



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**“Valoración del sedimento obtenido en la molienda húmeda del grano
de cebada”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN QUÍMICA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

DIANA MARLENE PEREA ZÚÑIGA

ASESOR:

ALMA DELIA ROMÁN GUTIERREZ

ABEL BLANCA\$ CABRERA

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO 2010





Parte de este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos I del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) y en el laboratorio de Tecnología de Alimentos II del edificio de Química en Alimentos (UAEH) gracias al financiamiento de COFUPRO formando parte del proyecto: "Obtención de bioproductos a partir del grano de cebada en la



región centro del país" con clave 42 – 2007 – 0902.

Este trabajo de investigación se realizó en el marco del convenio de colaboración intitulado "**Transformación y aprovechamiento de los carbohidratos provenientes de cebada para la generación de productos de interés biotecnológico**", celebrado entre la Unidad de Bioprocesos del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México como responsable el Ing. Abel Blancas Cabrera y el Área Académica de Química de Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo como responsable la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez.

Otra parte de éste se llevó a cabo en:

- Ⓢ Laboratorios de Nutrición del Instituto de Ciencias de la Salud (ICSA) en la UAEH.
- Ⓢ Departamento de Alimentos y Biotecnología en la Facultad de Química de la UNAM.



El presente trabajo ha participado en los siguientes foros científicos:

- Primer Foro Estudiantil "Jóvenes en el Desarrollo de la Ciencia UAEH-2009" llevado a cabo en Pachuca, Hidalgo el 26 de Agosto de 2009.

- XI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos llevado a cabo en Monterrey, N.L. el 31 de Agosto y el 1° de Septiembre de 2009.

Además fue parte de un reportaje de TVUAEH transmitido en televisión el día 2 de Marzo de 2009, disponible en www.uaeh.edu.mx/tvuaeh



ESTA TESIS ESTA DEDICADA A:

☉ *Mis símbolos de fe:*

... los cuales me han mantenido principalmente con salud y a quienes debo esta oportunidad para vivir.



☉ *Mi hermano...*

... ya que has sido mi fortaleza y mi felicidad, mi compañero de risas, aventuras, tristezas y aprendizajes.

☉ *Mis padres...*

... para que se sientan orgullosos y para que sigan confiando en mí, porque siempre tendré presente su educación, siempre los admiraré por sus cualidades y procuraré aprender con ustedes de nuestros errores y aciertos.

☉ *A mis abuelos...*

... por hacer de mis padres las personas que me impulsaron a salir adelante, por darme el ejemplo de respeto, por quererme, cuidarme y educarme.

☉ *A mis tíos ...*

... por ser bondadosos y cariñosos conmigo, por ser mis segundos padres y por darme confianza, cuidados y sonrisas.

☉ *A mis primos...*

... porque espero y creo en ustedes, pues esta mi experiencia de vida se las comparto y se las dedico para que les ayude a tener un ejemplo para luchar y llegar mucho muy lejos.

☉ *A ect....*

... por darme regaños, palabras de aliento, lealtad, amor, razón, salud, buen humor, alimento, abrigo, cuidados y sobre todo felicidad... y claro por ayudarme en la parte experimental.



AGRADECIMIENTOS

■ **A la Dra. Alma:**

... Por la paciencia, el tiempo y confianza invertidos en mí para poder lograr que este proyecto culminara satisfactoriamente.

... Con toda mi admiración y respeto, espero haber cumplido con las expectativas y logrado satisfactoriamente comprender este reto del conocimiento que usted me permitió emprender.

■ **A los integrantes del jurado:**

... Por tomarse tiempo de leer esta tesis, por los reconocimientos y por las correcciones que lograron que este trabajo fuera mejor.

■ **A COFUPRO:**

... por el apoyo económico para la realización de este trabajo de investigación formando parte del proyecto "Obtención de bio productos a partir del grano de cebada en la región centro del país" con clave 42 - 2007 - 0902.

■ **A Claus:**

... Con mojadás, pisadas, golpes "accidentales" y un ratón en la cabeza, gracias por ayudarme en la realización de la parte experimental.

■ **A mi familia:**

.... Dany... gracias por hacerme reír, por dejarte consentir, por educarme y por tu apoyo para salir adelante juntos en los momentos tan difíciles que nos han tocado en la familia compartir.

.... Mā y Pā... gracias por la solvencia económica, por el apoyo moral, los sacrificios, la fortaleza y la tranquilidad, pero sobre todo, gracias por permitirme llegar hasta aquí, con los ejemplos de vida, distinguiendo el bien del mal.





... Abuelos Reyna y Cirilo... a quienes les debo mi primer etapa escolar, la base de mi educación, porque me apoyaron siempre; aún con frío, aun con sueño, aún con enfermedad, pues siempre estaban ahí dispuestos a consentirme y forjaron en mí la disciplina de siempre continuar.

... Tía Reyna... gracias por ser ese ejemplo de lucha incansable, por siempre tener palabras de tranquilidad, por cuidarme tanto y por quererme aún más.

... Tíos... porque han dejado una huella importante en mi educación, al regañarme (Tío Jaime), darme buenos consejos (Tío Sergio y Tía Lupita), por quererme mucho, hacerme reír, consentirme y cuidarme (Tío Toño) y por inculcarme preservar la tradición familiar (Tía Mónica y Tío Miguel).

... Primas y primos... porque todos podemos, porque somos el ejemplo uno del otro, porque nos apoyamos y motivamos, nos queremos y ayudamos.

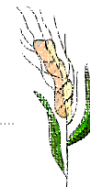
A Ect:

... porque te respeto, te admiro, te amo y te necesito. Gracias por llenar mi vida de triunfos y de amor incondicional, por motivarme a vivir, por rescatarme de la ansiedad, por tranquilizarme, amarme, cuidarme y respetarme. Hello!. is it me your looking for??



... Al final de todo, reconozco el acierto y el error, gracias a todo lo que mis sentidos vieron, escucharon, apreciaron, probaron, tocaron y lo que a mi corazón conmovió, porque en conjunto me hicieron ser lo que hoy soy.

Diani



ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas	iii
Índice de figuras	iv
Resumen	2
Abstract	4
1. Introducción	6
2. Antecedentes	8
2.1 La cebada	8
2.2. Nutrientes presentes en el grano de cebada	9
2.2.1 Carbohidratos	9
2.2.2 Proteínas	10
2.2.3 Aminoácidos	11
2.2.4 Vitaminas	13
2.3 Industria de los cereales	14
2.3.1 Molienda	14
2.3.1.1 Molienda seca	14
2.3.1.2 Molienda húmeda	15
2.4 Aprovechamiento de residuos en la industria de los alimentos	16
2.5 Alimentos funcionales	17
2.6 Agua en los alimentos	18
2.7 Secado de alimentos	19
2.7.1 Tradicional	19
2.7.2 Al sol	20
2.7.3 Horno o estufa	22
2.7.4 Liofilización	22
2.7.5 Aspersión	22
2.7.5.1 Encapsulamiento	23
2.8 Maltodextrinas	24
2.9 Gomas	24
2.9.1 Guar	24
2.9.2 Tragacanto	25
2.9.3 Arábica	26
2.9.4 Xantano	26
2.9.5 Carragenina	26
2.10 Fortificación de alimentos	27
3. Objetivos	29
3.1 Objetivo general	29
3.2 Objetivos específicos	29
3.3 Hipótesis	29
4. Diagrama de proceso	31
5. Materiales y métodos	33
5.1 Obtención de la muestra	33
5.2 Métodos de secado	33

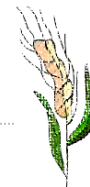


5.2.1 Estufa	33
5.2.2 Liofilización	33
5.2.3 Aspersión	34
5.3 Análisis proximal	35
5.4 Aminoácidos	35
5.5 Vitaminas	35
5.6 Análisis físico	36
5.6.1 Determinación de color	36
5.6.2 Microscopía electrónica de barrido	36
5.6.3 Tamaño de partícula	37
5.7 Pruebas de estabilidad	37
5.7.1 Homogeneizado	37
5.7.2 Determinación de viscosidad	37
6. Resultados y discusiones	40
6.1 Análisis proximal del grano	40
6.2 Molienda húmeda	41
6.2.1 Rendimiento de molienda	41
6.3 Métodos de secado	41
6.4 Análisis proximal del sedimento	43
6.5 Aminoácidos	45
6.6 Vitaminas	47
6.7 Análisis físico	48
6.7.1 Determinación de color	48
6.7.2 Tamaño de partícula	50
6.7.3 Microscopía electrónica de barrido	52
6.8 Pruebas de estabilidad	56
6.9 Preparación de la formulación final	61
7. Conclusiones	66
8. Perspectivas	68
9. Bibliografía	71
10. Anexos	76
Anexo I. Proceso de molienda húmeda	77
Anexo II. Gráficas de viscosidad de las diferentes gomas	78



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1	Composición química del grano de cebada (en materia seca).	9
2	Proteínas presentes en la cebada.	10
3	Contenido de aminoácidos presentes en la hordeína de cebada.	12
4	Vitaminas en el grano de cebada.	13
5	Proximal del grano de cebada (Esmeralda Apan 2007).	40
6	Resultados secado (%).	43
7	Análisis proximal del sedimento.	44
8	Contenido de aminoácidos.	45
9	Contenido de vitaminas del complejo B.	47
10	Resultados de color.	48
11	Distribución de tamaño de partícula (μm).	51
12	Formulación del homogeneizado con diferentes gomas.	56
13	Resultados del homogeneizado con diferentes gomas al 2%.	58
14	Viscosidad de las gomas a diferentes temperaturas.	59
15	Formulación final.	61
16	Composición de la formulación final.	62
17	Recuperación de sólidos.	62



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1	Estructura del grano de cebada.	8
2	Equipo Liofilizador marca LABCONCO.	34
3	Equipo NIRO ATOMIZER para secado por aspersión.	34
4	Reómetro BOOFFIELD DV-III ULTRA.	38
5	Set de agujas.	38
6	Sedimento secado por diferentes métodos.	42
7	Tamaño de partícula de los sedimentos secos.	51
8	Micrografías del sedimento secado en estufa.	52
9	Micrografías del sedimento secado por liofilización.	53
10	Micrografías del sedimento secado por aspersión.	54
11	Micrografías Ácido fólico a diferentes amplitudes.	55
12	Viscosidad de la goma carragenina sometida a diferentes temperaturas.	60
13	Tragacanto: viscosidad vs temperatura	78
14	Viscosidad vs tiempo: tragacanto a 20°C	78
15	Viscosidad vs tiempo: tragacanto a 40°C	78
16	Viscosidad vs tiempo: tragacanto a 60°C	79
17	Viscosidad vs tiempo: tragacanto a 80°C	79
18	Xantano: viscosidad vs temperatura	79
19	Viscosidad vs tiempo: xantano a 20°C	80
20	Viscosidad vs tiempo: xantano a 40°C	80
21	Viscosidad vs tiempo: xantano a 60°C	80
22	Viscosidad vs tiempo: xantano a 80°C	80
23	Carragenina: viscosidad vs temperatura	81



Resumen



RESUMEN

El sedimento obtenido como subproducto en la molienda húmeda del grano de cebada se sometió a secado por tres diferentes métodos: en estufa, por liofilización y por aspersion, los cuales dejaron la muestra con un 7,7 y 2% de humedad respectivamente.

Posteriormente se cuantificaron sus nutrientes con valores de: 12.54% de carbohidratos, 19% de proteína y algunos aminoácidos, siendo el ácido glutámico (1.138g_{aa}/100g) y leucina (0.365g_{aa}/100g) de los más abundantes. También se encontró 0.46% de cenizas y algunas vitaminas del complejo B, de las cuales las más abundantes son niacina (0.5246mg/100g) y piridoxina (0.4366mg/100g).

En el análisis físico se determinó el tamaño y forma de las partículas, encontrándose diferentes tamaños en el secado por aspersion, además de observar en su microscopía una protección debida al encapsulamiento.

En el análisis de color, se observó en estufa, la coloración marrón debido a la reacción de Maillard, en el liofilizado se observa el color normal del sedimento y en el de aspersion se aprecia un tono gris por al empleo de gomas.

Por último, se llevaron a cabo pruebas de estabilidad del sedimento con las diferentes gomas, evaluando su viscosidad a varias temperaturas, esto para observar su comportamiento a estas condiciones. La goma tragacanto fue la goma que conserva su estabilidad al someterla a diferentes condiciones de temperatura incluso a 80°C.

Esto se llevó a cabo ya que uno de los usos que se le puede dar al sedimento es en la elaboración de bebidas o en complementos alimenticios.



Abstract



ABSTRACT

The sediment achieved as a sub product in the wet grinding of barley grain was dried by different methods: in the oven, by lyophilizer and spray drying. This left the sample with 7, 7 and 2% of moisture respectively.

After that, nutrients were quantified achieving values of 12.54% of carbohydrates, 19% of protein and amino acids, showing glutamic acid (1.138g_{aa}/100g) and leucine (0.365g_{aa}/100g) as the most abundant. Also, 0.46% of ash and some vitamins of B complex were found; niacin (0.5246mg/100g) and pyridoxin (0.4366mg/100g) were the most abundant.

The size and the shape of particles were determined in the physical analysis, different sizes were founded in spray drying, and also it was observed in their microscopy a kind of protection due to the encapsulation.

In the color analysis, it was observed that in the oven, the coloration was brown due to a Maillard reaction, in the lyophilized a normal coloration of fresh sediment was observed, and in the spray drying, a gray tone due to the utilization of gums is was observed.

At last, out stability tests of sediment with different gums were carried out, valuating their viscosity at different temperatures, this to evaluate their behavior in these conditions. The tragacant gum was the best, due to preserve its stability to undergo different conditions of temperature even to 80 Celsius degrees.

This was carried out because one of the uses of the sediment could be in the preparation of beverages or in food supplements.



Introducción



1. INTRODUCCIÓN

El ser humano requiere de una alimentación de calidad para mantener su buen estado de salud; para ello necesita consumir los 4 principales nutrientes que proveen los alimentos que son: carbohidratos, proteínas, grasas y minerales. Estos nutrimentos se encuentran en proporciones variables en los alimentos tanto de origen animal como vegetal, por lo que es recomendable combinarlos para lograr una alimentación balanceada. Dentro de los alimentos de origen vegetal se encuentran los cereales; los cuales proporcionan una considerable cantidad de carbohidratos, que proveen energía al cuerpo. Los cereales son un alimento económico y abundante en los países en vías de desarrollo, por lo que, constituyen una parte fundamental en la alimentación. Razón por la cual es importante aprovechar todos sus nutrientes y sus propiedades para darle un mayor uso en la industria de los alimentos y la nutrición. A escala mundial, dentro de los cereales de mayor consumo se encuentra la cebada, que ocupa el cuarto lugar después del trigo, el arroz y el maíz. En la actualidad, la cebada se produce en casi todo el mundo, destinándola principalmente a dos tipos de mercado: como alimento para ganado y para producción de malta (López, 2005). En México, los estados con mayor producción de cebada son: Guanajuato, Hidalgo y Tlaxcala (SAGARPA, 2007). El proceso mediante el cual el grano de cebada se somete a molienda húmeda para la extracción de almidón, genera una gran cantidad de residuos, los cuales no son completamente aprovechados. Estos, como cualquier desecho, comúnmente se tira y se desperdician compuestos que pueden tener algún uso potencial. Este trabajo de investigación tiene como objetivo valorar el sedimento obtenido de la industria de la molienda húmeda de la cebada. Inicialmente se cuantificaron sus nutrientes para posteriormente someterlo a un proceso de secado para conservarlo y obtener un concentrado con valor nutrimental para ser aprovechado en la industria alimentaria.



Antecedentes



2. ANTECEDENTES

2.1 La cebada.

La cebada (*Hordeum vulgare*) es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas y se ha consumido por varias civilizaciones a lo largo de los años como alimento para ganado, en forma de pan o en bebidas.

El grano de cebada presenta forma oval y alargada, posee dos compartimentos especiales: el endospermo y el germen, ambas zonas se encuentran recubiertas por dos capas externas: testa y el pericarpio o cáscara; las cuales le confieren una protección vital durante el almacenamiento (Figura 1).

La parte más abundante en el grano es el endospermo (72.6% del grano entero); ahí se encuentran almacenados algunos nutrientes, siendo los carbohidratos el componente más abundante (Kent *et* Evers, 1994).

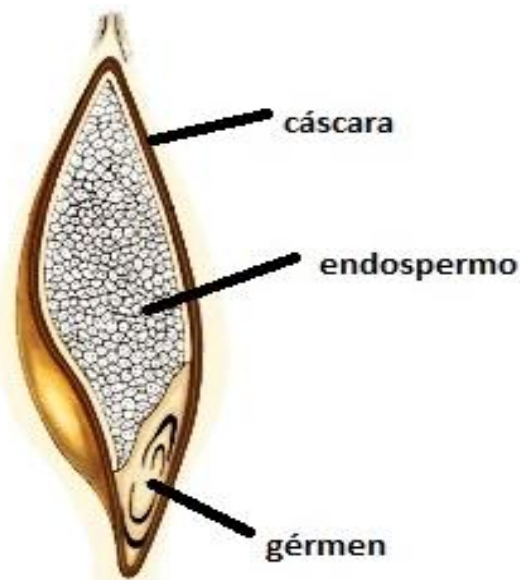


Figura 1. Estructura del grano de cebada (modificado de Newman *et* Newman 2008).



2.2. Nutrientes presentes en el grano de cebada.

La composición química media en materia seca del grano de cebada se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del grano de cebada (en materia seca).

Nutriente	Contenido (%)
Carbohidratos	70 – 80
De los cuales:	
Almidón	50 – 63
Azúcares	1.8 – 2.0
Celulosas y Hemicelulosas	15 - 20
Proteína	10.5 -11.5
Lípidos	1.5 – 3.0
Minerales	2.0 – 4.0
Otros constituyentes	1.0 – 2.0

Fuente: Callejo, 2002

2.2.1 Carbohidratos.

El carbohidrato más abundante en los granos de cereales es el almidón, siendo la sacarosa el azúcar más abundante, aunque también se encuentran glucosa y fructosa en cantidades menores (Callejo, 2002).

En los últimos años se ha comprendido la influencia de los carbohidratos en la nutrición y en la salud humana, principalmente por la fuerte recomendación de disminuir el consumo de grasa. Actualmente está comprobado que al menos el 55% de las calorías diarias que ingerimos deberían provenir de los carbohidratos.

Otra parte importante de los carbohidratos es la fracción de fibra, la cual promueve efectos fisiológicos importantes en el cuerpo, tales como efecto laxante,



disminución del colesterol sanguíneo y disminución de la glicemia, por lo que ha adquirido gran importancia en nutrición y salud.

Los alimentos ricos en almidones como fuentes de carbohidratos complejos adquieren relevancia porque contribuyen a cumplir las actuales metas nutricionales y otras recomendaciones como aumentar el consumo de fibra dietética y disminuir el de azúcares simples.

La producción de almidones es una de las actividades agroindustriales más importantes en el ámbito mundial, su aplicación no sólo se extiende a la industria de alimentos, sino también a otras industrias tales como textil, papel, fármacos, petróleo, etc.

Es importante porque ofrece una amplia gama de propiedades funcionales que determinan la calidad del producto final (María *et* Wenzel, 2006).

2.2.2 Proteínas.

Las proteínas están localizadas en el endospermo almidonoso y aleurona de la mayoría de los cereales (Kent *et* Evers, 1994). Éstas se clasifican de acuerdo a sus propiedades de solubilidad según la clasificación de Osborne 1924.

Con base en dicha clasificación, la distribución de las proteínas en el endospermo de la cebada se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Proteínas presentes en la cebada.

Nombre	%	Solubilidad
Albúmina (leucosina)	3-4	Agua
Globulina (edestina)	10-20	Soluciones salinas diluidas
Prolamina (hordeína)	33.5-45	Soluciones alcohólicas
Glutelinas	35-45	Soluciones diluidas de ácidos o álcalis

Fuente: Callejo 2002

La mayor parte del nitrógeno de la cebada está localizado en el endospermo como: proteína de reserva y proteína enzimática. Además de las proteínas existen diversos compuestos que contienen nitrógeno en pequeñas cantidades como los ácidos nucleicos, aminas, amidas y algunos aminoácidos libres (Hornsey, 1999).



Desde un punto de vista nutricional, las prolaminas son las proteínas más pobres, ya que carecen de aminoácidos esenciales y son ricas en aminoácidos no esenciales como la prolina, glicina, ácido glutámico y aspártico (Serna, 2001).

La hordeína es la proteína más importante en la cebada y representa del 40-50% del total de las proteínas (Mohamed *et al.*, 2007).

Las proteínas vegetales son generalmente inferiores a las proteínas animales, ya que carecen de ciertos aminoácidos esenciales. Sin embargo, al suplementar las proteínas vegetales incompletas con los aminoácidos esenciales que les faltan (los cuales a menudo son: lisina y metionina) estas proteínas pueden resultar totalmente adecuadas (Norman, 1978).

2.2.3 Aminoácidos.

Los aminoácidos son los constituyentes principales de las proteínas, los cuales determinan muchas de sus propiedades y funciones, por lo cual para determinar la calidad de la proteína es necesario observar en un alimento, el balance entre los aminoácidos esenciales y los no esenciales.

En la cebada se han encontrado 18 aminoácidos principales, siendo la lisina y la treonina el primer y segundo limitante en términos de requerimiento para el crecimiento y alimentación animal.

Seguidos de la metionina y el triptófano en tercer y cuarto lugar de los aminoácidos esenciales limitantes (Newman *et Newman*, 2008). Tanto las proteínas como los aminoácidos en la cebada están fuertemente influenciados por la genética y las condiciones ambientales de crecimiento.

La cantidad de aminoácidos en la proteína mayoritaria (hordeína) se puede ver en la tabla 3.



Tabla 3. Contenido de aminoácidos presentes en la hordeína de cebada.

Aminoácido	g/100g de proteína
<i>Esenciales</i>	
Fenilalanina	5.2
Histidina	2.1
Isoleucina	3.6
Leucina	6.6
Lisina	3.5
Metionina	2.2
Treonina	3.2
Triptófano	1.5
Valina	5.0
<i>No esenciales</i>	
Ác. aspártico	6.0
Ác. glutámico	25.5
Alanina	2.1
Arginina	4.6
Cisteína	1.8
Glicina	3.9
Prolina	11.6
Serina	3.8
Tirosina	2.8

Fuente: Serna, 2001.



2.2.4 Vitaminas.

Son un grupo de sustancias orgánicas necesarias en pequeñas cantidades para el desarrollo y normal funcionamiento del organismo humano. No se sintetizan en el cuerpo humano en cantidad suficiente, por lo que debe asegurarse su ingesta con los alimentos (Moraleda, 1999).

Los cereales son una importante fuente de vitaminas del complejo B (B₁ (tiamina), B₂ (riboflavina)) y niacina. Están presentes también otras vitaminas como: la E, la B₆ (piridoxina) y el ácido pantoténico; éstas se encuentran en pequeñas cantidades en la capa de aleurona (Tabla 4).

Tabla 4. Vitaminas en el grano de cebada.

Nombre	mg/100g
Tiamina B₁	0.50
Riboflavina B₂	0.18
Niacina	5.50
Ácido pantoténico	0.80
Piridoxina B₆	0.30
Vitamina E	1.10

Fuente: Callejo, 2002

La tiamina tiene una función muy importante en el metabolismo de los carbohidratos en los seres humanos, la dosis recomendada por la FAO (1985) es de 0.4mg por 1000kcal para la mayoría de las personas.

Interviene en el complejo mecanismo de la ruptura u oxidación de los carbohidratos y en el metabolismo del ácido pirúvico.

La energía que emplea el sistema nervioso deriva por completo de los carbohidratos; una carencia de tiamina bloquea la utilización final de ellos y lleva



a un déficit de energía y a lesiones en los tejidos nerviosos y el cerebro (Moreiras *et* Cuadrado, 2009).

2.3 Industria de los cereales.

2.3.1 Molienda.

Se define como la reducción de tamaño de partícula del grano entero del cereal.

Los sistemas de molienda son normalmente clasificados como molienda seca y húmeda.

2.3.1.1 Molienda seca.

La molienda en seco es la más ampliamente empleada para la obtención de harinas y subproductos como salvado, sémola y aceite.

Los cereales más empleados para la obtención de harina y otros subproductos son: maíz, trigo, avena y sorgo. Aunque también la cebada se somete a proceso de molienda en seco, para lo cual requiere primero de la remoción de la cáscara, proceso que se conoce como perlado.

Mackay *et* Stimson (1993) describen que para este proceso, se requiere de una hidratación previa del grano para favorecer el desprendimiento de la cáscara.

Esto se realiza con el fin de:

- Separar efectivamente el endospermo del pericarpio.
- Suavizar el endospermo para lograr una mejor y más efectiva reducción de tamaño.

Sin embargo, el perlado hace que además de remover la cáscara se pueda remover parte del endospermo, que es rico en almidón, por lo cual el rendimiento se ve disminuido.



Algunos de los productos obtenidos de la cebada perlada son hojuelas, que han sido empleadas como ingrediente para potenciar el sabor de algunos panes especiales en Estados Unidos.

También se obtiene harina que es mezclada con trigo para aumentar su valor y harina de malta para ser empleada como potenciador de sabor (Kent *et* Evers, 1994).

2.3.1.2 Molienda húmeda.

Este tipo de molienda, difiere fundamentalmente de la molienda seca en que se lleva a cabo una maceración. Proceso en el que cambios físicos y químicos ocurren según la naturaleza de los constituyentes básicos del grano como el almidón, proteínas y material de la pared celular.

Esto para lograr una disociación completa en la célula para así liberar del endospermo los gránulos de almidón de la red de proteínas en la que están confinados.

En la molienda seca, el endospermo es más bien fragmentado con una separación deliberada de almidón de las proteínas.

Para la extracción del almidón se han empleado diferentes métodos a partir de la harina. Uno de éstos métodos es un proceso con empleo de álcalis en el cual la harina se sumerge en una solución alcalina (por ejemplo en NaOH 0.03N) en la que la proteína se dispersa.

Posteriormente, el almidón se separa por centrifugación y la proteína se precipita por acidificación del medio a pH 5.5. En este estado, la proteína se encuentra desnaturalizada.

El siguiente paso en la molienda húmeda, cuando se ha recuperado el almidón y se separa del gluten, como en el caso del trigo, es someter ambos a un proceso de secado (Kent *et* Evers, 1994).



Una vez seco el gluten se le puede dar varios usos:

- A bajos niveles (0.5-3.0%) para mejorar la textura y aumentar el contenido de proteína en panes, en particular, favorecer el adelgazamiento del pan tostado, panes de especialidad y panecillos para hamburguesa.
- Para fortificar harinas débiles.
- Para disminuir el contenido de almidón en panes de alta proteína, en donde el gluten actúa tanto como fuente de proteína como agente de texturizado.
- También se utiliza como aglutinante y para aumentar el nivel de proteína en los productos cárnicos, por ejemplo, salchichas, alimentos para el desayuno, alimentos para mascotas, alimentos dietéticos y productos vegetales texturizados

2.4 Aprovechamiento de residuos en la industria de los alimentos.

Los subproductos de la industria alimentaria constituyen un problema serio de residuos en gran parte del mundo debido a la contaminación ambiental que generan.

En algunas comunidades de Europa por ejemplo, la suma de residuos procedentes de frutas y verduras es alrededor de 90 toneladas al día durante 250 días al año (Arvanitoyannis *et Varzakas*, 2008).

Es por ello que la industria alimentaria, persiguiendo su desarrollo sostenible, está aplicando cada vez más medidas para la mejora de su impacto ambiental, entre los que se encuentra la valorización y aprovechamiento de subproductos.

Asimismo, este aprovechamiento crea nuevas fuentes de riqueza que aportan una mayor rentabilidad económica al proceso industrial de partida.



Los procedimientos tradicionales de empleo de subproductos de la industria alimentaria son: la alimentación del ganado, como fertilizantes, o como sustratos agrícolas.

Sin embargo, estos usos no aportan el valor que la industria alimentaria necesita para reforzar su competitividad, y menos teniendo en cuenta que los subproductos son una fuente corroborada de compuestos de alto valor como la fibra, los ácidos grasos esenciales, los minerales, etc.

Existe una gran diferencia entre considerar estos productos como residuos, en cuyo caso acabarán en un vertedero controlado, a gestionarlos como subproductos, donde se puede obtener un beneficio económico derivado de esta gestión.

Por lo tanto, Fernández *et al.* (2008) reportan que los subproductos pueden utilizarse para:

- La extracción de sustancias de alto valor añadido como aceites esenciales, aromas, etc.
- Alimentación animal.
- La obtención de compost.
- El aprovechamiento energético.
- Elaboración de nuevos alimentos y obtención de materias primas.

2.5. Alimentos funcionales.

La calidad de los alimentos posee dos componentes fundamentales: uno relacionado con los aspectos tecnológicos y otro relacionado con la seguridad y la aceptación por parte del consumidor.



En base a ello, aparece el concepto de “funcionalidad” de la que, en función del tipo de interacción producida puede distinguirse la interna (propiedades físicas, reacciones, estructuras, etc.) de la externa (aspecto), y la calidad (interacción con el consumidor).

Este comportamiento depende de las propiedades físicas y químicas que se afectan durante el procesamiento, almacenamiento, preparación y consumo del alimento.

La propiedad funcional hace referencia a toda propiedad no nutricional de un ingrediente, que repercute mayoritariamente sobre el carácter sensorial del alimento; en especial, la textura (Boatella *et al.*, 2004).

Las propiedades funcionales permiten el uso de las proteínas como ingredientes en alimentos, aunque generalmente se incorporan en mezclas complejas (Badui, 2006).

En los últimos años, gran parte de la población ha tomado conciencia sobre la importancia de llevar una alimentación saludable. Debido a esto, se han generado en el mercado nuevos productos enfocados a brindarnos beneficios adicionales. Una variedad de estos productos son los llamados alimentos funcionales.

Las principales tendencias de productos funcionales son lácteos y cereales para desayuno y en general alimentos con aportes de Omega 3 y 6, fibra, antioxidantes, o bien que ayuden a combatir problemas como el colesterol o mantener la línea con productos bajos en calorías (Fernández *et al.*, 2008).

2.6 Agua en los alimentos.

El agua en el alimento se encuentra de diferentes formas, una de ellas que forma parte de la estructura del alimento conocida como agua ligada, posteriormente tenemos el agua que está disponible para las reacciones bioquímicas conocida como agua libre (Fellows, 2004).



El agua físicamente atrapada no fluye en los alimentos aunque se corten o reduzcan de tamaño de partícula.

Por otra parte, esta agua se comporta casi como el agua pura durante el procesamiento de los alimentos; esto es, se elimina fácilmente durante la desecación, se transforma rápidamente en hielo durante la congelación y conserva su capacidad disolvente (Román *et al.*, 2002).

2.7 Secado de alimentos.

El secado de los alimentos es uno de los métodos de conservación más antiguo, y uno de los más importantes en la industria del procesado de alimentos; consiste en la eliminación de agua para obtener productos finales sólidos (Shafiur, 2003).

Los principales objetivos del secado son:

- Incrementar la vida útil de producto y preservar el valor nutricional.
- Reducir costos de envasado y almacenamiento.
- Reducir el peso del producto final a transportar.
- Mejorar las cualidades sensoriales.
- Retención de aromas.

2.7.1 Tradicional.

Los productos que tradicionalmente han sido sometidos al secado son, en primer lugar, los cereales y en menor grado, las carnes, el pescado, algunas hierbas, vegetales y frutas.

Es importante señalar que todos los métodos de secado se han ido desarrollando debido a que resultaban convenientes o aceptables para determinadas condiciones ambientales.



Un buen ejemplo lo constituye la carne seca de las zonas áridas y cálidas de África del Sur, o las piernas de res secadas al aire libre en las secas y frías montañas de Europa.

En la zona andina de Sudamérica podemos citar como ejemplos la carne seca y salada de llama -el *charqui*-, y la papa seca, conocida como *chuño*, que se deja helar durante la noche y se pone al sol durante el día para que el agua helada se evapore.

Cada producto, así como la técnica utilizada para secarlo, está muy relacionado con su medio ambiente. Las técnicas tradicionales de secado de alimentos suelen ser muy dependientes del clima: el sol, la sombra, los niveles de humedad, las heladas, las corrientes de aire y, algunas veces, el calor del fuego (Oti *et* Axtel, 1998).

2.7.2 Al sol.

El simple secado al sol es el método más usado en el mundo. En algunos países, los cultivos se secan extendiéndolos sobre los caminos, en las playas o en los techos de las casas, aprovechando el calor absorbido por estas superficies.

Con frecuencia el material se coloca sobre esteras, lo que contribuye a reducir la contaminación causada por el polvo y facilita la manipulación.

Estos simples métodos de secado tienen algunas ventajas:

- Prácticamente no requieren de ningún costo adicional, ya que no utilizan combustible.
- No necesitan estructuras permanentes, lo que permite que después de la estación de secado, el terreno quede disponible para la agricultura o para otros fines.



Pero también tienen muchas limitaciones:

- La pérdida de humedad puede no ser constante, ya que depende del clima.
- El secado es muy lento y a menudo el producto no llega a secarse completamente en un solo día, por lo que debe permanecer expuesto durante toda la noche para finalizar su secado al día siguiente. Esto aumenta el riesgo de deterioro, en especial debido al desarrollo de hongos.
- Los niveles finales de humedad que se alcanzan no son lo suficientemente bajos, lo que aumenta las posibilidades de deterioro del producto durante el almacenado. En otras ocasiones, el producto alcanza niveles de secado superiores a los límites recomendables.
- El producto está expuesto a la contaminación por el polvo y la suciedad y a la infestación por insectos.
- Al permanecer a la intemperie puede ser dañado o hurtado por las aves u otros animales.
- En el caso de cultivos a granel, como los cereales, se necesita mucho terreno para colocar el grano.
- Se requiere de mano de obra adicional para extender el grano, voltearlo y recogerlo cuando hay riesgo de lluvia.
- Los granos pueden adquirir un color oscuro y el nivel de ciertos nutrientes, particularmente las vitaminas, puede disminuir por la exposición directa al sol (este riesgo es mayor en algunos productos que en otros).

El simple secado al sol se aplica a una amplia gama de productos tales como el pescado, la carne, los cereales, las menestras, las frutas, los vegetales y las raíces comestibles (Oti et Axtel, 1998).



2.7.3 Horno o estufa.

Se requiere de un recinto de dos pisos, en el cual el aire de secado se calienta en un quemador en el piso inferior y atraviesa por convección natural o forzada el segundo piso perforado en el que se asienta el producto a secar.

Hoy en día su utilización en la industria de alimentos es muy reducida, utilizándose para el secado de manzanas, lúpulo o forrajes verdes (Fito *et al.*, 2001).

2.7.4 Liofilización.

En este método las sustancias deben ser previamente congeladas, después se someten a una presión por debajo del punto triple del agua (273.16°K) y se calientan para provocar la sublimación del hielo a vapor.

Se realiza a elevado vacío para eliminar agua desde la fase sólida a la fase vapor sin pasar por la fase líquida (Yañez *et al.*, 2005).

La liofilización es ampliamente utilizada para la conservación de productos alimenticios: detiene el crecimiento de microorganismos, inhibe el deterioro de sabor y color por reacciones químicas, enranciamiento y pérdidas de propiedades fisiológicas y facilita el almacenamiento y distribución.

No solo deja de ser necesaria una cadena de frío, sino que, a pesar de la gran pérdida de peso, los productos mantienen su forma y volumen original, además de que el material que se obtiene es fácilmente re-hidratable (Mayer *et al.*, 2006).

2.7.5 Aspersión.

Es un método para conservación y encapsulamiento de compuestos que son fácilmente degradables por la eliminación de humedad.

El material a encapsular es previamente homogeneizado, alimentado al secador por aspersión y atomizado por medio de una boquilla o disco, para posteriormente coleccionar el material seco y encapsulado (Yañez *et al.*, 2005).



Este método es utilizado para transformar alimentos líquidos en polvos estables que son fáciles de manejar e incorporar en alimentos secos.

Este proceso se realiza con un aspersor, el cual es usado en gran escala para deshidratar alimentos como café, leche, purés, y otros, como el nopal.

En dicho proceso un alimento líquido se convierte en polvo por evaporación del solvente, mismo que resulta efectivo para aumentar la vida de anaquel del producto para su almacenamiento y posterior uso.

El principio básico del secado por aspersion es el contacto extensivo del líquido con un medio secante, usualmente aire, este provee energía y evapora el solvente, generalmente agua.

Es necesario continuar realizando estudios de los parámetros de proceso considerando los factores que afectan la calidad y composición nutrimental del producto final (Lara, 2009).

Al ser un método que ayuda a conservar los nutrientes por micro encapsulación, es ampliamente empleado para preservar y proteger numerosos alimentos (Dziezak, 1988).

2.7.5.1 Encapsulamiento.

El encapsulamiento es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas tales como probióticos (bacterias tipo lactobacilos), enzimas, sabores, aromas, proteínas, entre otras; son introducidas en una matriz o sistema pared con el objetivo de evitar su pérdida, para protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento.

Una ventaja adicional es que un compuesto encapsulado se liberará gradualmente del compuesto que lo ha englobado y se obtienen mejores características nutricionales y sensoriales.

En la industria alimenticia se utilizan diferentes materiales encapsulantes tales como: carbohidratos, ésteres, gomas, lípidos, proteínas y materiales inorgánicos.



Dentro de los carbohidratos las maltodextrinas son importantes para la preparación de jugos que van a ser secados por aspersion, ya que son incoloras, inodoras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además de que permiten la formación de libre flujo sin enmascarar el sabor original (Ré, 1988).

En productos en polvo el contenido de humedad es importante ya que a menor humedad es mayor el tiempo de vida de anaquel, lo cual reduce costos y facilita la transportación. A este respecto, es importante que un producto en polvo tenga un contenido de humedad menor del 10% (Huntington, 2004).

2.8. Maltodextrinas.

Las maltodextrinas tienen una apariencia de polvo fino o granular homogéneo de color blanco; sirven como formadores de película, proporcionan viscosidad dependiendo del grado de conversión, se diluyen en agua en forma rápida, fluyen libremente, son compatibles con otros productos (suero de leche, harina de soya).

Entre los usos más empleados están: la industria láctea, cárnica, confitería, panificación y alimentos varios (Inestroza, 2003).

2.9 Gomas.

Las gomas son usadas en alimentos principalmente como espesantes, gelificantes, emulsificantes y estabilizantes debido entre otras a su capacidad para modificar las propiedades reológicas del solvente en el cual se disuelven, generalmente agua.

Algunas de las gomas más empleadas en la industria de los alimentos se describen a continuación.

2.9.1 Guar.

Proporciona una alta viscosidad en sistemas acuosos o lácticos, incluso en concentraciones bajas, presentando un comportamiento pseudoplástico.



La goma guar se utiliza principalmente como agente espesante con viscosidad en función de la temperatura. Puede utilizarse en una amplia de productos, ya que permanece estable en un rango de pH entre 3 a 11.

Presenta la ventaja de ser soluble en frío, al calentarse, si los tratamientos térmicos son fuertes, pierde en parte su viscosidad; es poco sensible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación – descongelación.

Presenta muy buena estabilidad cuando los productos se almacenan a temperatura ambiente y sus aplicaciones más habituales en alimentos son en: queso fresco, queso fundido, helado, salsas, aderezos, bebidas, productos de panadería y pastelería (Cubero *et al.*, 2002).

2.9.2 Tragacanto.

Está compuesta por una mezcla de polisacáridos:

- Ácido tragacántico: componente insoluble en agua que confiere a la goma la capacidad de hincharse en medio acuoso.
- Arabinogalactano: polímero soluble en agua que proporciona solubilidad al compuesto.

La goma tragacanto es, de todos los hidrocoloides, el que imparte la mayor viscosidad dando soluciones coloidales las cuales tienen la textura similar a la de un gel débil. Es soluble en agua fría y es estable al calor y valores bajos de pH (por debajo de 2).

Es eficiente añadida en procesos de emulsión, potenciando la mezcla e integración. Se emplea en alimentos como la salsa de tomate en donde la goma funciona como emulsionante estabilizador y espesante en la fase acuosa. Suele utilizarse en salsas porque imparte una textura cremosa (Cubero *et al.*, 2002).



2.9.3 Arábiga.

Esta goma tiene la característica de ser muy soluble en agua, alrededor de 0.5g/ml. Su viscosidad es máxima a pH 6.7 y tiende a aumentar en presencia de electrolitos y por efecto de la temperatura.

Por otro lado, pierde estabilidad en medio muy ácido ya que se hidroliza. Como espesante tiene un rendimiento inferior al resto de los hidrocoloides ya que se ha de aplicar una concentración muy alta de goma para conseguir viscosidades similares a las de los demás hidrocoloides.

En la industria alimentaria tiene aplicación tecnológica para la encapsulación de aromas, emulsiones, retarda la cristalización del azúcar en confitería, estabiliza espumas, aporta fibra soluble, entre otras aplicaciones (Cubero *et al.*, 2002).

2.9.4 Xantano.

Es producida por la fermentación de carbohidratos por la bacteria *Xantomonas campestris*, está constituida por una estructura básica celulósica y aun cuando no sea una agente gelificante, en combinación con la goma locuste puede formar geles elásticos y termorreversibles.

Es completamente soluble en agua fría o caliente y produce elevadas viscosidades en bajas concentraciones, además de poseer una excelente estabilidad al calor y pH, pues la viscosidad de sus soluciones no cambia entre 0 y 100°C y a pH de 1 a 13.

Es utilizada en muchos productos como espesante, estabilizante y agente para mantener suspensiones (Pasquel, 2001).

2.9.5 Carragenina.

Es una goma que ha sido empleada desde hace más de 600 años en la elaboración de alimentos, remedios y fertilizantes. La carragenina es usada como gelificante, espesante y emulsionante: siendo que por su capacidad de reacción



con ciertas proteínas, es usada a bajas concentraciones (0.01 a 0.03%) en la industria de los lácteos (Pasquel, 2001).

2.10 Fortificación de alimentos.

La fortificación es una forma de procesamiento de alimentos de especial interés para los nutricionistas. Cuando se utiliza adecuadamente puede ser una estrategia para controlar la carencia de nutrientes.

Los términos fortificación y enriquecimiento se utilizan casi siempre en forma intercambiable. La fortificación se ha definido como la adición de uno o más nutrientes a un alimento a fin de mejorar su calidad para las personas que lo consumen, en general con el objeto de reducir o controlar una carencia de nutrientes.

Esta estrategia se puede aplicar en naciones o comunidades donde hay un problema o riesgos de carencia de nutrientes.

En los países industrializados, y en alguna extensión en los países en desarrollo, se utiliza la fortificación para ajustar el contenido de nutrientes a los alimentos procesados, de manera que sus niveles estén más cerca de los del alimento antes de su proceso.

Por ejemplo, los cereales que se someten a una molienda importante, como la harina de trigo, pueden contener nutrientes que se agregan para reemplazar los que se han perdido durante el proceso de refinamiento.

Valdría la pena insistir, o inclusive promover, una legislación para evitar que se refine demasiado a los cereales (Latham, 2002).



Objetivos



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General.

Evaluar la composición nutricional del sedimento obtenido como residuo en la industria de la molienda húmeda del grano de cebada, así como algunas de sus características físicas para su posible uso en la industria de los alimentos.

3.2 Objetivos específicos.

- Cuantificar los nutrientes del sedimento (proteínas, aminoácidos, carbohidratos y vitaminas).
- Caracterizar físicamente el sedimento seco (color, tamaño y forma de partícula).
- Evaluar el mejor método de secado considerando rendimiento y factibilidad.
- Realizar pruebas de estabilidad con diferentes gomas para evaluar su viscosidad.

3.3 Hipótesis.

Del sedimento obtenido en la extracción por molienda húmeda del almidón del grano de cebada y conservado por secado, se obtiene un producto con un valor nutricional aprovechable que puede emplearse en la formulación de alimentos y bebidas.

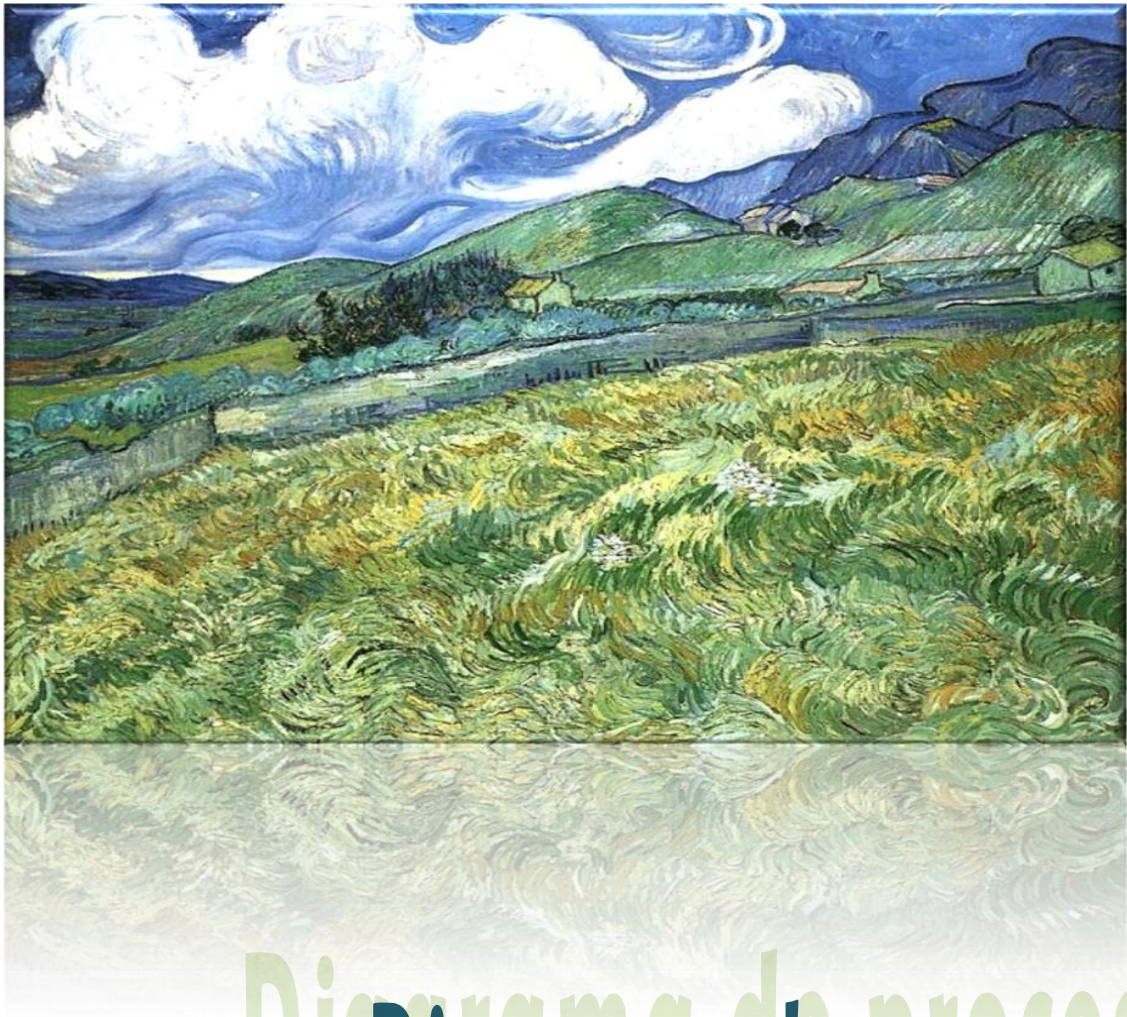
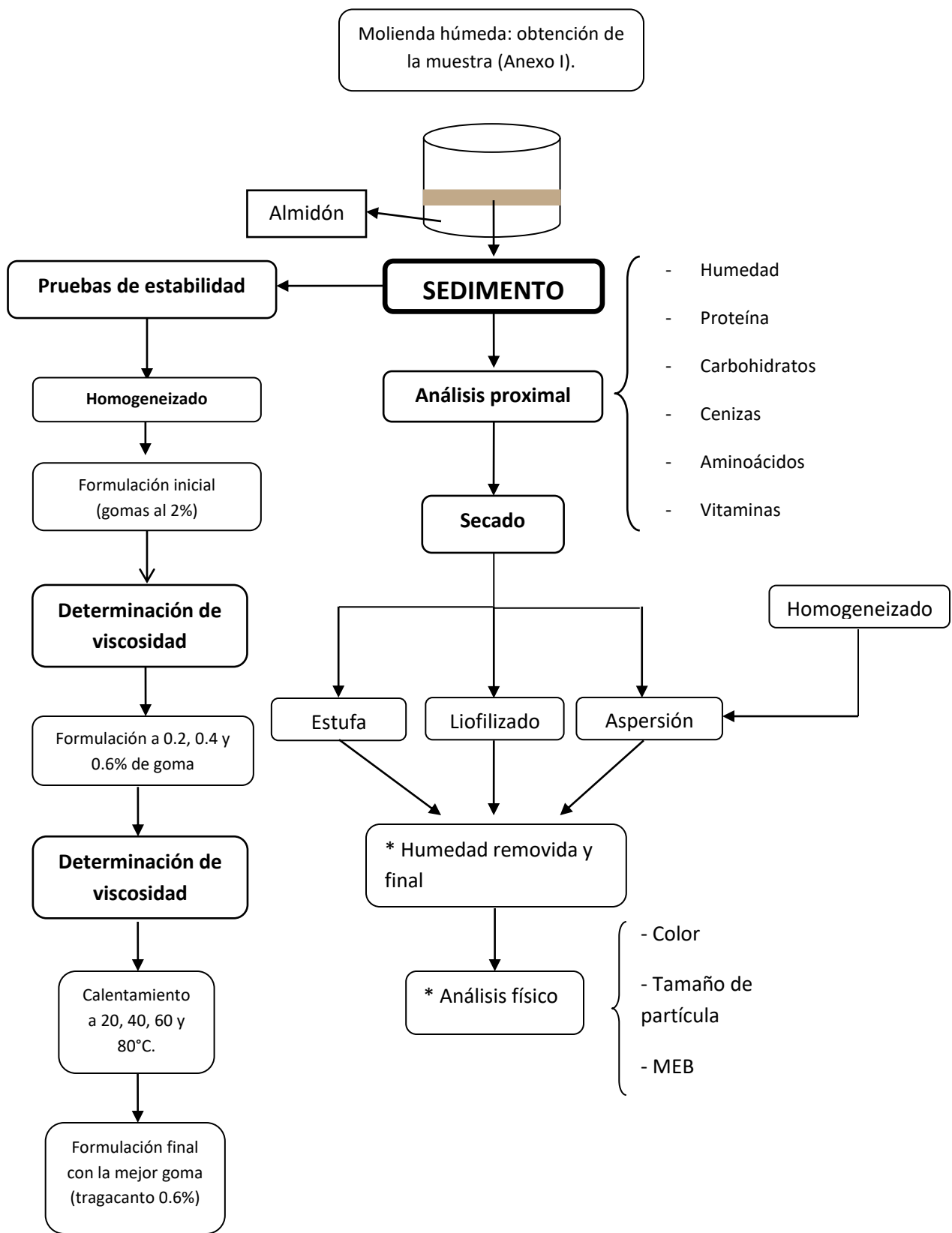


Diagrama de proceso

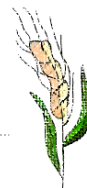


4. DIAGRAMA DE PROCESO





Material y métodos



5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Obtención de la muestra.

Las muestras empleadas son el sedimento resultado de la extracción anterior del almidón del grano de cebada por molienda húmeda, estudio de otro trabajo de investigación (Trejo, 2010).

La variedad de cebada para la extracción fue Esmeralda Apan 2007, sin cáscara. El procedimiento general para la obtención de almidón y sedimento por molienda húmeda se muestra en el Anexo I.

5.2 Métodos de secado.

5.2.1 Estufa.

Se emplearon charolas de aluminio en donde se colocaron las muestras, para después meterlas a la estufa 35 °C por 24 horas para obtener una muestra seca pero sin quemar.

5.2.2 Liofilización.

La muestra se colocó en un matraz especial para liofilizar, se congeló y se conectó a un liofilizador modelo Freeze Dry System/ Freezone 4.5 marca LABCONCO, se abrió la válvula de vacío y el equipo comenzó a trabajar con una presión de 460mBar la cual iba descendiendo con el tiempo.

Para llegar a la temperatura del punto triple del agua, el equipo cuenta con un serpentín que inicialmente tiene una temperatura de -52°C; la muestra se seca cuando el equipo llega a las condiciones de presión por debajo del punto triple del agua (273.16°K). Posteriormente aumenta la temperatura para provocar la sublimación del hielo a vapor.



Figura 2. Liofilizador marca LABCONCO.

5.2.3. Aspersión.

Se empleó un equipo NIRO ATOMIZER, en el cual, el aspersor se ajusta a ciertos parámetros: temperatura de entrada 90°C con un tiempo de retención de 3 segundos dentro del aspersor.

La muestra es alimentada por una bomba peristáltica de flujo continuo, los flujos de control y aspiración están determinados por el equipo. La temperatura de salida de la muestra es de 60°C.



Figura 3. Equipo NIRO ATOMIZER para secado por aspersión.



5.3 Análisis proximal.

Se llevó a cabo de acuerdo a los métodos oficiales de la AACC (2002):

- Humedad (44.15A)
- Cenizas (08.01)
- Proteína:
 - o por combustión (40.26)
 - o método Kjeldahl (46.10)
- Carbohidratos: se determinan por diferencia de pesos, restándole a 100% la suma de los demás nutrientes.

La determinación de aminoácidos y de vitaminas se llevó a cabo en el Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

5.4 Aminoácidos.

La caracterización de aminoácidos se llevó a cabo por HPLC empleado por González *et al.* (2006) con las siguientes condiciones:

Cromatógrafo: Waters

Detector: Fluorescencia Waters λ_{ex} 340nm λ_{em} 426nm

Columna: Symetry C18 Waters [4.6 x 150mm], 5 μ m

Fase móvil: Fase A: Buffer de fosfatos (10mM, pH 7.3), metanol, THF, (89:9:1)

Fase B: Buffer de fosfatos (10mM, pH 7.3), metanol (80:20).

Flujo: 1mL/min

Volumen de inyección: 200 μ L

5.5 Vitaminas.

Para la caracterización de vitaminas también se empleó HPLC como lo describe Albdalá *et al.*, 1997, con las siguientes condiciones:



Cromatógrafo: Waters

Detector: UV Waters λ 250nm, Fluorescencia Waters λ_{ex} 440nm λ_{em} 520nm

Columna: ThermoBondesil ODS [4.6 x 150mm], 5 μ m

Fase móvil: Buffer de fosfatos pH 3.5 con hexansulfonato de sodio 5mM: metanol (85:15)

Flujo: 1mL/min

Volumen de inyección: 200 μ L

5.6 Análisis Físico.

5.6.1 Determinación de color.

Se emplearon aproximadamente 20 g de cada muestra. La determinación se llevó a cabo con espectrofotómetro Miniscan XE Plus 45/0 LAV 110V, cuyo principio se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en colores rojo, azul, amarillo y verde (AACC, 2002).

El eje *L es el de luminosidad (*lightness*) y va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas son a^* y b^* , que representan variación entre rojizo-verdoso, y amarillento-azulado, respectivamente.

Aquellos casos en los que $a^* = b^* = 0$ son acromáticos; por eso el eje *L representa la escala acromática de grises que va de blanco a negro.

5.6.2 Microscopía electrónica de barrido (MEB).

Las muestras fueron recubiertas con oro (Au) en un electro depositador (Denton Vacuum Desk II).

Una vez recubiertas fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido (MEB, JOEL, JSM-6-300) utilizando un flujo de electrones de 20 KV, las muestras fueron observadas a amplitudes de 500, 1000, 1500 y 2000X.



5.6.3. Tamaño de partícula.

El análisis se llevó a cabo en un equipo Beckman Coulter LS13320, el cual mide la distribución de tamaños de partículas suspendidas en líquido o en polvo, mediante el principio de dispersión de luz.

Para la determinación se utilizó aproximadamente 1 g de muestra de cada uno de los sedimentos secos, con un índice de refracción de 1.494 y una precisión de $\pm 1\%$ en el DV 50.

5.7 Pruebas de estabilidad.

5.7.1 Homogeneizado.

Esta es una técnica para poder obtener una mezcla homogénea de una muestra en la cual suele emplearse una mezcla de carbohidratos. El equipo empleado fue un homogeneizador tipo WiserTis con una velocidad de 1000 r.p.m. durante 5 minutos.

5.7.2. Determinación de viscosidad.

Una vez obtenido un producto homogéneo, se determinó su viscosidad con un reómetro tipo BOOKFIELD DV – III ULTRA con sensor de temperatura (Figura 4).

Para la medición de viscosidad se emplearon diferentes agujas dependiendo la viscosidad visible del producto, éstas se muestran en la figura 5, las de menos calibre son empleadas para soluciones más viscosas y las de mayor calibre para soluciones menos viscosas.

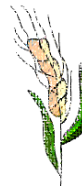


Figura 4. Reómetro BOOFFIELD DV-III ULTRA.



Figura 5. Set de agujas.



Resultados y discusiones



6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Análisis proximal del grano.

Los datos el análisis proximal del grano se obtuvieron de un análisis previo, objeto de estudio de otro trabajo de investigación, el cual se llevó a cabo para la evaluación de diferentes variedades de cebada cultivadas los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.

Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Proximal del grano de cebada (Esmeralda Apan 2007).

%	
Humedad	10.53 ± 0.11
Cenizas	2.46 ± 0.28
Proteína	10.42 ± 0.38
Grasa	0.08 ± 0.01
Carbohidratos	76.51
Fibra	2.60

Barrera, 2010

Esta variedad de grano contiene un porcentaje de minerales, proteína y carbohidratos que se encuentran dentro de los rangos reportados por Callejo, 2002 en la tabla 1 para el grano de cebada en general.

El escoger esta variedad, Esmeralda Apan 2007, se debe solo al querer demostrar que en la molienda húmeda de cualquier grano de cebada, el sedimento que se obtiene como residuo y que comúnmente se desecha, se puede caracterizar para hacerlo aprovechable.



6.2 Molienda húmeda.

Kent *et* Evers, 1994, reportan que la mayoría de los cereales contienen almidón, sin embargo son el maíz y el trigo los que se someten con mayor frecuencia a la molienda húmeda para su extracción.

Aunque también con menor frecuencia se emplean arroz, sorgo y mijo; y en algunos trabajos experimentales, además de extraer almidón, se les extrae también proteína a cereales como triticale y centeno.

Así como en la molienda húmeda de harina de trigo se aprovechan más constituyentes, tanto el almidón como el gluten para la elaboración o fortificación de algunos productos alimenticios; se pueden aprovechar los constituyentes de la molienda húmeda de cebada.

Como se puede mencionó anteriormente, se tiene un 19% de proteína en el sedimento, lo cual quiere decir que además de la extracción de almidón, también se puede aprovechar el sedimento.

6.2.1 Rendimiento de molienda.

Al llevar a cabo la molienda, se emplea cebada perlada, de la cual se obtienen aproximadamente 300g de almidón y 300g de sedimento extraído con agua. Los 400g restantes no han sido caracterizados, debido a que, como se puede ver en el proceso de molienda húmeda (Anexo I), se extraen con solventes.

Pero se puede decir que con esa posterior extracción se obtiene nuevamente almidón más purificado, proteína y una cierta cantidad de fibra.

6.3 Métodos de secado.

El sedimento con un 68% de humedad; se sometió a varios métodos de secado: en estufa, por liofilizado y en aspersion, los cuales se muestran en la figura 6.



Figura 6. Sedimento sometido a secado por: a) estufa: entero, b) estufa: molido, c) liofilizado y d) aspersión

Se observó que al sacar las muestras de la estufa, el sedimento seco tenía una apariencia dura, gruesa y difícil de manipular, por lo cual para facilitar las determinaciones necesarias se tuvo que moler en un mortero.

En el caso del secado por liofilizado se observa la apariencia de hojuelas y para el de aspersión un polvo fino.

La coloración de éste último es más blanca, debido a que se preparó una formulación preliminar con 40% de maltodextrina, 6% de goma arábica, 54% de muestra y agua suficiente para espesarla y llevar la formulación al equipo aspersor.

Una vez que se secó el sedimento por diferentes métodos, se procedió con la determinación de humedad removida y humedad final, estos resultados se muestran en la tabla 6.

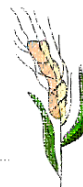


Tabla 6. Resultados de secado (%)

Método	Humedad removida	Humedad final	sólidos
Estufa	61 ± 2.0	7 ± 0.3	39 ± 2.0
Liofilizado	65 ± 0.1	7 ± 0.2	35 ± 0.1
Aspersión	64	2 ± 0.0	36

El sedimento fresco contiene un 68% de humedad, y como podemos ver en la tabla anterior, el secado en estufa se removió un 61% por lo que la humedad con la que se quedó el sedimento ya seco es de 7%.

Sin embargo en el caso del sedimento secado por liofilización, la humedad removida fue del 65%, que indica que es más eficaz que el de la estufa, pero se comprobó que al determinar la humedad final del sedimento seco se obtuvo un 7%.

En el caso de aspersión la humedad final del sedimento fue de 2%, esto indica que se obtuvo una humedad menor a la esperada, lo que es favorable para su conservación.

Marin *et al.*, (2006) indican que los productos liofilizados o atomizados suelen tener un contenido de humedad bajo, cercano al 5%, pero estas técnicas son muy costosas y generalmente son utilizadas para leche infantil, setas, sopas, café, té e infusiones.

Sin embargo, al rehidratar estos productos (liofilizados y atomizados) se obtienen productos muy parecidos a los originales, con un mayor valor nutritivo y cualidades sensoriales similares a las del alimento fresco, si se comparan con otras técnicas de secado.

6.4. Análisis proximal del sedimento.

Los resultados para el análisis proximal del sedimento se muestran en la tabla 7; no se determinó el contenido de grasa debido a que en el proximal del grano



entero se encontró una cantidad de 0.08 g y tampoco se determinó fibra por que se empleó cebada sin cáscara.

Tabla 7. Análisis proximal del sedimento.

%	
Humedad	68 ± 1.5
Cenizas	0.46 ± 0.0
Proteína	19 ± 0.5
Carbohidratos	12.54

El sedimento posee una elevada cantidad de humedad, por ser extraído con agua en el proceso de molienda.

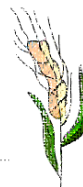
El contenido de minerales es realmente muy bajo, lo cual puede deberse al tipo de suelo donde fue cultivada esta variedad y las condiciones climatológicas.

En la molienda húmeda de la cebada, se forman dos capas de sólidos (una blanca que corresponde al almidón y una de color beige).

Ésta última capa, de acuerdo a la composición química del grano, se presume que contiene cantidades importantes de proteína, y en efecto, al realizar el análisis proximal se comprueba que contiene un 19% de ésta.

Esto debido a que al separarlo del almidón se concentra más el segundo componente mayoritario que es la proteína. Por lo tanto, la cantidad de carbohidratos se ve afectada por el hecho de que al separar el almidón se pueden quedar restos de éste en el sedimento.

Según la FAO (1985), la ingesta diaria de proteína recomendada para varones y mujeres de entre 18 - 60 años es de 47 y 41 g/100 g respectivamente, esta dieta debe de ser balanceada, mixta con poca fibra y bastante proteína completa.



Por lo cual, al emplear este sedimento, puede ayudar a fortalecer algunos alimentos o complementos nutrimentales y ayudar a cubrir los requerimientos recomendados.

Además del análisis proximal, se realizó un análisis de aminoácidos y vitaminas para conocer un poco más a detalle el valor nutricional del sedimento.

6.5 Aminoácidos.

Los valores obtenidos para la cuantificación de aminoácidos se muestran a continuación:

Tabla 8. Contenido de aminoácidos.

Aminoácido	g aminoácido/100 g proteína	g aminoácido/100g muestra
Ácido glutámico	22.706	1.138
Treonina	3.823	0.192
Glicina	4.106	0.206
Alanina	4.634	0.232
Cisteína	1.935	0.097
Histidina	2.559	0.128
Arginina	6.840	0.343
Valina	5.084	0.255
Leucina	7.294	0.365
Metionina	2.486	0.125
Tirosina	3.212	0.161
Ácido aspártico	7.168	0.359
Serina	4.539	0.227
Isoleucina	3.717	0.186
Fenilalanina	4.023	0.202
Lisina	4.644	0.233
Σ Total a.a.	88.76	4.44

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de proteína es elevada, sin embargo, la calidad de ésta respecto a los aminoácidos se ve afectada al carecer de los aminoácidos esenciales.

En la tabla 8 se encuentran resaltados los aminoácidos esenciales, es claro esperar que la cebada al ser un cereal, es deficiente en lisina, pero este sedimento



contiene importantes cantidades de ácido glutámico y en menor proporción de leucina.

Stamler *et al.* (2009) señalan que la proteína, animal y vegetal, consiste en cadenas de aminoácidos, en la cual, el ácido glutámico es el más común de estos aminoácidos, conformando el 23% de la proteína vegetal y el 18% de la proteína cárnica.

Ellos llevaron a cabo una investigación para relacionar una mayor ingesta de ácido glutámico con una disminución de la presión arterial. Ésta fue observada en un estudio de 4,680 personas en China, Japón, los Estados Unidos y el Reino Unido.

Realizaron un análisis de datos sobre la dieta, que muestra que una ingesta 4.72% más alta de ácido glutámico como parte de una ingesta proteica total en la dieta, se correlaciona con una reducción de 1.5 a 3 puntos en la presión arterial sistólica y una reducción de 1 a 1.6 puntos en la diastólica.

La diferencia en puntos tal vez no parezca muy grande, pero la presión arterial alta es un importante factor de riesgo de enfermedad cardiaca, accidente cerebrovascular y otros problemas cardiovasculares. Una reducción de esa escala podría disminuir los índices de muerte por accidente cerebrovascular en 6%, y los de muerte por enfermedad de la arteria coronaria en 4%.

Por otro lado, se encontró el contenido de leucina de 7.294g_{aa} /100 g de proteína que al compararla con los requerimientos reportados por la FAO (1985), para adultos es de 19mg_{aa}/g proteína, lo que podría ser aprovechable en el enriquecimiento de algún alimento.

Ya que Mathews *et Van Holde* (2002) señalan que el papel de la leucina es crítico al ser detectado por las vías de señalización de insulina y participar en la iniciación de síntesis de proteínas.



6.6 Vitaminas.

Los resultados del perfil y contenido de vitaminas hidrosolubles del complejo B se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Contenido de vitaminas del complejo B.

Vitamina	mg/100g
Niacina	0.5246 ± 0.0052
Piridoxina	0.4366 ± 0.0162
Ácido fólico	0.0371 ± 0.0012
Tiamina	0.0196 ± 0.0011
Riboflavina	0.0011 ± 0.00002

Se puede observar que el sedimento contiene cantidades muy pequeñas de estas vitaminas, ya que son hidrosolubles, en la extracción con agua se pudieron quedar disueltas en el medio que se desechó.

Sin embargo, dentro de las vitaminas del complejo B, la que se encuentra en mayor cantidad es la niacina.

La cual es importante para el buen funcionamiento del cuerpo, ya que una deficiencia de ésta puede asociarse con la enfermedad llamada pelagra. La cantidad adecuada para cualquier persona es 20 mg por día.

Otra vitamina de importancia encontrada en el sedimento es la B₉ o ácido fólico, la cual en los últimos años ha tomado mayor importancia al reducir los defectos del tubo neuronal del feto durante la gestación.

Moreiras *et* Cuadrado (2009) indican que los productos secos, tales como las harinas, los cereales y el pan, han sido hasta ahora los principales vehículos de ácido fólico. Debido a que una forma de encontrar esta vitamina en los alimentos



es en folatos, los cuales pueden perderse al someterlos al calor, al contacto con el agua caliente (por ejemplo al hervirlos o escaldarlos) o con líquidos no ácidos.

Realmente es muy poca la cantidad encontrada, 0.0375 mg/100g, sin embargo como lo indica Moreiras *et* Cuadrado (2009), en los cereales es donde se puede encontrar más eficazmente dicha vitamina.

Y ya que la dosis diaria recomendada por la FAO (1985), para un adulto es de 5 a 10 mg, el sedimento no se considera una buena fuente de éste.

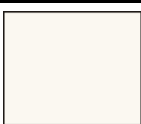



Las otras dos vitaminas: tiamina y riboflavina, se encuentran en cantidades muy bajas, por lo que no se puede considerar fundamentales en la valoración del contenido nutricional del sedimento.

6.7 Análisis físico.

6.7.1 Determinación de color.

En la tabla 10 se muestran los parámetros de a, b y L para la obtención de color y la evaluación de las muestras sometidas a secado.

Tabla 10. Resultados de color.

	Patrón	Estufa	Liofilizado	Aspersión
L	99.38 ± 0.30	57.56 ± 1.78	79.73 ± 0.35	90.72 ± 0.22
a	0.45 ± 0.00	7.47 ± 0.17	2.50 ± 0.07	0.72 ± 0.00
b	4.57 ± 0.12	18.87 ± 1.66	17.12 ± 0.20	9.25 ± 0.03
color				

L: negro =0, blanco = 100, a: + rojo/ - verde, b: + amarillo/ - azul

Se observa en el secado en estufa un marcado cambio de color, probablemente resultado de la reacción de Maillard.

Cuando las proteínas son sometidas a tratamientos térmicos en presencia de carbohidratos, especialmente azúcares reductores, se dan una serie de reacciones conocidas como reacción de Maillard.



Estas reacciones son entre aminoácidos de las proteínas y carbohidratos, como producto de éstas se forman polímeros de color pardo más o menos intensos llamados melanoidinas.

La reacción de Maillard se produce con mayor intensidad cuando los alimentos se someten a temperaturas elevadas durante tiempos prolongados.

Desde el punto de vista nutritivo, se puede señalar que el primer efecto negativo es la disminución de la biodisponibilidad de los compuestos que entran a formar parte de la reacción para dar lugar a compuestos tanto intermediarios como finales que no pueden ser digeridos.

No obstante, la reacción de Maillard puede dar compuestos deseables desde un punto de vista sensorial, esencialmente, aroma, gusto y color.

Mayer *et al.*, (2006) indica que los alimentos susceptibles a sufrir esta reacción son cereales, frutas desecadas parcialmente, salsas o jugos complejos, leche, derivados lácteos, cacao, pescado y carne.

Esto se pudo comprobar solo con la coloración del sedimento al sacarlo de la estufa. Anteriormente se mencionaba que la cebada contiene, éste no es un azúcar reductor, pero aun así, el contenido de carbohidratos y proteína aunado al calor propiciaron el desencadenamiento de esta reacción.

Bello (2000) dice que en algunos alimentos es deseable la aparición de coloraciones o sabores resultado de ésta reacción. Por ejemplo en la formación de la corteza del pan, pero también puede ser indeseable como en el caso de la deshidratación de la leche.

Así que para efectos de este experimento, la coloración y en general la apariencia puede ser deseable o indeseable dependiendo del fin que se le pretenda dar.

Por ejemplo si se quiere emplear para fortificar harina de trigo o la elaboración de un pan, podría no ser muy favorable, ya que al someterlo a elevadas temperaturas



a tiempos prolongados la reacción de Maillard se acelerará y dará una apariencia más oscura que es indeseable.

En el liofilizado se observa la coloración muy similar a la que tiene el sedimento recién extraído en la molienda húmeda, por lo que se puede decir que no se aprecia que haya sufrido algún daño o reacción.

Y por último en el de aspersion, la coloración es más parecida a un gris, debido a la goma y la maltodextrina que se le añadió.

Al comparar todos estos con el patrón, el cual fue, polvo para preparar atole de maíz sabor natural, se observa que el que presenta la coloración más favorable es el obtenido por aspersion.

Este patrón se escogió con la idea de comparar el sedimento seco como ingrediente para la preparación de bebidas o complementos nutricionales.

6.7.2 Tamaño de partícula.

En la figura 7 se observa el promedio de los tamaños de partícula de cada una de las muestras.

Para el secado por estufa y por liofilizado solo se aprecia un pico mayoritario, sin embargo en el de aspersion se encuentran tres picos diferentes lo que indica que existen diferentes tamaños de partícula.

Lo cual puede deberse a que el polvo físicamente tiene una textura suave y fina, pero hay que recordar que tiene una mezcla de carbohidratos (goma y maltodextrina); los cuales pueden favorecer el apelmazamiento o agregado de partículas debido a su viscosidad.

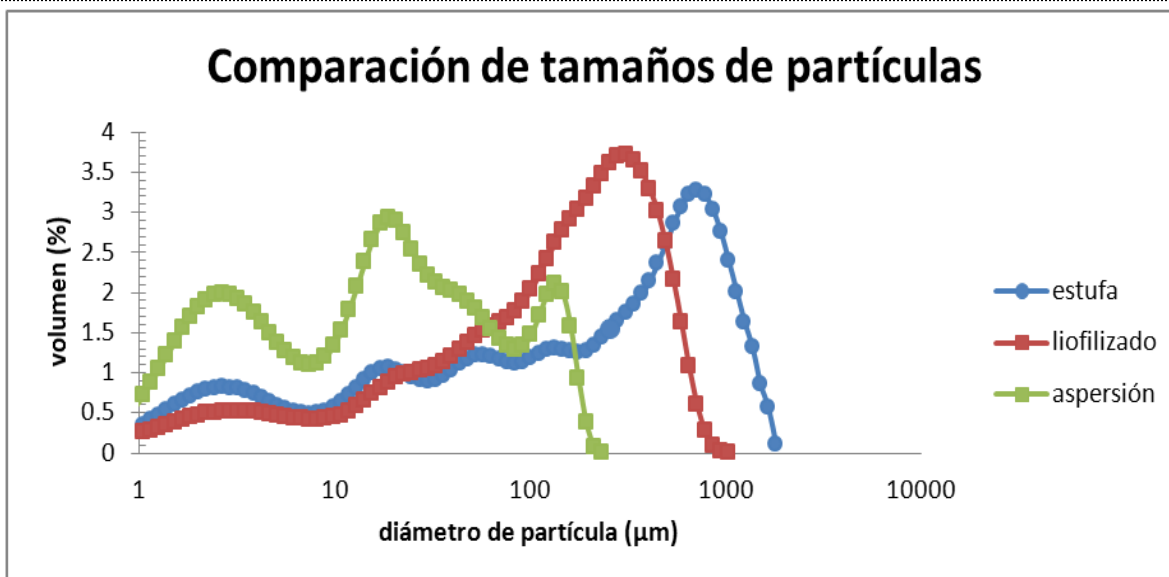
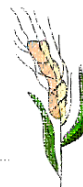


Figura 7. Tamaño de partícula de los sedimentos secos.

En la tabla 11 se muestra el promedio del tamaño de partícula a distintos volúmenes, en la cual es de destacar el valor del 50% de la muestra.

Que para el caso de estufa, el valor promedio encontrado es de 196.9 μm , para liofilizado y aspersion son: 155.1 y 17.86 μm respectivamente.

Tabla 11. Distribución de tamaño de partícula (μm).

Variedad	D10	D25	D50	D75	D90
Estufa	1003	640.7	196.9	25.03	3.611
Liofilizado	471.3	314.7	155.1	43.65	6.922
Aspersion	115.7	46.78	17.86	4.091	1.948

El tamaño de estufa es muy grande, lo cual lo hace difícil de emplear, a menos que se quiera en mezclas de cereales para elaboración de panes por ejemplo. Ya que de otra manera, en alguna bebida o formulación líquida sería difícil de hidratar.

El de liofilizado es un tamaño intermedio entre estufa y aspersion, pero cabe recalcar que sigue siendo grande lo que también es un factor a considerar en el empleo en alguna formulación alimenticia.



Por lo tanto el de partícula más pequeña, es el de aspersión, el cual además posee el beneficio de tener el sedimento encapsulado y por la utilización de gomas, facilita su futura hidratación.

6.7.3 Microscopía electrónica de barrido.

En las siguientes micrografías se puede observar la estructura de las partículas de los sedimentos sometidos a secado por diferentes métodos, así como los daños que sufrieron en cada tratamiento.

En la figura 8 A (acercamiento de 2000X), se observa la estructura del sedimento sometido a secado en estufa, se distinguen en forma esférica los gránulos de almidón, restos del aislado en la molienda húmeda.

Sobre de ellos se encuentran partículas de estructura deforme, las cuales se presume que son los restos proteicos, se observan como partículas derretidas probablemente al sufrir daño por el tratamiento térmico al que se sometieron.

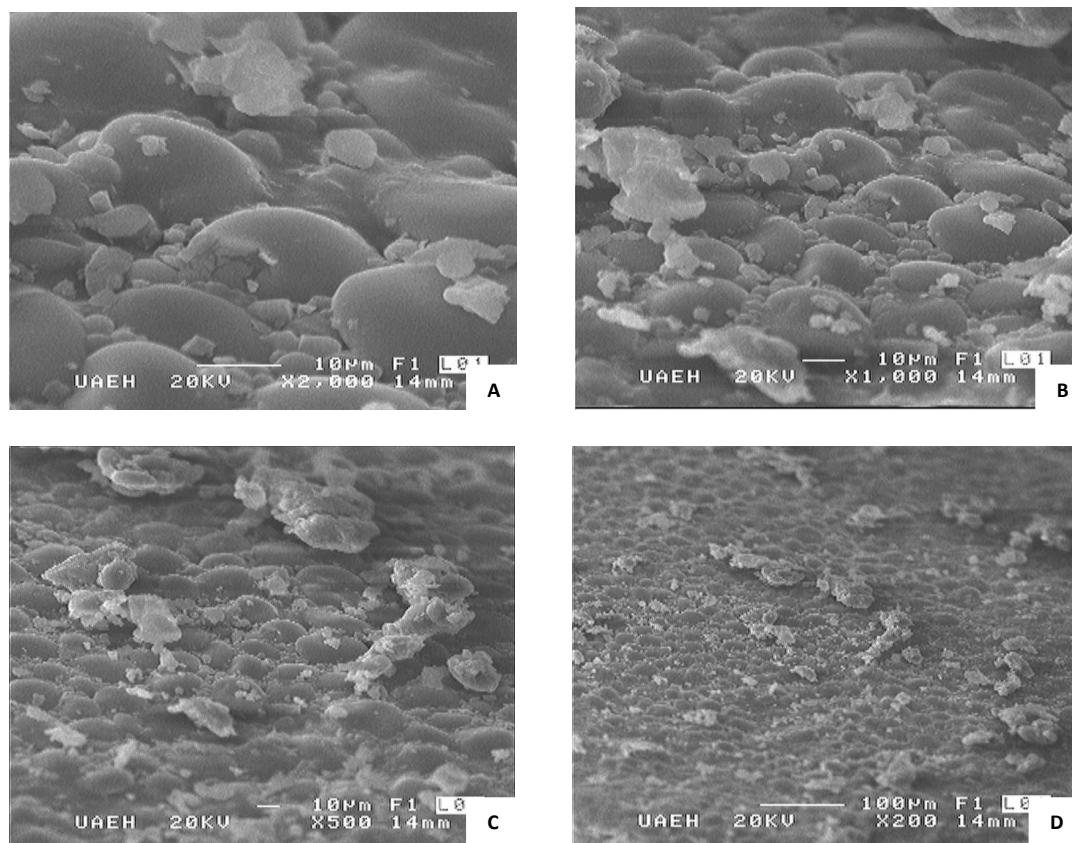


Figura 8. Micrografías del sedimento secado en estufa: a) 2000X, b) 1000X, c) 500X y d) 100X.



En la figura 9 se observa la estructura de las partículas del sedimento seco por liofilizado, nuevamente las partículas de almidón son las formas esféricas bien definidas.

Se puede apreciar que adherida a ellas se encuentran estructuras más pequeñas como agregados, las cuales se supone son las proteínas. Estas no están deformadas, debido a que en el liofilizado no se emplean altas temperaturas que puedan dañar la estructura proteica.

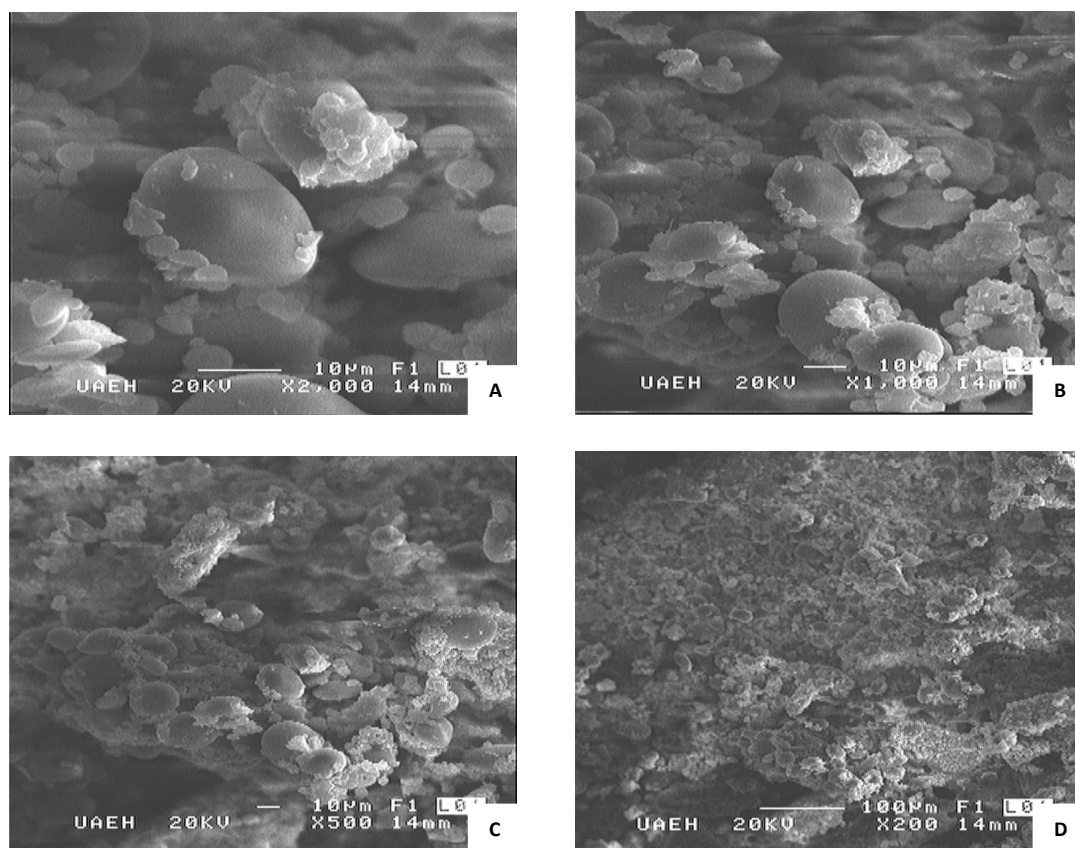


Figura 9. Micrografías del sedimento secado por liofilización: a) 2000X, b) 1000X, c) 500X y d) 2000X.

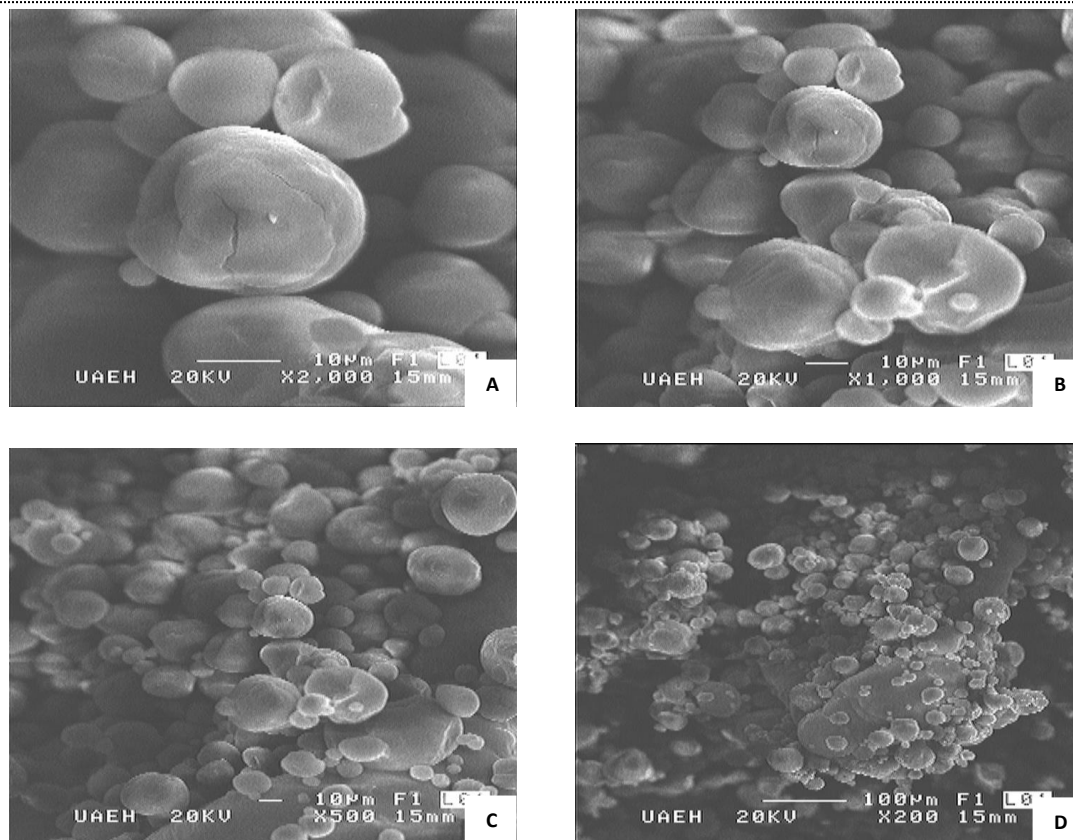


Figura 10. Micrografías del sedimento secado por aspersión: a) 2000X, b) 1000X, c) 500X y d) 200X

Como se aprecia en la figura 10, a comparación de la morfología en los diferentes métodos de secado, se distinguen ya partículas más redondas y definidas.

Estas al compararlas con la figura 11B se puede decir que es el sedimento encapsulado con la pared de carbohidratos.

Ya que Lopera *et al.* (2009), reportaron la morfología y la superficie de las micropartículas de ácido fólico que fueron encapsuladas con goma arábica y maltodextrina. Éstas también fueron evaluadas con imágenes obtenidas por MEB.

En la figura 10 se observa una diferencia notable en las micropartículas obtenidas usando como material de pared GA 100%, y las obtenidas con Goma arábica – Maltodextrina 50-50.



En la figura se distinguen como a) Goma arábica: Maltodextrina (100-0), (b) Goma arábica : Maltodextrina(50-50).con amplificación de 3000x y 7500x.

Las primeras presentan forma irregular y una superficie contraída, con pliegues (Figura 10A), mientras que las obtenidas usando como encapsulante mezclas de Goma arábica – Maltodextrina 50-50 presentan forma esférica, con superficie lisa, pero agrietada (Figura 10 B).

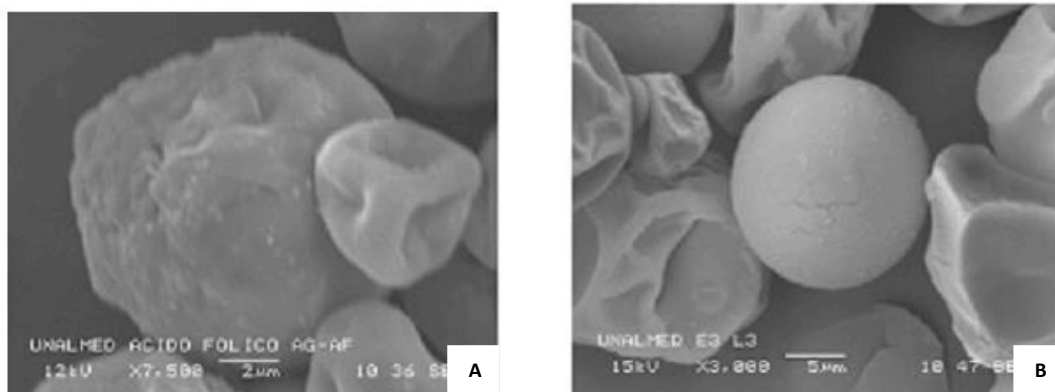


Figura 11. Micrografías de Ácido fólico a diferentes amplitudes.

Se puede apreciar que incluso sin maltodextrina se obtienen partículas definidas aunque deformes. Lopera *et al.* (2009), reporta que los cambios en la superficie de las partículas se deben a que la goma arábica podría estar absorbida en la interfase sólido-líquido.

Orientando su pequeña fracción proteica a la superficie de las partículas de ácido fólico y orientando su cadena glicosilada a la fase continua de la suspensión, rodeando de esta manera la partícula de ácido fólico y dándole carácter hidrofílico.

Así, durante el proceso de secado, la goma arábica formaría una primera película, mientras que la maltodextrina, que no tiene capacidad interfacial, se ubicaría predominantemente en la región más externa de la partícula, entrelazándose con la cadena glicosilada de la goma arábica, formando así una segunda cubierta en el proceso de secado.



Al observar las figuras 8A y 9A es muy notoria la ausencia del material de pared al quedar deformes y desprotegidas las partículas secadas en estufa y por liofilización respectivamente, ahí radica la importancia de utilizar material encapsulante para proteger al alimento.

6.8 Pruebas de estabilidad.

Una vez que se caracterizó nutrimental y físicamente el sedimento, se procedió a realizarle pruebas de estabilidad al ser mezclado con gomas para su futura implementación en bebidas o complementos nutricionales.

Para ello fue necesario someterlo a un tratamiento de conservación, por lo que, según los resultados, se eligió el método de secado por aspersion.

Ya que además de obtener un sedimento seco en forma de polvo, se protege al sedimento con una micro encapsulación.

Para esto se realizó un proceso de homogeneización con una formulación a concentraciones variables de gomas para posteriormente evaluar su viscosidad.

Inicialmente se realizaron pruebas preliminares con 5 gomas: carragenina, tragacanto, guar, arábica y xantano. La formulación inicial para la obtención del producto homogéneo fue la siguiente:

Tabla 12. Formulación del homogeneizado con diferentes gomas.

Componente	%
goma	2
maltodextrina	2
muestra	30
agua	66

Los resultados de esta formulación se presentan en la tabla 13, en donde se puede observar que las gomas carragenina, tragacanto y xantano con



viscosidades de 6670, 267.5 y 4528 mPa respectivamente, son las que poseen una mayor viscosidad a temperatura ambiente.

Se empleó esa formulación con un 2% de goma para verificar las grandes variaciones entre cada una; sin embargo, los resultados no eran favorables.

Las gomas tragacanto, xantano y carragenina presentaban una muy elevada viscosidad y una apariencia muy desagradable, pero las gomas arábica y guar eran demasiado inestables al presentar de inmediato una separación de fases.

Además de que suponer que al emplearse estas gomas se debería invertir una mayor cantidad para lograr resultados favorables en el espesamiento de un alimento o bebida.

Fue por ello que posteriormente se realizó una nueva formulación con las 3 gomas más viscosas pero reduciendo su concentración a valores de 0.2, 0.4 y 0.6%. Ya que las propiedades de los productos alimenticios juegan un importante rol en la aceptación del consumidor.

Como afirma Wijeratne (2005), la apariencia, tamaño, forma, textura, consistencia, viscosidad y palatabilidad son algunas de las características físicas importantes en varios productos alimenticios.

Asimismo, un atributo considerado deseable en un alimento puede ser indeseable en otro. Por ejemplo, una alta viscosidad es deseable en una sopa pero no lo es en una bebida.

Es así que en el procesamiento y formulación de un nuevo producto, como el caso de estas pruebas de estabilidad, hay que considerar la habilidad de un ingrediente alimenticio para interactuar con otros e impartir propiedades deseables a un sistema de alimentos lo que ya se definió anteriormente como funcionalidad.

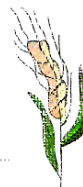





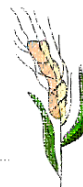


Tabla 13. Resultados del homogeneizado con diferentes gomas al 2%.

Tipo de goma	Temperatura en °C	Viscosidad en mPa	Foto
Carragenina	15.07 ± 0.05	6670 ± 283	
Tragacanto	14.975 ± 0.05	268 ± 7	
Guar	15.1 ± 0.0	31.25 ± 0.5	
Arábiga	14.825 ± 0.05	26.9 ± 0.2	
Xantano	15 ± 0.0	4528 ± 289	

Se le midió la viscosidad a cada goma a temperatura ambiente y posteriormente se calentaron las formulaciones a diferentes temperaturas: 20, 40, 60 y 80°C para observar su estabilidad (ver tabla 14).



La viscosidad se fue midiendo en intervalos de 3 minutos hasta completar 9, para obtener valores estadísticamente aceptables con su media y desviación estándar.

Se observó que tanto la goma tragacanto como xantano no varían bruscamente, sin embargo la goma carragenina si presenta variaciones notables con respecto al tiempo, esto se aprecia mejor en la figura 11.

Tabla 14. Viscosidad de las gomas a diferentes temperaturas.

Goma	Viscosidad (mPa)			Temperatura (°C)
	0.2%	0.4%	0.6%	
<i>Tragacanto</i>	43 ± 0.5	72 ± 1.0	171 ± 3.6	15
	46 ± 0.5	70 ± 1.7	145 ± 2.9	20
	25 ± 0.0	44 ± 0.5	88 ± 1.7	40
	22 ± 0.5	33 ± 0.5	66 ± 0.6	60
	55 ± 0.5	67 ± 2.2	144 ± 2.4	80
<i>Carragenina</i>	39 ± 1.3	49 ± 1.7	67 ± 2.2	15
	52 ± 0	50 ± 1	67 ± 0.6	20
	36 ± 0.5	34 ± 0.6	39 ± 2.2	40
	25 ± 0.9	27 ± 0.6	255 ± 0.5	60
	53 ± 1.9	45 ± 1.0	13 ± 15	80
<i>Xantano</i>	40 ± 0	47 ± 0	98 ± 1	15
	39 ± 0.9	45 ± 0.5	81 ± 1.3	20
	30 ± 2.0	32 ± 0.5	49 ± 1.5	40
	23 ± 3	27 ± 0.5	36 ± 0.8	60
	38 ± 1.7	55 ± 0	79 ± 0.5	80



No se muestran las gráficas de viscosidad de las demás gomas, por no presentar tanta diferencia como la carragenina, pero si se desea analizar el comportamiento de las demás gomas, sus correspondientes las gráficas se encuentran en el Anexo II.

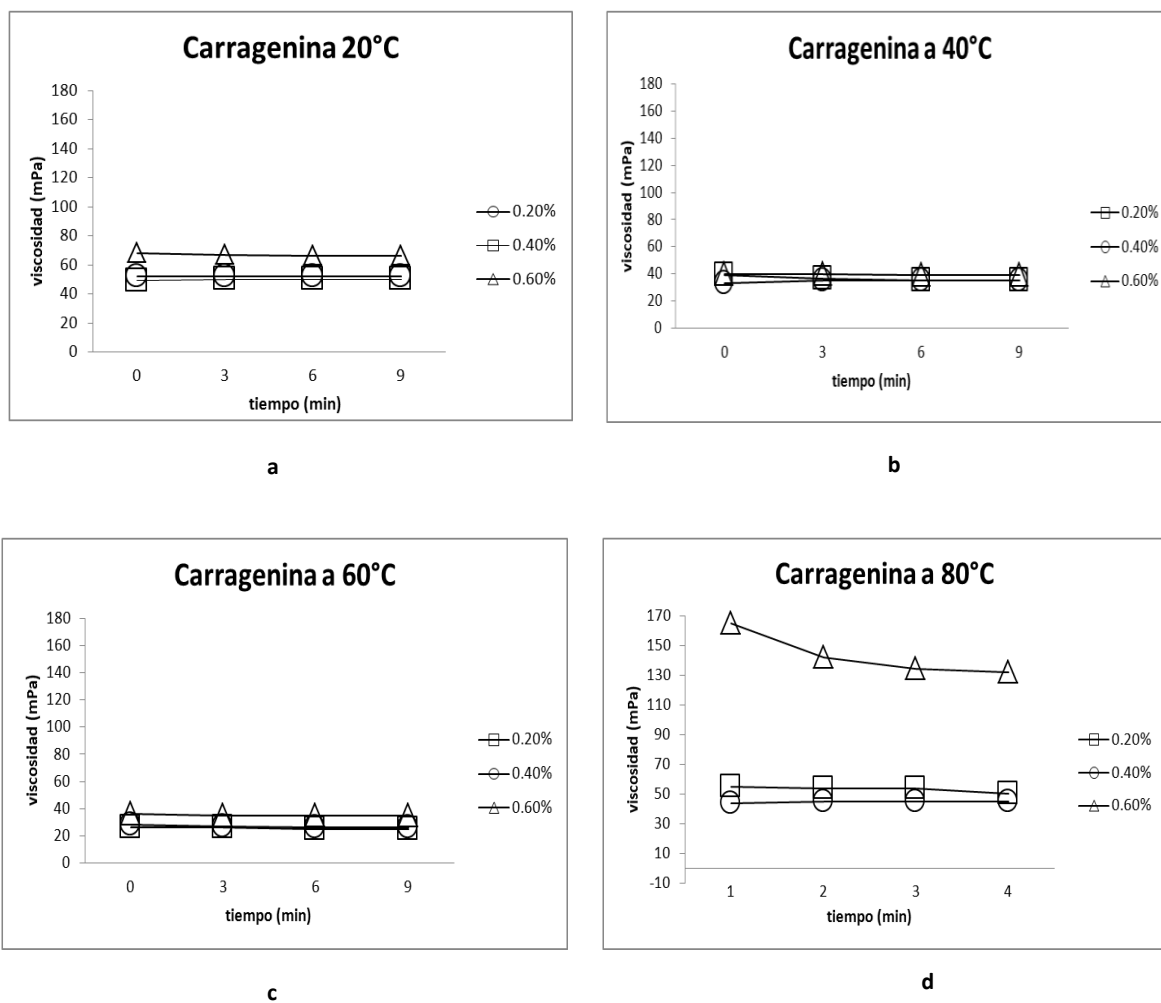


Figura 12. Viscosidad de la goma carragenina sometida a diferentes temperaturas: a) 20°C, b) 40°C, c) 60°C y d) 80°C.

Se puede apreciar en la figura 12A, la carragenina presenta una viscosidad sin diferencia significativa en todas las concentraciones, sin embargo, al someterla a temperaturas mayores como a 40°C, la viscosidad comienza a descender alrededor de los 40 mPa para todas las concentraciones.



En la figura 12C a los 60°C, se observa de nuevo estabilidad sin mayores cambios evidentes y en la figura 12D a 80°C se observa pronunciadamente el cambio de la viscosidad.

Por ejemplo en la concentración de 0.6%, al tiempo 0, la viscosidad era de 165 mPa y al transcurrir 9 minutos disminuye hasta 62mPa, con lo cual se confirma que esta goma no es estable a temperaturas superiores de 60°C.

Una vez que se evaluó la estabilidad, se eligió la goma tragacanto de concentración 0.6%, ya que fue la que permaneció estable a las temperaturas antes descritas.

6.9 Preparación de la formulación final.

Para poder secar la formulación y obtener el sedimento listo para emplearse en alimentos, se ajustaron algunos parámetros para el homogeneizado.

Estos contemplan el contenido de sólidos que debería ser de 35% además del contenido de proteína de 9% si es que posteriormente se desea emplear para llevar a cabo un ensayo biológico.

En la siguiente tabla se muestra la formulación del homogeneizado que se requiere para el equipo aspersor.

Tabla 15. Formulación final.

Componente	% sólidos
Sedimento fresco	10.15
Maltodextrina	25
Goma tragacanto	0.6
Total	35.75

Una vez obtenida la formulación ideal, se llevó a un volumen de 5 L conformado por los siguientes componentes:



Tabla 16. Composición de la formulación final.

Componente	g
Sedimento fresco	1600
Maltodextrina	1250
Goma tragacanto	30
Agua	2120
Total	5000

Se seleccionaron la goma tragacanto y la maltodextrina como materiales formadores de pared encapsulante por tener gran aplicación industrial y haber sido reportados como los de mayor utilización en la microencapsulación por secado por aspersion.

Al obtener esta mezcla se alimentó al secador Niro Atomizer y se obtuvo el concentrado seco.

La recuperación de sólidos se calculó teóricamente según la siguiente composición:

Tabla 17. Recuperación de sólidos.

Componente	g sólidos (en 100 mL)	g de sólidos (en 5 L)
Sedimento fresco	10.15	508
Maltodextrina	25	1250
Goma tragacanto	0.6	30
Total	35.75	1788

De una formulación de 5 L, se obtuvieron 1780 g aprox. de sedimento seco que fueron pesados en una balanza granataria por lo cual se puede concluir que prácticamente no se tuvieron pérdidas.

Una vez que se tiene caracterizado el sedimento, lo más importante es su conservación, el hecho de tener un alimento seco, ofrece una ventaja para la manipulación.



En la actualidad, existen en el mercado diferentes preparados nutrimentales para satisfacer las necesidades de cada persona

Por ejemplo, algunas preparaciones vienen en latas, que se venden en el mercado para utilizarse como reemplazo de una o varias comidas, como suplemento de alimentos en la dieta o entre comidas.

Al igual que éste preparado se encuentran el uso de mezclas de cereales como soya extruida, la cual ha sido demostrada como opción práctica y satisfactoria en fórmulas para infantes (Del valle, 1981).

Estas mezclas tienen proteínas de mayor calidad que las materias primas originales por separado.

Además la funcionalidad de la fracción amilácea se mejora por el proceso de extrusión y por el tratamiento enzimático lo que permite reducir la a_w en el producto final, confiriéndole al producto así formulado, características de alimento de humedad intermedia y más estable al almacenamiento (Scorza *et al.*, 1981).

El concentrado seco obtenido en este trabajo de investigación puede emplearse en la formulación de un alimento y enriquecerlo para satisfacer las necesidades de un sector de la población de interés.

Así como lo realizado por Del Castillo *et al.* (2000), quienes elaboraron un alimento de humedad intermedia, para ancianos, en base a mezclas extrusadas de maíz: soya adicionado con calcio y convenientemente saborizado, acorde a las necesidades nutricias y funcionales de la tercera edad.

Éste se consumió como papilla y presentó una aceptabilidad mayor al 50%.

En caso de que se desee emplear este sedimento para elaborar una bebida tipo suplemento nutricional hay algunos aspectos que Rosado *et al.*, (1999) resaltan que se deben considerar al elaborar un suplemento alimenticio, como el que prepararon para el Programa de Educación, Salud y Alimentación en México:



- a) Los suplementos deberían aportar los nutrimentos que se saben son deficientes en la población y las cantidades que se recomiendan para llevar a cabo una dieta adecuada.
- b) Los ingredientes seleccionados para su elaboración deberán de ser de fácil adquisición y de bajo costo relativo.
- c) El proceso de elaboración deberá ser lo más económico posible.
- d) El sabor deberá ser agradable para estimular el consumo de suplementos.
- e) La forma final de los productos deberá ser práctica para facilitar su distribución y consumo.
- f) La presentación y empaque deberán ser atractivos y permitir su conservación.

Es conveniente indicar que este sedimento concuerda con varios de éstos aspectos, es decir, es económico porque realmente es un residuo que comúnmente se desecha.

Si se emplean gomas para secarlo por aspersion, se obtiene una forma de fácil manipulación, más seguro debido al bajo contenido de humedad y que se puede mezclar con diferentes ingredientes.



Conclusiones



7. CONCLUSIONES

Se encontró que el sedimento contiene un contenido de proteína elevado, en el análisis de aminoácidos se encontró una cantidad importante de ácido glutámico, el cual puede ayudar a disminuir la presión arterial.

El sedimento se secó por diferentes métodos: estufa, liofilizado y aspersion, de los cuales se eligió el método adecuado y técnicamente viable. Siendo el secado por aspersion en mas viable.

El de estufa no puede recomendarse ya que se expone el sedimento a la reacción de Maillard y se obtiene un producto granuloso y difícil de tratar.

El liofilizado puede no ser económicamente factible, ya que es una técnica muy cara al requerir de un congelamiento y si lo que se desea es darle un valor al sedimento obtenido, saldría mucho más caro el secarlo de esta manera.

Por los resultados que se obtuvieron se puede recomendar el secarlo por aspersion, con lo cual se tiene la seguridad de que la proteína, estará protegida al ser encapsulada con la goma tragacanto y la maltodextrina, además de obtener un producto con una humedad de 2%, lo cual asegura su conservación.

La determinación de viscosidad mostró resultados muy favorables al calentar el sedimento mezclado con las gomas, ya que se pudo comparar la estabilidad de las formulaciones al someterlas a diferentes temperaturas.

Se descartó la goma carragenina que no conserva su estabilidad a temperaturas mayores a 60°C, pero se recomienda la goma tragacanto la cual presento estabilidad a todas las condiciones.



Perspectivas



8. PERSPECTIVAS

Se pretende que al valorar los residuos obtenidos en la industria de alimentos, sean más bien aprovechados y considerados subproductos.

En el caso del sedimento en la molienda húmeda para la extracción de almidón de trigo, es bien aprovechado ya que el gluten es empleado en formulaciones alimenticias por la cantidad de proteína.

Sin embargo, en la molienda húmeda de cebada, el subproducto no es tan diferente de lo que es el gluten e incluso puede emplearse en la formulación de algunos alimentos que sean libres de gluten para el caso de enfermos celíacos o con régimen de dieta especial.

La estabilidad del sedimento se evaluó al mezclarlo con gomas y maltodextrinas, debido a la incorporación de éstas, además de tener un sedimento con alto contenido proteico, se tiene también un agente espesante, lo cual puede ser aprovechado en algunos alimentos para cumplir con ese fin como por ejemplo en salsas, jugos, aderezos, entre otros.

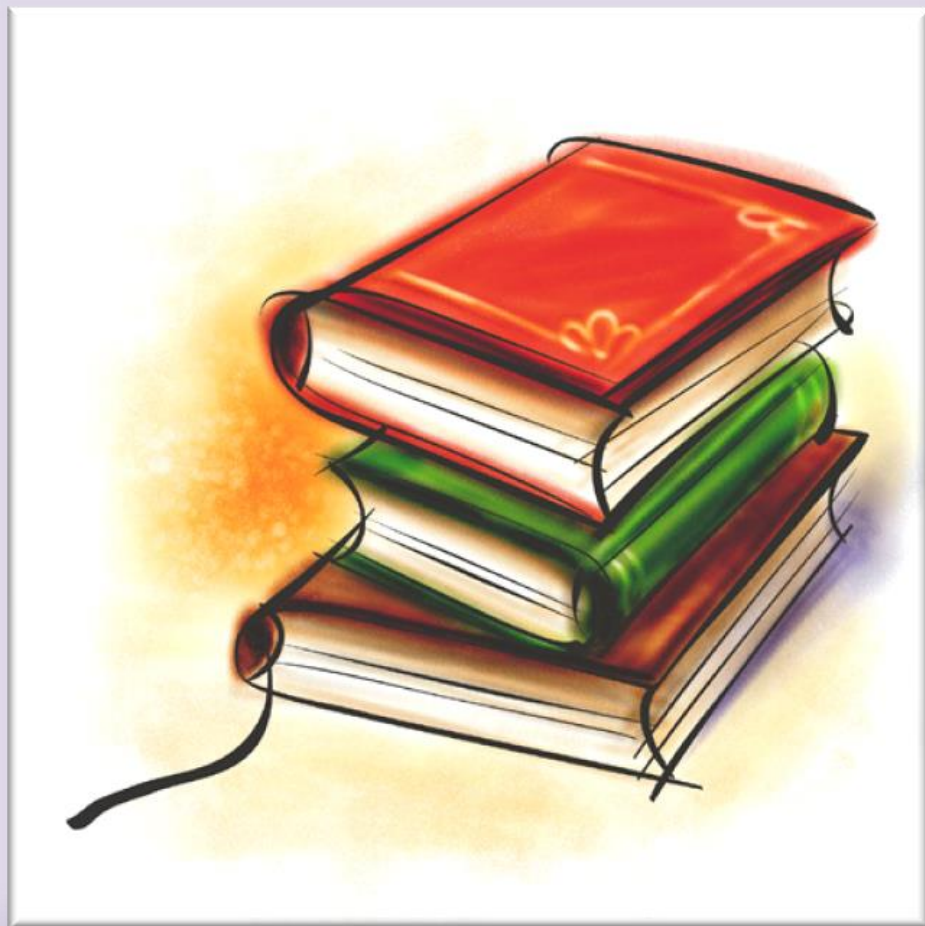
Puede probarse además como lo indica Kuri (2007), como extensores en formulaciones cárnicas, ya que él menciona que entre los extensores más comunes utilizados en el Reino Unido para la elaboración de salchichas están las migajas de pan o rusks, que aunque tradicionalmente eran migas de pan viejo, en la actualidad son de masa horneada sin levadura, seca y molida, elaborado específicamente para este fin.

Ya que se probó que el sedimento se puede secar por estufa pero dando coloraciones pardas, puede éste sustituir a las migas de pan viejo o a la masa horneada, ya que hay una gran similitud entre ésta y el sedimento.



También puede emplearse en alguna formulación de un suplemento alimenticio, se puede mezclar éste con diferentes ingredientes para lograr una bebida o una papilla nutritiva y de bajo costo.

Para poder emplearse se puede añadir en cantidades adecuadas establecidas por las Buenas Prácticas de Manufactura para alguna formulación.



Bibliografía



9. BIBLIOGRAFÍA

AACC. (2001). *Approved Methods of American Association of Cereal Chemists*. (10ma ed.) Vol.II.

Albdalá, H., S., Veciana, N., M., Izquierdo, P., M., y Mariné, F., A. (1997). Determination of water soluble vitamins in infant milk by high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 247 – 253 y 778.

Arvanitoyannis, I., S., y Varzakas, T., H. (2008). Vegetable Waste Treatment: Comparison and Critical Presentation of Methodologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 205-247.

Badui, D., S. (2006). *Química de los Alimentos*. (4ta ed) México: Pearson Educación, 111, 180 y 181.

Barrera, H., M. (2010). Evaluación de la calidad de diferentes cebadas producidas en la región centro. Tesis en desarrollo de la Lic. en Química en Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Bello, G., J. (2000). *Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 336, 349.

Boatella, R., J., Codony, S., R., y López, A., P. (2004). *Química y Bioquímica de los Alimentos II*. Publicaciones y ediciones de la Universidad de Barcelona: España.

Callejo, G., M., J. (2002). *Industrias de cereales y derivados*. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, 27, 31.

Cubero, N., Monferrer, A, y Villalta, J. (2002). *Aditivos alimentarios*. Mundi Prensa: España, 133, 134.



Del Castillo, V., C., Armada de Román, M., Gotiffredi, A. (2000). Alimentos de humedad intermedia para ancianos en base a extrusado de maíz: soja, acondicionado con calcio. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Caracas. Vol. 50. No. 3.

Del Valle, R., F. (1981). Development, evaluation and industrial products of a powdered soy-oat infant formula using a low-cost extruder. J Food Sci.; 46(1):192-197.

Dziezak, J., D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. Food Technology, 42.

FAO: *Food and Drugs Organization* (1985). Energy and protein requirements report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization technical report series 724. WHO. Génova, Suiza.

Fellows, P. (1994). *Tecnología del proceso de los alimentos. Principios y prácticas*. Acribia: España.

Fernández, G., J., M., Madera, B., E., González, M., M., Tudela, C., M., y Caballero, S., B. (2008). Generación de subproductos de la industria agroalimentaria: situación y alternativas para su aprovechamiento y revalorización. *Especial Alimentaria*, 39-42.

Fito, M., P., Andrés, G., A., M., Barat, B., J., M., y Albors, S., A.,M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editora: Universidad Politécnica de Valencia. España, 21.

González, A., M., Gómez, J., A., Cardon, C., García, V., J. (2006). "HPLC Fluorometric method for analysis of aminoacids in products of the hive (honey and bee- polen)". *Food Chemistry*, 95, 148 – 156.

Hornsey, S., I. (1999). *Elaboración de cerveza. Microbiología, Bioquímica y Tecnología*. Acribia: España.

Huntington, D., H. (2004). The influence of the spray drying process on product properties. *Drying Technology*, 22(6).

Inestroza, H., B., S. (2003). Desarrollo y evaluación de una bebida nutricional instantánea para niños en edad escolar. Tesis de licenciatura. Honduras.



Kent, N., L., y Evers, A., D. (1994). *Technology of Cereals*. Woodhead Publishing, 40, 43, 65, 258 – 260.

Kuri, V. (2007). Salchichas frescas británicas: tecnología, mercado, legislación. *Nacameh*, 1 (1): 1 -17.

Lara, H., J., J. (2009). Microencapsulación y secado por aspersion de extractos de nopal verdura. Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Disponible en: <http://www.uthh.edu.mx/?op=Tm90aWNpYXM9NDA5>.

Latham M.C. (2002). Procesamiento y fortificación de los alimentos. *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. FAO. 02 /06/ 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/006/W0073S/w0073s10.htm>

Lopera, M., S., Guzmán, O., C., Cataño, R., C. y Gallardo, C., C. (2009). Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersion, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared. *Vitae*. Vol. 16 No. 1 Medellín, Colombia.

López, P. (2005). Evaluación de la calidad de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. Tesis de Licenciatura de Química en Alimentos. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. ICBI.

Mackay, E., L. y Stimson W. (1993). Determination of adulteration of durum wheat. *Food Safety and Quality Assurance*.

Marin, E., B., Lemus, M., R., Flores, M., V., y Vega, G., A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*, Vol 33. No. 3.

Mathewss, C., K., y Van Holde, K., E. (2001). *Bioquímica*. (2da ed). MC. Graw Hill. Madrid: España.

Mayer, E., L., Bertoluzzo, M., S., y Bertoluzzo, M., G. (2006). Conservación de alimentos: diseño y construcción de un liofilizador. *Invenio*. Rosario. Argentina.

Maria, L., F., y Wenzel de M., E. (2006). Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos. Editora de la Universidad de Sao Paulo: Brazil, 11.



Mohamed, A., Hojilla, E., M., P., Peterson, S., C., y Biresaw, G. (2007). Barley Protein Isolate: Thermal, Functional, Rheological and Surface Properties. *American Oil and Chemistry Society*. 84 281-288.

Moraleta, N. P. (1999). *Las vitaminas: Su importancia en la alimentación*. Editorial Everest: España, 10, 12.

Moreiras, O., y Cuadrado, C. (2009). Bases nutricionales para el enriquecimiento de los alimentos. Fundación Española de la Nutrición. Fundación Cajamar. Colección Mediterráneo Económico.

Norman, P., N. (1978). *La ciencia de los alimentos*. Harla: México, 408, 429.

Newman, R., K., y Newman, W., C. (2008). *Barley for food and health: science, technology and products*. Wiley. USA, 12, 20 – 24.

Oti, B., P., y Axtel, B. (1998). Técnicas de secado. Libro de consulta sobre tecnologías aplicadas al ciclo alimentario. Intermediate Technology Development Group. United Nations Development Fund for Women. Lima Perú. Capítulo 2.

Pasquel, A. (2001). Gomas: una aproximación a la industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*. V.1. n° 1. Iquitos Perú.

Ré, M., I. (1988). Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*, 16

Román, G., A., D., Guilbert, S., y Cuq, B. (2002). Description of microstructural changes in wheat flour and flour components during hydration by using environmental scanning electron microscopy. *Journal of Cereal Science*. Vol. 35. No. 8.

Rosado, J., L., Rivera, J., López, G., Solano L., Rodríguez, G., Casanueva, E., García, G., A., Toussaint, G., y Maulen, I. (1999). Desarrollo y evaluación de suplementos alimenticios para el Programa de Educación, Salud y Alimentación. *Salud pública de México*. Vol.41, no.3, mayo-junio de 1999, 153 - 162

SAGARPA: *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Estadísticas. Consultar en: <http://www.siapsagarpa.gob.mx>. Acceso 17/08/2009.



Scorza, O., C., Chirife, J., Cattaneo, P., Vigo, M., S., Bertoni, M., H., y Sarrailh, P.(1981). Factores que condicionan el crecimiento microbiano en alimentos de humedad intermedia. *Alim Lat*, 127:62- 67.

Serna, S., S., R. (2001). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. AGT EDITOR: México, 61, 62, 64 y 65.

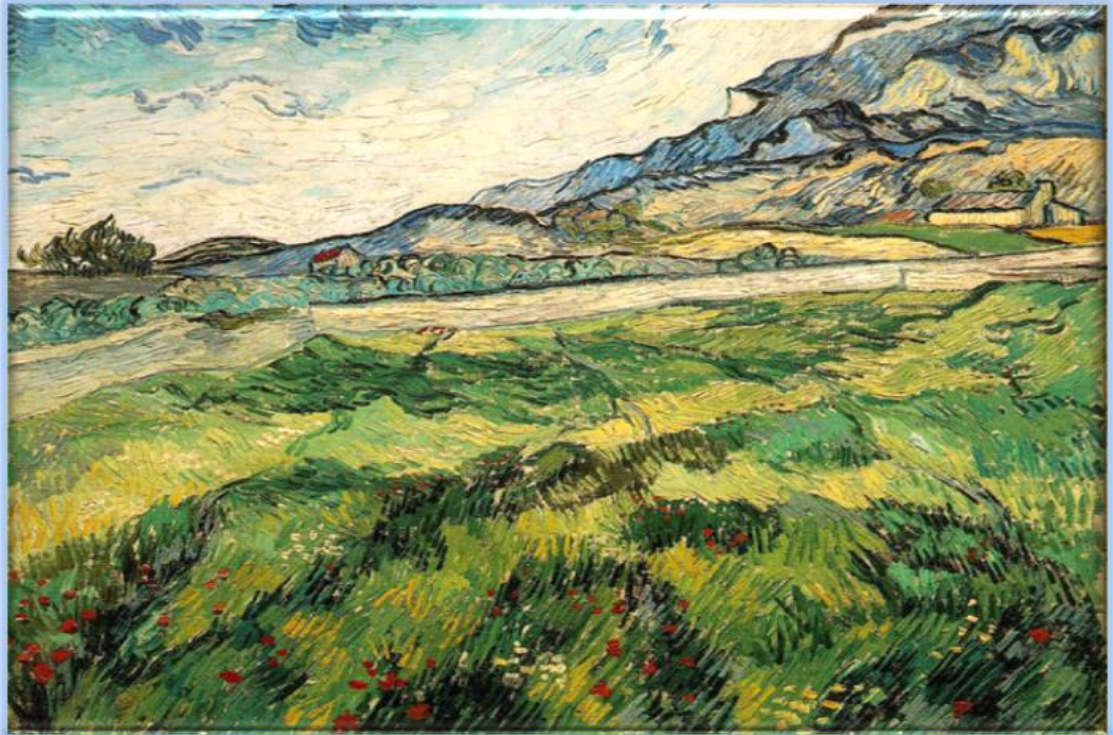
Shafiur, R., M. (2003). *Manual de conservación de los alimentos*. Acribia: España.

Stamler, J., Brown, I., J., Daviglius, L., M., Chan, M., Q., Kesteloot, H., Ueshima, H., Zhao, I., y Elliott, P. (2009). Glutamic Acid, the Main Dietary Amino Acid, and Blood Pressure: The INTERMAP Study (International Collaborative Study of Macronutrients, Micronutrients and Blood Pressure). *Circulation*, Jul 2009;,120: 221 - 228.

Trejo, C., C., L. (2010). Modificación y caracterización química del almidón acetilado de cebada. Tesis de la Lic. En Química en Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Wijeratne¹, W., B. (n. d.). Propiedades funcionales de las proteínas de soya en un sistema de alimentos. 13/ 01/ 2010. Disponible en: <http://www.alfa-editores.com/alimentaria/Noviembre%20Diciembre%2005/TECNOLOGIA%20Propiedades.htm?phpMyAdmin=alj69rg0MYWn18mTYfYRyPHZ2T4>

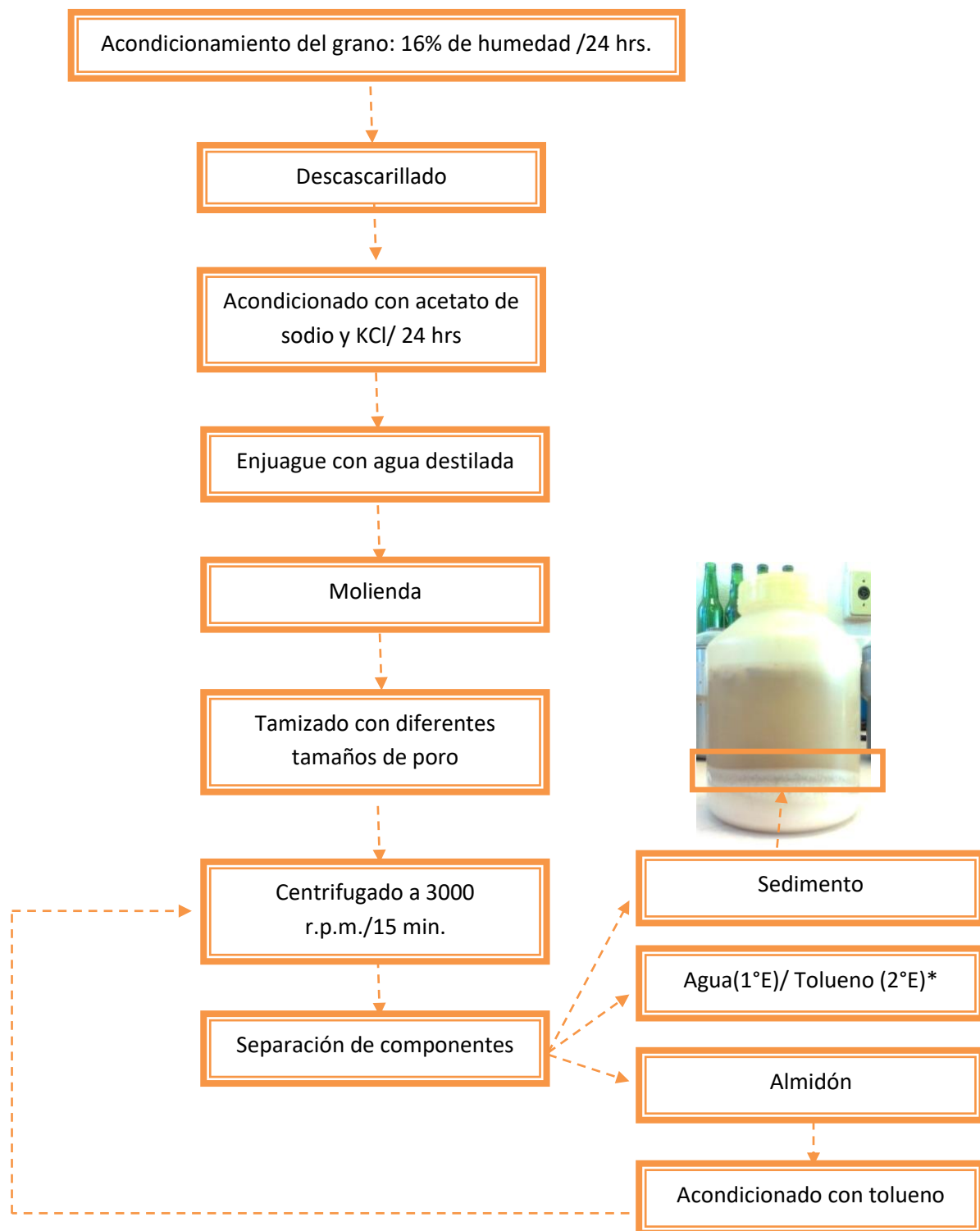
Yáñez, J., F., Salazar, J., A., M., Chaires, L., M., Jiménez, H., Márquez, M., R., y Ramos, E., G., R.(2005). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Mundo Alimentario*.



Anexos



ANEXO I. Proceso de molienda húmeda.



* 1°E: primera extracción, 2°E: segunda extracción, a partir de la 2° E, se emplea tolueno.



ANEXO II. Gráficas de viscosidad de las diferentes gomas.

Tragacanto

Viscosidad vs temperatura:

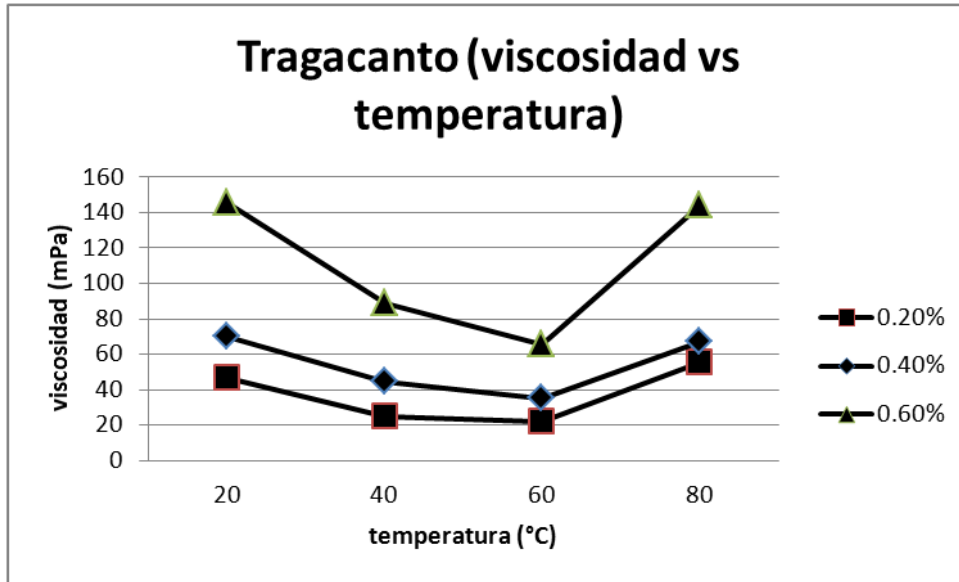


Figura 13.

Viscosidad vs tiempo a diferentes temperaturas:

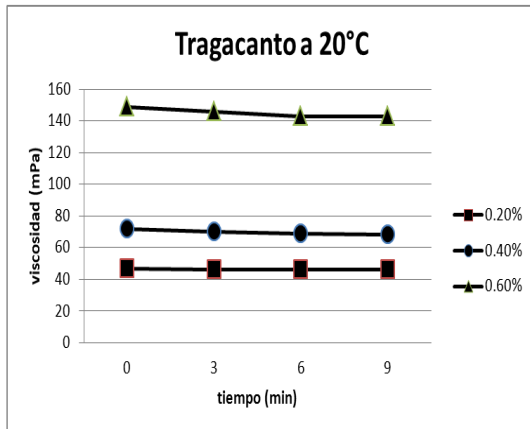


Figura 14

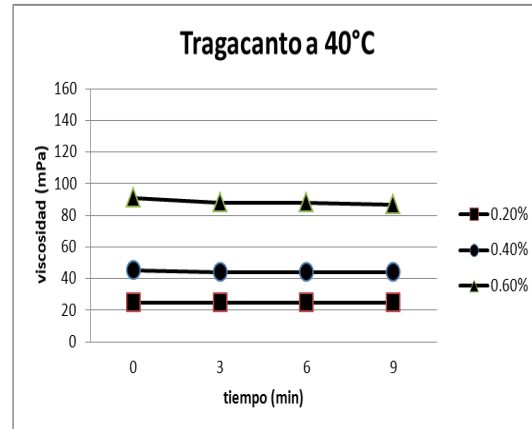


Figura 15

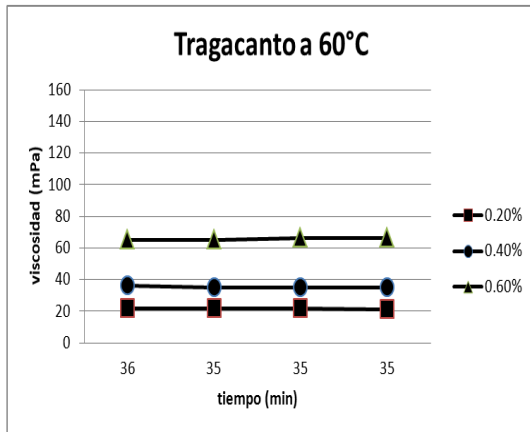
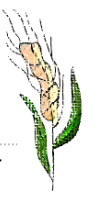


Figura 16

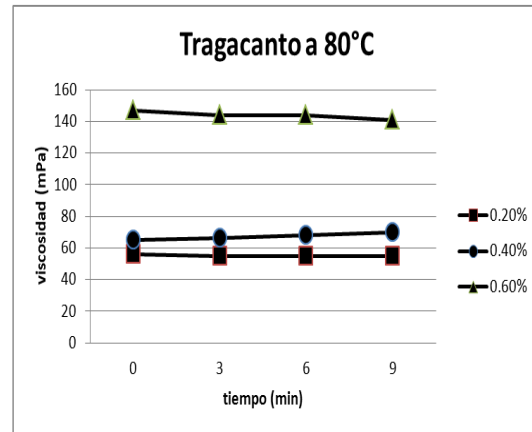


Figura 17

Xantano

Viscosidad vs temperatura:

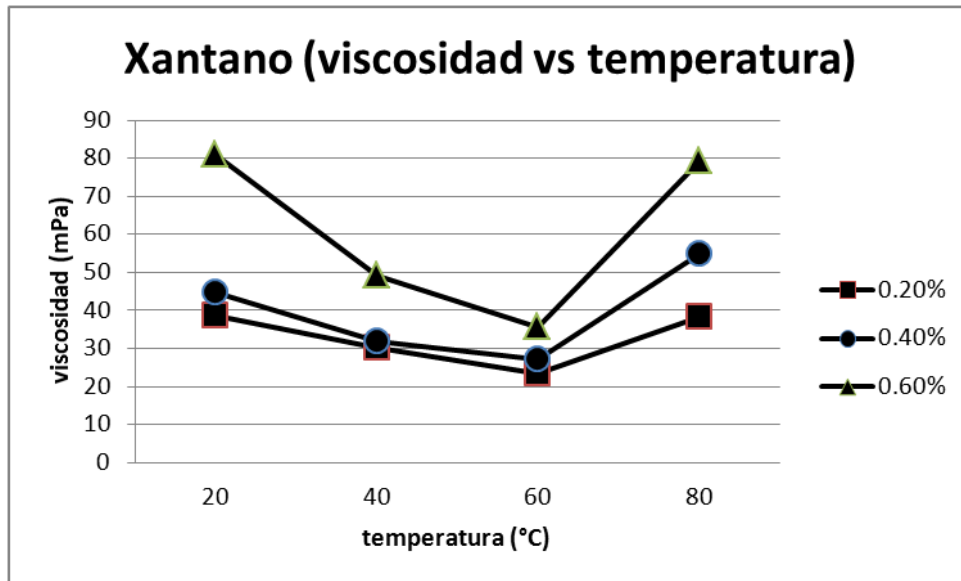
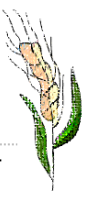


Figura 18



Viscosidad vs tiempo:

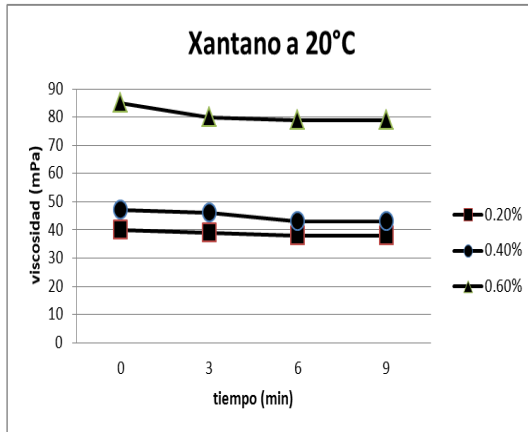


Figura 19

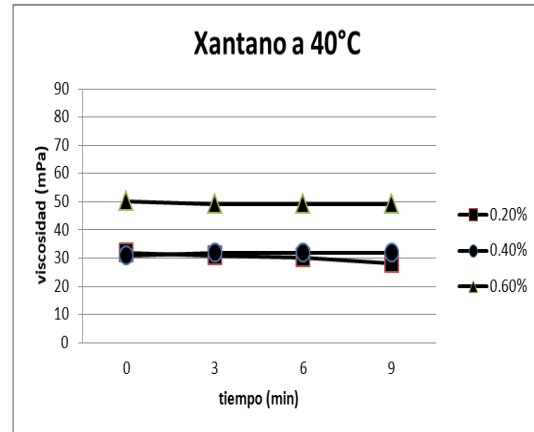


Figura 20

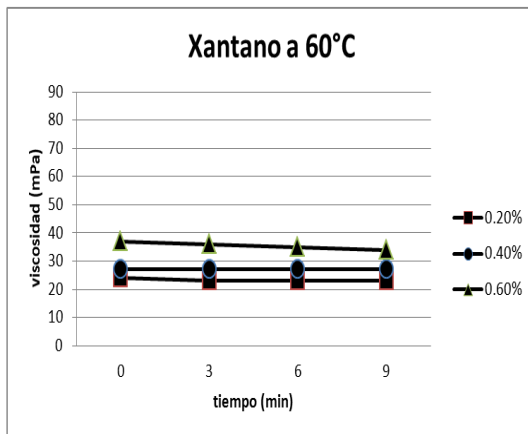


Figura 21

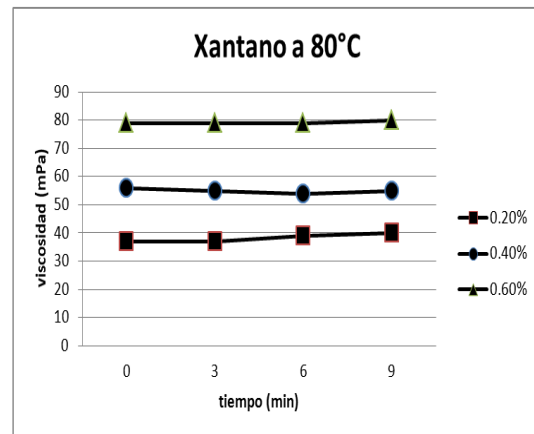
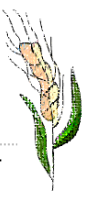


Figura 22



Carragenina

Viscosidad vs temperatura:

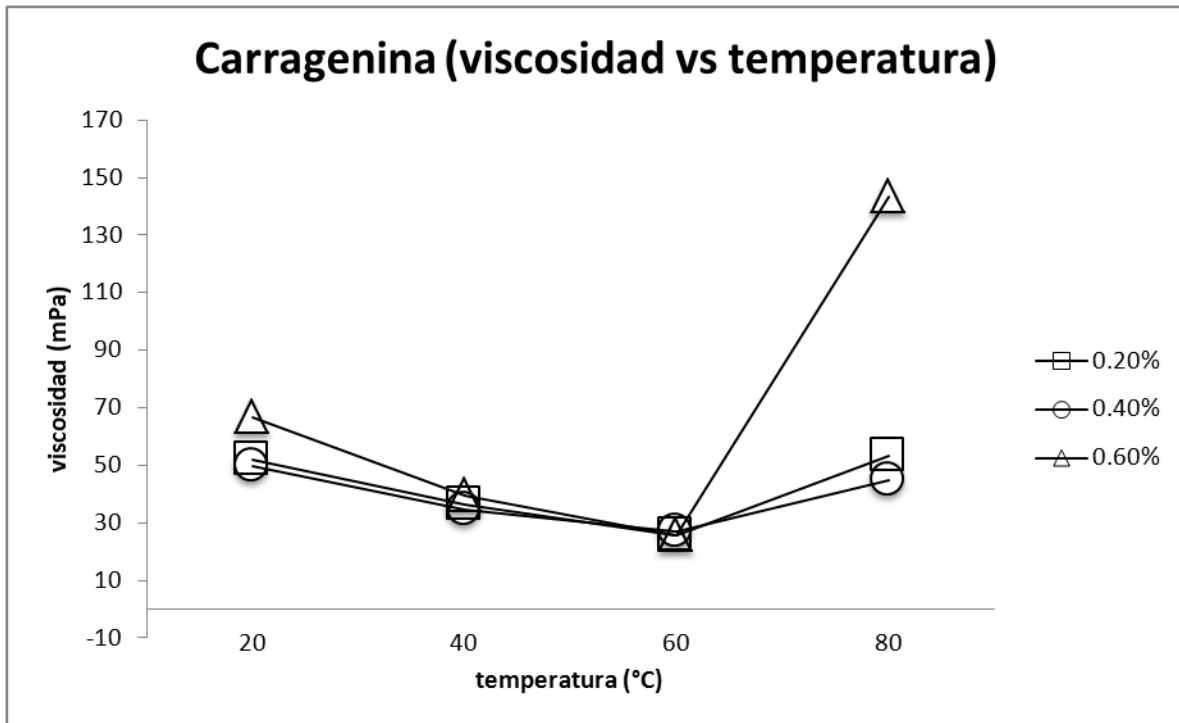


Figura 23