

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



Efecto del proceso de cocción por microondas sobre algunas características físico-químicas y nutricionales de un alimento complementario a base de amaranto-avena.

Trabajo de investigación presentado por
María del Carmen Matheu González
para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,
2008



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES




Efecto del proceso de cocción por microondas sobre algunas características físico-químicas y nutricionales de un alimento complementario a base de amaranto-avena.

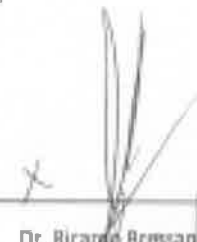
Trabajo de investigación presentado por
María del Carmen Matheu González
para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química


Guatemala,
2008

Vn. Ro. del asesor:

(f) 
Dr. Ricardo Bressani (Q.E.P.D.)

Tribunal examinador:

(f) 
Dr. Ricardo Bressani (Q.E.P.D.)

(f) 
Ing. Gansiel Zambrano

(f) 
Ing. Luis Roberto De León

Fecha de aprobación: Guatemala, 01 de agosto de 2008.

PREFACIO

El aprovechamiento de oportunidades de investigación en desarrollo de productos con un alto valor nutritivo y de costo accesible para toda la población puede ser muy beneficioso para nuestra sociedad y nuestro país que cuenta con un alto valor de desnutrición mayormente en la población de bajos recursos.

Se busca, además, en esta investigación, ayudar a la reinserción del amaranto dentro de la dieta de la población ya que se presenta una composición química y calidad nutricional superior a la de los alimentos popularmente consumidos como lo son los productos a base de maíz y frijol. Es un alimento atractivo para su consumo, porque al mezclarlo con la avena, presenta efectos positivos en cuanto a la baja del colesterol y en el metabolismo de la glucosa en los diabéticos.

Contar además hoy en día con estos productos y que además puedan prepararse fácilmente es una gran ventaja lo cual lo proporciona la cocción por microondas que día a día se hace un proceso de cocción más popular debido a su rapidez y por ser un medio de fácil acceso. De allí nace la idea de este trabajo de investigación ya que se presenta como un potencial producto para la producción industrial.

El trabajo de investigación ha abarcado el estudio del efecto del proceso de cocción por microondas ante el comportamiento de dos variables: proporción agua-sólidos y tiempo de cocción para luego evaluar algunas variables fisicoquímicas y nutricionales.

El trabajo que a continuación se presenta se llevó a cabo gracias al apoyo incondicional del Dr. Ricardo Bressani (Q.E.P.D.) y del Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos que facilitaron el uso de todas las herramientas necesarias para llevar a cabo la investigación; se agradece también a la empresa Alimentos, S.A. la donación de la avena utilizada en esta investigación.

CONTENIDO

Prefacio	iv
Resumen	vii
Abstract	viii
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Hipótesis	4
IV. Metodología	5
V. Cronograma de actividades	7
VI. Revisión de la literatura	8
VII. Resultados	35
VIII. Discusión de resultados	37
IX. Conclusiones	44
X. Recomendaciones	46
XI. Bibliografía	47

Índice de cuadros

1. Cronograma de actividades	7
2. Comparación entre la composición química del grano del amaranto y tres especies de cereales	12
3. Composición química del amaranto y de la avena, como materias primas	35
4. Composición química de la mezcla del amaranto-avena 54/16 a 3 proporciones distintas de mezcla: agua cocinada por microondas durante 5 minutos	35
5. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua de la mezcla de amaranto-avena 54/16 a 3 porciones distintas de mezcla: agua cocinado por microondas durante 5 minutos	35
6. Análisis químico de la mezcla de amaranto-avena (54/16 con una relación de mezcla-agua de 1:4 a tres tiempos distintos de cocción (3, 5 y 7 minutos	36

Índice de gráficas

1. Contenido de proteína en la materia prima	37
2. Contenido de grasa en la materia prima (1= amaranto, 2= avena)	38
3. Humedad para la mezcla amaranto-avena (54/16) en las relaciones mezcla-agua 1:3, 1:4 y 1:5 a 5 minutos de cocción.	39
4. Proteína para la mezcla amaranto-avena (54/16) en las relaciones mezcla-agua 1:3, 1:4 y 1:5 a 5 minutos de cocción.	40
5. Grasa para la mezcla amaranto-avena (54/46) en las relaciones mezcla-agua 1:3, 1:4 y 1:5 a 5 minutos de la cocción.	40
6. Humedad para la mezcla amaranto-avena (54/46) con la relación mezcla-agua 1:4 a 3,5 y 7 minutos de cocción por microondas.	42
7. Proteína para la mezcla amaranto-avena (54/46) con la relación mezcla-agua 1:4 a 3,5 y 7 minutos de cocción por microondas.	42
8. Grasa para la mezcla amaranto-avena (54/46) con la relación mezcla-agua 1:4 a 3,5 y 7 minutos de cocción por microondas.	43

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación consiste en determinar el efecto del proceso de cocción por microondas sobre algunas variables fisicoquímicas y nutricionales de un alimento complementario a base de amaranto-avena. Se utilizó una mezcla de amaranto-avena en una proporción de 54/46. Se evaluó la materia prima en cuanto a composición química. Para observar el efecto del proceso de cocción por microondas se dividió el estudio en dos partes, la primera donde se tuvo como variable constante el tiempo siendo este de 5 minutos, se estudia el efecto del proceso de cocción por microondas sobre la variación de la relación sólidos-agua, las relaciones sólidos-agua utilizadas en el estudio fueron: 1:3, 1:4 y 1:5. La siguiente parte consistió en evaluar el efecto del proceso de cocción por microondas al dejar como variable constante la relación sólidos-agua, la utilizada fue la relación 1:4 y variar el tiempo de cocción en 3, 5 y 7 minutos respectivamente. El efecto del proceso de cocción por microondas es positivo ya que aumenta en ambas partes con respecto de la materia prima, tanto en la parte de tiempo constante como en la de la relación sólidos-agua constante. La variación fue más significativa y constante en la segunda parte de la evaluación del efecto del proceso de cocción por microondas en donde se observa una mayor cantidad de proteína y constante. No se observa efecto significativo al cambiar los tiempos de cocción en cuanto a proteína, grasa y humedad.

ABSTRACT

The purpose of this investigation project consists on determine the effect of the microwave cooking process upon some physicochemical an nutritional values of an amaranth-oat complementary food. A mix of 54/46 of amaranth-oats was used. The chemical composition values were determined for the raw material. To determine the microwave cooking effect, the study was divided in two parts: the first, the time is constant, 5 min, and the solis-water proportion vary, the proportions used in this study were: 1:3, 1:4 y 1:5. The second part, the solids-water proportion was constant, and the time varied from 3 min, 5 min to 7 min of cooking. The microwave cooking process effect was positive in both parts since it raised the protein value in comparison to the values from the raw material. The variation was more significant and constant in the second part, the solids-water proportion part. There is no significant effect observed in the protein, fat and humidity values when the cooking times vary.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Guatemala, el 49.3% de la población infantil sufre de desnutrición crónica. Un alimento complementario es aquel que cumple con los requerimientos mínimos en calorías, proteínas, grasas y micronutrientes para promover el sano crecimiento y desarrollo de los niños.

La avena cuenta con un gran contenido de lípidos, la concentración más grande entre los cereales, los cuales son importantes en la nutrición humana debido a que son altamente insaturados; además la avena produce efectos benéficos en bajar el colesterol de la sangre y moderando el metabolismo de la glucosa en diabéticos. El amaranto por su parte es un grano que presenta un alto contenido en aminoácidos los cuales son más disponibles a medida que se le da un tratamiento térmico.

El proceso de cocción por microondas es un tratamiento térmico que se ha vuelto un proceso importante en la industria alimenticia, presentando ventajas tales como: es más rápido, al proveer tasas de calentamiento mucho mayores que las de calentamiento convencional: es selectivo, las áreas húmedas calientan más que las áreas secas, tal selectividad no la tiene el calentamiento convencional además de que puede ser encendido o apagado instantáneamente a diferencia del calentamiento convencional.

El presente estudio enfoca en la evaluación del efecto del proceso de microondas sobre algunas características fisico-químicas y nutricionales de un alimento complementario a base de avena y amaranto en una proporción de 46/54 de avena-amaranto, al cual se le realizarán pruebas tanto a la materia prima como al alimento procesado.

II. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, la evaluación de alimentos alternativos al maíz y al frijol, de alto valor nutritivo para la implementación de un alimento complementario con el objeto de mejorar la situación alimentaria y nutritiva de poblaciones de escasos recursos económicos es de gran interés. En nuestro país lo que se consume primordialmente es el maíz, el cual presenta una composición química y calidad nutricional notablemente inferior al grano de amaranto.

Actualmente en el país la situación de desnutrición es alarmante, aproximadamente el 50% de la niñez sufre de desnutrición crónica. Se han considerado como características deseables para usar el grano de amaranto como alternativa de un cereal para alimentación infantil, su contenido relativamente alto de proteína y aceite, así como la calidad elevada de su proteína. Los infantes y niños de edad preescolar con requerimientos proteicos y energéticos, deben satisfacerlos para evitar efectos adversos en su desarrollo físico y mental.

La principal importancia de este estudio radica en preparar un alimento complementario con las mejores variables fisicoquímicas y nutricionales que se puedan obtener y ofrecer así a la población una alternativa de alimentación complementaria.

Además, el cultivo y producción de éste grano, poco conocido y sin explotar, se presentan como ventajas para nuestra población, de escasos recursos, ya que el amaranto presenta durante su cultivo requerimientos de agua bajos, y es una planta resistente a la sequía presentando un alto rendimiento en la cosecha, comparado con el rendimiento de otras plantas productoras de grano, tales como trigo, soya, cebada y avena.

Se puede decir entonces que el amaranto parece indicar estar especialmente adecuado para países en desarrollo donde la disponibilidad de ciertos factores de producción es limitada, y donde se requiere un alimento de alto valor nutricional.

Se puede decir entonces que el amaranto parece indicar estar especialmente adecuado para países en desarrollo donde la disponibilidad de ciertos factores de producción es limitada, y donde se requiere un alimento de alto valor nutricional.

IV. METODOLOGÍA

La metodología utilizada ha sido la que se presenta a continuación:

1. Proceso de obtención de la harina de amaranto y avena:

- La avena fue donada por la empresa Alimentos, S. A:
- El amaranto a utilizar fue *Amarantus Cruentus* cosechado en Patulul en 2006
- La proporción de las mezclas de amaranto-avena ha sido la siguiente 54% de amaranto y 46% de avena, basándose en el estudio “Caracterización química y nutricional de variedades de grano de amaranto y algunas aplicaciones” presentado por Bressani y Rodas en 2006.

2. Análisis proximal

En este proceso se utiliza el método oficial de la AOAC para harinas para la determinación de los distintos porcentajes que se presentan a continuación:

- Humedad (14.004, horno de aire)
- Cenizas (14.006, método directo)
- Grasa (14.018, extracto etéreo)
- Proteínas (14.026, Kjeldahl)
- Fibra dietética (45.4.07)
- Carbohidratos totales (método de diferencia)

3. Cocción

El proceso de cocción en el análisis llevado a cabo se hizo mediante un horno de microondas, habiendo cumplido lo siguiente:

- Las muestras son sometidas a tres distintas relaciones de sólidos-agua (1:3, 1:4 y 1:5) y se cocinan durante cinco minutos (TIEMPO CONSTANTE) EN MICROONDAS MARCA Goldstar input 120 V, 12 A y 60 Hz, la muestra debió permanecer tapada y fue agitada cada minuto.
- Se selecciona una relación de sólidos-agua (relación constante) y se cocina a tres distintos tiempos: 3, 5 y 7 minutos respectivamente.

- Análisis de absorción de agua y sólidos solubles. Para la determinación del índice de absorción de agua y de fracción soluble, este proceso se lleva a cabo por medio del método propuesto por Anderson

V. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Las actividades a llevarse a cabo durante el presente proceso de investigación son las que se detallan en el cuadro que a continuación se presenta:

Cuadro 1. Cronograma de actividades

Núm.	Actividad	Fecha(s)	
		2007	2008
1.	Molienda y preparación de harina	26 al 30 de noviembre	
2.	Análisis proximal del amaranto	26 de noviembre de 2007 al 12 de enero de 2008	
3.	Análisis proximal de avena	26 de noviembre 2007 al 12 de enero de 2008	
4.	Cocción por microondas para distintas proporciones de harina-agua con un tiempo de cocción de 5 minutos		Del 8 al 12 de enero
5.	Análisis proximal		Del 27 de mayo al 07 de junio
6.	Presentación final de resultados		4 de julio

VI. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A. Situación nutricional y alimentaria del país

La desnutrición infantil es el mayor problema nutricional del país, según el informe presentado en el 2003 por el Grupo de Seguridad Alimentaria y Nutricional de las Naciones Unidas de Guatemala. (Menocal, 2007)

La capacidad de desarrollo de los infantes guatemaltecos disminuye, a causa de las deficiencias nutricionales en los primeros 36 meses de vida, y los indicadores los sitúan como los menos aptos de América Latina. (Menocal, 2007)

El fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (Unicef) ha recopilado datos dramáticos sobre la desnutrición infantil, y explica sus efectos negativos. Hay estudios que dan cuenta de que un niño con desnutrición aguda tiene 66% más riesgo de morir por una infección intestinal o respiratoria. (Menocal, 2007)

Las encuestas nacionales sobre Salud Materno-Infantil de 1987 y el 2002 – las últimas – y el Censo Nacional de Talla en Niños de Primer Grado Primaria, del Ministerio de Educación, en el 2001, señalan que la mitad de los niños de Guatemala menores de 5 años (49.3 por ciento) sufre de desnutrición crónica. Esto significa que tienen retardo en su crecimiento potencial, como resultado de condiciones sanitarias y nutricionales no idóneas. (Menocal, 2007)

En el caso de los niños indígenas menores de 5 años, la cifra es de 69.5 por ciento. Los departamentos que presentaron mayor porcentaje de desnutrición crónica en niños en edad escolar son: Totonicapán, 73.24%; Sololá, 73.17%; Quiché, 64.79%; Huehuetenango, 63.69%. (Menocal, 2007)

De los 332 municipios, 118 están catalogados con porcentajes de prevalencia de desnutrición crónica por arriba del 59 por ciento, en edades de 6 a 9 años, y 15 de estos municipios tienen más del 80 por ciento. (Menocal, 2007)

Las regiones más afectadas son noroccidente, norte, suroccidente, central, nororiente y, por último, la región metropolitana. Las estadísticas del Estado de Guatemala – las últimas fueron presentadas en el 2002 – dan cuenta de que más de 499 mil niñas están desnutridas, mientras que, entre los niños, son 518 mil los afectados. (Menocal, 2007)

En el área metropolitana afecta al 36.1% de los niños, mientras que en el noroccidente (Chimaltenango, San Marcos, Quiché, Huehuetenango, Sololá y Totonicapán) se eleva al 68.3 por ciento. (Menocal, 2007)

1. Alimentos para niños. La importancia de alimentos para el destete, para promover el crecimiento y desarrollo de los niños, está bien establecida. Varios tipos de alimentos para el destete se han desarrollado y su efectividad ha sido demostrada en muchos países del mundo. Muchos de estos son alimentos producidos a nivel mundial, y otros han sido formulados para que sean consumidos a nivel del hogar. Este último enfoque permite reducir el costo del alimento, ya que los producidos a nivel industrial son por lo general de alto precio. Para fines de formulación, el Comité de Nutrición de la Academia Americana de Pediatría, recomienda que estos alimentos contengan un mínimo de 1.8 g a un máximo de 4.5g de proteína por 100 kcal, y que contengan un mínimo de 3.3g a un máximo de 6.0g de grasa por 100 kcal. (CNAAP)

Además, recomiendan que deben ser suplementados con vitaminas y minerales. Sin embargo, en la información publicada, se encuentra alguna variabilidad. Por ejemplo, Rathod y Udipi, formularon alimentos para el destete con unos valores entre 1.46 a 2.12g por 100 kcal. Del valle, formularon alimentos para el destete con amaranto para un contenido de 16 a 17% de proteína (3.6-3.8g proteína/100kcal) y con 13.8% a 14.5% de grasa (3.3.g grasa/100kcal). (CNAAP)

Otros autores han formulado productos para el destete que caen entre los rangos de proteína ya indicados, aunque se hace poca mención sobre la calidad proteínica mínima que estos productos deben tener, se asume que es alta lo cual se ha indicado a través de estudios en animales de experimentación o en niños. (Bressani, 1989)

2. Amaranto. 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)

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

El amaranto tuvo gran importancia en la economía de los primeros habitantes del continente americano. Las especies silvestres se empleaban como hortalizas o legumbres, en sopas, atoles, estofados y otras formas, llegando a constituir una apreciable fuente de energía, proteína, minerales y vitaminas. Asimismo, tuvo gran uso como parte integral de sus ritos religiosos. Los aztecas fabricaban sus ídolos compuestos de tierra, semilla de amaranto tostado y a esto le agregaban la sangre de las personas que sacrifican. (Sánchez, 1980)

En la América precolombina fueron domesticadas las especies: *Amaranthus caudatus* en los Andes, *Amaranthus cruentus* en Centro América y *Amaranthus hypochondriacus* en México. (Sánchez, 1980)

En épocas posteriores se logró integrar un alimento más balanceado y racional, lo que indudablemente fue un gran adelanto respecto a la dieta de las tribus primitivas.

De acuerdo con (Safford, 1980), el amaranto llegó a constituir, el origen de la agricultura en el Nuevo Mundo y lo considera "un cereal olvidado de la América Antigua". (Sánchez, 1980).

El amaranto fue desplazado por otros cultivos debido a que los conquistadores españoles decidieron suprimirlo para de esta manera evitar ceremonias paganas de los

aztecas, llevando esto consigo a la eliminación casi total del amaranto como cultivo. (Marx, 1981)

3. Morfología. Las semillas de amaranto, de forma lenticular, son muy pequeñas, ya que tienen un diámetro de 1 a 1.5mm y un peso de 0.6 a 1.0g por 1000 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. (Becker, 1984).

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 embriónicos y del endospermo, pero el tamaño de la célula y del cuerpo proteínico varía. En el perispermo la proteína se presenta en forma de depósito entre los pequeños gránulos amiláceos. (Becker, 1984).

El grano de amaranto, del contenido de proteínas, el 35% del total se encuentra en el endospermo y el 65% en el germen y la cáscara. (Matz, 1991).

El contenido lipídico del amaranto, el cuál 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 linoleico. (Matz, 1991).

4. Composición química del amaranto: Varios autores reportan resultados similares en cuanto a la composición química del grano y a su potencial como alimento humano, el grano de amaranto tiene un promedio de 14.7% de proteína, 3.1% de grasa y 60.7% de carbohidratos, 510mg de calcio, 397mg de fósforo y 11mg de hierro. 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. (Sánchez, 1980).

Otros investigadores reportaron valores de 16% de proteína, 7.5% de grasa, 60% de carbohidratos y 2.4% de fibra. (Becker, 1984).

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

Grano	Proteína (%)	Grasa (%)	Carbohidratos (%)	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, 1984).

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 de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (OMS y FAO). (Senft, 1980).

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 puede proveer una proteína que se aproxima a los valores Standard recomendados por FAO y OMS. (Senft, 1980).

Estudios llevados a cabo por diversas investigaciones, muestran al aminoácido leucina, como el aminoácido limitante 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 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 store de la proteína. (FAO, WHO, 1973).

5. 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).

- **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).
- **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 el 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 de 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. 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).

- **Modificación del almidón.** El almidón puede ser modificado por reacciones enzimáticas, químicas o por acción de la temperatura en presencia de humedad. (Canjura, 1987).
 - **Acción enzimática:** varias son las enzimas que actúan sobre la amilasa y la amilopectina. Las β -amilasas y la 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).
 - **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, *et.al.*, 1990).
 - **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 como proceso de gelificación. (Canjura, 1987).
- **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).

Es necesario familiarizarse con algunos términos para comprender con claridad cuál es el efecto de la deshidratación en los alimentos:

- Actividad del agua: conocida también 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).
- Mecanismo de secado: está compuesto por las siguientes etapas:
 - 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.
 - 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.
 - Contenido de humedad en el 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 en la materia.
 - 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).

Efectos del secado: se pueden mencionar algunos que son dañinos para el alimento cuando se somete a estos tratamientos: disminución de tamaño del alimento, emparedamiento, migración de solutos, pérdida irreversible de la habilidad para rehidratar y pérdida de constituyentes volátiles, entre otros. (Van Arsdel, 1964).

6. Avena. Origen y clasificación de la avena cultivada. La avena ocupa el quinto lugar en la producción mundial de cereales, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte. La distribución geográfica de su

cultivo denota la afinidad de esta planta por las áreas templadas frescas. En cultivo de invierno su producción está restringida a zonas de inviernos suaves, o donde la nieve ejerce de cubierta protectora de las plantas durante el período de bajas temperaturas. Europa, EEUU y la URSS cosechan el 80% de la producción mundial de avena. (Bellido, 1991).

Casi todas las especies de avena cultivadas son hexaploides, siendo la especie *avena sativa* la más importante en las principales áreas de cultivo (80% de la producción mundial). La *avena byzantina* es la segunda especie cultivada, que ocupa gran parte del resto de las zonas de producción. También se cultiva la especie *avena nuda*, conocida como avena de grano desnudo, al desprenderse las glumillas en la trilla, en áreas reducidas en EEUU y extensivamente en algunas zonas de China. (Bellido, 1991).

El género *Avena* es muy diversificado, clasificándose en dos grandes secciones: sección *Avenastrum* (comprende las avenas vivaces y espontáneas de glumas estrechas) y sección *Euavena* (comprende las especies anuales de glumas multinervias, que incluyen las avenas cultivadas y numerosas especies espontáneas, muchas de ellas importantes malas hierbas). (Bellido, 1991).

En el grupo hexaploides la clasificación está basada en la articulación de la primera y la segunda flor de la espiguilla, el carácter desnudo o vestido del grano y la morfología de las barbas o aristas. Las características de las glumillas, que encierran el grano de avena, son de gran importancia tanto para su utilización como para la clasificación botánica. Estas no están adheridas al endospermo, contrariamente a como ocurre en la cebada, aunque el grano de avena permanece vestido porque las glumillas, al estar bien cerradas, no se abren en la trilla. (Bellido, 1991).

Comercialmente la avena se clasifica en diferentes tipos o grados estándares, de acuerdo con el color de las glumillas que envuelven al grano: blancas, grises, rojas, negras y mixtas. Existen preferencias, según el aprovechamiento, por determinados tipos de avena conforme al color de las glumillas, a causa del posible efecto de este carácter sobre la

calidad nutricional del grano, tanto para consumo humano como para alimentación del ganado, aunque ello no está científicamente demostrado. (Bellido, 1991).

A. Estructura.

1. La planta de avena. La planta de avena es una hierba anual con una estructura similar a la de otros cereales. La hoja consiste en brizna, vaina y ligule. La ausencia de aurículas puede ser utilizada durante los estados vegetativos de crecimiento para diferenciar avenas de otros granos pequeños. Los alargados internodos de los tallos maduros tienen centros vacíos, y los nodos son sólidos. (Lorenz, 1991).

La planta de avena tiene dos sistemas de ruta: las rutas seminales, las cuales se originan durante el desarrollo del embrión, y las rutas espontáneas, las cuales crecen en los nodos del tallo principal y el vástago justo por debajo de la superficie del suelo. (Lorenz, 1991).

La inflorescencia es una panoja compuesta de raquis, ramas del raquis, y espiguillas. La forma y el tamaño del panicle varían grandemente con el genotipo y el ambiente. El eje principal o raquis del panicle es una continuación del tallo y termina en una espiguilla singular. Cada rama de raquis termina en una espiguilla singular. Las espiguillas están subtendidas por dos 'blumes' vacíos o brácteas en una raquilla, la cual usualmente llevan floretes fértiles. Un florete incluye los segmentos de raquilla de las variedades sin cáscara son extremadamente largos y tres o más floretes fértiles por espiguilla son producidos normalmente. Las espiguillas maduras se separan de los floretes en los segmentos de raquilla. (Lorenz, 1991).

B. Composición química de la avena

1. Proteína. La calidad de la proteína y el contenido de avena es reconocida como superior a otros cereales para alimentación de ganado y nutrición humana. Peterson y Brinegar examinaron extensamente las características del almacenamiento de la proteína de

avena lo que hace a la avena valiosa nutricionalmente. Frey ha publicado un estudio del control genético del contenido de proteína de la avena. (Lorenz, 1991).

Contenido y distribución de la proteína. La concentración de proteína de avenas mondadas es considerablemente mayor que la de otros cereales. La proteína de avenas mondadas de genotipos cultivados es típicamente 15-20%. La mayoría de la proteína de toda la avena está localizada en la avena mondada (groat), y una pequeña concentración en la cáscara. (Lorenz, 1991).

Aunque el salvado abarca una pequeña porción de la avena mondada que el endosperma almidonado, la mayor concentración de proteína del salvado implica a contribuir una cantidad de proteína al grano similar a la contribución del endosperma almidonado. (Lorenz, 1991).

2. Clasificación de solubilidad. Peterson discutió la extracción y clasificación del almacenamiento de la proteína usando la técnica clásica de Osborne. La avena y el arroz, a diferencia de otros cereales, tienen un contenido bajo de prolamina (fracción soluble-alcohol) y un contenido alto de globulina (fracción soluble-sal) relativo entre estos cereales. La fracción de globulina es relativamente rica en lisina. Usando la clasificación de Osborne de la proteína de cinco cultivos de avena, Peterson reportó un contenido de prolamina ranqueado entre 7-13% de proteína total; las albúminas solubles en agua 10-19%; las sales solubles de globulina, 52-56%; y gluteninas, 21-27%. La concentración real de globulina puede ser tan alta como 75% ya que el método Osborne probablemente no completa la extracción de globulinas. (Lorenz, 1991).

Peterson encontró que la proteína incrementada en cultivos creció en ambientes diferentes estaba relacionado a incrementar los niveles de la fracción de globulina. Desde que el perfil de aminoácido de las globulinas es similar a aquel de la proteína total, el perfil de aminoácido de las avenas, a diferencia de otros cereales, se mantiene relativamente constante sobre una amplia gama de niveles de proteína. (Lorenz, 1991).

Composición y distribución de aminoácidos. Robbins *et al.* Examinó 289 muestras de avena mondada de cultivos en los Estados Unidos y Canadá de 1900 a 1971. Detectó una pequeña variabilidad entre los aminoácidos limitantes nutricionales: lisina, treonina y metionina. El porcentaje promedio de concentraciones de lisina y treonina fueron de 4.2 y 3.3g/100g de aminoácidos recuperados los cuales son mayores que en otros cereales, pero por debajo del estándar de referencia de FAO los cuales son 5.5 y 4.0g/100g, respectivamente, para lisina y treonina. Una composición similar de aminoácidos fue encontrada para avenas comerciales molidas. La composición de aminoácidos de avenas es considerada relativamente constante sobre un amplio rango de contenido de proteínas. (Lorenz, 1991).

3. Lípidos. Las avenas son únicas entre los cereales debido a su gran contenido de lípidos. Aunque los aceites de la avena no se utilizan comercialmente, son importantes nutricionalmente y deben ser consideradas en operaciones de molienda comerciales debido a problemas asociados con ranciedad causada por enzimas relacionadas con los lípidos las cuales son activadas durante las operaciones de molienda. La manipulación genética del contenido de lípidos puede convertirse más importante en el futuro para mejorar la calidad de la molienda o para incrementar la energía de la avena para la alimentación de ganado. (Lorenz, 1991).

a. Contenido y distribución de lípidos. Las avenas mondadas tienen la concentración de lípidos más grande entre los cereales. Los lípidos provenientes de la avena pueden añadir una cantidad significativa de energía a la alimentación de ganado y son importantes en la nutrición humana debido a que son altamente insaturados y contienen cantidades considerables de un ácido graso esencial para humanos, el ácido linoléico. Un examen extenso de contenido de lípidos entre genotipos de avena encontró un rango de concentraciones de lípidos de 3.1-11.6%. Otros estudios han encontrado rangos similares en concentraciones de lípidos. Youngs *et al.* Utilizó la disección manual en avenas mondadas de dos cultivos para determinar la distribución de lípidos entre la avena. La mayor concentración de lípidos se encuentra en el escutelo, pero desde que el escutelo cuenta como solamente una pequeña parte de la masa el grano, este contiene solo una

pequeña cantidad de los lípidos totales en la avena mondada. En los dos cultivos, el endosperma almidonado y el salvado tuvieron un exceso del 90% del total de los lípidos de la avena mondada aun cuando la concentración de lípidos es relativamente baja en estas fracciones. La mayoría de lípidos no está vinculada y es extraído fácilmente. (Lorenz, 1991).

b. Composición. Young utilizó la disección manual de avenas mondadas para determinar la distribución de la composición de lípidos en la avena mondada. La cromatografía de capa delgada se utilizó para separar y cuantificar 12 componentes de lípidos. El porcentaje de triglicéridos fue menor en el salvado y mayor en el embrión. Youngs determinó la composición relativa de ácidos grasos de 15 tensiones de avena. La composición relativa promedio fue: myristic, 0.6; palmítica, 18.9; esteárica, 1.6; oleica, 36.4; y linoleica, 40.5. Otros investigadores han obtenidos resultados similares. Una amplia variación en concentraciones individuales de ácidos grasos ocurre entre cultivos, lo cual debería permitir manipulación genética de composición de ácidos grasos. (Lorenz, 1991).

4. Polisacáridos.

a. Almidón. El almidón de avena requiere de distintas técnicas de extracción que las que requiere el trigo. Las técnicas de molienda húmeda han sido desarrolladas las cuales producen producciones de almidones en el rango de 43-61% con contenidos de proteína y lípidos menos del 0.4% y 0.3%, respectivamente. (Lorenz, 1991).

b. β -Glucan. Un polisacárido sin almidón el cual se disuelve en agua para formar una goma viscosa se encuentra concentrado principalmente en la pared celular de la capa subaleurona de la avena mondada. Este polisacárido es un acoplamiento mixto β -D-Glucan; el acoplamiento mixto β -D-Glucan de la avena es un polisacárido no ramificado compuesto de (1-4) y (1-3) unidades ligadas de β -D-Glucopiranosil en proporciones variables. Ya que el β -Glucan está concentrado principalmente en la capa subaleurona, el salvado de avena provee una fuente enriquecida de goma y se ha demostrado que produce efectos benéficos en bajar el colesterol de la sangre y moderando el metabolismo de la

glucosa en diabéticos. Estas ventajas nutricionales atribuidas al β -Glucan ha tenido un interés creciente recientemente en la avena como un alimento humano. (Lorenz, 1991). Al obtener una extracción completa de β -Glucan libre de almidón contaminado, pentosan, y proteína para propósitos cuantitativos es dificultoso. El método Calcofluor no enzimático de Word y Weisz y el método hidrazinólisis descrito por Martin y Bamforth parece útil para cuantificar β -Glucan en avenas. Welch y Lloyd utilizaron métodos modificados de Calcofluor e hidrazinólisis para evaluar el contenido de β -Glucan en 100 genotipos de avena. Observaron un rango en el contenido de β -Glucan de 3.2 a 6.3% entre cultivos. (Lorenz, 1991)

5. Minerales. Morgan examinó el contenido mineral de 171 muestras de avena y encontró que la avena puede contribuir significativamente a la nutrición mineral. Peterson et al. determinaron la composición mineral del salvado y del endosperma de avenas y encontraron que los componentes minerales están concentrados en la fracción de salvado. Desde que la avena es consumida normalmente como un grano integral, los productos de avena pueden contribuir significativamente a la nutrición mineral humana. El estudio de Peterson también indicó variabilidad genética entre cultivos para contenido mineral, sugiriendo que la nutrición mineral podría ser mejorada con la reproducción. (Lorenz, 1991).

6. Vitaminas. Shukla resumió la información de composición de vitaminas disponibles para avenas molidas y avenas laminadas. Los productos de avena pueden contribuir con cantidades significativas de tiamina y ácido patogénico a la nutrición humana. (Lorenz, 1991).

C. Procesamiento de la avena.

Deane y Commers proporcionaron una descripción detallada de la limpieza de la avena y su procesamiento. La mayoría de la descripción siguiente es tomada de su descripción. Muchos diferentes procedimientos pueden ser utilizados en la limpieza y procesamiento de la avena, y cada procesador, dependiendo del tamaño de la operación y

de los requerimientos de mercado, ha preferido ciertos métodos para alcanzar la eficiencia máxima. Aún con la gran diversidad de acercamientos tomados por los procesadores, algunas operaciones deben ser tratadas para obtener un procesamiento eficiente y una producción de calidad. Los pasos generales en el procesamiento de la avena son limpieza, desvainado, vapor y laminado. Las avenas deben ser limpiadas y clasificadas por tamaño antes de desvainar para tener así una operación eficiente del desvainador. La avena mondada debe ser sometida a vapor para inactivar enzimas lipolíticas las cual pueden resultar en ranciedad y acortar la vida útil del producto si las enzimas son activadas durante el proceso de cortado y laminado de la avena mondada. Los productos de moler la avena y los porcentajes promedio esperados del proceso de molienda son: avena rodada, 45-60%; cáscara de la avena, 24-27%; avenas alimentadas, 10-20%; granos mixtos y semillas, 2-3%; finos, 2-5%. Estos valores variarán con la calidad de las avenas y la eficiencia total de toda la operación de molienda. (Lorenz, 1991).

1. Limpieza. La limpieza preliminar de la avena del campo recibida en la planta procesadora usualmente involucra pasar la avena sobre una pantalla perforada de un separador recibidor horizontal, rotando lentamente, separadores recibidores del tipo carretes con hierros gruesos o cilindros del tipo carrete-scalper. Las perforaciones permiten a la avena caer a través mientras las impurezas gruesas tales como paja y palos son removidos. La aspiración se utiliza usualmente en la limpieza preliminar del proceso de limpieza para remover algunas impurezas ligeras. La limpieza preliminar está prevista para ser lo suficientemente rápida para utilizarla cuando se están descargando camiones o furgones de ferrocarril. Luego de la limpieza preliminar, la avena son usualmente separadas y ordenadas por grado de contaminación, producción por molienda, y contenido de humedad para que así la avena en cada compartimiento sea relativamente uniforme. El equipo de procesamiento requerirá menos ajustes si la avena que están siendo procesadas tienen una calidad constante. Las avenas ya clasificadas son guardadas hasta que se necesitan para un procesamiento futuro. (Lorenz, 1991).

Luego de la limpieza preliminar, el primer paso en el procesamiento de la avena es un sistema de limpieza especializada que puede envolver varios tipos de limpiadores para

remover impurezas tales como otros granos y semillas. Otros materiales indeseables son separados de la avena antes de la molienda. Las avenas que no son aptas para molienda también se remueven en este paso.

El siguiente paso usualmente involucra un molino separador combinando separación gruesa y delgada con aspiración. Luego, algunas máquinas especializadas se utilizan para una mayor limpieza y separación. Estas máquinas incluyen separadores cilíndricos de dientes y de disco para separar por largo las partículas, un medidor de ancho que separa los granos cuando su largo es el mismo, pero el ancho aún no, un separador por gravedad que separa las impurezas que tienen diferente gravedad específica a la de la avena. Estas máquinas pueden ser utilizadas en distintas combinaciones, pero usualmente involucrando el uso primero de los separadores de cilindro primero para separar el grano en fracciones de largo. De los separadores de disco, las fracciones pasan al separador de ancho y luego a la tabla de gravedad. El objetivo de la limpieza y clasificación es producir avenas bien clasificadas de acuerdo al tamaño para el desvainado. (Lorenz, 1991).

2. Secado y enfriado. La avena se calienta antes de desvainarla para inactivar parcialmente las enzimas lipasa para prevenir el desarrollo de sabores indeseables durante y después del procesamiento. El calentamiento también desarrolla un sabor ligeramente a tostado considerado deseable por la mayoría de los procesadores. Calentar también hace que la cáscara de la avena más frágil para un desvainado más fácil. Durante el calentamiento, la temperatura de las avenas usualmente está en el rango de 88 a 93°C y el contenido de humedad es reducido al rango de 7 a 10%. Las avenas con enfriadas antes de cualquier procesamiento futuro. (Lorenz, 1991).

3. Desvainado. Las descortezadoras de impacto han reemplazado a las descortezadoras de piedra. La avena seca y clasificada por tamaño entran al centro de un rotor de alta velocidad con aletas que por centrifugación tiran a la avena contra el carborundo o el anillo de goma dura en la cubierta de la máquina en donde las cáscaras son separadas de la avena mondada por impacto y abrasión. La velocidad del rotor, la cual es usualmente entre 1400 y 2000 rpm, es ajustada para obtener el máximo de eficiencia

dependiendo de las condiciones de la avena. El anillo de goma dura en la descortezadora es preferido por algunos molineros para reducir la rotura de la avena mondada y menos formación de finos. Las cáscaras y finos son separados de la corriente por aspiración. La avena mondada es pulida con abrasión suave en una lija, la cual es un cilindro horizontal forrado con un material áspero. Las cáscaras se remueven por aspiración. Separadores de cilindro de disco o mellado son utilizados para separar la avena que no fue desvainada de la que sí. (Lorenz, 1991).

4. Cortado y laminado. La avena mondada entera produce hojuelas bastante grandes cuando son laminadas, por lo que usualmente son cortadas en 2 o 4 piezas uniformes antes del laminado. Se logra cortarla en un granulador rotatorio al pasar la avena mondada a través de un tambor rotatorio con agujeros que alinean la avena para que al final pase a través del agujero con cuchillos estacionarios en la parte de afuera y de hasta abajo del tambor. Conforme va pasando la punta de la avena mondada a través de la perforación, es cortada por el cuchillo. Los finos producidos por la operación de cortado son removidos utilizando una rejilla agitadora. Los finos consisten de harinas y son utilizados para producir alimento de animales de alta calidad. La avena mondada cortada es condicionada para laminarlas vaporizándolas con vapor vivo. El calor y la humedad sirven para unir la avena mondada plana y prevenir la desintegración durante el proceso de laminado. El calentamiento consistente y homogéneo y la distribución de la humedad son esenciales para producir una buena producción de avenas laminadas. El vaporizado también completa la inactivación de las enzimas lipasa. La avena mondada cortada es retenida en vapor por acerca 12-15 minutos, tiempo durante el cual la temperatura de la avena mondada se incrementa de 99 a 104°C. (Lorenz, 1991).

Las avenas mondadas vaporizadas pasan directamente a los rodillos del vaporizador. Los rodillos corren a la misma velocidad en la misma dirección y rotan a 250-450 rpm. La avena mondada cortada es pasada a través de los rodillos para laminarse (0.10-0.015 pulgadas) y preparar una harina de avena de rápido cocimiento o instantánea. La avena laminada marcada como regular es de un 50 a un 75% más gruesa. Luego del laminado, la avena laminada pasa por una rejilla vibradora en donde los finos son removidos y las

aglomeraciones de avenas laminadas supe cocidas son removidas. La avena laminada es enfriada a una temperatura aproximada de 43⁰C y está lista para empacarse. (Lorenz, 1991).

5. Harina de avena. Los mismos procedimientos utilizados para producir la harina de avena son utilizados para producir avena laminada u hojuelas de avena. La avena es limpiada y clasificada, secada, y desvainada y limpiada para producir avena mondada. La avena mondada son puestas en vapor antes de la molienda para mejorar la estabilidad y completar la inactivación de las enzimas lipolíticas. Un granulador rotatorio es utilizado para cortar la avena mondada luego de ser pasadas por vapor. La avena mondada cortada es molida con un molino de martillo, de tipo impacto, y el producto sacado de este molino es pasado por un tamiz rotatorio equipado con acoplamiento de alambre para separar la fracción de harina de avena correspondiente a los requerimientos de granulometría. (Lorenz, 1991).

a. Microondas. Las ventajas de este procesamiento es la reducción de costos del equipo y la energía utilizada. 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 las propiedades dieléctricas del sistema. Sin embargo, presenta el reto de optimizar los intervalos de calentamiento y conseguir una uniformidad en la temperatura. (Schwartzberg, 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. Aparentemente los nutrientes de los alimentos cocidos en microondas surgen menos daños que la cocción convencional. (Schwartzberg, 1990; Schwartzberg, *et al.*, 1997)

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 estudios realizados por Yoshida (1995), en soya, a medida que se aumenta la humedad del grano por inmersión en agua o se disminuye el tiempo de cocción, se inhibe el pardeamiento. También se 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 un descenso de fosfolípidos, que puede ser por descomposición o por formación de complejos con proteína de carbohidratos.

D. Aspectos físicos fundamentales de calentamiento y absorción por microondas:

1. Electromagnética: Aspectos fundamentales y modelado numérico. La distribución de temperatura dentro de la comida calentada con microondas es determinada por las propiedades térmicas de la comida y por la distribución de la energía de microondas absorbida. La cantidad de la energía de microondas absorbida es, determinada por el campo eléctrico dentro del horno microondas.

Los microondas ocupan la posición del espectro electromagnético entre 300 MHz y 30 CHz. De cualquier modo, las aplicaciones del calentamiento por microondas están generalmente limitadas a una secuencia discreta de frecuencias reservadas por uso industrial, científico y médico. Fuera de estos rangos la protección extra requerida para prevenir interferencia con otros sistemas de radio hace de los aplicadores que no sean económicos para todos, pero en especial de las aplicaciones. Los hornos de microondas

a. Ecuaciones de Maxwell. Los aplicadores de microondas reales utilizados para aplicaciones en comida son generalmente artículos más complicados que el aplicador paralelo. Una descripción más completa de los campos se necesita en orden para comprender el comportamiento. Eso lo provee las ecuaciones de campo de Maxwell las cuales describen como un campo eléctrico que varía en el tiempo es acompañado por un campo magnético que varía en el tiempo correspondiente, y viceversa. Cuando se emparejan con las condiciones de unión apropiadas, ellos definen completamente el comportamiento de los campos electromagnéticos dentro de un aplicador de microondas.

La primera de las ecuaciones de Maxwell es la ley de Amperio, la cual relaciona la fuerza del campo magnético \mathbf{H} a la densidad de \mathbf{Jt} (lo que incluye tanto la corriente de conducción de desplazamiento). Establece que la circulación de la densidad del campo magnético alrededor de un entorno cerrado es igual a la corriente neta pasando a través de la superficie encapsulada por el contorno.

$$\underline{\mathbf{A}} \times \mathbf{H} = \mathbf{Jt} = j\omega\mathbf{E} \quad \text{A/m}^2$$

La segunda ecuación de Maxwell es la ley de Faraday, la cual relaciona el tiempo variando el campo eléctrico \mathbf{E} al campo magnético. Establece que la circulación del campo eléctrico alrededor de un contorno es determinada por la razón de cambio del flujo magnético a través de la superficie encerrada en el contorno. Para los campos de tiempo armónico esto se puede escribir como:

$$\underline{\mathbf{A}} \times \mathbf{E} = -j\omega\mu\mathbf{H}$$

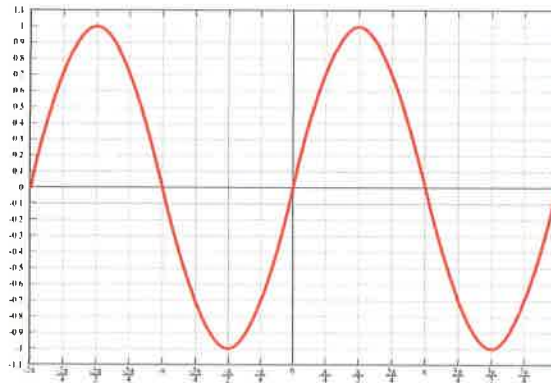
En orden de especificar completamente los campos eléctricos y magnéticos, se debe de emplear también la ley de Gauss. Esta establece que el flujo magnético neto fuera de una región debe ser cero y que este es relacionado al cambio contenido en él. Escrito de otra forma, estos son

$$\underline{\mathbf{A}} \times \mu = \mathbf{0H}$$

domésticos operan a 2.45GHz y los sistemas de procesamiento industrial generalmente usan ya sea 2.45 MHz (896 MHz en el Reino Unido).

2. Fundamentos de electromagnética. Un voltaje sinusoidal V a una frecuencia de $\omega=2\pi f$ aplicada a un par de platos paralelos, como se muestra en la Figura No. 1, creará un campo eléctrico en el espacio entre los platos. Al poner un material dieléctrico, como la comida, entre los platos cambiará la magnitud del campo tanto dentro del material y en el espacio de aire en cada lado del material. La cantidad de energía guardada en el sistema también cambiará. Dentro de la comida habrá alguna disipación de energía. Materiales como la comida, en el cual la energía ya que alguna de la energía de microondas se pierde cuando se convierte a energía térmica dentro del material.

Figura No. 1. Voltaje sinusoidal



Se asume que la interacción puede ser caracterizada por la permitividad ϵ y la permeabilidad μ , la cual determina el almacenamiento y la disipación de energía eléctrica y magnética, respectivamente.

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r = (\epsilon' - j\epsilon''_{\text{eff}})$$

En donde ϵ' es la constante dieléctrica y ϵ''_{eff} o sea es el factor de pérdida efectiva incorporando toda la pérdida de energía debida la relajación dieléctrica y la conducción iónica y donde $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12}$ F/m es la permitividad de espacio libre. Para materiales de comida la permeabilidad es generalmente igual a la del espacio libre. Para materiales de comida la permeabilidad es generalmente igual a la del espacio libre, $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N/m²

$$\underline{A} \times cE = p$$

3. Electromagnéticas del calentamiento por microondas: Magnitud y uniformidad de la absorción de energía en un horno.

a. Temas electromagnéticos principales en calentamiento por microondas en comidas. Un horno de microondas doméstico es una cavidad multimodal en el cual las ondas electromagnéticas forman un patrón resonante. Cuando la comida está presente dentro del horno, la energía de las ondas electromagnéticas es transferida a las moléculas de agua, iones y otros componentes de la comida, elevando la temperatura de la comida. La Figura 2 muestra un horno de microondas doméstico típico con varios componentes.

Figura 2. Horno de microondas



Comparando el calentamiento convencional, la transferencia de calor es típicamente más difícil de estudiar debido a la compleja interacción de las microondas con la cavidad y la comida por microondas son a) la magnitud de la energía depositada por las microondas y b) la uniformidad de la deposición de la energía. La magnitud y uniformidad son afectadas por ambos factores: comida y horno tales como:

- Fuerza y distribución de los campos electromagnéticos en donde la comida se pone
- Reflexión de las ondas electromagnéticas desde la comida caracterizadas por sus propiedades y geometría
- Propagación de las ondas dentro de la comida, también caracterizada por las propiedades de la comida y geometría.

b. Campos electromagnéticos dentro de un horno de microondas doméstico. La variación espacial de los campos electromagnéticos es difícil de medir. Los modelos computacionales sirven de excelentes herramientas para la visualización de los campos electromagnéticos y cómo estos son afectados por los factores comida y horno.

3. Magnitud y uniformidad de la absorción de energía: factores de la comida. Los factores de comida, tales como volumen, área superficial, y propiedades dieléctricas, son importantes en la determinación de la magnitud y uniformidad del poder de absorción. Los efectos de forma, tamaño, relación de aspecto y propiedades en la magnitud de la absorción de energía son discutidos.

a. Absorción total de energía afectada por la carga de volumen y área de superficie. Es importante comparar los efectos de carga de volumen y área superficial en calentamiento convencional antes ideal de calentamiento sería tener el mismo calentamiento convencional de aire, la energía instantánea absorbida incrementa con el volumen solamente cuando el área superficial aumenta, como es dado por la ecuación de calor convectivo de superficie.

$$q_{total} = ha(T_{amb} - T_{surface})$$

En donde q_{total} es igual a la transferencia de calor total entre el sólido y el fluido, h es el coeficiente de transferencia de calor. A es el área superficial expuesta al fluido, T_{amb} es la temperatura de la superficie del sólido en cualquier momento, y T_{amb} es la temperatura del aire caliente. Esta ecuación puede ser escrita en términos de energía por unidad de volumen:

$$q_{total} / V = h a / V (T_{amb} - T_{surface})$$

En calentamiento por microondas, al igual que en el calentamiento convencional, la energía total absorbida también incrementa con el volumen, eventualmente desnivelándose

a una energía que depende primeramente del nivel de energía en el magnetrón, y en menor medida en la permitividad y geometría. Así, la absorción total de energía con la carga de volumen es típicamente descrita por una curva similar a la que se muestra en la Figura 3. La curva mostrada en ésta figura son obtenidas utilizando mediciones experimentales y simulación numérica de calentamiento de agua en un contenedor cilíndrico. Esta curva es algunas veces descrita por una ecuación empírica que se presenta de la siguiente forma:

$$q_{\text{total}} = a(1-e^{-bw})$$

la cual también puede ser escrita como:

$$q_{\text{total}}/V = a/V (1-e^{-bw})$$

En donde a y b son constantes empíricas. Así, la absorción de energía por unidad de volumen disminuye conforme aumenta la carga de volumen, reduciendo algunos beneficios de calentamiento volumétrico de microondas. Si miramos la absorción de energía por unidad de área superficial para el calentamiento por microondas (Figura 4) ambos, la data experimental y la computacional disminuye y tiene un marcado contraste con el calentamiento convencional. En el calentamiento convencional, la absorción de energía por unidad área superficial es aproximadamente constante.

b. Uniformidad de la absorción de energía cuando se ve afectada por la carga de forma, tamaño y propiedades. Al igual que la magnitud de la absorción de energía, la uniformidad de la absorción de energía es también relacionada a la geometría de la comida y a las propiedades dieléctricas. Cuando un pequeño material de alimento es calentado en una cavidad, la uniformidad de la absorción de energía principalmente relacionada a la comida en sí. Sin embargo, para un tamaño típico de comida, tal como una papa, una comida congelada, o una taza de agua, la uniformidad está también relacionada con la distribución de la densidad de energía dentro de un horno vacío.

4. Calentamiento diferencial en comidas multicomponente. Desde que diferentes comidas absorben energía y sus temperaturas se elevan a diferentes tasas debido a sus propiedades dieléctricas y térmicas, es de esperarse que, si se juntan, también se calentarán a diferentes tasas. Este es un problema significativo cuando se calienta un plato multicomponente de la comida mostraron variar significativamente las tasas de calentamiento de varios componentes en comidas congeladas preparadas, tales diferencias se deben primeramente al efecto electromagnético en contraposición al efecto térmico. La tasa de absorción de energía varía por sí misma con diferentes componentes en una comida multicomponente. La elevación de temperatura será adicionalmente una función de las propiedades térmicas, particularmente del calor específico.

Las tasas de calentamiento y la uniformidad en comidas multicomponente son afectadas por la colocación relativa de los componentes, su composición y geometría, así como la interacción de estos factores. Por ejemplo, el puré de papas, el cual se calienta más lento, se recomienda colocarlos en los lados de la bandeja. También notaron pequeños cambios en el patrón de calentamiento con cambios hechos en la formulación del producto. En tres tipos de bandejas (1,2 y 3 compartimientos) que eran aproximadamente igual en tamaño total y hechos de CPET (policarbonato cristalizado) plástico, encontraron diferencias significativas en las tasas de calentamiento.

En orden de tener un mejor entendimiento el proceso de calentamiento simultáneo, se estudió el calentamiento simultáneo de dos componentes utilizando la simulación electromagnética. Se hizo para agua y aceite de maíz, el agua absorbe significativamente más energía que el aceite de maíz a un pequeño volumen. Conforme el volumen aumenta, la absorción de energía relativa a la del aceite de maíz reduce considerablemente, hasta cerca de unos 400 cm³, el agua absorbe solamente el doble de energía de lo que absorbe el aceite de maíz. Es interesante notar que, a un volumen más alto, la temperatura del aceite aumentará más rápidamente que la del agua debido a un menor calor específico y densidad del aceite.

Entre un material de alta pérdida y uno de baja pérdida, el material de baja pérdida absorbe más energía a un mayor volumen. En un pequeño rango de volumen esta tendencia es a la inversa. Entre dos materiales en donde ambos son bajos, aunque la absorción de energía relativa cambia con el volumen, no hay suficiente información para concluir una tendencia general. Los resultados aquí discutidos son consistentes con cómo dos materiales absorberían energía cuando se calientan a un tiempo dado. Este es, si un material (de cierta geometría y tamaño) absorbe más energía que otro material cuando se calientan por separado, ese material absorberá relativamente más energía cuando se calienten simultáneamente.

5. Efecto de la temperatura y los cambios de humedad en la comida durante su procesamiento. Cambios en las propiedades dieléctricas debido a cambios en la temperatura y en la humedad durante el calentamiento emparejan la electromagnética con la transferencia de calor y la transferencia de humedad.

a. Magnitud y uniformidad de la absorción de energía: factores del horno. La distribución de la energía en una cavidad de un solo modo es simple y usualmente obtiene la máxima en el plano centro. Es una cavidad multimodal, tal como un horno doméstico, la distribución de la energía no es tan obvia. La distribución de energía en una cavidad, mapeada utilizando un contenedor con 64 celdas de agua, mostro que es altamente no uniforme, variando en tres direcciones. Datos computados de campos electromagnéticos para una cavidad vacía también mostró campos eléctricos no uniformes. Jía encontró que la distribución de la energía es generalmente no simétrica aun cuando el puerto de entrada de energía está simétricamente localizado. Usualmente la no uniformidad de la distribución de la energía en una cavidad vacía es la mayor determinante de la magnitud y uniformidad del calentamiento por microondas de comidas.

La magnitud de la absorción de energía en comidas está directamente relacionada con la salida de energía del magnetron. Para un magnetron dado, la absorción de energía es primeramente una función de la impedancia del sistema del horno. La impedancia total

incluye la geometría y colocación de la comida, tamaño y geometría de la cavidad, la guía de la onda y las locaciones y geometría de los puertos de alimentación.

VII. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el proceso de investigación son los que se presentan a continuación:

Cuadro 3. Composición química del amaranto y de la avena, como materias primas.

Núm.	Componente	Amaranto		Avena	
		%	Desvest.	%	Desvest.
1	Humedad	8.42	0.11	4.94	0.05
2	Proteína	13.52	0.78	12.19	0.54
3	Grasa	5.99	1.26	7.32	2.26
4	Fibra dietética total	21.22	0.02	32.04	0.02
5	Ceniza	2.41	0.02	1.45	0.03
6	Carbohidratos	48.44	0.56	42.06	0.96

Cuadro 4. Composición química de mezcla de amaranto-avena 54/16 a 3 proporciones distintas mezclas: agua cocinado por microondas durante 5 minutos.

Núm.	Componente	Relación					
		1:3		1:4		1:5	
		%	Desvest.	%	Desvest.	%	Desvest.
1	Humedad	5.16	1.07	7.03	1.4	6.01	0.89
2	Proteína	15.09	1.79	12.29	3.09	13.76	1.38
3	Grasa	4.56	0.01	4.00	0.08	3.82	0.12
4	Fibra dietética total	16.90	9.96	14.58	4.43	20.60	3.11
5	Ceniza	1.86	0.05	1.91	0.23	1.83	0.02
6	Carbohidratos	56.43	4.19	60.19	1.88	53.98	1.25

Cuadro 5. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua de mezcla amaranto-avena 54/46 a 3 porciones distintas mezcla:agua cocinado por microondas durante 5 minutos.

Núm.	Componente	Relación					
		1:3		1:4		1:5	
		5 minutos de cocción		Desvest.		Desvest.	
1	Índice de absorción de agua	5.30	1.045	4.93	0.54	4.75	0.01
2	Índice de solubilidad de sólidos % (WSI)	3.12%	0.004	2.81%	0.0109	3.31	0.0057

Cuadro 6. Análisis químico de la mezcla de amaranto-avena (54/16) con una relación de mezcla-agua de 1:4 a tres tiempos distintos de cocción (3,5 y 7 minutos)

Núm.	Componente	3 minutos		5 minutos		7 minutos	
		%	Desvest.	%	Desvest.	%	Desvest.
1	Humedad	3.62	0.06	5.27	0.08	3.45	0.16
2	Proteína	15.62	0.23	15.64	0.18	15.76	0.51
3	Grasa	4.71	0.16	4.43	0.67	4.57	0.27

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

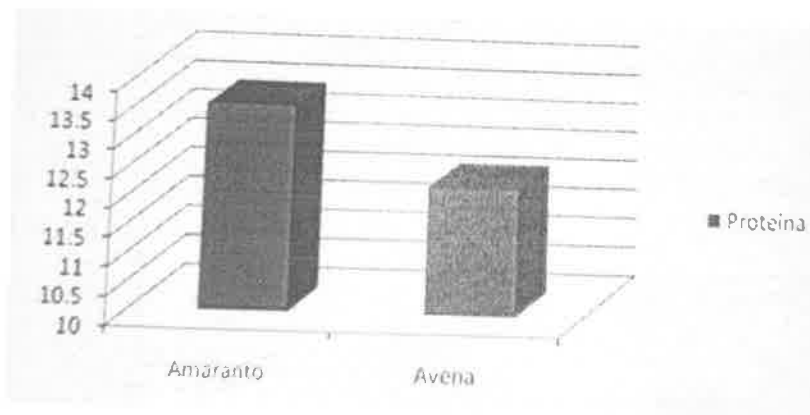
El objetivo principal de esta investigación es determinar si un producto alimenticio a base de una mezcla de amaranto-avena en una proporción de (54/16) cocinado por extrusión cumple con los requerimientos de las características funcionales para servir como alimento complementario.

La proporción de mezcla de harina 54% amaranto y 46% de avena se escogió a partir del estudio presentado por Bressani y Rodas "Caracterización química y nutricional de variables de grano de amaranto y algunas aplicaciones", en el cual fue la proporción que presentó el valor proteico más alto, así como el mayor aumento en peso para el análisis NPR.

Primero se evaluó la composición química del amaranto y de la avena como materia prima. Los resultados pueden observarse en el Cuadro 3. Los datos se presentan sobre la base de la humedad de la muestra. En cuanto a la humedad se observa que la humedad para el amaranto es casi el doble que el de la avena.

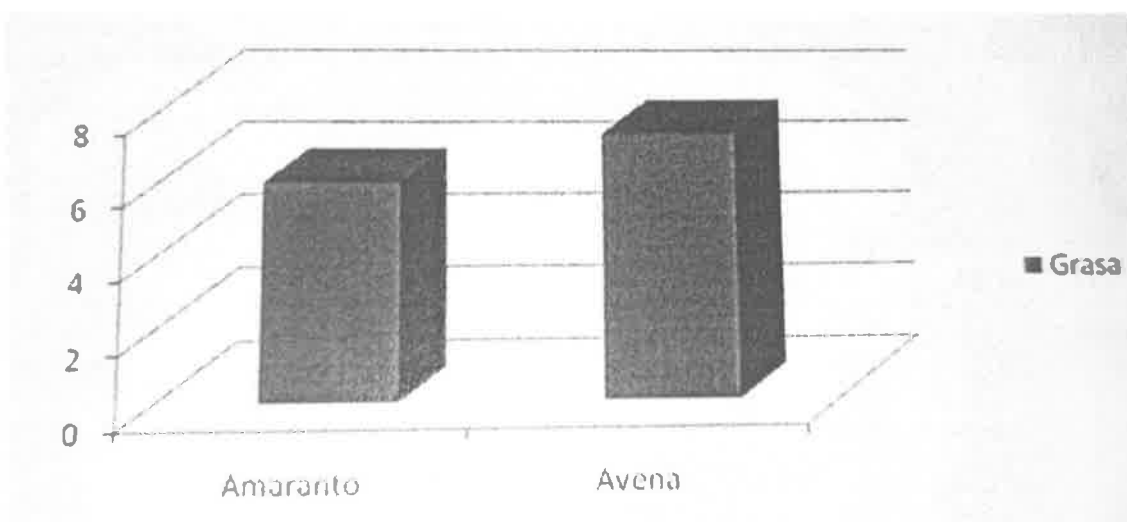
Para la proteína en el amaranto y la avena, se obtuvo un 13.52%, mientras que solo para el amaranto un 12%, menor contenido en la avena. Es importante hacer notar que la calidad de la proteína de un alimento no está dada únicamente por la cantidad de proteína sino también por la proporción de aminoácidos esenciales que contenga por lo que, al mezclar el amaranto, el cual es rico en aminoácidos que no contiene gran cantidad como: leucina, treonina, isoleucina, elementos que están en niveles adecuados en la avena. Obteniendo así una mezcla que cumpla tanto con la cantidad de proteína requerida como la proporción de aminoácidos adecuada.

Gráfica 1. Contenido de proteína en la materia prima



Como puede observarse en la siguiente gráfica, se obtuvo un 5.99% de grasa para el amaranto y 7.32% para la avena, contrario a la cantidad obtenida en proteína. Es aquí donde radica gran parte de la importancia del uso de la avena en esta investigación, ya que ésta tiene la mayor concentración de lípidos entre los cereales, los cuales son importantes en la nutrición humana debido a que son altamente insaturados además de contener cantidad considerable de ácido linoleico el cual está catalogado como ácido graso indispensable que puede consumirse continuamente por el ser humano. Es importante también mencionar que la avena contiene β -glucan, polisacárido que produce efectos beneficiosos que reducen el colesterol malo de la sangre moderando el metabolismo de la glucosa en diabéticos cumpliendo así con los objetivos.

Gráfica No. 2. Contenido de grasa en la materia prima (1= amaranto, 2= avena)



Se obtuvo 21.22% de fibra dietética total para el amaranto y un 32.04% para la avena. Un 2.41% de cenizas para el amaranto y 1.45% para la avena, esto debido probablemente a un mayor contenido de minerales en el amaranto. Por último, se obtuvo un 48.44% de carbohidratos para el amaranto y 42.06% para la avena, valores similares en composición.

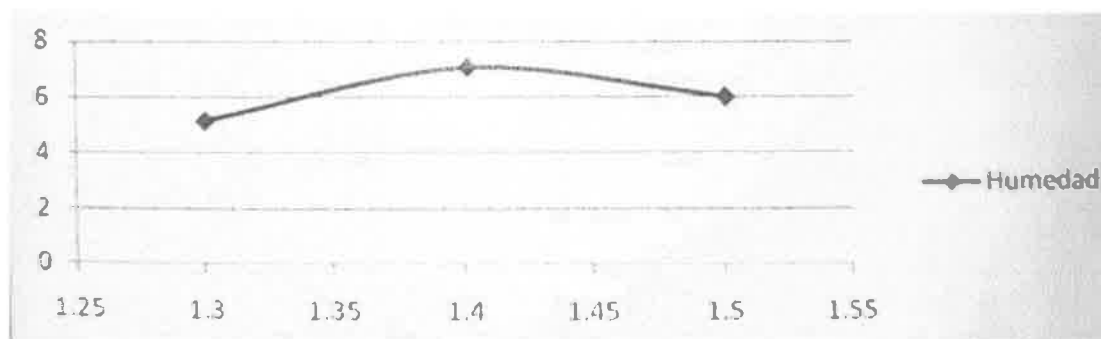
Como segunda parte del estudio se procedió a evaluar el proceso de cocción por microondas teniendo como variable constante el tiempo de cocción, de 5 minutos y como variable alterna la proporción de sólidos-agua de la mezcla de amaranto-avena (5/4/16)

Se prepararon 3 distintas mezclas de sólidos-agua, 1:3, 1:4 y 1:5, lo que quiere decir, por ejemplo: 1:3 que para una porción de sólidos se le agregaron 3 veces el peso de la porción de agua. Estas mezclas se cocinaron durante 5 minutos en un horno de

microondas. Los resultados del efecto del proceso de cocción por microondas en la composición química proximal obtenida en el Cuadro número 4.

Puede observarse en la Gráfica No. 3 que la variación de la humedad no es lineal en relación de la proporción de agua añadida. Pero si se observa un aumento conforme aumenta esta proporción. La no linealidad puede deberse a errores durante el análisis. Con respecto a la ceniza no se observa una diferencia significativa entre las tres distintas proporciones como era de esperarse ya que la proporción de la mezcla de amaranto-avena fue siempre la misma. Por los carbohidratos tampoco se encontró una relación entre la proporción añadida y el porcentaje de carbohidratos.

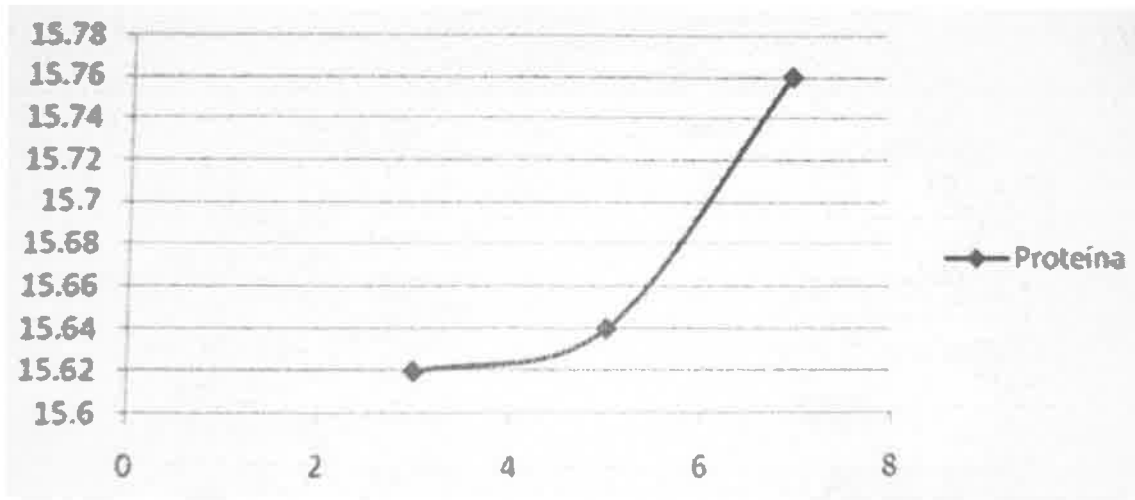
Gráfica 3. Humedad para la mezcla amaranto-avena (54/16) en las relaciones mezcla-agua 1:3, 1:4 y 1:5 a 5 minutos de cocción.



Para la fibra dietética total el mayor valor obtenido que se da es la relación 1:5, lo que puede deberse a la capacidad de captar agua de la fibra y en ésta en donde tiene mayor disposición de agua, sin embargo, los valores obtenidos de fibra dietética para las otras dos relaciones no fueron significativamente diferente en donde de nuevo no se encontró ninguna relación entre la cantidad de fibra dietética obtenida con la cantidad de agua agregada.

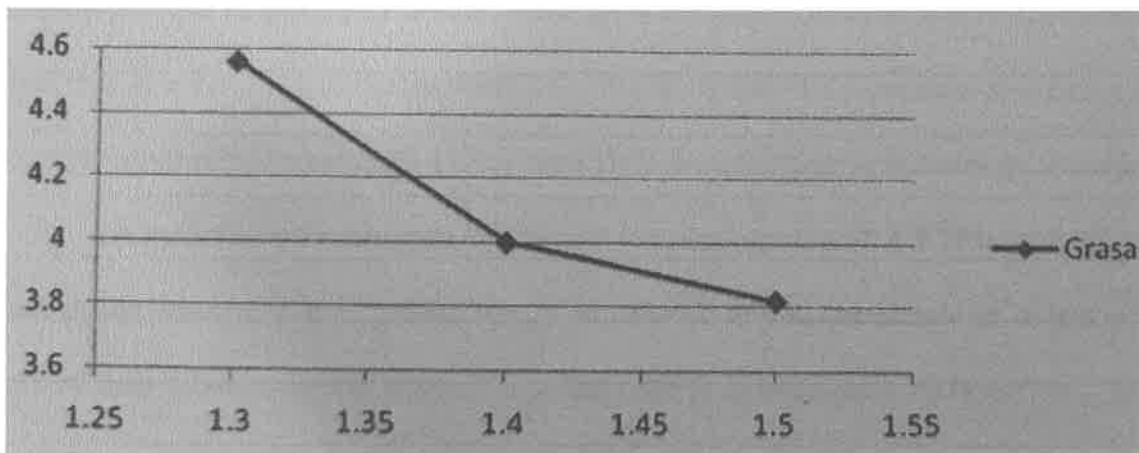
Como puede observarse en la Gráfica No. 4, hay una relación inversa de la proteína conforme aumenta la proporción de agua agregada a la mezcla, entre las relaciones 1:3 (15.09%) y 1:4 (12.29%) pero luego se nota un aumento de la cantidad de proteína en la relación 1:5 (13.76%). Por lo que se concluye que no existe ninguna relación entre la proporción de agua y la proteína a 5 minutos de cocción. Puede observarse también que los valores obtenidos no difieren mucho entre sí como para considerar algún efecto significativo en el tiempo de cocción como en la proporción de agua utilizada.

Gráfica No. 4. Proteína para la mezcla amaranto-avena (54/16) en las relaciones mezcla-agua 1:3, 1:4 y 1:5 a 5 minutos de cocción.



Para la grasa sí se observa una relación inversa entre la proporción de agua agregada y el porcentaje de grasa obtenida, ya que conforme aumenta la cantidad de agua en la mezcla disminuye el porcentaje de grasa como puede observarse en la Gráfica No. 5 la relación inversa proporción de agua agregada versus el porcentaje de grasa puede no ser significativo ya que el porcentaje no varía en grandes cantidades.

Gráfica 5. Grasa para la mezcla amaranto-avena (54/46) en las relaciones mezcla-agua 1:3, 1:4 y 1:5 a 5 minutos de la cocción.



Como propiedades físicas se evaluó el índice de absorción de agua y el índice de solubilidad en agua, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro No. 5. Tanto para el índice de absorción de agua como para el índice de solubilidad en sólidos no se ve una diferencia significativa entre los resultados obtenidos para las tres relaciones, para el índice de absorción de agua varió entre 4.75 a 5.30 gel/g Harina seca con un promedio de 3.08

gel/g harina seca; para el índice de solubilidad en agua; para el índice de solubilidad en sólidos varió entre 2.81 a 3.31% con un promedio de 3.08%. Aunque cabe mencionar que sí se observa una relación inversa entre el índice de absorción de agua vs. relación, aunque no significativa, el índice de absorción de agua disminuye conforme aumenta la relación de agua agregada para los cinco minutos de cocción, esto pudiera deberse. En cambio, no hay relación alguna en el índice de solubilidad.

En resumen, puede observarse que la composición química no varió significativamente al cambiar la proporción de agua añadida para un tiempo de cocción entre las relaciones. Con respecto al efecto del proceso de cocción por microondas con la composición original de la materia prima, los cambios significativos se observan tanto en la proteína, la cual aumenta, así como en la fibra dietética, la cual disminuye al agregarle agua y cocinarla durante cinco minutos por microondas en promedio, esta disminución pudiera deberse a alguna destrucción de algún componente por la aplicación de calor ya que el agua no debería de afectar.

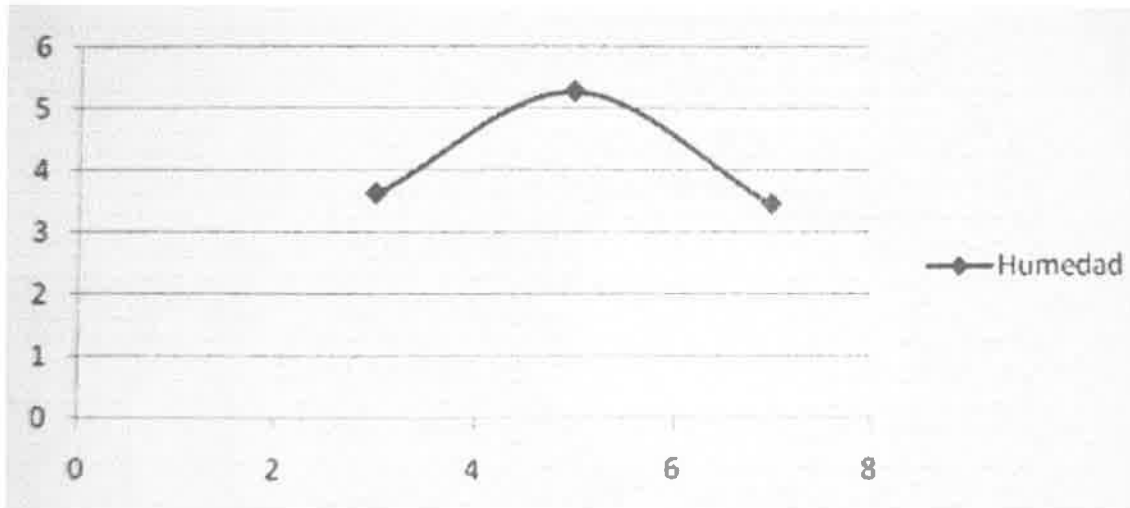
Otro valor que se vio afectado en menor proporción fue el porcentaje de grasa el cual varió en promedio de 2.53% entre la materia prima y las relaciones cocinadas durante cinco minutos en microondas. La variación pudo deberse a la aplicación de calor que pudo haber causado algunas transformaciones oxidativas.

El siguiente paso de la investigación consistió en evaluar el efecto del proceso de cocción por microondas tendiendo como variable constante la relación sólidos-agua y como variable el tiempo de cocción, tres minutos, cinco minutos y siete minutos.

Se escogió como muestra para el siguiente paso de la investigación la mezcla con la relación 1:4 debido a que ésta se ajusta y es la intermedia entre los valores obtenidos en el paso anterior. Esta muestra fue sometida a tres tiempos de cocción: 3,5 y 7 minutos. El efecto del proceso de cocción por microondas en la composición química para esta última parte de la investigación se muestra en el Cuadro No. 6.

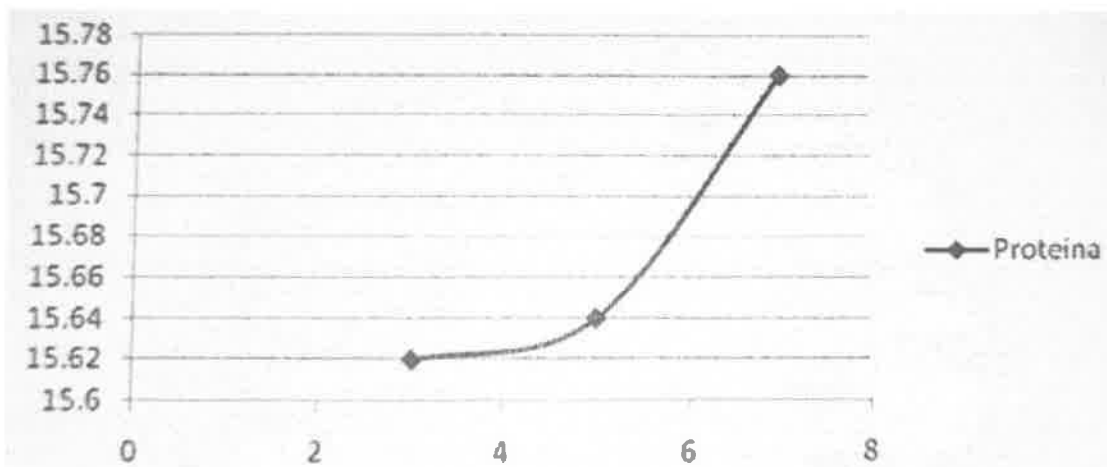
La humedad obtenida para la relación 1:4 varió entre 3.45 a 5.27% con un promedio de 4.11% como puede observarse en la Gráfica No. 10, el valor de 5.27% que se sale de la linealidad de la humedad pudo haberse debido a errores durante el análisis con la manipulación de la muestra. Los valores de éstas muestras cocinadas a 3, 5 y 7 minutos son menores que las humedades presentadas para las materias primas en promedio lo que puede deberse a la pérdida de agua debido al calentamiento por microondas, ya que se da una vaporización del agua interna del alimento debido al aumento de la energía térmica por el calentamiento por microondas.

Gráfica 6. Humedad para la mezcla amaranto-avena (54/46) con la relación mezcla-agua 1:4 a 3,5 y 7 minutos de cocción por microondas



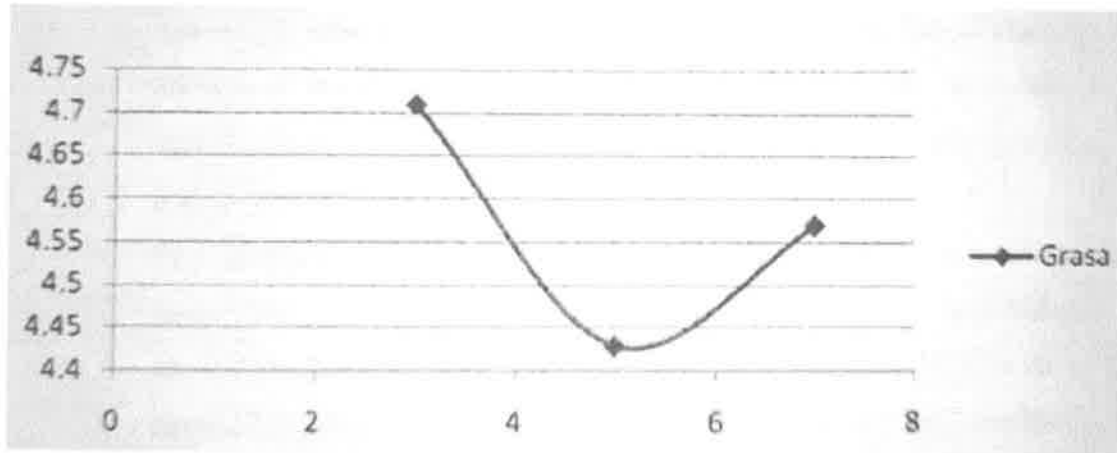
El contenido de la proteína obtenido para la relación 1:4 varió entre 15.62 a 15.76% con un promedio de 15.67%, las diferencias no fueron estadísticamente significativas aun así se observó un aumento lineal del contenido de la proteína conforme aumenta el tiempo de cocción como puede observarse en la Gráfica No. 7 por lo que se puede concluir que no hay destrucción de la proteína cuando se aplica variación de tiempo de cocción por microondas a la muestra.

Gráfica No. 7. Proteína para la mezcla amaranto-avena (54/46) con la relación mezcla-agua 1:4 a 3,5 y 7 minutos de cocción por microondas



Por último, el contenido de grasa para la relación 1:4 a 4.71% con un promedio de 4.57% como puede observarse en la Gráfica No. 8, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Gráfica No. 8. Grasa para la mezcla amaranto-avena (54/46) con la relación mezcla-agua 1:4 a 3.5 y 7 minutos de cocción por microondas.



Se puede concluir que el efecto del proceso del microondas teniendo variación de los tiempos de cocción de 3, 5 y 7 minutos no presentaron variación en la composición química de la proteína, grasa y humedad de la mezcla con relación 1:4 harina-agua de amaranto-avena.

IX. CONCLUSIONES

- Distintas relaciones de proporción harina-mezcla no afectan significativamente las características fisicoquímicas y nutricionales de un alimento complementario a base de amaranto-avena.
- Para la relación 1:3 de harina-agua, harina compuesta por mezcla de amaranto-avena en una proporción de 54% amaranto y 46% avena se obtuvo una composición química proximal de: 5.16% de humedad con 1.07 de desviación estándar, 15.09% de proteína con 1.79 de desviación estándar, 4.56% de contenido de grasa con una desviación estándar de 0.01, 16.90% de contenido de fibra dietética total con 9.96 de desviación estándar, 1.86% de ceniza con una desviación estándar de 0.05 y 56.43% con una desviación estándar de 4.19 para el contenido de carbohidratos.
- Para la relación 1:4 de harina-agua, harina compuesta por mezcla de amaranto-avena en una proporción de 54% amaranto y 46% avena se obtuvo una composición química proximal de: 7.03% de humedad con 1.4 de desviación estándar, 12.29% de proteína con 3.09 de desviación estándar, 4.00% de contenido de grasa con una desviación estándar de 0.08, 14.58% de contenido de fibra dietética total con una desviación estándar de 4.43, 1.91% de ceniza con una desviación estándar de 0.23 y 60.19% con una desviación estándar de 1.88 para el contenido de carbohidratos.
- Para la relación 1:5 de harina-agua, harina compuesta por mezcla de amaranto-avena en una proporción 54% amaranto y 46% avena se obtuvo una composición química proximal de: 6.01% de humedad con 0.89 de desviación estándar, 13.76% de proteína con 1.38 de desviación estándar, 3.82% de contenido de grasa con una desviación estándar de 0.12, 20.60% de contenido de fibra dietética total con una desviación estándar de 3.11, 1.83% de ceniza con una desviación estándar de 0.02 y 53.98% con una desviación estándar de 1.25 para el contenido de carbohidratos.
- El índice de absorción de agua obtenido para las relaciones harina-agua de 1:3, 1:4 Y 1:5 sometidas al proceso de cocción por microondas durante 5 minutos fue: 5.30 g gel/g harina seca con desviación estándar de 1.04, 4.93 g gel/g harina seca con una desviación estándar de 0.54 y 4.75 g gel/g harina seca con 0.01 de desviación estándar respectivamente para cada relación.
- El índice de solubilidad de sólidos obtenido para las relaciones harina-agua de 1:3, 1:4 y 1:5 sometidas al proceso de cocción por microondas durante 5 minutos fue: 3.12% con 0.004 de desviación estándar, 3.81% con 0.01 de desviación estándar y 3.12% con 0.01 de desviación estándar respectivamente para cada proporción.

- Para la relación 1:4 de harina-agua, harina compuesta por mezcla de amaranto-avena (54/46) sometida a cocción por microondas durante 3 minutos se obtuvo una composición química de: 3.62% de humedad con una desviación estándar de 0.06, 15.62% de contenido de proteína con 0.23 de desviación estándar y un contenido de grasa de 4.71% con una desviación estándar de 0.16.
- Para la relación de 1:4 de harina-agua, harina compuesta por mezcla de amaranto-avena (54/46) sometida a cocción por microondas durante 5 minutos se obtuvo una composición química de: 5.27% de humedad con una desviación estándar 0.08, 15.64% de contenido de proteína con 0.18 de desviación estándar y un contenido de grasa de 4.43% con una desviación estándar de 0.67.
- Para la relación 1:4 de harina-agua, harina compuesta por mezcla amaranto-avena (54/46) sometida a cocción por microondas por 7 minutos se obtuvo una composición química de: 3.45% de humedad con una desviación estándar de 0.16, 15.76% de contenido de proteína con 0.51 de desviación estándar y un contenido de grasa de 4.57% con una desviación estándar de 0.27.
- No hay variación significativa de la composición química proximal en cuanto al contenido de proteína, humedad y grasa para la mezcla harina-agua 1:4 sometida al proceso de cocción por microondas a 3,5 y 7 minutos.

X. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis de contenido de lisina para ver si variación al someterla al proceso de microondas.
- Realizar análisis de acidez, acidez de grasa y pH para determinar la estabilidad de anaquel y conocer en qué momento empieza el deterioro de la muestra.
- Variar los niveles de proteína del microondas para observar si produce algún cambio en las variables fisicoquímicas y nutricionales del producto.
- Realizar el análisis de contenido de almidón resistente para la cantidad de productos no digeribles.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Becker, R. 1984. *Saccharides and Stach of Grain Amaranth*. In. Proceedings of the second amaranth conference, Pa. Rodale Press Inc.p.p.58.

Bressani, R., A. Sánchez-Marroquín, E. Morales. 1992. *Chemical composition of Grain amaranth cultivars and effects of processing on their nutritional quality*. Food Reviews International, 8(1), p.23-49

Bressani, R.1989. *The proteins of gran amaranth*. Food Reviews International. Vol. 5. No.1. p.p.1-40.

Bellido, Luis. 1991. CULTIVOS HERBACEOS, CEREALES. 1ª edición. Vol. I. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

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. p.p.106

Gili, S. 1992. *Diccionario Escolar de la Lengua Española*. 3ª edición. Reí Andes Ltda. Bogotá. p.p.924

Harper, J. 1981. EXTRUSION of FOODS. Vol. I. 1ª Edición. CRC Press. Estados Unidos. p.p.1-3.

JOINT FAO/WHO AD HOC EXPERT COMMITTEE. 1973. Energy and Protein Requirements. Who Technical Report Series No. 522. FAO Nutrition Meeting Report. Series No.52. Who, Geneva; FAO, Roma.

Kirk, R., D. Othmer, J. Scout, 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, Agricultura and Nutrition*. McGraw Hill. N.Y. p.p.732

Lorenz, Klauz. 1991. *Handbook of cereal science and technology*. 1a edición. Marcel Dekker. New York. p.p. 882

Marx, J. 1981. *Amaranth; A comeback for the food of the Aztecs*. Science. 198:40.

Matz, 1991. *The chemistry and Technology of Cereals as food and feed*. 2a edición. Van Nostrand Reinhold. N.Y. p.p.751

Mendoza, C. 1985. *El amaranto, su cultivo y evaluación nutricional de un alimento producido por extrusión*. Universidad del Valle de Guatemala. p.p.66

Menocal, Carlos. 2007. << El 50% de niños está desnutrido >>. *Prensa Libre* [Guatemala]. 10 de junio, pág. 2-3.

Ortiz, A. 1995. *Desarrollo de un alimento para niños lactantes a base del grano de amaranto (Amaranthus cruentus)*. Universidad del Valle de Guatemala. p.p.69

Penfield, M, Campbell, A. 1990. *Experimental Food Science*. 3ª edición. Academic Press. N.Y. p.p.541

Sánchez, A.1980. *Potencialidad Agroindustrial del Amaranto*. Centro de Estudios Económicos y sociales del Tercer Mundo. México. p.p.328.

Smith, O.B. History and status of specific protein-rich foods. Extrusion-processed cereal foods, in Protein-Enriched Cereal Foods for World Needs, Milner, M., Ed., Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, Minn., 1969, p.140.

Toledo, R. 1991. *Fundamentals of Food Process Engineering*. 2^a edición. Van Nostrand Reinhold. N.Y. p.p.602

Van Arsdel, W. y M. Copley. 1964. *Food Dehydration, vol.2. Products and Technology*. The Avi Publishing Co. Inc. N.Y. p..721

Webster's 3rd New Dictionary. Merriam Company. Springfield, Mass., 1966. p.p.808.