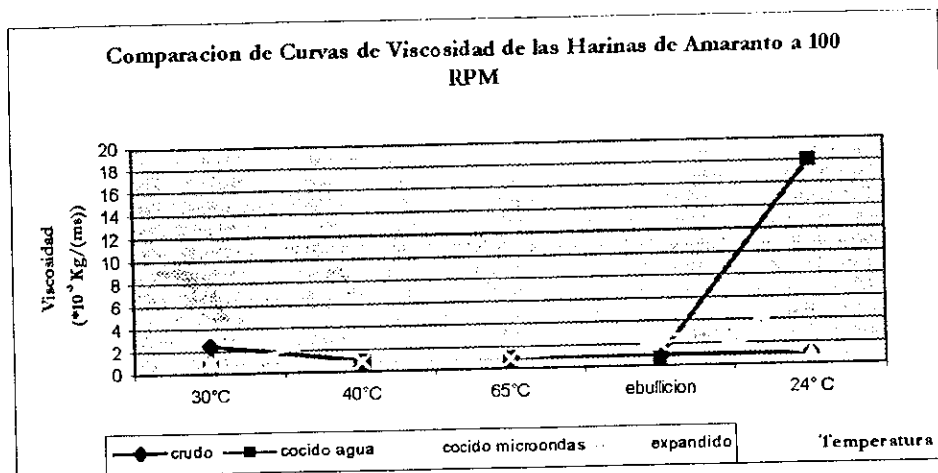
Gráfica # 4a:



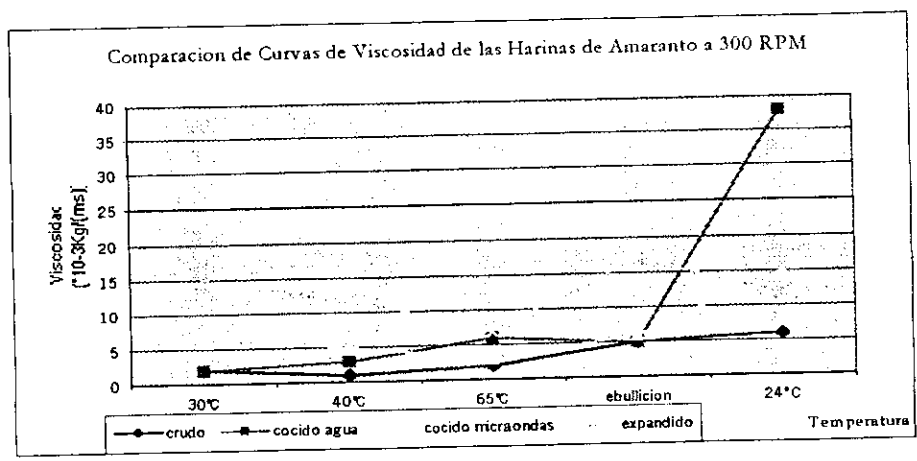
Gráfica # 5a:



Gráfica # 6a:



Gráfica # 7a:



B. Análisis de Varianza:

Variable: Diámetro de las galletas comparadas contra control

A	B	Bloques		
		1	2	3
1	1	2.6000	2.7000	2.7000
1	2	3.0000	3.1000	3.5000
1	3	3.7000	3.8000	3.8000
1	4	4.0000	3.5000	3.6000
2	1	2.6000	2.7000	2.7000
2	2	3.0000	4.0000	3.8000
2	3	4.6000	4.4000	4.7000
2	4	4.0000	5.2000	3.7000
3	1	2.6000	2.7000	2.7000
3	2	3.8000	3.7000	3.6000
3	3	3.8000	3.9000	4.0000
3	4	3.2000	3.2000	3.3000

Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.169067	0.084534	0.9068	0.579
Factor A	2	1.484039	0.74202	7.9596	0.003
Factor B	3	9.792114	3.264038	35.0133	0.000
Interacción	6	1.753754	0.292292	3.1354	0.022
Error	22	2.050903	0.093223		
Total	35	15.249878			
C.V. =		8.730479%			

Tabla de medias del Factor A

Factor A	Media
1	3.333333
2	3.783334
3	3.375000

Tabla de medias del Factor B

Factor B	Media
1	2.666667
2	3.500000
3	4.017780
4	3.744445

Tabla de medias de tratamientos AB

Factor A	Factor B				Media
Media	1	2	3	4	
1	2.66667	3.20000	3.76667	3.70000	3.33333
2	2.66667	3.60000	4.56667	4.30000	3.78333
3	2.66667	3.70000	3.90000	3.23333	3.37500
Media	2.66667	3.50000	4.07778	3.74000	3.49720

Variable: Grosor de las galletas comparando contra control

		Bloques		
A	B	1	2	3
1	1	2.0000	1.8000	2.1000
1	2	1.8000	2.0000	1.9000
1	3	2.0000	2.0000	1.9000
1	4	1.8000	2.3000	1.9000
2	1	2.0000	1.8000	2.1000
2	2	2.3000	2.1000	2.3000
2	3	1.7000	1.5000	1.7000
2	4	1.0000	1.2000	1.3000
3	1	2.0000	1.8000	2.1000
3	2	2.0000	1.9000	1.8000
3	3	1.9000	1.8000	1.6000
3	4	1.8000	1.9000	1.9000

Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.010559	0.005280	0.247400	0.786000
Factor A	2	0.263901	0.131950	6.183700	0.008000
Factor B	3	0.652229	0.217410	10.188700	0.000000
Interacción	6	1.329445	0.221574	10.383800	0.000000
Error	22	0.469444	0.021338		
Total	35	2.725578			
C.V. =		7.848893%			

Tabla de medias del Factor A

Factor A	Media
1	1.958333
2	1.750000
3	1.875000

Tabla de medias del Factor B

Factor B	Media
1	1.966667
2	2.011111
3	1.788889
4	1.677778

Tabla de medias de tratamientos AB

Factor A	Factor B				
	1	2	3	4	
Media					
1	1.9967	1.0000	1.9667	2.0000	1.9583
2	1.9967	2.2333	1.6333	1.1667	1.7500
3	1.9967	1.9000	1.7667	1.8667	1.8750
Media	1.9967	2.0111	1.7889	1.6778	1.8611

Variable: Diámetro de la Galleta sin tomar en cuenta el control

		Bloques		
A	B	1	2	3
1	1	3.0000	3.1000	3.5000
1	2	3.7000	3.8000	3.8000
1	3	4.0000	3.5000	3.6000
2	1	3.0000	4.0000	3.8000
2	2	4.6000	4.4000	4.7000
2	3	4.0000	5.2000	3.7000
3	1	3.8000	3.7000	3.6000
3	2	3.8000	3.9000	4.0000
3	3	3.2000	3.2000	3.3000

Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.160797	0.080399	0.63080	0.5490
Factor A	2	1.978607	0.989304	7.76230	0.0050
Factor B	2	1.514160	0.757080	5.94030	0.0120
Interacción	4	1.259155	0.314789	2.46990	0.0860
Error	16	2.039185	0.127449		
Total	26	6.951904			
C.V. =		9.459275%			

Tabla de medias del Factor A

Factor A	Media
1	3.555556
2	4.155556
3	3.611112

Tabla de medias del Factor B

Factor B	Media
1	3.500000
2	4.077778
3	3.744445

Tabla de medias de tratamientos AB

Factor A	Factor B			Media
	1	2	3	
1	3.2000	3.7667	3.7000	3.5556
2	3.6000	4.5667	4.3000	4.1556
3	3.7000	3.9000	3.2333	3.6111
Media	3.5000	4.0778	3.7444	3.7741

Variable: Grosor de las galletas comparando contra control

		Bloques		
A	B	1	2	3
1	1	1.8000	2.0000	1.9000
1	2	2.0000	2.0000	1.9000
1	3	1.8000	2.3000	1.9000
2	1	2.3000	2.1000	2.3000
2	2	1.7000	1.5000	1.7000
2	3	1.0000	1.2000	1.3000
3	1	2.0000	1.9000	1.8000
3	2	1.9000	1.8000	1.6000
3	3	1.8000	1.9000	1.9000

Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.011841	0.005920	0.288700	0.756000
Factor A	2	0.351845	0.175922	8.577500	0.003000
Factor B	2	0.518501	0.259251	12.640400	0.001000
Interacción	4	1.241493	0.310373	15.133000	0.000000
Error	16	0.328156	0.020510		
Total	26	2.451836			
C.V. =		7.843261%			

Tabla de medias del Factor A

Factor A	Media
1	1.955556
2	1.677778
3	1.844445

Tabla de medias del Factor B

Factor B	Media
1	2.011111
2	1.788889
3	1.677778

Tabla de medias de tratamientos AB

Factor A	Factor B			Media
	1	2	3	
1	1.9000	1.9667	2.0000	1.9556
2	2.2333	1.6333	1.1667	1.6778
3	1.9000	1.7667	1.8667	1.8444
Media	2.0111	1.7889	1.6778	1.8259

Variable: Diámetro de los panqueques comparado contra el control.

A	B	Bloques		
		1	2	3
1	1	2.6000	2.7000	2.7000
1	2	4.9000	4.7000	5.0000
2	1	2.6000	2.7000	2.7000
2	2	4.9000	5.2000	5.3000
3	1	2.6000	2.7000	2.7000
3	2	5.0000	4.8000	4.6000

Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.013306	0.006653	0.3024	0.74900
Factor A	2	0.093292	0.046646	2.1203	0.17000
Factor B	1	23.119995	23.119995	1050.9030	0.00000
Interacción	2	0.093384	0.046692	2.1223	0.17000
Error	10	0.220001	0.022000		
Total	17	23.539978			
C.V. =		3.903273%			

Tabla de medias del Factor A

Factor A	Media
1	3.766666
2	3.900000
3	3.733333

Tabla de medias del Factor B

Factor B	Media
1	2.666667
2	4.933333

Tabla de medias de tratamientos AB

Factor A	Factor B		Medias
	1	2	
1	2.6667	4.8667	3.7667
2	2.6667	5.1333	3.9000
3	2.6667	4.8000	3.7333
Media	2.6667	4.9333	3.8000

Variable: Grosor del panqueque comparado con control

		Bloques		
A	B	1	2	3
1	1	0.0800	0.9000	0.7000
1	2	0.3000	0.2000	0.5000
2	1	0.8000	0.9000	0.7000
2	2	0.3000	0.4000	0.3000
3	1	0.8000	0.9000	0.7000
3	2	0.9000	0.8000	0.9000

Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.007778	0.003889	0.346600	0.719000
Factor A	2	0.284446	0.142223	12.673500	0.002000
Factor B	1	0.375556	0.375556	33.465800	0.000000
Interacción	2	0.284443	0.142221	12.673400	0.002000
Error	10	0.112221	0.011222		
Total	17	1.064444			
C.V. =		16.159470%			

Tabla de medias del Factor A

Factor A	Media
1	0.566667
2	0.566667
3	0.833333

Tabla de medias del Factor B

Factor B	Media
1	0.800000
2	0.511111

Tabla de medias de tratamientos AB

Factor A	Factor B		Media
	1	2	
1	0.8000	0.3333	0.5667
2	0.8000	0.3333	0.5667
3	0.8000	0.8667	0.8333
Media	0.8000	0.5111	0.6556

Factor A: Tipo de harina

1	Grano cocido en agua
2	Grano cocido en horno de microondas
3	Grano expandido

Factor B: Porcentaje de sustitución de harina por harina de amaranto

En caso de 4 niveles:

1	0%
2	33%
3	66%
4	100%

En caso de 3 niveles:

1	33%
2	66%
3	100%

En caso de 2niveles:

1	0%
2	100%

X. BIBLIOGRAFÍA.

- Anderson, R., H. Conway, V Pfeifer y E. Griffin. 1969. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. Cereal Science Today. Volumen 14(1):4-12.
- AOAC. 1965. Official Methods of Analysis. AOAC. N.Y. 1141 pps.
- Bressani, R. 1998. El amaranto y su Potencial en la Industria Alimenticia. Revista Agricultura #8:7-10.
- Bressani, R. 1983. Calidad proteínica de la semillas de amaranto cruda y procesada. El amaranto y su potencial. Boletín #3, Guatemala, Archivos Latinoamericanos de Nutrición.
- Bressani, R., A. Sanchez-Marroquin, E, Morales. 1992. Chemical composition of Grain Amaranth cultivars and effects of processing on their Nutritional Quality. Food Reviews International, 8(1), 23-49.
- Canjura, F. 1987. Evaluación de las Harinas de Maíz Amarillo, Maicillo y amaranto, como sustitutos parciales de la Semolina de Trigo Duro en la elaboración de Pastas Alimenticias. Universidad del Valle de Guatemala. 106 pps.
- Carson, J. 1992. Solve Solids Flow, Problems in Bins, Hoppers, and Feeders. Chemical Engineering Progress, Mayo: 22-28.
- Colmenares de Ruiz, A. y R. Bressani. 1990. Effect of Germination on the Chemical Composition and Nutritive Value of Amaranth Grain. Cereal Chemistry. Vol 67 (6): 519-522.
- Douglas, C. 1974. Chemical and Process Technology Encyclopedia. McGraw-Hill. N.Y. 1261 pps.
- Freund, J. y R. Walpole. 1990. Estadística Matemática con Aplicaciones. 4ª edición. Prentice Hall. México D.F.. 623 pps.
- Gili, S. 1992. Diccionario Escolar de la Lengua Española. 3ª edición. Rei Andes Ltda. Bogotá. 924 pps.
- Guaraya, H., R. Toledo. 1994. Volume Expansion during Hot Air Puffing of a Fat-free Starch-Base Snack. Journal of Food Science, Vol 59:641-3.
- Guzman, G., P. Murphy, L. Johnson. 1989. Properties of Soybean-Corn Mixtures Processed by Low-Cost Extrusion. Journal of Food Science, Vol, 54:1591-3.
- Hafeez, Y., A. Mohamed, F. Hewedey y G. Singh. 1985. Effects of Microwave Heating on Solubility, Digestibility and Metabolism of Soy Protein. Journal of Food Science. Volumen 50(2):415-147.
- Hixon, L., N. Prior, H. Prem y J. Van Cleef. 1990. Sizing Materials by Crushing and Grinding. Chemical Engineering, Noviembre: 94-103.
- Kauffman, Ch. 1992. Realizing the potential of grain amaranth. Food Reviews International, 8(1), 5-21.

- Kirk, R. Y.D. Othmer. 1985. Concise Encyclopedia of Chemistry Technology. John Wiley and Sons. N.Y. 1318 pps.
- Kirk, R., D. Othmer, J.Scott, y A. Standen. 1966. Enciclopedia en Tecnología Química. Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana. México D.F. 16 volúmenes.
- Lapedes, D. 1977. McGraw Hill Encyclopedia of Food, Agriculture and Nutrition. McGraw Hill. N.Y. 732 pps.
- Lyon,D., M.Francombe,T.Hasdell y K. Lawson. 1992. Guidelines for Sensory Analysis in Food Product Development and Quality Control. Chapman Hall. Londres. 131 pps.
- Lorenz,K. y K.Kulp. 1991. Handbook of Cereal Science and Technology. Marcel Dekker Inc. N.Y. 882 pps.
- Matz, S. 1991. The chemistry and Technology of Cereals as food and feed. 2ª edición. Van Nostrand Reinhold. N.Y. 751 pps.
- Matz, S. 1992. Bakery Technology and engineering. 3ª edición. Van Nostrand Reinhold. N. Y. 853 pps.
- Menchú, M., H. Mendez, M. Barrera y Z. Ortega. 1996. Valor Nutritivo de los Alimentos de Centro América. INCAP y OPS. Guatemala. 98 pps.
- Mendoza, C. 1985. El amaranto, su cultivo y evaluación nutricional de un alimento producido por extrusión. Universidad del Valle de Guatemala. 66 pps.
- Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia. 1989. Compendio de Agronomía Tropical 2. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. 693 pps.
- Netzer, C. 1992. Encyclopedia of Food Values. A Dell Book. N.Y. 903 pps.
- Ortiz, A. 1995. Desarrollo de un alimento para niños lactantes a base del grano de amaranto (*Amaranthus cruentus*). Universidad del Valle de Guatemala. 69 pps.
- Paredes-López, O., A. Barba y A. Cárbaz-Trejo. 1990. Enzymatic Production of High Protein Amaranth Flour and Carbohydrate Rich Fraction. Journal of Food Science. Vol 55:1157-61.
- Penfield, M. y. A. Campbell. 1990. Experimental Food Science. 3ª edición. Academic Press. N.Y. 541 pps.
- Perez, O. 1997. Cocinemos con Recetas de Oro. 4ª edición. Artemis y Edinter. Guatemala. 744 pps.
- Potter, N. Y J. Hotchkiss. 1995. Food Science. 5ª edición. Chapman and Hall. N.Y. 608 pps.
- Rayas-Duarte, P., J.Rupnow. 1994. Gamma-Irradiated Dry Bean (*Phaseolus vulgaris*) Starch: Physicochemical Properties. Journal of Food Science, Vol 59: 839-43.
- Rayas-Duarte, P., J.Rupnow. 1993. Gamma-Irradiated Affects Some Physical Properties of Dry Bean (*Phaseolus vulgaris*) Starch. Journal of Food Science, Vol 58: 389-94.
- Sánchez-Marroquín, A., F. Del Valle, M. Escobedo, R. Avitia, S. Maya y M. Vega. 1986. Evaluation of Whole Amaranth (*Amaranthus cruentus*) Flour, Its Air Classified Fractions, and Blends of These

- with Wheat and Oats as Possible Components for Infant Formulas. Journal of Food Science, Vol 51:1231-4.
- Sánchez-Marroquín, A., V. Domingo, S. Maya y C. Saldaña. 1985. Amaranth Flour Blends and Fractions for Baking Applications. Journal of Food Science. Vol 50:789-94.
- Schwartzberg, H. y M. Rao. 1990. Biotechnology and Food Process Engineering. Marcel Dekker Inc. N.Y. 493 pps.
- Shingal, R. y P. Kulkarni. 1991. Puffing Effects on Functional Properties of *Amaranthus paniculatus* (Rajgeera) Seed Flour. Journal of Food Science. Vol 56:1121-22.
- Sokhey, A., A. Kollengode, M. Hanna. 1994. Screw Configuration Effects on Corn Starch Expansion During Extrusion. Journal of Food Science. Vol 59:895-8
- Strecker, T., R. Cavalier, R. Zollars, Y. Pomeranz. 1995. Polymerization and Mechanical Degradation Kinetics of Gluten and Glutenina at Extruder Melt-Section Temperatures and Shear Rates. Journal of Food Science. Vol 60: 532-7.
- Svanberg, M., T. Suortti y M. Nyman. 1997. Physicochemical Changes in Dietary Fiber of Green Beans after Repeated microwave Treatments. Journal of Food Science. Vol 62(5):1006-1010.
- Teutonico, R. y D. Knorr. 1985. Amaranth: Composition, Properties and Applications of a Rediscovered Food Crop. Food Technology, April 49-59.
- Toledo, R. 1991. Fundamentals of Food Process Engineering. 2ª edición. Van Nostrand Reinhold. N.Y.. 602 pps.
- Unisola de Guatemala. 1999. Material de apollo del Seminario de Purificación. Unisola.
- Van Arsdel, W. y M. Copley. 1964. Food Dehydration, volume 2. Products and Technology. The Avi Publishing Co. Inc. N.Y. 721 pps.
- Vodovotz, Y., P. Chinachoti. 1996. Thermal Transitions in Gelatinized Wheat Starch at Different Moisture Contents by Dynamic Mechanical Analysis. Journal of Food Science. Vol 61:932-7.
- Wulansari, R., J. Mitchell, J. Blanshard. 1999. Starch Conversion During Extrusion as Affected by added Gelatin. Journal of Food Science. Vol 64: 1055-8.
- Yoshida H. Y G. Kajimoto. 1988. Effect of Microwave Treatment on the Trypsin Inhibitor and molecular Species of Triglycerides in Soybeans. Journal of Food Science. Volumen 53(6):1756-1760.
- Yoshida, H., N. Hirooka y G. Kajimoto. 1990. Microwave Energy effects on Quality of Some Seed Oils. Journal of Food Science. Volumen 55(5):1412-1416.
- Yoshida, H., A. Mieno, S. Takagi, M. Yamaguchi y G. Kajimoto. 1995. Microwave Roasting effects on Acyl Lipids in Soybeans (*Glycine max. L.*) at Different Moisture Contents. Journal of Food Science. Volumen 60(4):801-805.

Internet:

www.nuworldamaranth.com

www.garudaint.com

www.osu.orst.edu/instruct/nfm236/cereales/head/kind/amaranth.html

www.worldseed.com/p1459.html

