



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**



**ELABORACIÓN DE UNA PASTA ALIMENTARIA  
A PARTIR DE SÉMOLAS DE DIFERENTES  
VARIEDADES DE CEBADA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**KARIME DE LOS ÁNGELES ACOSTA RUEDA**

**ASESOR:**

**DRA. ALMA DELIA ROMÁN GUTIÉRREZ**

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, 2007



# QA

## QUÍMICA EN ALIMENTOS

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos I del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con el financiamiento del PROMEP con clave PROMEP/103.5/03/2568, UAEHGO-PTC-255.



El presente trabajo de investigación ha participado en los siguientes foros científicos:

- VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos 2005.
- III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2005.
- I Foro de Química en Alimentos 2005.
- II Foro de Química en Alimentos 2006.
- VIII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos 2006.
- IV Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2006.

## DEDICATORIAS

Gracias Dios por darme la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa. Por permitirme llevar a cabo este sueño, por haberme iluminado todo este tiempo de esfuerzo y sobre todo por los padres tan maravillosos que me diste.



A mi papá, por enseñarme que con voluntad todo se puede lograr, por ser mi fuente de inspiración y por impulsarme a realizar mis metas dejándome tomar mis propias decisiones. Gracias por el apoyo y amor que me has brindado, te estaré agradecida todos los días de mi vida. Patito te adoro

A mi mamá de quien he recibido comprensión y cariño, así como apoyo incondicional, por amarme y preocuparse por mi. Por enseñarme a hacer las cosas lo mejor posible y por darme recomendaciones para la vida. Por ser además de mi madre, mi amiga. Te amo mamita

Este logro es de ustedes y doy gracias a  
Dios por ser su hija

A mi hermanito por su apoyo en todo momento, por compartir conmigo triunfos, fracasos, fiestas, enojos, sueños e inquietudes. Por su cariño incondicional y por existir. Te quiero Enri

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Alma Delia Román, por compartir su experiencia y contribuir en gran parte a la realización de este trabajo, por su apoyo y confianza y por los consejos que me dio que me serán útiles a lo largo de mi vida. Gracias por todo.

A PROMEP por el financiamiento otorgado en la realización de este trabajo de investigación titulado "Elaboración de una pasta alimentaria a partir de sémolas de diferentes variedades de cebada" con clave PROMEP/103.5/03/2568, UAEHGO-PTC-255.

A Omar por ser mi apoyo en todo momento, por compartir los momentos de la vida juntos, por compartir sueños y proyectos. Por tu comprensión, cariño y sobre todo amor. Por enseñarme a valorar las experiencias de la vida. Por consolarme, escucharme y estar siempre conmigo cuando más lo necesitaba. Te quiero mucho.

A mis amigas Karina, Haydee y Ana Laura por todos los momentos en la carrera y en el laboratorio. Por los momentos tristes y felices que son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Que Dios las bendiga siempre.

A los integrantes del jurado que con sus correcciones lograron que este trabajo se realizara lo mejor posible.

A todos los profesores que de alguna forma contribuyeron a la realización de mi carrera. Gracias.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIAS	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
GLOSARIO	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
2.1 Los cereales en la alimentación humana	2
2.2 Cebada	2
2.2.1 Orígenes de la cebada	2
2.2.2 Importancia y producción de la cebada	3
2.2.3 La cebada en la alimentación y la salud del hombre	4
2.2.4 Estructura del grano de cebada	5
2.3 Trigo	6
2.3.1 Orígenes del trigo	6
2.3.2 Clasificación del trigo	7
2.3.3 Producción del trigo	8
2.4 Trigo durum	8
2.4.1 Características generales	8
2.5 Composición química del grano de trigo y cebada	10
2.5.1 Proteína	11
2.5.1.1 Papel del gluten en la industria de las pastas	12
2.5.2 Fibra dietética	14
2.5.3 Lípidos	16
2.5.4 Carbohidratos y almidones	16
2.5.4.1 Propiedades térmicas del almidón	18
2.5.4.2 Microestructura de las partículas de almidón	20

2.5.4.3	Propiedades de hidratación del almidón	21
2.6	Acondicionado, descascarillado y molienda de los cereales	24
2.7	Industria de las pastas	26
2.7.1	Origen	26
2.7.2	Clasificación	26
2.8	Materia prima para la elaboración de pasta	28
2.8.1	Ingredientes	28
2.8.1.1	Sémola	28
2.8.1.2	Agua	34
2.8.1.3	Ingredientes adicionales	34
2.9	Proceso de elaboración de la pasta	37
2.10	Evaluación de la calidad de las pastas	44
2.10.1	Calidad de las pastas crudas	44
2.10.1.1	Color	44
2.10.1.2	Aspecto	45
2.10.2	Calidad culinaria de las pastas	47
2.10.2.1	Tiempo de cocimiento	48
2.10.2.2	Porcentaje de sedimentación	48
2.10.2.3	Índice de tolerancia al cocimiento	48
2.10.3	Calidad de las pastas cocidas	48
2.10.3.1	Características físicas	48
2.10.3.2	Características sensoriales	49
2.11	Calidad y valor nutricional de las pastas	50
III.	OBJETIVOS	52
3.1	Objetivo General	52
3.2	Objetivos Específicos	52
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	53
4.1	Materia prima	53
4.2	Métodos	53
4.2.1	Muestreo	53
4.2.2	Acondicionado, descascarillado y proceso de molienda	54

4.2.3	Caracterización fisicoquímica de las sémolas de cebada	55
4.2.3.1	Humedad	55
4.2.3.2	Cenizas	55
4.2.3.3	Grasas	55
4.2.3.4	Proteínas	56
4.2.3.5	Fibra dietética total	56
4.2.3.6	Carbohidratos	56
4.2.4	Calidad física de las sémolas	56
4.2.4.1	Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)	56
4.2.4.2	Capacidad de hidratación (CH)	57
4.2.4.3	Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)	57
4.2.5	Caracterización física de las sémolas	58
4.2.5.1	Tamaño de partícula	58
4.2.5.2	Determinación de color	58
4.2.5.3	Determinación de número de pecas	58
4.2.6	Elaboración de mezclas y masas	59
4.2.7	Análisis reológicos de las masas	60
4.2.7.1	Análisis de perfil de textura (APT)	60
4.2.8	Caracterización física de las masas	60
4.2.8.1	Microscopia electrónica de barrido (MEB)	60
4.2.9	Proceso de elaboración de pastas a nivel casero	61
4.2.10	Evaluación de la calidad de las pastas	62
4.2.10.1	Evaluación de las pastas crudas	62
4.2.10.1.1	Pasta estrellada	62
4.2.10.1.2	Pasta con burbujas	62
4.2.10.1.3	Pasta apelmazada	62
4.2.10.1.4	Pasta con puntos blancos en la superficie	62
4.2.10.2	Evaluación de las pastas durante el cocimiento	63
4.2.10.2.1	Tiempo de cocimiento	63

4.2.10.2.2	Porcentaje de sedimentación	63
4.2.10.2.3	Índice de tolerancia al cocimiento	63
4.2.10.3	Evaluación de las pastas cocidas	64
4.2.10.3.1	Ganancia de peso	64
4.2.10.3.2	Grado de hinchamiento	64
4.2.10.3.3	Evaluación sensorial de la pasta	65
4.3	Análisis estadístico	65
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
5.1	Rendimiento de la molienda	66
5.2	Caracterización fisicoquímica de las sémolas	69
5.2.1	Análisis fisicoquímico de las mezclas	75
5.3	Calidad física de las sémolas	77
5.4	Caracterización física de las sémolas	80
5.4.1	Tamaño de partícula	80
5.4.2	Determinación de color	84
5.4.3	Determinación de número de pecas	85
5.5	Análisis reológicos de las masas	87
5.5.1	Análisis de perfil de textura (APT)	87
5.6	Caracterización física de las masas	90
5.6.1	Microscopia electrónica de barrido (MEB)	90
5.7	Evaluación de las pastas	98
5.7.1	Evaluación de las pastas crudas	98
5.7.2	Evaluación de las calidad culinaria de las pastas y de las pastas cocidas	100
5.7.3	Prueba sensorial de la pasta	102
VI.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	104
VII.	BIBLIOGRAFÍA	107
VIII.	ANEXOS	114
8.1	Tamaño de partícula	114

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		Página
1.	Clasificación del trigo en México con base en la funcionalidad del gluten (Serna, 2001; ASERCA, 2003)	7
2.	Comparación de la composición química de los trigos (Fabriani <i>et Lintas</i> , 1998; Williams <i>et al.</i> , 2000; Serna, 2001)	10
3.	Componentes del grano de cebada y trigo (Serna, 2001)	11
4.	Características de las proteínas del gluten (Hoseney, 1991)	14
5.	Clasificación de las pastas de acuerdo a la forma que presentan (Salazar, 2000)	27
6.	Temperaturas y tiempos de secado para pastas (Lorenz, 1991)	41
7.	Variedades de cebada utilizadas en el presente trabajo	53
8.	Códigos utilizados para identificar cada una de las variedades de sémola de cebada	59
9.	Formulación de la masa	60
10.	Escala hedónica utilizada en la prueba de degustación	65
11.	Rendimiento de molienda del grano de las variedades de cebada (%)	66
12.	Composición química del grano de cebada de las diferentes variedades (%)	69
13.	Composición química de las diferentes variedades de sémola (%)	70
14.	Composición química de las mezclas de sémola de cebada (%)	75
15.	Valores de las pruebas de calidad física realizadas a las sémolas de cebada y trigo (%)	77
16.	Distribución del tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ )	83
17.	Color de las sémolas de cebada y trigo	84
18.	Número de pecas en cada mezcla de sémola de cebada y trigo	86
19.	Influencia de la proporción de sémola de cebada en parámetros de ATP en la dureza, cohesividad y adhesividad de cada variedad	88
20.	Evaluación de la calidad de las pastas crudas	99
21.	Evaluación de las pastas durante su cocimiento y pastas cocidas	101
22.	Prueba sensorial realizada a la pasta	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Cariópside de cebada y sus estructuras	6
2	Cariópside de trigo cristalino y sus estructuras	9
3	Gráfica del tamaño de partícula de las variedades de sémola de cebada	81
4	Micrografías de la masa de trigo tomadas a una amplitud de 500x, 1000x, 1500x y 2000x respectivamente	92
5	Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 500x, respectivamente	93
6	Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 1000x, respectivamente	94
7	Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 1500x, respectivamente	95
8	Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 2000x, respectivamente	96
9	Gráficas del tamaño de partícula de cada una de las variedades de sémola de cebada (EA, EZ, ES y E1)	113

## GLOSARIO

**Adhesividad:** Trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto. Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca durante su consumo.

**Albúmina:** Fracción proteica soluble en agua conformada por proteínas de bajo peso molecular.

**Beta-glucano:** Polisacárido natural soluble que se encuentra en los granos de la cebada, que de acuerdo con las investigaciones brinda diversos beneficios para la salud humana.

**Birrefringencia:** Consiste en la división del haz de luz incidente en un cristal en dos componentes que viajan a velocidades diferentes y tienen al mismo tiempo direcciones de vibración perpendiculares.

**Capa de aleurona:** Una capa de células vivientes en el grano de cebada que rodea el endospermo y contiene gránulos de proteína encontrados en una capa única de células.

**Cariópside:** Es el fruto de los cereales.

**Cáscara o envuelta:** La cobertura externa, o vaina, del grano de cebada.

**Cebada perlada:** Granos de cebada que son pulidos, o perlados, para quitar la cáscara exterior no comestible. La forma más popular de cebada para alimento humano.

**Cohesividad:** Que tanto puede deformarse un material antes de romperse. Grado de compresión de una sustancia entre los dientes antes de romperse.

**Cotiledón:** Es donde se almacena la reserva alimenticia (endospermo).

**Dureza:** Fuerza necesaria para una deformación dada. Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas.

**Elasticidad:** Tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante. Grado hasta el cual regresa un producto a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes.

**Endospermo:** La parte más grande del grano de cebada, compuesto por gránulos de almidón que brindan los carbohidratos para sostener el crecimiento del embrión en desarrollo (en germinación).

**Escutelo:** Cotiledón del embrión de la *Poaceae* transformado en órgano absorbente.

**Espiga:** La porción de la planta de cebada que contiene las flores y posteriormente las semillas maduras o granos.

**Extensibilidad:** Es la capacidad que tienen las masas para alargarse, esta propiedad la proporciona las proteínas que están presentes en el trigo.

**Extrusión:** Acción de dar forma a una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

**Germen:** Parte de la semilla de que se forma la planta. Primer tallo que brota de ésta. Tejido de reserva primario y el que origina a la nueva planta.

**Germinación:** Dicho de un vegetal: Comenzar a desarrollarse desde la semilla.

**Gluma:** El par de brácteas ubicadas en la base de una espiguilla en la cabeza de la planta de cebada. Las glumas pueden estar total o parcialmente cubiertas de vello o pueden ser lisas.

**Gramíneas:** Se dice de las plantas angiospermas monocotiledóneas que tienen tallos cilíndricos, comúnmente huecos, interrumpidos de trecho en trecho por nudos llenos, hojas alternas que nacen de estos nudos y abrazan el tallo, flores muy sencillas, dispuestas en espigas o en panojas, y grano seco cubierto por las escamas de la flor; por ejemplo el trigo, el arroz y el bambú.

**Gránulo de almidón:** Cuerpo donde se depositan las moléculas de amilosa y amilopectina durante el desarrollo del grano.

**Grits:** Anglicismo utilizado en la industria molinera para determinar a las fracciones refinadas de endospermo con mayor granulometría que la harina y la sémola.

**Laminado:** Consiste en producir una estructura uniforme, haciendo pasar el material entre dos rodillos que, giran en sentido opuesto, aplastándolo.

**Molturación:** Acción de reducción del tamaño del grano por trituración.

**Productos extruídos:** Productos que se elaboran con el moldeado o conformación de una sustancia blanda o plástica mediante un tratamiento de calor y fuerza de corte de fricciones mecánicas, hasta hacerla pasar por un orificio con forma especial y para conseguir una estructura y característica del producto terminados.

**Reacción de Maillard:** También denominada reacción de oscurecimiento no enzimático. Se le denomina así a la reacción que ocurre entre azúcares reductores de grupos aminos libres de proteínas en presencia de calor.

**Reología o reológico:** Es la ciencia que estudia los fluidos y la deformación de materiales en respuesta a la aplicación de fuerzas.

**Retrogradación:** Fenómeno en el cual las moléculas de almidón gelatinizadas, principalmente amilosa, se reasocian causando rigidez o pérdida de textura en productos de panificación y el fenómeno de gelificación. Después de la retrogradación hay una liberación de agua (sinéresis).

**Salvado:** Nombre de la fracción de molienda procedente del pericarpio.

**Sémola o semolina:** Nombre de la fracción de molienda refinada que posee una granulometría mayor a la harina.

**Tasa de extracción:** Se define como la cantidad de harina de unas características determinadas, que se obtiene de la molturación de 100 kg. de trigo limpio, correlacionando los porcentajes de humedad entre el grano y la harina.

**Vástago:** Un brote, o tallo secundario, que se origina en la base de la planta.

**Viscosidad:** Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas. Tasa de flujo por unidad de fuerza. Fuerza requerida para pasar un líquido de una cuchara hacia la lengua.

# I. INTRODUCCIÓN

---

---

Los cereales son la principal fuente de alimentación del ser humano y dentro de estos se encuentran principalmente el trigo, el maíz, el arroz y la cebada (Sema, 2001).

La cebada actualmente es utilizada en la industria de la cervecería, en la alimentación animal y en un bajo porcentaje como alimento para el hombre (Castillo, 2005).

Se ha distinguido por ser un cultivo de gran importancia económica y social en México. Actualmente ocupa el cuarto lugar en volumen de producción de cereales a nivel mundial, después del trigo, arroz y maíz. En México, los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala son los que tienen altos niveles de producción de cebada de temporal, siendo Hidalgo el que ocupa el primer lugar a nivel nacional (SAGARPA, 2006).

La cebada es empleada en la elaboración de bebidas a base de malta como la cerveza y para elaborar diversos productos como pan, cereales para desayuno y sopas (Callejo, 2002). Además, tiene mayor porcentaje de lisina (aminoácido limitante en el trigo) y mayor contenido de fibra soluble (PRONISEA, 2007).

Debido a la gran producción de ésta en la región y a que el trigo es el principal cereal utilizado en la producción de pastas alimenticias, en este trabajo de investigación se planteó la posibilidad de usar mezclas de sémola de cebada y trigo para producir pasta alimenticia. Dando con ello usos alternativos de la cebada en la industria alimentaria.

El objetivo de esta investigación fue la elaboración de pastas a partir de sémolas de trigo y cebada, tomando como principal interés la cebada cosechada en el estado de Hidalgo. Este trabajo consiste en desarrollar una pasta nutricionalmente enriquecida y organolépticamente aceptable.

## II. ANTECEDENTES

---

---

### 2.1 Los cereales en la alimentación humana

Los cereales constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad. Son el alimento que contribuye con el aporte energético así como los nutrientes como vitaminas, minerales, proteínas para el organismo. Por esto han sido, son y seguirán siendo los mayores proveedores de alimento para la raza humana (Robles, 1990).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) el consumo de los cereales que se ha reportado es de 160 kilogramos por persona al año, esto para un país bien alimentado, un país con deficiencias en la alimentación estará por debajo de los 90 kilogramos. En México el consumo de los cereales es aceptable, ya que aproximadamente es de 132 kilogramos al año por persona (FAO, 2005).

### 2.2 Cebada

#### 2.2.1 Orígenes de la cebada

El cultivo de cebada se inició probablemente hace 10000 años, se cree que en las culturas Babilónica, Egipcia y China (Dendy *et* Dobraszczyck, 2003).

Se considera que de manera accidental se descubrieron las propiedades de la cebada, cuando al estar almacenada cierto tiempo, por las condiciones de humedad, ésta germinaba y al ser empleada para la preparación de alimentos, éstos resultaban con mejor textura y sabor. Así, en forma deliberada se inició el proceso de germinación de cebada (Matz, 1997).

También fue conocida por los griegos y los romanos, quienes la utilizaban para elaborar un pan y era la base de alimentación para los gladiadores romanos.

En Suiza se han encontrado restos calcinados de tortas elaboradas con granos toscamente molidos de cebada y trigo que datan de la Edad de Piedra.

Por muchos siglos la distinción de clases también afectó el tipo de cereal que estaba permitido consumir: en Inglaterra hasta el siglo XVI los pobres solo tenían permitido consumir pan de cebada mientras que el pan de trigo estaba restringido solo para la clase alta; a medida que el trigo y la avena se fueron haciendo más asequibles, se acabó con el uso de la cebada para hacer pan (Dendy *et* Dobraszczyck, 2003).

### **2.2.2 Importancia y producción de la cebada**

La cebada es un cultivo de estación corta y de maduración temprana, famoso por su tolerancia a una amplia gama de condiciones adversas, incluyendo las bajas temperaturas, la sequía. Poco exigente en relación al terreno de cultivo: los suelos salinos y alcalinos (ASERCA, 2003).

Prospera en un rango ambiental mucho más amplio que cualquier otro cereal, en climas desde el subártico hasta el subtropical. Tiene mayor rendimiento por hectárea y por lógica menor costo. Las principales áreas de producción de cebada del mundo incluyen a: Rusia, Canadá, Alemania, Francia, Turquía, España y Estados Unidos (PRONISEA, 2007).

La producción de cebada en México se ubica en la zona centro del país en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, México, Guanajuato, Puebla, Zacatecas, Michoacán y Querétaro; los que durante el periodo 2000-2006 cosecharon, en promedio, un poco más del 90% del total de la cebada producida (SAGARPA, 2006).

El principal ciclo de producción corresponde al de primavera – verano, con el 75% de la producción nacional, donde el 99% se siembra bajo condiciones de temporal. En relación con el ciclo de otoño – invierno, se produce cerca del 95% bajo

condiciones de riego, destacando el estado de Guajalajara, bajo este sistema de producción, con el 58% de la producción durante el periodo 2000-2006, además de los estados de Michoacán y Querétaro (SAGARPA, 2006).

Los estados de Hidalgo y Tlaxcala ocuparon el primer y segundo lugar en producción de cebada de temporal con 245,503 ton y 124,793 ton respectivamente (SAGARPA; 2006).

### **2.2.3 La cebada en la alimentación y salud del hombre**

Debido a su amplia disponibilidad y a sus numerosas ventajas nutricionales, la cebada es un alimento principal en las dietas humanas de muchas partes del mundo. No sólo la cebada tiene un alto contenido de fibra, antioxidantes y vitaminas del complejo B, sino que tiene bajo contenido de grasas (Orea, 1999).

Dado que la cebada desnuda requiere muy poca limpieza después de ser cosechada, puede usarse el grano entero, incluyendo el salvado y el germen ricos en nutrientes. Los productos alimenticios hechos a base de cebada desnuda son considerados alimentos de grano integral (Robles, 1990).

Este cereal es consumido a nivel mundial por los humanos en una variedad de formas. Una de ellas es perlada en donde las cáscaras externas no comestibles son quitadas y los granos posteriormente son pulidos.

Puede ser cocida y servida como guarnición o agregada a sopas, guisos, ensaladas, estofados y otros platos (Castillo, 2005). Otra forma de consumirse es como harina, puede ser usada para agregar fibra a productos de panadería o como espesante para sopas, guisos y salsas.

También pueden obtenerse copos, que son hechos a base de granos que han sido enrollados y secados al vapor, pueden ser cocinados como harina de avena para

cereal caliente o usados como ingredientes en productos de panadería (López, 2005).

La semolina de cebada está hecha a base de granos que han sido cortados en pequeños trozos, es usada para aplicaciones alimenticias comerciales como por ejemplo en cereales procesados, sopas; como aglutinante en chorizos sin carne o como suavizante o extensor en carnes molidas con bajo contenido de grasas (PRONISEA, 2007).

Una de las principales aplicaciones es como malta, además de ser usada en la producción de cerveza, también puede aprovecharse en extractos y jarabes para agregar sabor, color o dulzura a alimentos comercialmente preparados tales como cereales, productos de panadería, confituras y bebidas (López, 2005).

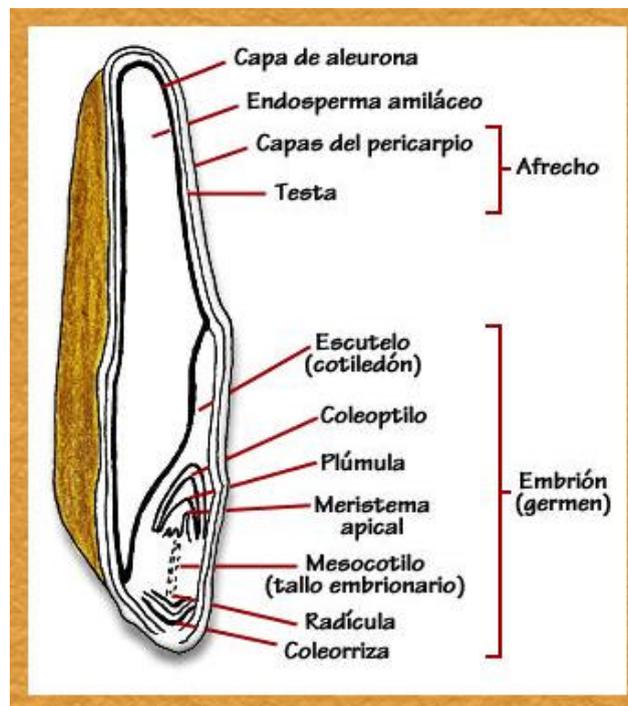
Las investigaciones recientes se han concentrado en sus beneficios potenciales para la salud humana. Los resultados iniciales indican que la presencia de beta-glucanos disminuye el colesterol en sangre, ayuda a regular la respuesta de glucosa de la sangre y puede fortalecer el sistema inmunológico (Liu *et al.*, 1986).

Los investigadores también están estudiando sus efectos sobre la reducción de los factores de riesgo de la diabetes al mejorar la salud intestinal y promover el mantenimiento de la pérdida de peso (Donnelly, 1997).

### **2.2.4 Estructura del grano de cebada**

El grano de cebada es parte de un fruto denominado cariósido, en el cual las paredes del ovario (pericarpio) y la cubierta seminal (testa), son de carácter indehiscente, es decir que están estrechamente unidas, siendo inseparables al grano (Belitz *et Grosch*, 2000), como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Cariópside de cebada y sus estructuras



[http://www.puc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm](http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm)

## 2.3 Trigo

### 2.3.1 Orígenes del trigo

Se cree que los antepasados comunes de todos los trigos modernos se originaron en Medio Oriente. Los primeros estudios en 1855 encontraron especies silvestres de trigo en la región que hoy corresponde a Israel, descubriéndose también trigo silvestre más tarde en Palestina; esto permite asociar inequívocamente las especies silvestres a esa región (Kill *et* Turnbull, 2004).

Esta etapa evolutiva condujo a un estilo de vida más complejo y al subsiguiente desarrollo de la civilización en esa zona. De un cierto número de yacimientos arqueológicos, se han recuperado restos calcinados de trigo y huellas de los granos del interior de barro cocido, junto con piedras primitivas para la molienda que se empleaban para producir harinas toscas. Sin embargo, es muy probable.

Las evidencias sugieren que los egipcios ya cultivaban trigo duro alrededor de 4000 a.C. (Kill *et* Turnbull, 2004).

También se ha sugerido que en ese mismo periodo se cultivaba trigo duro en el área que corresponde actualmente a Ucrania. Las tribus del mesolítico empleaban la gran meseta rusa para el cultivo de muchos de los cultivos actuales alrededor de 11000-8000 años a.C. En depósitos localizados en el Cáucaso, que datan de 6000 a.C., se han encontrado granos de numerosas especies, entre las que se incluyen trigo, cebada, avena y centeno.

### 2.3.2 Clasificación del trigo

La clasificación de los trigos en México para su comercialización se hace con base en la funcionalidad del gluten, como se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación del trigo en México con base en la funcionalidad del gluten**

Grupo	Denominación	Características del gluten
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico, apto para la industria mecanizada de panificación y mejorador de trigos suaves.
II	Medio fuerte	Gluten medio fuerte y elástico, apto para la industria artesanal o semimecanizada de panificación, es mejorador de trigos suaves
III	Suave	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera y la elaboración de tortilla, buñuelos, etc.
IV	Tenaz	Gluten corto o poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera, galletera y elaboración de donas
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de las pastas

Fuente: Serna, 2001; ASERCA, 2003

En México encontramos un gran número de variedades de cada uno de los grupos antes mencionados que se comercializan actualmente.

### **Producción del trigo**

El trigo es uno de los principales cultivos en México y en el mundo. En nuestro país es el segundo cereal más consumido después del maíz (ASERCA, 2003).

Su importancia en México se observa en los siguientes aspectos: por la variedad de alimentos que se obtienen a partir de su molienda y por ser parte importante de la dieta de la población (Serna, 2001).

En nuestro país aproximadamente el 95% de la cosecha de trigo se obtiene durante el ciclo otoño-invierno. En este ciclo, se siembra de noviembre hasta enero y se trilla de finales de marzo a principios de junio. Como no se alcanza la temporada de lluvias su cultivo es necesariamente de riego (ASERCA, 2003).

Según cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la producción total mexicana de trigo durante los últimos diez años (1991-2000) fue de 35.7 millones de toneladas, concentrándose cerca del 85% de la producción en los estados de Sonora (35%) para trigo durum, Guanajuato (17.5%), Baja California (11.5%), Sinaloa (9.2%) Michoacán (6.4%) y Jalisco (4.4%).

En cuanto a su clasificación: en Sonora predominan los del grupo V (cristalinos o duros), Guanajuato se especializa en el grupo III, Baja California en los grupos I y II, Sinaba ha cambiado las variedades del grupo I por las del grupo V (SAGARPA, 2006).

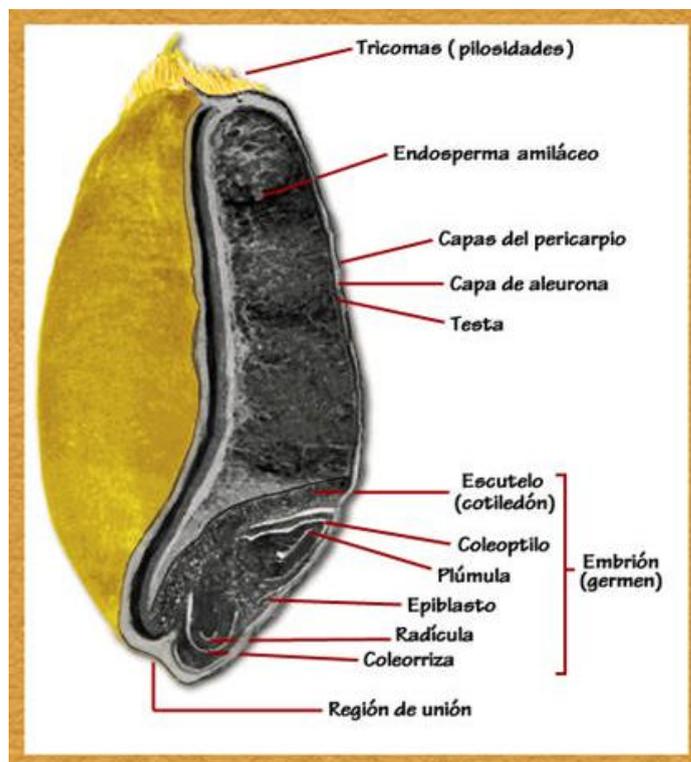
## **2.4 Trigo durum**

### **2.4.1 Características generales**

La mayoría de las variedades son de color ámbar y endospermo duro, es alargado y tienen forma de cuerno o gancho en uno de sus extremos; además, carece de

vellosidades como se observa en la figura 2. El grano presenta un gluten que varía de medio fuerte a fuerte dependiendo del porcentaje de proteína como se muestra en la tabla 1. Tiene alta concentración de pigmentos amarillos (carotenoides) y baja concentración de lipoxidasa (enzima que destruye los pigmentos durante el procesamiento de semolina, disminuyendo así el color amarillo en el producto terminado (Dexter *et al.*, 1987).

**Figura 2. Cariópside de trigo cristalino y sus estructuras**



[http://www.puc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm](http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm)

En la tabla 2 se observa la composición química del trigo panadero (*T.aestivum*) y del trigo cristalino (*T. durum*). Ambos presentan diferencias sobre todo en lo que respecta al contenido de proteína.

Los trigos cristalinos contienen mayores porcentajes de proteína que los comunes. Esto parece ser el resultado del ambiente en el cual han sido desarrollados;

condiciones semiáridas, generalmente producen bajos rendimientos de cosecha (Pomeraz, 1988).

**Tabla 2. Comparación de la composición química de los trigos**

<b>COMPONENTE</b>	<b>TRIGOS PANADEROS</b>	<b>TRIGOS CRISTALINOS</b>
<b>PROTEÍNA</b>	11.5-17.0%	9.0-18.0%
<b>FIBRA CRUDA</b>	2.8-3.0%	2.4-3.1%
<b>CENIZAS</b>	1.8-2.0%	1.8-2.1%

Fuente: Fabriani *et Lintas*, 1998; Williams *et al.*, 2000; Serna, 2001

Las masas elaboradas a partir de trigos cristalinos, son fuertes y estables, pero fluyen bajo presión y no exhiben el grado de elasticidad encontrado en las masas de trigos panaderos (Liu *et al.*, 1986).

La principal diferencia entre estas variedades en lo que respecta a la elaboración de pastas alimenticias, es que las pastas hechas con trigos cristalinos tienen mayor estabilidad cuando son sometidas al proceso de cocción, no tienden a desintegrarse ni a convertirse en una masa cuando se conservan en el agua después del cocimiento. Además, poseen color amarillo, preferido por los consumidores (Salazar, 2000).

## **2.5 Composición química del grano de trigo y cebada**

La cariósida madura de los cereales está compuesta por carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y sales minerales. Estos granos son clasificados como alimentos almidonosos, puesto que contienen más de 60% de almidón. Éste es una excelente fuente de energía ya que se digiere totalmente en el sistema digestivo humano (Owen, 2001).

La cebada contiene una alta proporción de carbohidratos y proteínas, puede tener una humedad del 11 al 13%, el contenido de materia inorgánica y grasa es muy bajo respectivamente (Callejo, 2002).

**Tabla 3. Componentes del grano de cebada y trigo**

<b>Componentes (%)</b>	<b>Cebada</b>	<b>Trigo</b>
<b>Humedad</b>	11.0 – 13.0	12.0 – 14.0
<b>Carbohidratos</b>	72.8 – 86.8	75.2 – 82.1
<b>Proteína</b>	7.5 – 15.6	11.5 – 17.0
<b>Grasa</b>	1.1 – 3.1	1.8 – 2.8
<b>Fibra</b>	5.0 – 6.0	2.8 – 3.0
<b>Ceniza</b>	2.0 – 3.1	1.8 – 2.1

Fuente: Serna, 2001

### 2.5.1 Proteína

Las proteínas de los cereales se han dividido en cuatro categorías según su solubilidad por Osborne, la cual no ha sido modificada (Hoseney, 1991).

Albúminas: Proteínas solubles en agua, coagulables con el calor

Globulinas: Proteínas insolubles en agua pura, pero solubles en disoluciones salinas diluidas e insolubles a altas concentraciones salinas

Prolaminas: Solubles en alcohol etílico al 70%

Glutelinas: Solubles en ácidos o bases diluidas

La concentración media de proteína de la cebada es aproximadamente 11.3%; la proporción de proteínas solubles, las cuales son albúminas y globulinas, representan del 34% y 10-20%, respectivamente de la proteína total. El grano

contiene además un promedio de 33.5-45% de prolamina (hordeína) y un 35-45% de glutelina (Harol *et al.*, 1987).

La mayor parte de este cereal se recolecta con la cáscara intacta; ésta constituye un 10% de grano total. Sus proteínas son ricas en lisina principalmente las del germen y las del endospermo son más pobres, pero aún más altas que en otros cereales. El endospermo es generalmente rico en ácido glutámico (35%) y prolina (12%) (Hoseney, 1991).

En lo que respecta al grano del trigo, la porción proteica se localiza en el endospermo, embrión y escutelo en mayor abundancia (Serna, 2001).

El gluten del trigo está constituido por dos grupos de proteínas principalmente, gliadinas (43%), gluteninas (39%) y otras proteínas (4.4%); además de otros componentes como: lípidos (2.8%), azúcares (2.1%), almidón (6.4%) y algo de celulosa y minerales (Feillet *et Dexter*, 1996).

### **2.5.1.1 Papel del gluten en la industria de las pastas**

El gluten de trigo está presente en estructuras en forma de cuña que se encuentran entre los gránulos de almidón. Es el material pétreo o vítreo cuando está seco, pero la adición de una cantidad moderada de agua permite que se produzcan cambios en su naturaleza física y química.

El gluten se transforma en un material gomoso y elástico que adquiere la capacidad de formar cadenas y láminas mediante el establecimiento de puentes intermoleculares (Liu *et al.*, 1986). Estas propiedades son fundamentales para su papel como matriz continua que atrapa y encapsula al almidón en la pasta y mantiene la forma del producto durante su elaboración y cocción. Al calentar el gluten hidratado se forman enlaces cruzados proteína-proteína irreversibles que, cuando se controlan adecuadamente, estabilizan la estructura y la textura comestible de la pasta final (Feillet *et Dexter*, 1996).

Los pasteros prefieren normalmente semolinas con alto contenido proteico (12%) ya que tendrán una cantidad mínima de partículas de semolina almidonosa y esto conducirá a que la hidratación sea más uniforme durante el mezclado y producirá una pasta físicamente fuerte y elástica; la pasta se hidratará adecuadamente durante la cocción y por lo tanto, los valores de sedimentación serán bajos, además de que se mantendrá firme mientras permanece en el agua de cocimiento y después de ser servida (Fabriani *et* Lintas, 1998).

Las semolinas obtenidas a partir de trigo durum pobre en proteína y especialmente aquellas obtenidas a partir de trigos no durum, darán lugar a pastas que presentarán deficiencias en algunas de las características antes mencionadas.

Sin embargo, cuando los niveles de proteína (o contenido de gluten) son muy altos (mayores de 18%), pueden surgir algunas dificultades durante el proceso, a partir de la masa, que se estirará demasiado durante la extrusión (Feillet *et* Laignelet, 1996).

Estos productos deben entonces ser procesados a bajas absorciones de agua y esto podría resultar en pastas con superficie y color pobres (Williams *et al.*, 2000).

Un bajo contenido de proteína (9-10%) ocasiona que la hidratación sea lenta y las absorciones de agua se incrementen o se alarguen los tiempos de mezclado, lo que conduce a dificultades en el secado de las pastas largas y aún cuando se secan satisfactoriamente, los productos serían más frágiles y con características de cocción pobres (Desrosier *et* Norman, 1999).

En la tabla 4 se muestran las propiedades de las proteínas del gluten (Hoseney, 1991).

**Tabla 4. Características de las proteínas del gluten**

<b>Prolaminas (Gliadinas)</b>	<b>Glutelinas (Gluteninas)</b>
Solubles en soluciones alcohólicas (70%)	Solubles en soluciones diluidas de ácidos y álcalis
Peso molecular promedio de 40000	Peso molecular promedio de 100000 a varios millones
Constituidas por cadenas simples	Constituidas por cadenas ramificadas
Extremadamente pegajosas cuando están hidratadas	No coherente
Muy extensibles	Muy elásticas y tenaces
Responsables de la coherencia de la masa	Responsables de la resistencia a la extensión

Fuente: Hosney, 1991

### 2.5.2 Fibra dietética

La fibra dietética es aquella que está constituida por residuos de algunas células de plantas comestibles, polisacáridos, lignina y otras sustancias asociadas, que son resistentes a la digestión (hidrólisis) por las enzimas del tracto digestivo (Badui, 1996).

Los cereales, sobre todo cuando se consumen integrales, a través de su contenido de celulosa y hemicelulosa, contribuyen de forma importante al aporte de fibra dietética. Por otra parte, se incluye en ésta, el almidón resistente, que es la suma de almidón y productos de la degradación del almidón no absorbidos por el intestino delgado de individuos sanos (Callejo, 2002).

La fibra se clasifica en soluble e insoluble. La fracción insoluble está formada básicamente por celulosa y hemicelulosa. Estas entidades se localizan principalmente en las envolturas del grano y en el pericarpio. La celulosa está compuesta por polímeros lineales de glucosa unidos por enlaces  $\beta$ -1,4. la

hemicelulosa es un polímero ramificado de diversos azúcares (xilosa, arabinosa, galactosa, ácido glucónico y glucosa). El peso molecular y la solubilidad en agua son muy variados (Serna, 2001).

La fibra dietética soluble se conforma por  $\beta$ -glucanos y pentosanas que tienen la propiedad de ligar agua, por lo que se les denomina comúnmente gomas. La fibra dietética soluble se localiza en las paredes celulares, se asocia con compuestos fenólicos fluorescentes.

La solubilidad en agua depende del tamaño y el grado de ramificación de la cadena. Entre mayor sea el peso molecular y la ramificación, menor es el grado de solubilidad. La fracción insoluble no se digiere, pero es susceptible a ser desdoblada por la microflora presente en el intestino grueso (López, 2005).

La mayor parte de la fibra está constituida por  $\beta$ -glucanos y pentosanas, en proporciones muy variables (1.6-8.3% y 4.4-8.7%, respectivamente). El contenido medio de  $\beta$ -glucanos en la cebada es superior a trigo, maíz y centeno y similar al de la avena. Al estar localizados en la pared celular del endospermo y de la capa de aleurona, su proporción aumenta en granos desnudos (Guzmán, 2005).

Las variaciones geográficas y la falta de humedad durante la etapa de maduración del grano dan lugar a la concentración de estos componentes fibrosos. Estos compuestos son parcialmente solubles en agua e incrementan la viscosidad del contenido digestivo, lo que se supone un descenso de la ingestión y dificulta la absorción de los demás nutrientes (Dend y et Dobraszczyk, 2003).

### **2.5.3 Lípidos**

Los lípidos son poco representativos en los granos, ya que constituyen hasta un 3% de su composición total. La fracción lipídica se divide en compuestos no polares o libres, como los triglicéridos que son solubles en compuestos no polares como el éter de petróleo y en compuestos polares o ligados, como los

monoglicéridos, diglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos, los cuales son solubles en compuestos polares (Serna, 2001).

Los lípidos de la cebada se concentran en el germen y la capa de la aleurona, son ricos en ácidos grasos insaturados. Aunque el grano entero sólo tiene el 2% de material extractable en éter de petróleo, los embriones aislados contienen el 15% (Serna, 2001).

La composición de ácidos grasos de los lípidos del grano de cebada está constituido por un 25% de ácido palmítico, 8% de ácido oléico, 61% de ácido linoléico y 8% de ácido linolénico (Fennema, 2000).

Los ácidos grasos de los lípidos de cebada, son ligeramente más saturados que los del trigo, por lo que tienden a tener una mayor estabilidad y procesamiento (Fennema, 2000).

### **2.5.4 Carbohidratos y almidones**

Los constituyentes que comprenden los carbohidratos son: almidones, celulosas, azúcares, hemicelulosas y pentanosas (Badui, 1996).

El constituyente más abundante es el almidón, el cual se almacena en células del endospermo. Se diferencia de los demás constituyentes en que en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos del almidón son relativamente densos e insolubles, y no se hidratan bien en agua fría. Estos se clasifican según su tamaño en grandes de 20 hasta 100 $\mu$ m y pequeños de hasta 1  $\mu$ m (Callejo, 2002; Hosenev, 1998). Una propiedad de los gránulos es que la mayor parte de estos están compuestos por una mezcla de polímeros: amilosa y amilopectina con 25% y 75% respectivamente (Fennema, 2000).

La amilosa es un polímero esencialmente lineal de  $\alpha$ -D-glucosa unida por enlaces  $\alpha$ -1,4 (Badui, 1996) aunque se conoce que se presentan algunos puntos de

ramificación en los enlaces  $\alpha$ -1,6 las cuales pueden ser muy largas o muy cortas, pero los puntos de ramificación están separados por largas distancias, de manera que las propiedades físicas de las moléculas de amilosa son esencialmente lineales (Tester *et Karkalas*, 1996).

La amilopectina está formada por  $\alpha$ -D-glucosa, unida por enlaces  $\alpha$ -1,4 y enlaces  $\alpha$ -1,6 en los puntos de ramificación. Algunos almidones están formados exclusivamente por amilopectina y se les conoce como almidones céreos.

El almidón posee una estructura particular que otorga las propiedades específicas de solubilidad, viscosidad, gelificación o adhesión según las condiciones de hidratación y temperatura de los alimentos (Matissek *et al.*, 1998).

La capacidad de formar soluciones viscosas es alcanzada sólo cuando una suspensión de gránulos de almidón es sometida a la acción del calor.

El almidón es un constituyente de las harinas de los cereales que juega un papel muy importante en el procesamiento de los alimentos. Durante la fase de amasado en la harina, el almidón se describe varias veces como un componente inerte contribuyendo de una manera indirecta a la consistencia de la masa debido a las propiedades de absorción de agua y de su superficie (Belitz *et Grosch*, 2000).

El grano contiene un 2-3% de azúcares solubles principalmente sacarosa y rafinosa (Callejo, 2002). La cantidad de celulosa es un componente muy importante en la paja, el forraje y la cáscara llegando a constituir del 40-50% de esas partes en la planta. El contenido de ésta en el endospermo suele ser de 0.3% o inferior. Dentro del pericarpio abunda como un constituyente de las paredes celulares y tiene interés en el aporte de fibra dietética (Hoseney, 1991).

Las hemicelulosas y pentosanas forman las paredes celulares y el material de unión mantienen juntas las células. Los azúcares, frecuentemente citados como

componentes de la hemicelulosa en los cereales incluyen D-xilosa, L- arabinosa, D-galactosa, D-glucosa, ácido D-glucurónico y ácido 4-O-metil-D-glucurónico. Las pentosanas insolubles en agua, se pueden dividir en dos capas o fracciones, según su densidad. La capa inferior, la más densa es almidón puro, encima está una capa gelatinosa la cual ha sido citada con el nombre de amilodextrina y colas de almidón, está constituida por almidón, granos pequeños y dañados, además pentosanas insolubles en agua junto con pequeñas cantidades de proteína y materia inorgánica (Hoseney, 1991).

Los cereales maduros tienen pequeñas cantidades (aprox. 2%) de monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos. La mayoría de estos azúcares solubles se localizan en el germen. La fructosa, glucosa, sacarosa son los principales carbohidratos solubles. La cantidad de azúcares sencillos aumenta considerablemente cuando el grano es sometido a un proceso de malteado o germinado debido a la hidrólisis de almidón que produce, entre otros azúcares, maltosa y glucosa (Serna, 2001).

### **2.5.4.1 Propiedades térmicas del almidón**

#### **Gelatinización del almidón**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero se hinchan cuando se calientan en medio acuoso. Inicialmente el hinchamiento es reversible y las propiedades ópticas del gránulo no se pierden; sin embargo, cuando se alcanza una cierta temperatura, el hinchamiento llega a ser irreversible y la estructura del gránulo se altera significativamente. Este proceso es conocido como gelatinización y la temperatura a la cual ocurre este fenómeno se le conoce como temperatura de gelatinización (Franco *et al.*, 1998).

De acuerdo a lo reportado por Dendy *et Dobraszczyk* (2003), estas temperaturas están basadas en el contenido de almidón, reportando una temperatura para los granos de cebada alrededor de 68°C para los pequeños y 65°C para los grandes. Por otra parte Hoseney (1998), reporta que para la cebada, centeno y trigo las

temperaturas de gelatinización se encuentran alrededor de 53°C, dicho intervalo de temperatura presenta variaciones de acuerdo a la bibliografía ya que la temperatura de gelatinización depende también del contenido acuoso presente en los almidones durante su análisis (Guzmán, 2005).

Cuando el gránulo alcanza esta temperatura éste pierde birrefringencia, la amilosa se difunde hacia fuera del gránulo y la amilopectina queda dentro del mismo, hasta que finalmente el gránulo pierde su estructura. La amilosa fuera del gránulo forma una malla tridimensional y produce un gel. En general, la solubilización de las moléculas de almidón, el hinchamiento e hidratación y la pérdida de la estructura granular son definidos por el término gelatinización (Billiaderis, 1991).

Para una población de gránulos la temperatura de gelatinización varía en un intervalo entre 5 a 10°C; esta variación indica que las fracciones del gránulo muestran diferentes comportamiento de gelatinización (French, 1984).

El hinchamiento de los gránulos de almidón que se presenta durante la gelatinización provoca que la viscosidad del medio incremente. Las estructuras moleculares de los constituyentes del almidón contribuyen al incremento de la viscosidad. Inicialmente, la gelatinización ocurre en las regiones del gránulo más accesibles que son las amorfas. Conforme la temperatura se incrementa los enlaces de hidrógeno intermoleculares que mantienen la integridad estructural de las regiones cristalinas se destruyen (Slade *et* Levine, 1991).

Cuando la cantidad de agua es limitada, no ocurre una gelatinización completa en el intervalo usual de temperatura; sin embargo, conforme la temperatura se incrementa eventualmente las regiones cristalinas se funden (Slade *et* Levine, 1991).

### **2.5.4.2 Microestructura de las partículas de almidón**

La descripción de la microestructura de granos, harinas, masas y productos relacionados con los cereales siempre ha sido de gran interés. Una gran variedad de microscopios y técnicas de imágenes han sido usadas para estudiar y documentar la microestructura de los granos de cereales y los cambios durante su procesamiento (Banasik *et al.*, 1976; McDonough *et Rooney*, 1999).

Estudios indican que los almidones de diferentes cereales varían en tamaño y forma (Hoseney, 1991). El trigo, la *æbada*, el centeno, tienen granos de dos tamaños, los grandes lenticulares; y los pequeños son gránulos esféricos. Se ha observado que las proteínas forman una matriz que envuelve a los almidones, así como también la formación de aglomerados proteicos irregulares que se encuentran intercalados en los gránulos de almidón, en algunas ocasiones se pueden observar estructuras filamentosas características de las estructuras fibrosas (Hoseney, 1991).

Existen diferentes tipos de microscopía que pueden ayudar a la caracterización de las estructuras de los cereales; microscopía electrónica de transmisión (MET), microscopía electrónica de barrido (MEB) y microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA). La MEB ha sido una herramienta usada para la investigación de la microestructura de granos de cereales, harina y diversos productos como *sémola* (Fannon *et al.*, 1993; Gallant *et al.*, 1997). La MEB se ha utilizado para evaluar los cambios estructurales durante el procesamiento del trigo, y más particularmente para estimar las diferencias estructurales entre la *sémola* y la masa (Belitz *et Grosch*, 2000; Dexter *et al.*, 1978; Cunin *et al.*, 1997).

La necesaria ausencia de volátiles para preservar el vacío en el MEB obliga a las muestras hidratadas a ser secadas para posteriormente ser recubiertas en oro para ser observadas al microscopio. Durante la visualización de la microestructura de los productos de los cereales de los cereales con el empleo de esta técnica dicha estructura puede ser modificada. Diversos eventos químicos y fisicoquímicos

pueden ocurrir durante la preparación de la muestra y esto puede alterar la estructura y transformar a las imágenes (Crozet, 1977, Tester *et Morrison*, 1990). La observación de los procesos dinámicos tales como la hidratación o deshidratación no puede ser llevada a cabo usando MEB.

### **2.5.4.3 Propiedades de hidratación del almidón**

El agua es el principal componente de muchos alimentos, teniendo cada alimento su propio y característico contenido de este componente. El agua en la cantidad, localización y orientación apropiadas influyen profundamente en la estructura, aspecto y sabor de los alimentos y en su susceptibilidad a la alteración (Tscheuschner, 2001).

La eliminación del agua, tanto por deshidratación convencional como por separación local donde se da la congelación, formando cristales de hielo, propicia que se alteren las propiedades de los alimentos (Fennema 2000).

El agua en el alimento se encuentra de diferentes formas, una de ellas es formando parte de la estructura del alimento conocida comúnmente como agua ligada, posteriormente tenemos el agua que está disponible para las reacciones bioquímicas, conocidas como agua libre (Fellows, 1994).

Los términos “agua ligada” e “hidratación” se usan para referirse a la tendencia general del agua a asociarse con las sustancias hidrófilas, el grado y tenacidad de la unión del agua. Lo que depende de diferentes factores entre los que se incluye la naturaleza del constituyente no acuoso, composición salina, pH y temperatura. La capacidad de retención de agua es un término que se emplea frecuentemente para describir la eficacia de una matriz de moléculas, normalmente macromoléculas presentes a bajas concentraciones, para atrapar grandes cantidades de agua (Belitz *et Grosch*, 2000).

El agua físicamente atrapada no fluye en los alimentos aunque se corten o reduzcan en el 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).

La mayoría del agua presente en los tejidos y geles está físicamente atrapada y la modificación de la eficacia de la capacidad de retención de agua de los alimentos tiene un profundo efecto sobre la calidad. Algunos ejemplos de la calidad que surgen de la reducción de la capacidad de retención de agua son la sinéresis de los geles, el exudado de la descongelación, entre otros (Tester *et Karkalas*, 1996).

El agua ligada es el contenido de agua en equilibrio de una muestra a una temperatura dada. Este tipo tiene movilidad restringida en comparación con el la masiva. No suele congelarse a temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  o inferiores (Fennema, 2000). Cuando se enfría un alimento o se reduce su contenido de humedad de forma que todo o parte es convertido al estado cristalino, la movilidad molecular se reduce enormemente y las propiedades limitadas por difusión se estabilizan (Badui, 1996).

Las propiedades de hidratación de las harinas de los cereales se pueden valorar estudiando la capacidad para absorber o guardar una cierta cantidad de agua (Román *et al.*, 2002).

En la industria de los alimentos existen dos formas de hidratar a los alimentos; por adición de agua en forma líquida y en forma de vapor de agua, las cuales son:

### a) hidratación en forma líquida

Se fundamenta principalmente en la evolución de la consistencia de la masa según la concentración de agua: la evolución de la consistencia de la masa en función del contenido de agua, la medición de la cantidad de agua retenida por la

harina después de su inmersión en un exceso de agua, la difusión aparente de agua en un sistema capilar (Román *et al.*, 2002).

La “capacidad de absorción de agua” de las harinas, se entiende como la cantidad de agua necesaria para producir una masa viscoelástica de una consistencia deseada, la cual es determinada con la ayuda de métodos reológicos (Franco *et al.*, 1998).

El desarrollo de la masa es seguido por el registro de la fuerza ejercida sobre la mezcla durante el proceso de mezclado. El incremento inicial de la medición puede ser asociado a las evoluciones sucesivas del sistema (la mezcla de harina y el agua, la hidratación de las partículas, la formación de interacciones entre los constituyentes de la harina y el incremento de la cohesión de las partículas) esto da lugar a la obtención de la masa. Es durante esta etapa que se obtiene un valor máximo en la medición que corresponde al desarrollo “máximo” de la masa. La capacidad de absorción de agua (la cual se reporta en g de agua/ 100 g de harina) se define como la cantidad de agua necesaria para conseguir un valor máximo de la medición (Guzmán, 2005).

Después del óptimo, si se continua amasando se observa una ligera reducción de la medición esto es asociado a la degradación de la masa por efecto de cizallamiento, generalmente se dice que esta sobreamasado. La obtención de masas con una misma consistencia requiere la incorporación de cantidades diferentes de agua según las características de las harinas (notablemente de la calidad y la cantidad de proteínas, el porcentaje de almidón dañado, etc.) de los procesos y la adición de ingredientes (Tester *et Morrison*, 1990).

Las propiedades de hidratación de las harinas de los cereales pueden ser valoradas por el parámetro de capacidad de retención de agua que corresponde a la cantidad de agua “retenida” por la harina después de la inmersión en un exceso de agua (durante un tiempo determinado) y centrifugación (para eliminar el exceso

de agua. La capacidad de retención de agua generalmente se expresa en g de agua fijada por 100 g de harina (o por 100 g de materia seca) (Guzmán, 2005).

### b) hidratación de las partículas de harina

En el momento de la hidratación, el entorno de las partículas de harina se vuelve fuertemente hidrófilo. La estructura de las proteínas se modifica para adaptarse a un nuevo entorno rico en agua. El agua favorece el encubrimiento de las zonas hidrófobas y hace accesibles las agrupaciones hidrofílicas e iónicas de los constituyentes de la harina. Las proteínas sufren cambios de estructura: las regiones hidrófobas se van al interior de la molécula. El agua contribuye a la ruptura de los enlaces iónicos y a la formación de nuevos enlaces puente de hidrógeno, las moléculas más pequeñas se solubilizan (por ejemplo: sales, azúcares y algunas proteínas).

En cuanto el agua entra en contacto con la harina, se observa que las partículas hidratadas liberan filamentos de proteína capaces de interactuar para la formación de filamentos extremadamente delgados de gliadinas. Esta agregación es considerada como la primera fase de la formación de la masa (Belitz *et Grosch*, 2000).

## **2.6 Acondicionado, descascarillado y molienda de los cereales.**

El objetivo de la molienda es obtener los máximos rendimientos de harina cuando se procesan trigos panaderos y suaves o semolina cuando se procesan trigos durum (Pomeranz, 1987).

Los subproductos de esta industria son el salvado y el salvadillo. El proceso convencional empieza cuando el trigo se somete a operación de limpieza la cual consiste en:

- Eliminar granos negros y picados y limitar las picaduras al mínimo

- Eliminar todas las piedras para evitar la presencia de residuos minerales en las sémolas
- Eliminar granos tóxicos y nocivos
- Eliminar insectos y fragmentos de insectos
- Reducir el número de contaminantes microbianos
- Eliminar cualquier producto ajeno a los granos (Callejo, 2002).

El grano limpio se acondiciona antes de pasar a la molienda, el acondicionado es la simple adición de agua al grano con el fin de:

- a) poder separar más efectivamente el pericarpio del endospermo
- b) suavizar el endospermo, para lograr una mejor y más efectiva reducción de tamaño
- c) lograr un mejor comportamiento en las fracciones durante el tamizado (Mackay *et* Stimson, 1993).

Los requerimientos de acondicionado dependen del tipo de trigo por procesar y las especificaciones de los productos terminados. Los trigos duros se adicionan a una mayor humedad y requieren mayor tiempo de reposo que los trigos suaves para que absorban el agua en la parte exterior. Generalmente, los trigos cristalinos o para pastas requieren una alta humedad de acondicionado (17-17.5%) y tiempos variables de reposo (12-24h) (Serna, 2001).

Posteriormente se procede a descascarillar el grano, este proceso consiste en la eliminación de las glumas con el fin de reducir la mayor parte de cascarilla, lo que puede ocasionar problemas en los rendimientos de harina y sémola (Sanders, 1999).

### **2.7 Industria de las pastas**

Según el Código Alimentario (Reglamentación Técnico Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimenticias) se designaran con el

nombre de pastas alimenticias los productos obtenidos por desecación de una masa no fermentada elaborada con sémolas o harinas procedentes de trigo duro, trigo semiduro o trigo blando o sus mezclas con agua potable.

La pasta es un alimento nutritivo que contiene carbohidratos complejos y es baja en grasa. Es un alimento de bajo costo, fácil de preparar, versátil que puede ser consumido por todos los sectores de la población (Kruger, *et al* 1996).

### **2.7.1 Origen**

La pasta es un alimento que normalmente se asocia con Italia. Los italianos hoy en día consumen más pasta por persona que cualquier otra nación (aproximadamente 30-35 kg. por persona y año). Sin embargo, ellos no inventaron la pasta. Existen registros que señalan que los tallarines se elaboraban en China desde al menos 3000 a.C. En los mitos de la antigua Grecia se asegura que el dios griego Vulcano inventó un ingenio para preparar tiras o hilos de pasta que serían similares a los espaguetis (Rodríguez, 2003).

Actualmente es uno de los alimentos más típicos y apreciados en las dietas de todo el mundo (Milatovic *et* Modellini, 1991).

### **2.7.2 Clasificación**

Las pastas alimenticias se pueden clasificar con base en su composición (Feillet, 1998) y su forma (Escamilla, 2001; Salazar, 2000).

a) Por su composición.

TIPO I Pasta amarilla o blanca de harina de trigo y semolina para sopa

Es aquella elaborada por la desecación de las figuras obtenidas del amasado de semolina o harina de trigo, agua potable, ingredientes opcionales y aditivos permitidos.

TIPO II Pasta de harina de trigo y semolina con huevo e ingredientes adicionales para sopa

## II. ANTECEDENTES

Es la que cumple con lo señalado para el tipo I y en su composición, debe tener como mínimo 4.2% de sólidos de huevo entero o yema de huevo, o bien, 16.8% de huevo entero líquido o yema de huevo líquida y los aditivos permitidos, exceptuando los colorantes artificiales y naturales.

TIPO III Pasta de harina de trigo y semolina con vegetales (indicando cuales) para sopa

Cumple con lo señalado para el tipo I y contiene vegetales tales como: zanahoria, tomate, espinacas o betabel; en una cantidad no menor de 3% de vegetal deshidratado en el producto terminado, ingredientes opcionales y aditivos permitidos, exceptuando colorantes artificiales.

**Tabla 5. Clasificación de las pastas de acuerdo a la forma que presentan.**

<b>LARGAS</b>	HUECAS	Macarrón
	COMPACTAS	Fideo
		Espagueti
		Tallarín
	Lasaña	
<b>CORTAS</b>	HUECAS	Codo
		Plumilla
		Concha
	COMPACTAS	Estrella
		Munición
		Semilla de melón
		Alfabeto, etc.
<b>FANTASÍA</b>	Hongo, almeja, corbata	

Fuente: Salazar, 2000

b) Por su forma.

Las pastas se pueden clasificar de acuerdo a su forma como se indica en la tabla 5.

## **2.8 Materia prima para la elaboración de la pasta**

La calidad de la pasta está determinada esencialmente por tres factores: las materias primas, la fórmula del producto y el proceso de elaboración (Feillet *et Laignelet*, 1996).

### **2.8.1 Ingredientes**

En la elaboración de una pasta es muy importante la materia prima. Se debe tener en cuenta la cantidad, calidad y composición de los ingredientes utilizados en el procedimiento. También es de suma importancia, seguir adecuadamente cada uno de los pasos para la fabricación, ya que estos dos factores influyen de manera relevante en la calidad del producto final (Dexter *et al.*, 1990).

#### **2.8.1.1 Sémola**

Las pastas son elaboradas preferentemente, a partir de sémola producida durante la molienda de trigos cristalinos, debido a que presentan características culinarias de mejor calidad (Witting *et al.*, 2002).

Durante la molienda de trigos cristalinos, también se produce harina, pero en general, tiene un valor inferior al de la sémola, considerándose incluso como subproducto. La harina de trigo puede utilizarse para producir pastas, sin embargo, éstas presentarán características de calidad culinaria inferiores respecto a las características que presentan las pastas producidas a partir de sémola, como por ejemplo, menor resistencia al exceso de cocción (Kent, 1987).

En algunas ocasiones se ha utilizado harina de trigo duro común ya sea mezclada en cierta proporción con sémola o sustituyéndola completamente en la producción de pasta. Sin embargo, para que el producto pueda presentarse al consumidor como “hecho de sémola”, debe contener no menos del 50% de ésta. La harina de trigo común, produce pastas que carecen del color amarillo característico y, sus

características culinarias son de calidad inferior a las pastas hechas de sémola (Sanders, 1999).

A pesar de que es posible utilizar harina de trigo cristalino para la elaboración de pastas alimenticias, ya sea en combinación o sustituyendo a la sémola, su uso no puede ser indiscriminado y, ante todo, debe tenerse plena conciencia de que las características de calidad de las pastas elaboradas resultarán afectadas. Finalmente, uno de los factores determinantes para obtener un producto de excelente calidad, es utilizar sémola de trigos cristalinos (Fabriani *et* Lintas, 1998).

Las principales materias primas, sémola y partículas intermedias o medianas de trigo duro o blando, respectivamente, deben tener una distribución de tamaño de partícula consistente, una elevada calidad y cantidad proteica. El pigmento debe ser estable, con poca tendencia a la decoloración hacia el amarillo-pardo.

Las sémolas finas y la harina absorben el agua rápidamente y son fáciles de procesar, obteniendo una masa homogénea. Si se mezclan sémolas groseras y finas, las partículas pequeñas absorben el agua mucho más rápidamente que las groseras. Esto impediría obtener una mezcla homogénea. El resultado sería la obtención de manchas blancas en el producto final. Para eliminarlas la acción del amasado tendría que ser más intensa, generando más calor lo cual afectaría la calidad culinaria del producto final (Orea, 1999).

### **Parámetros básicos de la sémola**

#### Cenizas

El contenido de cenizas depende de la eficiencia del proceso de molienda, del porcentaje de extracción y del tipo de trigo o cebada y está relacionado con el rendimiento, color y aspecto de la semolina (Feillet, 1998).

Un contenido de cenizas alto se asocia normalmente con una larga extracción o una molienda ineficiente, lo cual puede provocar que la semolina tenga un color

opaco. Esto se debe a que el salvado tiene aproximadamente 20 veces más cantidad de cenizas que el endospermo y al encontrarse en mayor proporción en la semolina, aumenta su contenido de cenizas. Por otro lado, un bajo contenido de cenizas también podría indicar una molienda ineficiente, específicamente bajos porcentajes de extracción. Una semolina de trigo durum de cerca de 65% de extracción (base húmeda) tendrá normalmente un contenido de cenizas de 0.55 a 0.75% (con base en 14% de humedad) dependiendo tanto del tipo de trigo como de la eficiencia de la molienda (Fabriani *et Lintas*, 1998).

Una molienda perfecta debería separar el endospermo en forma de sémola sin ninguna contaminación procedente del salvado o del germen. Esto no es posible ya que el nivel de dicha contaminación en la sémola se mide determinando su contenido de cenizas. El contenido de cenizas del endospermo que procede del centro del grano puede ser tan bajo como el 0.6%, mientras que el de la harina de trigo duro derivada de la zona del grano adyacente a la capa de aleurona del salvado puede llegar al 1.5%. Por tanto, se deduce que cuanto más baja sea la cifra del contenido de cenizas más pura será la sémola y, para un determinado rendimiento, cuanto más bajo sea el valor correspondiente al contenido de cenizas más eficiente será la molienda (Greenwell *et al.*, 1992).

### Tamaño de partícula

La granulometría de la semolina difiere de país a país. Los productores de pasta prefieren una semolina de tamaño de partícula de 550  $\mu\text{m}$ , de 450 a 130  $\mu\text{m}$  o hasta 350 a 130  $\mu\text{m}$ , pero generalmente las partículas de semolina quedan dentro del rango de 488 a 142  $\mu\text{m}$  (Kill *et Turnbull*, 2004). El tamaño va de grueso a fino.

La semolina debe ser lo más uniforme posible en granulometría, de tal manera que se pueda desarrollar la masa adecuadamente durante la producción de pastas (Sanders, 1999).

Cuanto más homogéneo sea el tamaño de las partículas más uniforme será la hidratación de la sémola en la mezcladora de la pasta. Sin embargo no hay un tamaño de partícula ideal (siempre y cuando se cumpla con los rangos mencionados), dado que este parámetro está estrechamente relacionado con el método de mezcla empleado por el fabricante de pasta (Kruger *et al.*, 1996).

Mediante la determinación de la distribución del tamaño de partícula podemos determinar el porcentaje de finos o harina de trigo cristalino (que es lo que se retiene en el plato), el cual es uno de los principales parámetros que un productor de pasta evalúa, pues afecta negativamente la calidad de las pastas.

Tradicionalmente se requieren partículas de menor tamaño que se hidratan más rápidamente (Kruger *et al.*, 1996).

### Recuento de manchas

El número de pecas es la cantidad de partículas oscuras (principalmente de salvado) presentes en la semolina y se evalúa por inspección visual.

Los tipos de manchas (pecas) que se encuentran en la sémola se pueden dividir en dos tipos. Las manchas negras y dominantes son consecuencia de una limpieza inadecuada del trigo. Tienden a ser pocas en número y son visibles claramente en la sémola y la pasta resultante. Las manchas marrones son pequeñas y menos visibles. Su efecto, cuando son numerosas, es un color global más apagado tanto en la pasta seca como en la cocida. Fundamentalmente son consecuencia de un funcionamiento del molino y diseño de flujo deficientes (Dalbon, 1996).

Los granos dañados (a etapas iniciales) por hongos tienen un tamaño y densidad similares a las de un grano sano por lo que se dificulta su separación durante la limpieza del grano. Estos granos, al molerse con el grano sano, producen partículas negras que aparecen como pecas en la semolina y por consecuencia en

la pasta, lo que afecta su apariencia. Esta es otra razón por la cual es importante evaluar la calidad física del grano.

Finalmente es importante mencionar la relación que hay entre el contenido de cenizas y el número de pecas, ya que es debido a que la mayor parte de las sustancias inorgánicas del trigo se encuentran en el salvado, cuanto mayor sea el número de partículas de salvado presentes en una semolina, mayor será su contenido de cenizas. En una semolina gruesa, las partículas de salvado (pecas) son claramente visibles y su determinación es muy fácil de realizarse (Dalbon, 1996).

### Color

El endospermo del trigo duro tiene mayor nivel de pigmentación. El tamaño de las partículas también aporta un mayor color amarillo.

El color deseable es un tono amarillo claro brillante impartido por los pigmentos carotenoides, el cual está relacionado con la eficiencia de la molienda, el porcentaje de extracción y la apariencia del producto final.

Los pigmentos carotenoides son los responsables del color amarillo ambarino. Están localizados principalmente en el embrión. Durante la fabricación de las pastas alimenticias se destruye una cantidad variable de carotenoides, según las variedades del trigo (Feillet, 1974).

A menudo se asume que una sémola de color brillante produce una pasta de color también brillante. Pero no siempre ocurre así, sobre todo porque el color que se percibe en la sémola está relacionado con la forma de las partículas de la sémola y con el modo en que la luz se refleja en ellos, así como el color propio del endospermo del trigo. Por eso es posible que dos sémolas con distinto tamaño de partículas que parecen tener distinto color como materia prima, tengan un color muy parecido cuando se transforman en pasta (Dexter *et al.*, 1990).

La prueba de color que suele utilizarse comúnmente, es la visualización mediante la hidratación de la harina, ya que esto acentúa el color, sin embargo, dos factores podrían afectar estas determinaciones subjetiva como son: el tamaño de partícula y la cantidad de pigmentos cafés presentes (Torres, 2003).

En una semolina fina, el color parece ser más claro, pero esto debido al efecto del incremento de la luz reflejada desde la superficie de las partículas. La presencia de pigmentos cafés en la semolina afecta su apariencia amarilla y hace parecer que el color amarillo es mayor en la semolina, pero estos pigmentos cafés tanto en la pasta seca y aún más en la pasta cocida imparten matices opacos indeseables. La apariencia café en semolina parece ser causada por ciertos tipos de daños en el grano como: granos inmaduros, dañados por heladas, daño microbiano.

También se puede evaluar el color de la semolina por medio del análisis infrarrojo que presenta la ventaja de ser rápido, no destruye la muestra y es confiable (Dexter *et al.*, 1987).

### Humedad

El contenido final de humedad de la sémola es consecuencia de tres factores distintos:

- a) La necesidad de lograr el máximo beneficio en el molino mediante la incorporación de la mayor cantidad de agua posible.
- b) El contenido ideal de humedad para el óptimo funcionamiento del molino y el manejo del producto.
- c) Es el decisivo requisito de seguridad de no sobrepasar un contenido de humedad que permita el crecimiento de mohos u otros problemas microbiológicos (Sarwar *et* McDonald, 1993).

Es importante determinar el contenido de humedad de la sémola pues de ésta depende la absorción de agua durante el proceso de producción de las pastas.

Además tiene influencia sobre el almacenamiento y la vida de anaquel de la sémola (Escamilla, 2001).

La Norma del CODEX STAN 178-1995 y Serna (2001) recomiendan una humedad entre 11-13%. Si es menor, se puede observar una mala absorción de agua durante la elaboración de la pasta. Si es mayor, puede haber problemas durante el almacenamiento.

### **2.8.1.2 Agua**

El agua empleada para la producción de pasta debe ser potable, inodora, incolora e insípida.

La utilización de agua dura en la elaboración de pastas imparte al producto terminado, coloración oscura, fragilidad y sabor desagradable.

Durante la preparación de la masa se añade agua aproximadamente en una proporción de 18-25% con respecto a las materias primas secas, para conseguir que una masa recién formada contenga una media de 30-32% de humedad, el producto terminado tiene un contenido final de agua de 12.5% con respecto a la masa del producto (Escamilla, 2001).

### **2.8.1.3 Ingredientes adicionales**

Los ingredientes que comúnmente se adicionan con el fin de enriquecer las propiedades nutritivas o sensoriales del producto son: albúmina de huevo en polvo, huevo entero o clara de huevo (líquido o en polvo), harina de soya, sal yodatada, ajo, perejil, apio, tomate, cebolla, espinacas, vitaminas, saborizantes, colorantes naturales o artificiales (Mackay *et* Stimson, 1993).

#### Huevo

La adición del huevo a la pasta contribuye a un cambio de color haciendo que la pasta sea más amarilla. La textura de la pasta al “huevo” es más fuerte que la

pasta normal y la sensación que de ella se percibe en la boca es diferente. También hay un cambio más significativo en el valor nutritivo del producto, los valores de proteína, carbohidratos, grasa y fibra incrementan. El producto terminado tiene una calidad superior y se vende a mayor precio que la pasta normal (Kill *et* Turnbull, 2004).

El huevo se puede añadir tanto en forma líquida como deshidratado. El huevo líquido es la opción preferida en cuanto a calidad del producto final. Sin embargo, debe haber las medidas necesarias para el control de microorganismos.

La materia prima debe estar pasteurizada y debe haber extrema higiene en los sistemas de dosificación de ésta (Rodríguez, 2003).

Con el huevo deshidratado hay muchos menos problemas y por esta razón se utiliza con más frecuencia. Esta materia prima tiene una vida útil de almacenamiento mucho más prolongada y hay menos riesgos asociados con ella.

La cantidad de huevo añadido tradicionalmente es la adecuada para que el producto final tenga cuatro huevos por kilogramo de pasta. Cuando se trata de huevo líquido generalmente se añaden 160 g/kg de producto (Milatovic *et* Modelli, 1991).

Este ingrediente es ampliamente usado ya que proporciona un color amarillo brillante a las pastas, ayuda a la integración de la semolina y el agua, además eleva el contenido y la calidad de las proteínas del producto final (Milatovic *et* Modelli, 1991).

### Otros ingredientes

La sal ayuda a inhibir el desarrollo de microorganismos y a reafirmar el sabor de la pasta.

El valor culinario del aceite de oliva muy superior al resto de los aceites. Es un zumo de fruta que puede consumirse directamente, lo que no puede hacerse con ningún otro tipo de aceite vegetal. Su extraordinario olor y sabor, le hace especialmente útil para el aderezo y aliño de numerosos platos y ensaladas (Mackay *et Stimson*, 1993).

Todas las grasas son dañadas en su proceso de calentamiento; sin embargo, el aceite de oliva virgen sufre menor alteración.

El aceite de oliva virgen, al tener una temperatura de ebullición mayor que los aceites de semillas, permite que el alimento que se sumerge en él al estar a diferente temperatura reaccione formando una capa crujiente alrededor del mismo, que impide que absorba más aceite, y permite retener todos los jugos del alimento. Además el consumo de aceite es menor que si empleamos otros aceites (Sangronis *et al.*, 2004).

En la elaboración de pastas se utiliza el aceite de oliva para evitar que se peguen unas con otras y de este modo adquiere una consistencia “al dente” o sea que este cocida por fuera, pero algo dura por dentro, además que no absorba grasa que sería lo que pasaría con otro tipo de aceite (Sangronis *et al.*, 2004). También le confiere las siguientes propiedades: ofrece aroma y sabor, modifica las texturas, integra distintos alimentos y aporta vitaminas A, E y C.

Naturalmente la adición de estos componentes depende del costo, características del producto final, así como de las políticas de calidad de cada productor.

Algunos de estos componentes provocarán cambios significativos en las características sensoriales del producto final, las cuales pueden ser agradables o desagradables al gusto del consumidor (Calvo *et al.*, 2001).

## **2.9 Proceso de elaboración de la pasta**

Se puede elaborar por diversos procesos dependiendo de varios factores como el tipo, el costo, la calidad, la forma, la preparación, ingredientes utilizados y la demanda del producto (Donnelly, 1997).

### **Elección y preparación de la materia prima**

La elección y preparación de las materias primas supone:

a) Un examen de su calidad

b) Una medida de la temperatura de los ingredientes (sémola, agua). La temperatura de la masa al finalizar el amasado deberá determinarse previamente y estará estrictamente controlado (Callejo, 2002).

Habrá que determinar la cantidad de cada uno de los ingredientes, respetando la formulación y cantidad elegida.

### **1.- Mezclado y Amasado**

El proceso de producción de la pasta inicia a partir de que la semolina se mezcla con el agua.

El proceso inicia con la mezcla de semolina con los ingredientes adicionales y con una cantidad de agua establecida con base en el porcentaje de humedad inicial de la semolina.

Como podemos observar, seguir adecuadamente cada uno de los pasos para elaboración de pastas es muy importante ya que tanto éste como la materia prima, influyen de manera relevante sobre la calidad del producto final (Escamilla, 2001).

El amasado asegura la mezcla de los componentes, para formar una pasta llamada masa, hasta que tengan las mejores propiedades reológicas. La

intensidad, la duración de la operación, así como el tipo de amasadora, determinará en parte la calidad de la masa. Con ello se entremezclan e interaccionan la sémola, el agua, el huevo, el aceite de oliva y la sal, desencadenándose microprocesos de naturaleza física, química, bioquímica, microbiológica y químico-coloidal, necesarios para el proceso de formación de masa (Quaglia, 1991).

Durante el amasado la sémola absorbe agua (la cantidad de agua absorbida depende de la granulometría, y contenido de proteínas, la humedad inicial de la sémola, la humedad relativa del ambiente y la consistencia de la masa). Las proteínas (gliadina, glutenina) se combinan entre sí, desarrollándose la red de gluten y el almidón absorbe agua, hinchándose (Hoseney, 1985).

El amasado tiene como objeto la formación del gluten y depende del manejo de las siguientes variables:

**Temperatura del agua de amasado:** afecta directamente el tiempo de amasado. A mayor temperatura, la hidratación de las partículas se favorece con un menor tiempo de formación de gluten. La temperatura del agua no debe ser mayor de 45°C de lo contrario se podría favorecer una reacción de gelatinización que tendría como resultado la fabricación de una pasta de mala calidad.

**Velocidad y tiempo de amasado:** Durante este tiempo, el amasado deberá alcanzar la formación completa del gluten con un 30% de humedad y sin alcanzar reacciones de gelatinización. Si el tiempo se sobrepasa, se originará un excesivo desarrollo del gluten que ocasionará un mezclado chicloso de difícil manejo, llegando inclusive al rompimiento del mismo. Igualmente afecta un mezclado débil, es decir, cuando el tiempo óptimo de formación del gluten no llegó a su fin, produciendo un amasado sin un buen desarrollo del gluten provocando una pasta débil que sufrirá alteraciones durante el proceso de secado (Anderson *et al.*, 1969).

Vacío: En las pastas a nivel casero se lleva a cabo manualmente al momento del amasado, procurando que la masa sea homogénea y sin formación de burbujas.

Tiene la función de evitar los siguientes problemas de calidad en el producto:

- Evita la formación de burbujas de aire en la masa, limitando así la oxidación de los pigmentos.
- La presencia de burbujas de aire en la pasta da al producto una apariencia yesosa y opaca y, afecta las propiedades mecánicas, pues las burbujas de aire constituyen un punto de debilidad en el producto desecado (Dalbon, 1996).

### **2.-Reposo**

El reposo corresponde a un periodo de descanso después de la formación de la masa y asegura una recuperación de la flexibilidad necesaria para un buen manejo de la masa. El reposo se efectúa a bajas temperaturas (Callejo, 2002).

### **3.- Laminado y moldeado**

El principal objetivo de esta operación es dar forma concreta y definitiva a la pasta. Se desarrolla en dos etapas:

a) Laminado: Para producir una estructura uniforme, la masa se lamina haciendo pasar la bola entre dos rodillos lisos que, girando en sentido opuesto, aplastan la masa en forma de lámina. Solo los grandes alvéolos son eliminados en esta fase. Para evitarse el desgarramiento de la pieza los rodillos tienen 7 diferentes niveles de abertura que deben abrirse o cerrarse, dependiendo del tamaño o volumen de la pieza.

b) Moldeado: Consiste en cortar la lámina en fragmentos de 30cm. y se procede a pasar cada uno por los rodillos acanalados(o moldes) para la formación del espagueti u otro tipo de pasta según el molde que se utilice (Callejo, 2002).

El moldeado sirve para dar forma a la pieza de pasta, así como para mejorar la estructura de la masa de trigo, en la cual la estructura espacial del gluten es orientada y tensada en un determinado sentido, reduciéndose el tamaño de las grandes burbujas de gas obtenidas en la masa y formándose muchas otras pequeñas (Quaglia, 1991).

Existe una gran variedad de pastas, de diferentes formas y tamaños, y para su elaboración se cuenta con un gran número de moldes.

Los moldes o boquillas, se fabrican de diferentes materiales como son: bronce o acero inoxidable, con o sin cubierta de teflón. Los de bronce, tienen la desventaja de que se desgastan rápidamente. Además, el producto es abrasivo y desgasta el molde obteniéndose así productos deformados.

Finalmente, los moldes deben ser limpiados perfectamente o congelados cuando no se encuentran en uso, ya que las bacterias, al usar la masa como sustrato, podrían producir ácidos que dañarían el molde. Los moldes de bronce cubiertos de teflón, ofrecen la ventaja de extender la vida del mismo y mejoran la calidad del producto en lo que respecta a la uniformidad superficial del producto y a su apariencia. Los moldes de acero inoxidable, producen pastas más lisas y de color amarillo, además de que son fáciles de limpiar y conservar (Escamilla, 2001).

#### **4.- Secado**

El secado del producto progresa de la superficie hasta el centro. Durante esta operación la superficie no debería secarse con demasiada rapidez con relación al interior de la pasta, ya que se generarían tensiones que podrían dar lugar a grietas en el producto terminado (Kill *et* Turnbull, 2004).

Es importante secar la pasta muy cuidadosamente, pues si se secura demasiado rápido podría cuartearse, agrietarse o quebrarse y, si se secura demasiado lento

podría conducir al desarrollo de hongos, agrietamiento o decoloración (Guler *et al* Koksel, 2005).

El cuarteamiento o agrietamiento de la pasta, le confiere opacidad y disminuye su resistencia. Las cuarteaduras son ocasionadas por la contracción diferencial al eliminar deficientemente el agua del producto (Weipert, 1990).

Existen diferentes alternativas de secado, cada una de las cuales, presenta diferentes condiciones dependiendo del tipo de pasta que se debe secar como se muestra a continuación:

**Tabla 6. Temperaturas y tiempos de secado para pastas**

PROCESOS	PASTAS CORTAS		PASTAS LARGAS	
	Tiempo (h)	Temperatura(°C)	Tiempo (h)	Temperatura(°C)
CTD <sup>1</sup>	8	55	16	55
HTD <sup>2</sup>	4.5	55-75	10	55-75
VHTD <sup>3</sup>	2.5	74-100	5.5	74-100

Fuente: Lorenz, 1991

<sup>1</sup>CTD: Convencional Temperature Drying (Temperatura Convencional de Secado)

<sup>2</sup>HTD: High Temperature Drying (Temperatura Alta de Secado)

<sup>3</sup>VHTD: Very High Temperature Drying (Muy Alta temperatura de Secado)

El secado consiste en diferentes etapas: Presecado inicial, presecado y secado final (Bergman *et al.*, 1996).

Presecado inicial: se lleva a cabo después de la operación de moldeado y consiste en desecar rápidamente la superficie de la pasta, lo que causa un endurecimiento superficial, evitándose la pérdida de forma. Además, le confiere cierta resistencia y disminuye el peligro de contaminación microbiana. Generalmente, elimina un 40% de la humedad total de la pieza.

Posteriormente, se procede a un periodo (2-4 horas, aproximadamente) que consiste en mantener al producto bajo una atmósfera húmeda (90% de humedad

relativa), para permitir que la humedad de la pieza se uniformice (Guller *et* Koksel, 2005).

Presecado: es la parte más importante, sus fines son:

- Remover grandes cantidades de agua en un tiempo relativamente corto, para evitar la fermentación, lo cual daña al producto
- Hacer la pasta elástica y prácticamente a prueba de deformación durante las etapas posteriores
- Calentar la pasta a una temperatura alta para secarla más fácilmente y también protegerla del peligro de enmohecimiento
- Incrementar la velocidad del proceso de secado (Guller *et* Koksel, 2005).

Secado final: tiene tres propósitos:

- a) Llevar el contenido de humedad final del producto a un porcentaje aproximado de 12-12.5%
- b) Balancear los contenidos residuales de agua de las partes internas y externas de las formas de pasta sin agrietar o producir cualquier tipo de rayas en la pasta
- c) Evitar la fabricación de pasta ácida o mohosa.

Las condiciones propuestas en la tabla 6, son sugerencias y puede haber variaciones en las mismas, dependiendo del equipo con el que se cuente y, principalmente, de que condiciones resultan ser las más apropiadas para obtener un producto de buena calidad (Guller *et* Koksel, 2005).

La resistencia de la pasta dependerá de la cantidad y calidad de la proteína y del estado del almidón (gelatinizado o sin gelatinizar, cristalino o gomoso, etc.). El tiempo transcurrido antes de la aparición de grietas dependerá del tiempo necesario para alcanzar el equilibrio con la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa (que controlará el grado de pérdida de más humedad) (Lorenz, 1991).

El control de la temperatura durante el sacado también es útil para modificar otras de las propiedades clave de la pasta:

- a) la textura tras la hidratación y el cocinado
- b) el color

En un secadero con temperatura elevada, la coagulación de la proteína por el calor creará una red proteica permanente alrededor de los gránulos de almidón con una fuerza e integridad realzadas. Esto evitará que los gránulos de almidón pasen al agua de cocción y mejorará la firmeza y “consistencia durante la masticación” de la pasta después de la cocción (Owen, 2001).

### **5.- Cocción**

Para conseguir una pasta "al dente" se cuece la pasta en agua hirviendo (un litro de agua por cada 100 g de alimento). Al agua de cocción, se le añade un chorro de aceite de oliva y cuando rompa a hervir, un puñito de sal. Cuando alcanza el punto de ebullición, se añade la pasta y se remueve de vez en cuando para que no se apelmace (Escamilla, 2001).

La pasta está "al dente" cuando está cocida en el exterior, pero en el interior queda un pequeño hilo de pasta cruda. En ese momento, se saca del fuego y se escurre. Si se va a consumir en el momento no es preciso refrescar la pasta; pero si no se consume al instante, se ha de pasar por agua fría, se escurre y se unta con un poco de aceite de oliva para que no se apelmace (Matsuo, 1987).

## **2.10 Evaluación de la calidad de las pastas**

### **Clasificación de la calidad de las pastas**

#### Aspecto de la pasta

Ausencia de grietas

Ausencia de manchas (puntos negros, blancos, marrones)

Textura lisa en la superficie

Coloración amarilla

### Calidad culinaria de la pasta cocida

Coloración

Firmeza

Ausencia de pegajosidad

Débil pérdida de materia en la cocción

### **2.10.1 Calidad de las pastas crudas**

#### **2.10.1.1 Color**

El color final de la pasta está influenciado en función de varias características físicas de la sémola que se utilice en su elaboración, tipo de molienda, así como la contaminación con salvado. (Milatovic *et* Mondelli, 1991).

Las pastas no cocinadas o crudas deben presentar color amarillo translúcido y uniforme. Los pigmentos son responsables del color de las pastas. El consumidor está acostumbrado a que las pastas que consumen presenten color amarillo (el cual varía dependiendo de la zona geográfica) y asocia una tonalidad más intensa con una pasta de mejor calidad, de ahí su importancia (Kruger *et al.*, 1996).

La medida del color en la pasta seca depende mucho de la forma. Por ejemplo, el color del espagueti se mide de forma relativamente directa, ya que una muestra puede proporcionar una superficie uniforme que permita una medida razonable exacta (Sarwar *et* McDonald, 1993).

En la última década se ha mejorado la medida del color en la industria de la pasta. Actualmente se emplean con profusión las técnicas espectrofotométricas, que expresan el color de la sémola o de la pasta empleando los colores triestímulo L\*, a\* y b\* (o una variación de los mismos).

El valor  $L^*$  registra el brillo de la muestra, el  $b^*$  el tono amarillo y el  $a^*$  el rojo/marrón. El valor  $a^*$  se correlaciona bien con la contaminación del salvado, mientras que el  $L^*$  y el  $b^*$  reflejan lo brillante y amarilla que será la pasta tras la cocción. Un buen ejemplo de un equipo es el Hunterlab (Matissek *et al.*, 1998).

### **2.10.1.2 Aspecto**

El aspecto visual de la pasta en el plato es un indicativo de su calidad global, siendo una mezcla del color y del brillo del producto. Un buen color en el producto seco no significa generalmente que el producto cocido tenga un buen color, cuando la translucidez provocada por el molde de teflón desaparezca. El brillo está en relación con la cantidad de almidón en exceso que se libera durante la fase de cocción (Sangronis *et al.*, 2004).

Es importante llevar a cabo la determinación de la calidad de la pasta cruda ya que es el primer contacto que tiene con el consumidor y esté lo relaciona directamente con la calidad culinaria que presentará la pasta. La pasta cruda, debe tener consistencia dura, ser fuerte mecánicamente, de tal manera que conserve su tamaño y forma durante el empaque y transporte. No debe presentar agrietamientos o cuarteadura, burbujas o puntos blancos en su superficie y al romper, la fractura debe ser vítrea, uniforme y sin producción de astillas. Las pastas de mala calidad tienen un color opaco pudiendo incluso presentar un matiz gris, y se rompen con facilidad produciendo astillas y pequeños fragmentos de pasta (Guler *et Koxsel*, 2005).

Las características de calidad de la pasta cruda se evalúan por inspección visual y son:

#### Pasta estrellada

Se presenta en forma de cuarteaduras en la superficie de la pasta y es el resultado de un proceso de sacado deficiente. No debe exceder el 5% del total en peso la pasta para poder ser considerada de calidad aceptable (Salazar, 2000).

### Pasta con burbujas

Es un producto de un proceso carente de vacío o con un vacío deficiente y se presenta en forma de burbujas en la superficie de la pasta generando un producto áspero y frágil (Salazar, 2000).

### Pasta apelmazada

Es el resultado de un proceso de secado inadecuado lo que provoca la formación de masas sin forma o de pastas (hebras o figuras) pegadas unas con otras. No debe presentarse (Salazar, 2000).

### Pasta con puntos blancos en la superficie

Es el resultado de un mezclado deficiente y amasado deficiente, ocasionando que la hidratación de las semolina no fuera uniforme. Este defecto también es ocasionado por el empleo de una semolina de tamaño de partícula muy variado, consistiendo tanto en partículas finas como gruesas, de tal manera que al hidratarse más rápidamente las partículas finas respecto a las gruesas, se origina una hidratación que no es homogénea, lo que durante el secado se traduce puntos blancos en la superficie del producto (Salazar, 2000).

La presencia de alguno de estos factores, ocasionarán que la pasta presente características de calidad culinaria indeseables, como son: altos porcentajes de sedimentación y pasta frágil principalmente (Escamilla, 2001).

### **2.10.2 Calidad culinaria de las pastas**

La calidad culinaria de una pasta puede ser interpretada de distinta manera, de acuerdo a los hábitos culinarios de los consumidores, debido a esto, las pruebas para evaluarla varían entre países e incluso dentro de un mismo país (Kill et Turnbull, 2004).

Algunas características que permitirán clasificar este concepto son:

- Hinchamiento debido a la absorción de agua
- Firmeza y viscoelasticidad de la pasta después de la cocción
- Pegajosidad de la superficie de la pasta cocida
- Desintegración del producto deseado
- Aroma y gusto (Gilles *et Youngs*, 2000).

Las propiedades reológicas parecen depender de la cantidad de proteína y de la viscoelasticidad del gluten, está última asociada al contenido de gluteninas de bajo peso molecular (Mackay *et Stimson*, 1993).

Por lo tanto, las características culinarias dependen principalmente de la calidad y la cantidad de proteínas. Por ello resulta lógico que un contenido proteico elevado conduzca a una buena calidad de cocción, lo que explica por qué a mayor número de cadenas polipeptídicas, mayor es el número de interacciones entre las proteínas con lo que se favorece la formación de una red más resistente (Avecías, 1998).

La capacidad que tienen las pastas de conservar su integridad después de la cocción está en función de la posibilidad que tienen las proteínas de formar una red insoluble que sea impermeable a la salida de los almidones; parece que esto está asociado a ciertas proteínas de bajo peso molecular ricas en azufre (Feillet, 1974; Avecías, 1998).

Uno de los atributos más importantes de la calidad culinaria de una pasta es la capacidad de este producto para mantener una textura adecuada después de la cocción y no convertirse en una masa espesa y pegajosa (Granito *et al.*, 2003).

La calidad culinaria depende de las características intrínsecas del trigo durum usado y de las condiciones de proceso. Las pruebas de calidad culinaria varían de país en país. Generalizando, las pruebas que se suelen llevar a cabo son las siguientes:

### **2.10.2.1 Tiempo de cocimiento**

Es el tiempo empleado para la total de gelatinización del almidón presente en la pasta (Becerra, 1985). La pasta debe tolerar un calentamiento en agua a ebullición por un tiempo de 10 min, manteniendo su forma y sin ponerse pegajosa ni desintegrarse. Debe quedar firme al mordisco, es decir “al dente” (Hoseney, 1998; Kent, 1987).

### **2.10.2.2 Porcentaje de sedimentación**

Se determina pesando el residuo del agua de cocción después de la evaporación o después de la liofilización.

Es el volumen en mililitros que ocupa el sedimento producido por la pasta durante el cocimiento. Este sedimento está constituido principalmente por almidón perdido por la pasta por efecto de la cocción y un menor porcentaje de éste indica una mayor calidad del gluten y por lo tanto de semolina. El agua e cocción debe quedar libre de almidón. Cuanto más turbia sea, más almidón se habrá disuelto del presente en la matriz proteica (Araya *et al.*, 2003).

### **2.10.2.3 Índice de tolerancia al cocimiento**

Es el tiempo en que la pasta empieza a romperse por acción del cocimiento menos su grado de cocimiento. Cuanto más resistente sea la pasta, más tardará en empezar a romperse, lo que está relacionado con características del gluten fuerte y por tanto una semolina de mejor calidad. La pasta debe ser resistente al exceso de cocción (Rasper, 1997).

## **2.10.3 Calidad de las pastas cocidas**

### **2.10.3.1 Características físicas**

#### Ganancia de peso

Es la cantidad de agua absorbida por el producto durante su cocimiento. Un buen producto absorbe por lo menos el doble de su peso en agua (Becerra, 1985)

### Grado de hinchamiento

Los productos de buena calidad se hinchan tres o cuatro veces a su volumen original o al menos debe hincharse al doble de su volumen (Kent, 1987)

### **2.10.3.2 Características sensoriales**

La evaluación sensorial es la prueba más fiable porque permite evaluar la totalidad de las características de textura de la pasta cocinada.

La textura en un aspecto de la calidad que está relacionado tanto con el tiempo de cocción como con el tiempo que transcurre entre la cocción y su valoración. La textura se puede desglosar en tres atributos: firmeza, elasticidad y pegajosidad (Anzaldúa, 1982).

#### Firmeza

Es la resistencia inicial que ofrece la pasta cocida a la penetración cuando se aplasta entre los dedos o cuando se muerde.

#### Elasticidad

Es la forma en que la pasta se rompe en la boca cuando se sigue masticando

#### Pegajosidad

Es la sensación global de la pasta en la boca junto con el almidón residual que permanece en la boca después de tragar.

Es el estado de desintegración de la superficie de la pasta cocida, estimado por inspección visual, con o sin la ayuda de una pasta estándar de referencia. (Kill *et* Turnbull, 2004).

#### Abultamiento

Es el grado de adhesión de las hebras de pasta después de la cocción y es evaluado manual y visualmente.

Otras pruebas que pueden realizarse son las siguientes:

### Adherencia a la lengua

Es el grado de humectación superficial que presenta la pasta al ser colocada sobre la lengua, es decir, la facilidad de movimiento de la misma cuando se coloca sobre la lengua sin ser masticada (Gilles *et* Youngs, 2000).

### Consistencia o jugosidad

Es la capacidad que tiene la pasta de liberar agua al ser masticada dos veces con los molares

### Pastosidad

Es la rapidez con la que una pasta forma una masa al ser masticada más de dos veces (Callejo, 2002).

Existen algunos aparatos para evaluar el olor y el sabor, pero las sutilezas del aroma de la pasta, entre otros, son muy difíciles de cuantificar y es mejor confiar en un panel de catadores entrenados.

La cata regular de la pasta comparándola con una muestra estándar o control detectará si existen variaciones en los sabores básicos. También señalará la presencia de olores anómalos o desagradables debido a las materias primas o a la contaminación del producto. Este análisis también puede ser útil para detectar cambios en el sabor debidos a las condiciones de almacenamiento u otras causas (Anzaldúa, 1982).

## **2.11 Calidad y valor nutricional de las pastas**

La pasta es un alimento nutricionalmente no balanceado, debido a su escaso contenido de fibra dietética, y al bajo valor biológico de su proteína, originado por las deficiencias de lisina.

Es un producto de consumo masivo, considerado además un alimento funcional por su bajo aporte de grasa, sodio y su baja respuesta glicémica (Jenkins *et al.*, 1987, Araya *et al.*, 2003).

Es un alimento con una excelente fuente de hidratos de carbono no sólo por la cantidad que aporta a la dieta sino porque se trata de hidratos de carbono complejos, como el almidón, que le otorgan una lenta absorción proporcionando niveles estables de glucosa en sangre (Jenkins *et al.*, 1987, Araya *et al.*, 2003).

La proteína más importante de la pasta es el gluten que le confiere su característica elasticidad.

Su calidad proteica mejora considerablemente cuando la pasta se cocina acompañada de otros alimentos como (huevo, legumbres, frutos secos, leche, carne) y dar lugar a una mezcla con un perfil de aminoácidos adecuado; es decir, a proteínas de gran calidad, para un óptimo aprovechamiento metabólico por parte de nuestro organismo (Milatovic *et Mondelli*, 1991).

La baja cantidad de grasa que contiene la pasta es una ventaja a menos que sea elaborada con aceite de oliva que otorga una pasta de mejor calidad que aporta nutrientes y ventajas extras al consumidor; dadas las recomendaciones actuales de disminución del consumo de este nutriente. No obstante, cuando se hace referencia a este nutriente hay que tener en cuenta la elaboración del plato (Granito *et al.*, 2003).

### III. OBJETIVOS

---

---

#### 3.1 Objetivo General:

Elaborar una pasta alimentaria a través de la utilización de sémolas de diferentes variedades de cebadas producidas en el estado de Hidalgo.

#### 3.2 Objetivos Específicos:

- Obtener sémolas a partir de granos de cebada producidas en el estado de Hidalgo.
- Evaluar la calidad de las sémolas producidas con las diferentes variedades de cebada.
- Determinar la estabilidad de las masas a través de análisis fisicoquímicos y reológicos.
- Evaluar mediante microscopia electrónica de barrido los cambios estructurales de las masas de sémola.
- Elaborar pastas a partir de diferentes mezclas de sémolas de trigo y cebada.
- Enriquecimiento de las pastas de cebada y trigo.
- Evaluar la calidad de las pastas producidas con cebada y trigo.
- Realizar de pruebas de degustación para evaluar la aceptación del producto.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

---

---

### 4.1 Materia prima

Para llevar a cabo el presente trabajo se utilizaron como muestras de estudio seis variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en distintas regiones del estado de Hidalgo. Estas fueron limpiadas con un agitador Baldor Electric Industrial Motor (USA).

Se utilizó también sémola de trigo duro a granel adquirida en el comercio local. Las muestras se codificaron para facilitar su identificación como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7. Variedades de cebada utilizadas en el presente trabajo.**

<b>Variedad</b>	<b>Clave</b>	<b>Región</b>	<b>Año de cosecha</b>
<b>Adabella</b>	<b>(AB)</b>	Apan	2005
<b>Pastor Ortiz</b>	<b>(PO)</b>	Apan	2005
<b>Esmeralda Apan</b>	<b>(EA)</b>	Apan	2005
<b>Esperanza</b>	<b>(ES)</b>	Palma Gorda	2005
<b>Esmeralda 1</b>	<b>(E1)</b>	Apan	2004
<b>Esmeralda Zapotlán</b>	<b>(EZ)</b>	Zapotlán de Juárez	2005

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Muestreo

Se realizó mediante un muestreo aleatorio simple, que es una de las clasificaciones del muestreo probabilístico, en el cual las unidades se eligen individual y directamente por medio de un proceso aleatorio, donde cada unidad no seleccionada tiene la misma oportunidad de ser elegida que todas las unidades extraídas de la muestra. El tamaño de la muestra fue de 50 Kg. para cada una de las variedades.

#### 4.2.2 Acondicionado, descascarillado y proceso de molienda del grano de cebada.

Se llevó a cabo acondicionando la cebada a un 17% de humedad con un reposo de 24 horas, debido a que a esta humedad las glumas se eliminarán con mayor facilidad del grano (Dendy *et* Dobraszczczyk, 2003).

Posteriormente se realizó el descascarillado con el fin de eliminar las glumas del grano, reduciendo el salvado, y al mismo tiempo el contenido de cenizas.

Se tomó como muestra 1 kg de grano de cebada limpio de cada variedad y se acondicionó. Posteriormente se procedió a eliminar la cascarilla en una perladora (Strong Scott). Ya descascarillados los granos de cebada fueron molturados en un molino de laboratorio (Chopin CD1, Francia) obteniendo harina, sémola y salvado.

El molino estaba en alimentación constante, además de pasar el grano por una fase de trituración y dos fases de compresión con el objetivo de obtener un mayor rendimiento de sémola. La fórmula que se utilizó para acondicionar el grano a una humedad del 17% en 100 g de materia seca fue:

$$X = \left( \frac{H_f M_s}{D_h} \right) - H_i$$

Donde:

H<sub>f</sub> = Humedad requerida (%)

M<sub>s</sub> = Materia seca (g)

D<sub>h</sub> = Diferencia de humedad (%)

H<sub>i</sub> = Humedad inicial (%)

X = Cantidad de agua (ml)

### **4.2.3 Caracterización fisicoquímica de las sémolas de cebada**

#### **4.2.3.1 Humedad**

El método utilizado fue el 925.10 de la AOAC (1990). Para la medición se utilizaron platillos para balanza, previamente a peso constante. Se pesaron 3 g de la muestra la cual fue calentada en una estufa (Fisher Scientific) a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  por 4 horas. Transcurrido este tiempo, se enfriaron los platillos a temperatura ambiente en un desecador hasta peso constante y fueron pesadas. El cálculo fue realizado por diferencia de peso.

#### **4.2.3.2 Cenizas**

El material mineral se cuantificó incinerando la muestra hasta la obtención de un residuo inorgánico correspondiente a la fracción de las cenizas de la muestra. Se determinó de acuerdo al método 923.03 de la AOAC (1990) a partir de 3 g de muestra puesta en crisoles a peso constante incinerada en una mufla (Fisher Scientific) a una temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  hasta que se obtuvieron cenizas color grisáceo o blanco uniforme sin que se presentaran manchas negras. Los crisoles se dejaron enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. El cálculo se determino por diferencia de peso.

#### **4.2.3.3 Grasas**

La extracción de sustancias grasas de una muestra se llevó a cabo por calentamiento continuo a reflujo con solventes como el éter etílico, así por medio de la volatilización y condensación del éter sobre la muestra se produce un lavado continuo logrando extraer todo el material soluble en él. Para esta determinación se utilizaron 3 g de muestra seca y éter de petróleo anhidro como solvente, basándose en el procedimiento Soxhlet 920.39 de la AOAC (1990). El periodo de extracción fue de 6 horas.

### **4.2.3.4 Proteínas**

Se empleó el método Kjeldahl 46.10 de la AACC (2001). La muestra de 0.5 g con 5 g de sulfato de potasio y 0.3 g de sulfato de cobre se sometió a una digestión con 20 ml de ácido sulfúrico concentrado en un digestor (Kjeldahl 80 ESEVE, México). Ésta reacción convirtió el nitrógeno orgánico e inorgánico en nitrógeno amoniacal. Después de 4 horas de digestión, cuando las muestras tuvieron un color transparente se sacaron y se adicionó 50 ml de agua destilada a cada muestra para evitar que el sulfato de cobre precipitara. La destilación se llevó a cabo en un destilador (Labconco RapidStill, USA) utilizando NaOH al 60% para que el amoniaco se liberara. Se destiló la muestra utilizando 20 ml de ácido bórico al 4% para recibir el destilado. Posteriormente se tituló con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 N que en forma indirecta es proporcional al contenido de nitrógeno. El factor de conversión utilizado fue 5.83 para obtener el contenido proteico (Callejo, 2002).

### **4.2.3.5 Fibra dietética total**

Para la determinación de fibra fue necesario trabajar con las muestras desengrasadas. La determinación se llevó a cabo bajo las condiciones del método 962.09 de la AOAC (1990). Con este método se determinó como fibra dietética total, la pérdida de peso por incineración que presentó el residuo seco remanente después de la digestión de la muestra en un equipo de digestión (Labconco, USA), con soluciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1.25% y NaOH al 1.25%.

### **4.2.3.6 Carbohidratos**

El contenido de carbohidratos se determino por diferencia de porcentajes de todos los constituyentes en base seca respecto al cien por ciento.

## **4.2.4 Calidad física de las sémolas**

### **4.2.4.1 Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)**

Se determinó pesando 100 g de sémola, a la cual se adicionó agua a voluntad de forma gradual. Se llevó a cabo un amasado manual, gradual y suave hasta obtener una masa de buena consistencia. La cantidad de agua adicionada se

registró como la capacidad de absorción de agua de la sémola (Anderson *et al.*, 1969).

### **4.2.4.2 Capacidad de hidratación (CH)**

Para ésta determinación se utilizó el método 56.20 de la AACC (2001). Se usaron tres temperaturas (60, 70 y 80° C), para abarcar parte del intervalo donde ocurre la gelatinización del almidón. Cada muestra de 2.5 g de sémola previamente secada se colocó en tubos de propileno de 50 ml previamente tarados y se adicionaron 40 ml de agua destilada; luego los tubos se colocaron en baño maría. La suspensión se mantuvo en agitación y temperatura constantes durante 30 min; posteriormente se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min. El sobrenadante se evaporó en una estufa (Fisher Scientific) a una temperatura de 105° C  $\pm$  3° C hasta peso constante y luego se pesó.

La capacidad de hidratación se calculó mediante la relación del peso del residuo de centrifugación y el peso seco de la muestra en cada temperatura probada (Anderson *et al.*, 1969)

### **4.2.4.3 Índice de absorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)**

Una porción de 4 a 5 g de cada muestra se suspendió en 30 ml de agua destilada en un tubo de propileno previamente tarado. La suspensión se homogenizó con una varilla de vidrio por 1 min a 25 °C y se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos. El sobrenadante se separó y se colocó en crisoles previamente tarados.

El IAA se calculó a partir del peso del precipitado y se expresó como g gel/g sólidos. El ISA, expresado como g sólidos/g sólidos originales, se calculó a partir del peso de los sólidos secos recuperados al evaporar el sobrenadante a 105 °C  $\pm$  5 °C en una estufa (Fisher Scientific) durante 24 horas (Anderson *et al.*, 1969).

#### **4.2.5 Caracterización física de las sémolas**

##### **4.2.5.1 Tamaño de partícula**

Se secaron previamente las muestras en una estufa (Fisher Scientific) a una temperatura de  $45^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C por 3 días, para la determinación se utilizaron 100g de muestra de cada variedad. Posteriormente, el análisis se realizó por medio del método de difracción de rayos láser en polvo. El análisis fue realizado en granulómetro Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, USA) con un índice de refracción de 1.494 y una precisión de  $\pm 1\%$  en el DV 50 utilizando estándares de calidad Malvern, donde se utilizó como medio de transporte el aire.

##### **4.2.5.2 Determinación de color**

Para esta prueba se utilizaron 20 g de sémola de cebada de cada una de las variedades en estudio y como testigo la sémola de trigo. La determinación del color se efectuó con un espectrofotómetro (Minolta CM-508d, USA), 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 los colores rojo, azul, amarillo y verde (AACC,2001).

El método se basa en la determinación por reflexión de la luz, de tres parámetros; "L", que mide el grado de luminosidad y varía de 100 para el blanco perfecto a 0 para el negro; "a" y "b", son indicativos de la cromaticidad, los valores positivos de "a" están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro "b", están asociados con el color amarillo y los negativos con el azul. Las mediciones de las muestras se hicieron por triplicado, se utilizó como referencia una teja blanca, que se usa para la calibración del equipo.

##### **4.2.5.3 Determinación de número de pecas**

Para esta prueba se utilizó una muestra representativa homogenizada de sémola de trigo (ST) con sémola de cebada (SC) a diferentes proporciones para cada una

de las variedades de sémola de cebada en estudio, la cual fue colocada bajo una mica cuadrículada en su superficie (los cuadros tenían dimensiones de 1cm<sup>2</sup> teniendo una superficie total de 1 dm<sup>2</sup>). Se contaron el número de partículas de salvado y pecas de cinco cuadritos.

El resultado se multiplico por 20 y se expreso en número de pecas/ cm<sup>2</sup>. La determinación se llevo a cabo por triplicado y se calculo el promedio (Gilles *et* Youngs, 2000).

#### 4.2.6 Elaboración de las mezclas y masas

Se utilizaron masas (con la formulación de la tabla 9) de sémola de trigo (ST) con sémola de cebada (SC) a diferentes proporciones para cada una de las variedades como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8. Códigos para identificar los porcentajes de cada variedad de sémola de cebada con sémola de trigo.**

Porcentaje	Código
100 % SC	EA100, ES100, E1100, EZ100
80% SC con 20% ST	EA80, ES80, E180, EZ80
60% SC con 40% ST	EA60, ES60, E160, EZ60
40% SC con 60% ST	EA40, ES40, E140, EZ40
20% SC con 80% ST	EA20, ES20, E120 ,EZ20
100% ST	Testigo

Las muestras se prepararon con las diversas variaciones de sémola de cebada y trigo siguiendo la fórmula que se muestra en la tabla 9. El amasado se realizó por 10-12 min en una batidora de pedestal *GE* con el accesorio gancho a una velocidad intermedia (100 rpm). Una vez pesados los ingredientes se mezclaron la sémola y la sal. Posteriormente se inició el amasado incorporando el aceite de oliva y después el huevo y el agua hasta obtener una masa elástica y suave. Al final se amasa manualmente para hacer vacío y eliminar las burbujas de aire que pudieron formarse.

**Tabla 9. Formulación de la masa**

<b>Ingredientes</b>	<b>Cantidad</b>
Sémola	100 g
Aceite de oliva	3.5 g
Huevo	16 g
* Agua	30 ml aprox.
Sal	0.75 g

\* se añade en un proporción del 18-25% con respecto a las materias primas secas. (Escamilla, 2001)

El almacenamiento de las masas se realizó en bolsas de polietileno herméticamente cerradas y se mantuvieron a una temperatura de 5 °C durante 24 horas. Para efectuar la prueba se pusieron a temperatura ambiente.

#### **4.2.7. Análisis reológicos de las masas**

##### **4.2.7.1 Análisis de perfil de textura (APT)**

Para efectuar la prueba se utilizó el siguiente conjunto de prueba descrito a continuación acoplado al Texturómetro TX-TA2 (Textura Analyzer & Table Micro Systems 2XtiA) y que consta de:

Sonda cilíndrica de acrílico de 2 pulgadas (5.08 cm) de diámetro

Vaso contenedor para masa

Se colocaron 10 g aproximadamente de masa en forma redonda en el vaso contenedor y se comprimió con un peso de 5 kg durante 10 segundos a una distancia de 10 cm y una velocidad de 1.7 mm/s para eliminar los espacios de aire en la masa y dar forma cilíndrica a la muestra. Posteriormente se llevó a cabo la prueba que consistió en 2 ciclos de compresión-descompresión con la sonda.

#### **4.2.8 Caracterización física de las masas**

##### **4.2.8.1 Microscopia electrónica de barrido (MEB)**

Cada una de las masas se secó en una estufa (Fisher Scientific) a una temperatura de 40° C ± 5° C durante 3 días. Las muestras fueron recubiertas con

oro (Au) en un electro-depositador (Denton Vacuum Desk II). Una vez recubiertas fueron observados en un microscopio electrónico de barrido (MEB, JOEL, JSM-6-300) utilizando un flujo de electrones de 2.5 KV, las muestras fueron observadas a amplitudes de 500x, 1000x, 1500x y 2000x.

### **4.2.9 Proceso de elaboración de las pastas a nivel casero**

Se seleccionaron las mejores variedades de sémola de cebada de acuerdo al contenido proteico y se utilizaron para la elaboración de pastas a nivel casero, lo anterior con el fin de asegurar un producto con características de calidad aceptables.

#### **Procedimiento general**

El proceso que se llevó a cabo en la elaboración de las pastas se muestra a continuación:

- Se obtuvo la masa como se describe en 4.2.6
- Enseguida se introduce la masa a una bolsa de polietileno herméticamente cerrada y se deja reposar por 10 min a 5°C.
- Posteriormente, se procede al primer laminado, el cual se lleva cabo en un procesador casero de pastas Atlas 150 (Marcato, USA). El primer laminado se realiza con la abertura número 1.
- Se procede a un segundo reposo de la masa para cada lado de la lámina
- Posteriormente, se lamina gradualmente hasta tener la abertura número 5 de los rodillos y se deja reposar nuevamente por 10 min cada lado de la lámina.
- A continuación, se corta la lámina que ya tiene un espesor adecuado, en fragmentos de 30 cm y se pasa cada uno por los rodillos acanalados (moldes) del procesador para la formación del espagueti.
- Se deja secar la pasta en una estufa (Fisher Scientific) a una temperatura de 40°C inicialmente por 1 hora, posteriormente se deja a temperatura ambiente 1 hora, después otra hora a 40°C y finalmente 1 hora a temperatura ambiente, posteriormente se deja secar por 8 horas a 55°C,

con el fin de balancear los contenidos residuales de las partes internas y externas de las formas de la pasta y evitar daños indeseables en la misma. La pasta se lleva a un contenido final de humedad de 12-12.5%.

### **4.2.10 Evaluación de la calidad de las pastas**

#### **4.2.10.1 Evaluación de las pastas crudas**

Las características de calidad de la pasta cruda se evalúan por inspección visual y se relacionan con la calidad culinaria que tendrá la pasta.

##### **4.2.10.1.1 Pasta Estrellada**

Se pesaron 100 g de pasta cruda de cada muestra en estudio y por medio de inspección visual, se seleccionó la pasta fragmentada y la que presentó cuarteaduras en su superficie, se pesó la cantidad (por pieza) y se calculó el porcentaje de pasta estrellada por diferencia de peso (Salazar, 2000).

##### **4.2.10.1.2 Pasta con burbujas**

Se pesaron 100 g de pasta cruda de cada muestra en estudio y por medio de inspección visual, se seleccionó la pasta que presentó indicios burbujas de aire en su superficie, se pesó la cantidad (por pieza) y se calculó el porcentaje de pasta con burbujas por diferencia de peso (Salazar, 2000).

##### **4.2.10.1.3 Pasta apelmazada**

Se pesaron 100 g de pasta cruda de cada muestra en estudio y por medio de inspección visual, se seleccionó la pasta que se encontraba pegada o formando masas, se pesó la cantidad (por pieza) y se calculó el porcentaje de pasta apelmazada por diferencia de peso (Salazar, 2000).

##### **4.2.10.1.4 Pasta con puntos blancos en la superficie**

Se pesaron 100 g de pasta cruda de cada muestra en estudio y por medio de inspección visual, se seleccionó la pasta que presentó uno o más puntos blancos

en la superficie, se pesó la cantidad (por pieza) y se calculó el porcentaje de pasta apelmazada por diferencia de peso (Salazar, 2000).

### **4.2.10.2 Evaluación de las pastas durante su cocimiento**

#### **4.2.10.2.1 Tiempo de cocimiento**

Se pesaron 100 g de pasta seca en piezas enteras de cada muestra en estudio, se introdujeron en una olla de aluminio que contenía 1 L de agua en ebullición, a partir de que se vertió la pasta se tomó el tiempo, cada minuto a partir de ese momento se tomó una muestra de pasta y se procedió a verificar su cocimiento de la siguiente manera: la muestra de pasta se oprimió entre dos vidrios de reloj, la presencia de puntos blancos en el vidrio fue señal de que la pasta no estaba completamente cocida, por lo que requirió mayor tiempo de cocimiento.

Una vez que el vidrio no presentó puntos blancos, se registró el tiempo, el cual se tomó como tiempo de cocimiento (Hoseney, 1998; Kent, 1987).

#### **4.2.10.2.2 Porcentaje de sedimentación**

Se pesaron 100 g de pasta seca de cada muestra en estudio y se cocieron de acuerdo a 4.2.9.2.1.

Finalizado el tiempo de cocción, se separó la pasta del agua de cocción con ayuda de un colador, el agua de cocción se homogenizó con la ayuda de un agitador. Posteriormente se tomaron 100ml del agua y se depositaron en una probeta de 100ml, se dejó reposar por 3 horas.

Se determinó como porcentaje de sedimentación los mililitros que abarcó el sedimento blanco en la probeta. El resultado se expresó en porcentaje (Becerra, 1985).

#### **4.2.10.2.3 Índice de tolerancia al cocimiento**

Se pesaron 100 g de pasta seca de cada muestra en estudio y se cocieron de acuerdo a 4.2.9.2.1. Determinado el tiempo de cocimiento se continuó el cocimiento hasta que se observaron al menos tres fragmentos de pasta rota, ese tiempo se registró como el tiempo de desintegración de la pasta. El índice de

tolerancia al cocimiento se calculó por diferencia del tiempo de cocimiento y el tiempo de desintegración de la pasta (Becerra, 1985).

### 4.2.10.3 Evaluación de las pastas cocidas

#### 4.2.10.3.1 Ganancia de peso

Se pesaron 100 g de pasta seca de cada muestra en estudio y se cocieron de acuerdo a 4.2.9.2.1. Posteriormente, se depositó en un embudo buchner colocado sobre una probeta de 1 lt de capacidad. Se dejó escurrir por 10 min y se peso La ganancia de peso se expresó en porcentaje y se calculó por diferencia entre el peso de la pasta seca y el peso de la pasta cocida y escurrida (Becerra, 1985).

#### 4.2.10.3.2 Grado de hinchamiento

\*Determinación del volumen de pasta cruda (Flores, 1985).

Se pesaron 100 g de pasta seca cortada en trozos pequeños de cada muestra en estudio y cada variedad se depositó en una probeta graduada de 1 L que contenía 500ml de agua ( $V_{1ps}$ ). Se le aplicaron unos pequeños golpes para eliminar las burbujas de aire, se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento del agua debido a la pasta ( $V_{2ps}$ ) Se calculó el volumen de pasta cruda de la siguiente manera:

$$V_{ps} = (V_{2ps} - V_{1ps})$$

\*Determinación del volumen de pasta cocida (Flores, 1985)

El producto cocido mediante 4.2.9.2.1 y escurrido por 10 min, se introdujo a una probeta graduada que contenía 500ml de agua ( $V_{1pc}$ ), se eliminaron las burbujas de aire de la probeta mediante pequeños golpes y se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento de agua debido a la pasta cocida ( $V_{2pc}$ ). Se calculo el volumen de la pasta cocida de la siguiente manera:

$$V_{pc} = (V_{2pc} - V_{1pc})$$

$$\text{Grado de hinchamiento} = ((V_{pc} - V_{ps})/V_{pc}) * 100$$

#### 4.2.10.3.3 Evaluación sensorial de la pasta

Se llevó a cabo una prueba sensorial con jueces no entrenados (consumidores) Se evaluó mediante una prueba de degustación la consistencia y sabor de las pastas según los consumidores (Granito *et al.*, 2003).

Mediante esta prueba se determinó cuál fue la pasta que tuvo mayor y menor aceptación sensorialmente para los jueces. La pasta fue cocida mediante 4.2.9.2.1, no se utilizó algún vehículo con el fin de no enmascarar las propiedades de la pasta (Anzaldúa, 1982).

**Tabla 10. Escala hedónica utilizada en la prueba de degustación**

<b>ESCALA</b>
<b>Me gusta mucho (MGM)</b>
<b>Me gusta moderadamente (MGMod)</b>
<b>Me gusta poco (MGP)</b>
<b>Ni me gusta ni me disgusta (NGND)</b>
<b>Me disgusta poco (MDP)</b>
<b>Me disgusta moderadamente (MDMod)</b>
<b>Me disgusta mucho (MDM)</b>

La prueba se realizó con 10 consumidores activos de pastas, los cuales probaron 2 muestras de las 4 variedades de cebada que se evaluaron, como testigo se utilizó una pasta de trigo.

La escala utilizada en la prueba fue la que se muestra en la Tabla 10, se utilizaron códigos para cada una de las variedades a evaluar.

#### 4.3 Análisis estadístico

Las evaluaciones estadísticas de los resultados se realizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, donde las variables fueron cada una de las muestras, utilizando el software STARGRAPHICS Plus versión 4.0, trabajando con un 95% de confiabilidad. El análisis de componentes principales se realizó con el software SAS.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Rendimiento de la molienda

Se llevó a cabo a partir de 1 kg de grano de cada variedad de cebada que se procedió a limpiar para obtener el porcentaje de cebada libre de impurezas. Posteriormente se acondicionó para proceder al descascarillado y a la molienda. En la molienda el equipo separa las diferentes fracciones de la molturación (salvado, sémola y harina). Así mismo, se determinó el rendimiento de cada uno de los componentes obtenidos como se muestra en la tabla 11.

En la primera columna de la tabla 11 se presenta el porcentaje de cebada limpia de cada variedad. Se observa que PO es la que presentó mayor diferencia con respecto a las demás variedades. Así mismo, fue la que tuvo el porcentaje más elevado de impurezas, al tener la menor cantidad de cebada limpia.

**Tabla 11. Rendimiento de molienda del grano de las variedades de cebada (%)**

Variedad	Limpia	Perlada	Sémola	Harina	Salvado
AB	85.35 (0.01) <sup>b</sup>	71.08(0.00) <sup>b</sup>	74.29(0.04) <sup>e</sup>	14.93 (0.05) <sup>b</sup>	10.50 (0.01) <sup>b</sup>
PO	75.63 (0.00) <sup>a</sup>	67.25(0.02) <sup>a</sup>	79.12(0.00) <sup>f</sup>	11.05 (0.04) <sup>a</sup>	9.73 (0.09) <sup>a</sup>
EA	86.46 (0.03) <sup>c</sup>	71.89(0.01) <sup>c</sup>	62.44(0.03) <sup>a</sup>	16.96 (0.00) <sup>d</sup>	20.21 (0.00) <sup>e</sup>
ES	99.15 (0.04) <sup>e</sup>	73.09(0.03) <sup>d</sup>	68.80(0.02) <sup>d</sup>	15.94 (0.00) <sup>c</sup>	14.88 (0.00) <sup>c</sup>
E1	100.00(0.03) <sup>f</sup>	75.73(0.00) <sup>e</sup>	63.32(0.00) <sup>b</sup>	19.11 (0.00) <sup>e</sup>	17.17 (0.01) <sup>d</sup>
EZ	91.21 (0.01) <sup>d</sup>	79.45(0.00) <sup>f</sup>	64.12(0.02) <sup>c</sup>	20.15 (0.02) <sup>f</sup>	14.90 (0.03) <sup>c</sup>

\* El porcentaje de cebada limpia se obtuvo a partir de la limpieza de 1 kg de cebada sucia con basura e impurezas

Por otro lado, E1 y ES fueron las variedades que presentaron menor contaminación por impureza, al tener los valores mayores de grano limpio, 100% y 99.15% respectivamente.

De acuerdo a la norma NMX-FF-043-SCFI-2003, solo estas dos variedades se encuentran dentro del límite establecido para impurezas (2%).

Las principales impurezas observadas fueron por presencia de tallos, hojas, flores y semillas. Esto indica que no se tiene especial cuidado al momento de la separación de los granos con el resto de la planta al momento de la colecta.

Según López *et al.*,(2005), la variedad que presente menor cantidad de impurezas, en este caso E1, tendrá una bonificación en el precio con respecto a las demás. La variedad PO debe tener un precio menor a todas las variedades, por contener mayor cantidad de impurezas y estar alejada por mucho del límite máximo que marca la norma. En esta variedad se obtuvo el menor porcentaje de cebada perlada en cuanto a peso.

Todas las variedades son aceptables para ser utilizadas en este trabajo, debido a que las impurezas que presentaron son propias de la planta y no se manifestaron otro tipo de contaminaciones como infestaciones o materiales extraños.

En la segunda columna se presenta el porcentaje de cebada perlada que se obtuvo después del descascarillado de cada variedad. Se observa que la variedad PO tuvo el menor rendimiento, seguida de ES. Las variedades AB y EA no tuvieron diferencia significativa. En lo que respecta a EZ y E1 mostraron los mayores porcentajes de cebada perlada.

López, *et al.*, (2005), menciona que entre mayor sea el peso hectolítrico, mayor es el rendimiento de cebada y a su vez mayor la calidad. Este análisis depende del tamaño del grano de cada variedad que va a ser diferente dependiendo de las capas de glumas que estén envolviendo al grano. La variedad PO fue la que presentó menor rendimiento.

El acondicionado del grano a un 17% de humedad ayudó al grano de cebada a que el pericarpio se hiciera más frágil y por lo tanto fuera más fácil de separar lo cual mejoró el rendimiento de las variedades de cebada. Además evitó que

ocurrieran daños mecánicos que pudieran alterar el rendimiento de los productos de la molienda (Castillo, 2005). En cuanto al contenido de sémola PO fue la que tuvo mayor porcentaje y menor rendimiento de harina.

Callejo (2002) reporta que el contenido de sémola es variable en todas las variedades debido al valor semolero de la cebada. Lo anterior es resultado de las condiciones de cultivo y cosecha (porcentaje de impurezas, granos rotos, etc.). Así mismo, las características de la naturaleza de la cebada como la proporción, friabilidad del albumen y la facilidad para separarlo de las envueltas. También influye la riqueza en materias minerales, a menor cantidad de cenizas, más pura es la sémola y mayor porcentaje de ésta se obtendrá, lo que puede coincidir con los rendimientos obtenidos.

Otro factor importante es el tamaño del grano en cada variedad. Mientras más grande sea el grano, mayor contenido de endospermo tendremos y por lo tanto, un buen rendimiento de harina y sémola (Pomeraz, 1988).

La dureza influye en el rendimiento de sémola y harina, mientras más frágil sea el grano será más fácil de romper en partículas finas y se obtendrá harina. En cambio si el grano es duro, tendremos partículas de mayor granulometría como sémola.

De acuerdo a López *et al.*, (2005) una mayor proporción de endospermo harinoso hace a la cebada menos densa y menos dura, en cambio, una mayor cantidad de endospermo vítreo la hace más dura y densa. Por lo tanto se observa en la tabla 11 que todas las variedades tienen mayor porcentaje de endospermo vítreo debido a la gran cantidad de sémola que se extrae.

En cuanto al rendimiento de harina todas las variedades presentan un bajo rendimiento de extracción por la poca cantidad de harina obtenida. Serna (2001). menciona que una harina de alta extracción es aquella que presenta un 65-70%

de rendimiento. La variedad EA es la que presenta menor dureza y por lo tanto, menor porcentaje de sémola.

En la última columna de la tabla 11 se observa el porcentaje de salvado obtenido en cada variedad. Los valores son bajos en comparación con los demás componentes.

Además, el porcentaje de salvado depende del tamaño y envueltas que contenga el grano. Tomando en cuenta que a los granos de cebada de todas las variedades que se molieron se les elimino la cascarilla antes de la molienda, por lo que se redujo de gran manera el contenido de salvado.

## 5.2 Caracterización fisicoquímica de las sémolas

En la tabla 12 se presentan los resultados obtenidos en el análisis proximal del grano de cebada de cada variedad. Estos resultados fueron presentados por López (2005). A continuación se muestran con el fin de tomar en cuenta la materia prima de la cual se partió en este trabajo, en el que se analizaron las mismas variedades de cebada pero enfocándonos sólo a uno de sus componentes: la sémola.

**Tabla 12. Composición química del grano de cebada de las diferentes variedades (%)**

Variedad	Humedad*	Cenizas	Grasas	Proteínas	Fibra	Carbohidratos
AB	12.51(0.01) <sup>c</sup>	2.77(0.02) <sup>d</sup>	1.40 (0.01) <sup>a</sup>	8.19 (0.03) <sup>b</sup>	2.58 (0.00) <sup>c</sup>	82.97 (0.03) <sup>d</sup>
PO	13.63(0.06) <sup>e</sup>	2.61 (0.01) <sup>c</sup>	1.86 (0.01) <sup>d</sup>	8.01 (0.06) <sup>a</sup>	2.84 (0.01) <sup>d</sup>	82.22 (0.01) <sup>b</sup>
EA	12.90(0.01) <sup>d</sup>	3.10 (0.03) <sup>f</sup>	1.63 (0.01) <sup>c</sup>	9.71 (0.07) <sup>d</sup>	2.51 (0.00) <sup>b</sup>	82.86 (0.01) <sup>c</sup>
ES	10.13(0.02) <sup>b</sup>	2.59 (0.02) <sup>b</sup>	1.88 (0.01) <sup>d</sup>	10.28 (0.06) <sup>e</sup>	2.54 (0.00) <sup>b</sup>	85.48 (0.01) <sup>e</sup>
E1	14.64(0.02) <sup>f</sup>	2.42 (0.02) <sup>a</sup>	1.43 (0.01) <sup>a</sup>	9.20 (0.06) <sup>c</sup>	2.41 (0.00) <sup>a</sup>	82.13 (0.01) <sup>a</sup>
EZ	9.59(0.01) <sup>a</sup>	2.88 (0.21) <sup>e</sup>	1.48 (0.01) <sup>b</sup>	10.62 (0.06) <sup>f</sup>	2.52 (0.00) <sup>b</sup>	86.75 (0.02) <sup>f</sup>

Composición química de las seis variedades de sémola de cebada expresado en porcentaje base seca (Desviación estándar).

\*Base húmeda

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización fisicoquímica de las diferentes variedades de sémola de cebada realizó mediante el análisis proximal. El cual nos ayudó a determinar si era conveniente utilizarlas en la elaboración de pastas alimentarias. Lo anterior se determinó con base en el porcentaje que presentaron de cada uno de los componentes, principalmente del contenido proteico.

En la tabla 13 se muestran los valores obtenidos en el análisis proximal de las variedades de sémolas de cebada utilizadas en el presente trabajo.

**Tabla 13. Composición química de las diferentes variedades de sémola (%)**

Variedad	Humedad*	Cenizas	Grasas	Proteínas	Fibra	Carbohidratos
AB	12.39(0.02) <sup>d</sup>	1.31(0.01) <sup>d</sup>	0.78 (0.01) <sup>b</sup>	7.45 (0.03) <sup>b</sup>	2.58 (0.00) <sup>d</sup>	82.97 (0.03) <sup>d</sup>
PO	12.94(0.02) <sup>f</sup>	1.23 (0.01) <sup>c</sup>	0.76 (0.01) <sup>b</sup>	6.72 (0.03) <sup>a</sup>	2.84 (0.01) <sup>e</sup>	82.22 (0.01) <sup>b</sup>
EA	12.53(0.02) <sup>e</sup>	1.45 (0.01) <sup>e</sup>	0.66 (0.01) <sup>a</sup>	9.39 (0.05) <sup>d</sup>	2.51 (0.00) <sup>c</sup>	82.86 (0.01) <sup>c</sup>
ES	9.77 (0.01) <sup>b</sup>	1.25 (0.00) <sup>c</sup>	0.97 (0.01) <sup>c</sup>	9.53 (0.05) <sup>e</sup>	2.54 (0.00) <sup>c</sup>	85.48 (0.01) <sup>f</sup>
E1	13.60(0.02) <sup>g</sup>	1.26 (0.01) <sup>c</sup>	0.60 (0.03) <sup>a</sup>	9.13 (0.03) <sup>c</sup>	2.41 (0.00) <sup>b</sup>	82.13 (0.01) <sup>a</sup>
EZ	8.55 (0.02) <sup>a</sup>	0.99 (0.00) <sup>b</sup>	1.19 (0.01) <sup>d</sup>	9.68 (0.03) <sup>f</sup>	2.52 (0.00) <sup>c</sup>	86.75 (0.02) <sup>g</sup>
TRIGO	11.58(0.07) <sup>c</sup>	0.67 (0.01) <sup>a</sup>	1.15 (0.01) <sup>d</sup>	11.82(0.04) <sup>g</sup>	0.97 (0.00) <sup>a</sup>	85.39 (0.03) <sup>e</sup>

Composición química de las seis variedades de sémola de cebada expresado en porcentaje base seca (Desviación estándar).

\*Base húmeda

En la primera columna de la tabla 13 se observa el porcentaje de humedad de cada una de las variedades en estudio.

Según la norma (NMX-FF-043-SCFI-2003), el porcentaje deseable de humedad en la sémola es de 11-13% ya que a este contenido de humedad, la mayor parte de agua está ligada y por lo tanto, no disponible para los microorganismos.

Un alto contenido de humedad favorece al desarrollo de hongos, que causan la decoloración y aspecto mohoso, además de malos olores porque pueden desarrollarse levaduras que llevarán a cabo procesos fermentativos produciendo olores rancios y como consecuencia la pérdida de calidad de la sémola (Kill *et* Turnbull, 2004).

Las variedades E1, PO, EA, AB y el trigo son las que más se acercan al rango establecido por la norma, lo cual evitará los problemas antes mencionados. En lo que respecta a las variedades ES y EZ, tuvieron bajos valores en cuanto al contenido de humedad. Estas variaciones se deben a las condiciones de almacenamiento que tuvieron las cebadas después de su acondicionamiento, a las zonas de cultivo de la cebada y por lo consiguiente al tipo de absorción de agua de las diferentes variedades.

Respecto al contenido de cenizas, las variedades PO, EZ, ES y el trigo son las que muestran los valores más bajos, lo que indica que las condiciones de acondicionado y molienda fueron adecuadas. La primera, porque hace el salvado menos quebradizo y por lo tanto se reduce la contaminación con éste, lo cual produjo menos contenido de cenizas y la segunda porque la sémola procede del centro del grano y es el primer producto de la molienda.

A medida que la molienda prosigue, se extrae el endospermo más próximo a las capas de salvado y se incorpora a la sémola material de la capa de aleurona que es rica en minerales (Kill *et* Turnbull, 2004).

Se observó que las variedades EA, AB y E1 presentaron los valores más altos de cenizas con diferencias significativas entre ellas. Esto es indeseable, ya que indica que no se llevó a cabo una molienda adecuada como se mencionó anteriormente y hubo una mayor contaminación de germen y salvado en la sémola lo cual puede afectar también el color del producto final.

Mientras más bajo sea el contenido de cenizas, más pura es la sémola y la molienda se llevó a cabo con mayor eficacia.

De acuerdo a la norma del CODEX STAN 178-1995 el porcentaje máximo de este componente que debe tener la sémola de trigo duro es máximo 1.3%. En la tabla 13 se observa que el trigo cumple con lo establecido con un valor de 1.15%.

Los valores obtenidos en las variedades de cebada tampoco rebasan el límite, excepto EA con 1.45%. La mayoría de las cebadas en estudio están dentro de la norma.

En cuanto al contenido de grasa, es un factor que se encuentra en cantidades no significativas debido a que en el descascarillado se elimina una buena proporción del germen y en este se encuentra en mayor contenido de lípidos (Serna, 2001).

Su separación de la sémola evita posteriores problemas de rancidez, pero las cantidades en las que se encontró en todas las variedades no es factor problema para la calidad de las sémolas.

La variedad que mostró mayor contenido de grasa fue EZ y las demás variedades mostraron valores inferiores a 1%, siendo ES la que más cercana con 0.97%.

Con respecto a los valores de proteína, Kill *et* Turnbull (2004) establece que el contenido de proteína de la sémola es un factor determinante de la calidad de las pastas. Puede alterarse dependiendo de la variedad, condiciones ambientales, condiciones en el proceso de molienda, ya que la mayor parte se encuentra en el endospermo. Se establece que a mayor contenido de proteína se producen pastas con buenas características culinarias ya que tendrán una adecuada formación de gluten.

La cantidad de proteína de las sémolas en estudio se redujo mayormente por la eliminación del salvado y germen.

Según la norma NOM-F-23-2000, en la elaboración de pastas alimenticias es deseable que se tenga un porcentaje de proteína de 11 a 13%. Si comparamos los valores de proteína que se obtuvieron en la Tabla 13, se observa que sólo el trigo cumple con los límites establecidos y todas las variedades de cebada están por debajo de la norma.

Analizando los valores de las variedades de cebada en estudio se observa que EA, ES, E1 Y EZ se encuentran en un rango mayor al 9%. Este valor puede incrementarse con el enriquecimiento con sémola de trigo y otros ingredientes como el huevo.

Se espera que el enriquecimiento de las sémolas de cebada con la sémola de trigo incremente el porcentaje de proteína, y de esta forma se incremente su valor y calidad para utilizarlas en la elaboración de pastas alimenticias.

De acuerdo a los valores obtenidos se observa que las variedades que tuvieron el menor porcentaje de proteína son AB y PO. El contenido de proteína es muy bajo y ni con el soporte de la harina de trigo cumplen con los valores requeridos para elaborar el producto. Por lo que se descartan para ser utilizadas en la elaboración de pastas alimenticias.

En la quinta columna de la tabla 13 se observa el contenido de fibra para todas las variedades. La variedad que presentó el valor más alto fue PO, las otras variedades no tienen diferencia significativa entre ellas, exceptuando al trigo que tiene un contenido muy bajo menor a 1%.

El bajo contenido de fibra es debido a que la mayor parte se pierde en el descascarillado y se elimina en el salvado, lo cual es deseable para tener una sémola de buena calidad.

El menor contenido de fibra se obtuvo en el trigo, debido a que tiene una cubierta de salvado más delgada y transparente. El grano se encuentra parcialmente descascarillado, por tal razón, es más fácil quitar esta capa que en el caso de la cebada.

La variedad PO fue la que mostró mayor porcentaje de fibra. Esto debido a que de esta variedad se obtuvo un menor rendimiento de grano perlado en el

descascarillado, debido a que el grano cuenta con diversas capas de glumas y un tamaño de grano pequeño. Por lo tanto, mayor pérdida de cascarilla (salvado) que es la parte del grano en donde mayor porcentaje de fibra se tiene.

En la última columna de la tabla 13 se observa el porcentaje de carbohidratos. En todos los cereales es el mayor constituyente. Lo anterior se confirma, comparando todos los componentes de las variedades de cebada y del trigo. Los carbohidratos abarcan el mayor porcentaje en comparación con los demás constituyentes.

Diversos autores mencionan que los valores de los hidratos de carbono en la cebada van de 73-87%. Por lo tanto, todas las variedades están dentro del rango, en lo que respecta al trigo también está dentro de los límites establecidos con un 85.39% (Callejo, 2002; Hosenev, 1998; Serna, 2001, Dendy *et* Dobraszczyk, 2003).

Las variedades que mostraron mayor porcentaje de hidratos de carbono fueron EZ y ES, seguida por el trigo, las cuales estuvieron dentro del mismo rango. Las variedades de menor porcentaje fueron E1 y PO, no habiendo diferencia significativa entre ellas.

Comparando el contenido de carbohidratos de todas variedades, se encontraron las variedades AB y EA en los valores medios y sin diferencia significativa entre ellas.

Hosenev (1998) establece que el almidón es el carbohidrato que se encuentra en mayor proporción en los cereales. En las pastas es un factor determinante, porque su gelatinización va a influir en la calidad culinaria de los productos cocidos. En este grupo se encuentran también las pentosanas, que van a influir en la viscosidad de la pastas y algunos azúcares reductores como la glucosa, la sacarosa y la maltosa.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por lo tanto, se esperaría que las variedades con mayor contenido de carbohidratos tengan una mejor calidad en la pasta tanto culinaria como en el producto final.

### 5.2.1 Análisis fisicoquímico de las mezclas

Ya obtenido el análisis proximal de cada una de las variedades de sémola de cebada, se procedió a hacer las mezclas con sémola de trigo a los porcentajes 20, 40, 60, 80 y 100% y se calculó el análisis proximal de cada una de las mezclas.

**Tabla 14. Composición química de las mezclas de sémola de cebada**

Muestra	*Humedad	Proteína	Grasas	Cenizas	Fibra cruda	Carbohidratos
EA20	11.77(0.02) <sup>a</sup>	11.33(0.02) <sup>e</sup>	1.06(0.03) <sup>e</sup>	0.81 (0.01) <sup>a</sup>	1.28(0.02) <sup>a</sup>	84.88(0.05) <sup>e</sup>
EA40	11.96(0.01) <sup>b</sup>	10.83(0.01) <sup>d</sup>	0.97(0.05) <sup>d</sup>	0.96 (0.01) <sup>b</sup>	1.58(0.03) <sup>b</sup>	84.38(0.03) <sup>d</sup>
EA60	12.15(0.03) <sup>c</sup>	10.34(0.02) <sup>c</sup>	0.89(0.04) <sup>c</sup>	1.10 (0.03) <sup>c</sup>	1.89(0.01) <sup>c</sup>	83.87(0.02) <sup>c</sup>
EA80	12.34(0.01) <sup>d</sup>	9.85(0.05) <sup>b</sup>	0.80(0.03) <sup>b</sup>	1.25 (0.05) <sup>d</sup>	2.20(0.01) <sup>d</sup>	83.36(0.06) <sup>b</sup>
EA100	12.53(0.05) <sup>e</sup>	9.35(0.03) <sup>a</sup>	0.71(0.04) <sup>a</sup>	1.39 (0.06) <sup>e</sup>	2.51(0.01) <sup>e</sup>	82.86(0.04) <sup>a</sup>
ES20	11.22(0.03) <sup>e</sup>	11.35(0.01) <sup>e</sup>	1.12(0.06) <sup>d</sup>	0.79 (0.05) <sup>a</sup>	1.28(0.08) <sup>a</sup>	85.41(0.06) <sup>e</sup>
ES40	10.85(0.06) <sup>d</sup>	10.89(0.02) <sup>d</sup>	1.09(0.03) <sup>c</sup>	0.90 (0.03) <sup>b</sup>	1.60(0.03) <sup>b</sup>	85.36(0.05) <sup>d</sup>
ES60	10.49(0.02) <sup>c</sup>	10.42(0.03) <sup>c</sup>	1.05(0.02) <sup>b</sup>	1.02 (0.04) <sup>c</sup>	1.91(0.03) <sup>c</sup>	84.78(0.02) <sup>c</sup>
ES80	10.12(0.01) <sup>b</sup>	9.96(0.03) <sup>b</sup>	1.02(0.02) <sup>b</sup>	1.13 (0.01) <sup>d</sup>	2.22(0.04) <sup>d</sup>	84.28(0.03) <sup>b</sup>
ES100	9.76(0.07) <sup>a</sup>	9.49(0.09) <sup>a</sup>	0.99(0.06) <sup>a</sup>	1.25 (0.02) <sup>e</sup>	2.54(0.01) <sup>e</sup>	83.82(0.04) <sup>a</sup>
E120	11.97(0.05) <sup>a</sup>	11.28(0.06) <sup>e</sup>	1.04(0.06) <sup>e</sup>	0.79 (0.03) <sup>a</sup>	1.26(0.01) <sup>a</sup>	84.74(0.03) <sup>e</sup>
E140	12.37(0.06) <sup>b</sup>	10.75(0.03) <sup>d</sup>	0.92(0.02) <sup>d</sup>	0.91 (0.01) <sup>a</sup>	1.55(0.03) <sup>b</sup>	84.08(0.01) <sup>d</sup>
E160	12.76(0.08) <sup>e</sup>	10.21(0.02) <sup>c</sup>	0.81(0.01) <sup>e</sup>	1.04 (0.01) <sup>e</sup>	1.84(0.04) <sup>e</sup>	83.43(0.01) <sup>e</sup>
E180	13.15(0.05) <sup>d</sup>	9.67(0.07) <sup>b</sup>	0.70(0.01) <sup>b</sup>	1.16 (0.01) <sup>d</sup>	2.12(0.05) <sup>d</sup>	82.78(0.01) <sup>b</sup>
E1100	13.55(0.06) <sup>e</sup>	9.13(0.06) <sup>a</sup>	0.58(0.03) <sup>a</sup>	0.96 (0.05) <sup>b</sup>	2.41(0.06) <sup>e</sup>	82.13(0.02) <sup>a</sup>
EZ20	10.97(0.03) <sup>e</sup>	11.39(0.04) <sup>e</sup>	1.15(0.05) <sup>a</sup>	0.73 (0.02) <sup>a</sup>	1.28(0.02) <sup>a</sup>	85.66(0.03) <sup>e</sup>
EZ40	9.37(0.01) <sup>c</sup>	10.96(0.02) <sup>d</sup>	1.15(0.07) <sup>ab</sup>	0.80 (0.03) <sup>b</sup>	1.59(0.02) <sup>b</sup>	85.33(0.03) <sup>d</sup>
EZ60	9.76(0.06) <sup>d</sup>	10.53(0.06) <sup>c</sup>	1.16(0.05) <sup>ab</sup>	0.86 (0.01) <sup>c</sup>	1.90(0.04) <sup>c</sup>	85.20(0.04) <sup>c</sup>
EZ80	9.16(0.04) <sup>b</sup>	10.11(0.03) <sup>b</sup>	1.16(0.02) <sup>ab</sup>	0.92 (0.01) <sup>d</sup>	2.21(0.02) <sup>d</sup>	83.47(0.03) <sup>b</sup>
EZ100	8.55(0.04) <sup>a</sup>	9.68(0.03) <sup>a</sup>	1.16(0.01) <sup>b</sup>	0.99 (0.02) <sup>e</sup>	2.52(0.06) <sup>e</sup>	83.25(0.01) <sup>a</sup>

Composición química de las mezclas de las seis variedades de sémola de cebada expresado en porcentaje base seca.

\*Base húmeda

En la tabla 14 se observa que el contenido de proteína fue disminuyendo en todas las mezclas conforme se incrementó el porcentaje de sémola de cebada. Debido a que la cebada tiene menores porcentajes de proteína que el trigo como se muestra en la tabla 13. Por lo tanto, las mezclas que contengan más proteína serán las idóneas para obtener pastas de buena calidad.

Como se mencionó anteriormente, el rango de proteína que exige la norma para la elaboración de una pasta de calidad es de 11-13%. Todas las variedades sustituidas con 20% de cebada cumplen con el límite establecido. A un nivel de sustitución del 40 y 60%, todas las variedades se encuentran en un rango de 10-11%, por lo que todavía son aceptables para dicho proceso.

En lo que respecta al nivel de sustitución de 80% sólo EZ rebasa el 10% de contenido proteico, las otras variedades están debajo de 10%. A una sustitución de 100% el porcentaje de proteína es bajo y por lo tanto, las pastas elaboradas no serán de buena calidad.

Aun así, se elaborará la pasta de todas las mezclas en estudio, para comparar y evaluar la calidad final de las pastas a diferentes proporciones de sémola de cebada y sémola de trigo.

Un parámetro variable es el contenido de humedad que se modifica dependiendo de cada variedad de cebada.

Algunas variedades tienen una humedad menor que el trigo, por lo que van a absorber mayor cantidad de agua conforme se vayan mezclando. Como en el caso de EZ. Otras variedades poseen mayor humedad que el trigo por lo que no absorben agua como E1 en donde aumentan los porcentajes de este componente.

Con respecto al contenido de cenizas y fibra, van aumentando al incrementar el porcentaje de sémola de cebada. Sin embargo, el contenido de carbohidratos es

menor al disminuir el porcentaje de sémola de trigo. Esto debido a que el grano de trigo tiene mayor porcentaje de carbohidratos que la cebada.

En lo que respecta al contenido de grasa, no hay diferencias significativas entre las mezclas.

### 5.3 Calidad física de las sémolas

En la tabla 15 se muestran los resultados de la calidad física de las sémolas.

**Tabla 15. Valores de las pruebas de calidad física realizadas a las sémolas de cebada y de trigo (%)**

Variedad	CAAS	IAA (ggel/gsólidos)	ISA	CH 60°C	CH 70°C	CH 80°C
<b>EA</b>	25.39(0.01) <sup>b</sup>	3.28 (0.04) <sup>b</sup>	0.05(0.00) <sup>d</sup>	5.62 (0.04) <sup>b</sup>	5.43 (0.05) <sup>b</sup>	7.01 (0.20) <sup>c</sup>
<b>ES</b>	27.85(0.03) <sup>e</sup>	4.43 (0.11) <sup>d</sup>	0.04(0.01) <sup>cd</sup>	6.25 (0.14) <sup>d</sup>	6.23 (0.07) <sup>d</sup>	7.18 (0.05) <sup>d</sup>
<b>E1</b>	22.15(0.02) <sup>a</sup>	3.43 (0.06) <sup>c</sup>	0.03(0.00) <sup>b</sup>	5.63 (0.17) <sup>b</sup>	5.56 (0.05) <sup>c</sup>	7.20 (0.02) <sup>d</sup>
<b>EZ</b>	31.40(0.01) <sup>d</sup>	4.47 (0.19) <sup>e</sup>	0.04(0.00) <sup>c</sup>	6.17 (0.01) <sup>c</sup>	6.03 (0.25)	6.76 (0.27) <sup>b</sup>
<b>TRIGO</b>	26.50(0.02) <sup>c</sup>	2.61 (0.04) <sup>a</sup>	0.02(0.00) <sup>a</sup>	4.15 (0.03) <sup>a</sup>	5.24 (0.22) <sup>a</sup>	6.41 (0.05) <sup>a</sup>

Diversos factores pueden influir en la gelatinización del almidón como son: la humedad, la temperatura y el tamaño de partícula.

Las propiedades de las masas elaboradas se evaluaron con las pruebas de la tabla 15.

Como podemos ver en la tabla 15, todas las variedades son diferentes entre si. La variedad E1 fue la que menor CAAS tuvo. Si comparamos con la tabla 13 fue la variedad que más humedad inicial registró y por lo tanto, necesitó menos cantidad de agua para su hidratación y para la obtención de una masa con las características adecuadas. En cambio EZ fue la que mayor CAAS registró y la que tuvo una humedad inicial menor.

Las variedades EA y ES tuvieron diferencia significativa entre ellas, pero estuvieron en medio de las demás variedades al igual que el trigo. Comparando dichos valores con la tabla 13, se observa que cumplen con lo estipulado en las otras variedades.

Los componentes químicos como proteínas y carbohidratos pueden influir en la CAAS. Si se toman en cuenta las interacciones que hay entre la proteína, el agua y el porcentaje de almidón dañado, puede existir una retención física de agua por acción capilar en la nueva estructura formada por agregación de proteínas. Así mismo, a mayor porcentaje de estos componentes, mayor retención de humedad en el grano (Torres, 2003; Hernández, 1999).

Los valores obtenidos en la CAAS algunas veces van a depender de las características de las sémolas como: humedad inicial, la temperatura, cantidad de proteínas y el porcentaje de almidón dañado en la molienda (Guzmán, 2005). Lo anterior provoca un aumento en su capacidad de retención de agua.

También puede influir la rapidez de absorción de cada variedad con el amasado, las características del grano y el tamaño de partícula debido a que las partículas de sémola se hidratan rápidamente cuando el tamaño de partículas es pequeño.

De acuerdo a lo reportado por Guzmán (2005), el análisis de las propiedades de hidratación se realiza para determinar la cantidad de agua necesaria para formular una masa, y así poder hidratar adecuadamente sin desaprovechar el contenido de agua.

En la tabla 15 se observa que el trigo comparado con las variedades EA, ES, E1 y EZ es el cereal que menos capacidad de hidratación tuvo a las tres temperaturas, lo que indica que fue el cereal que necesito una menor cantidad de agua para que se llevara a cabo la gelatinización del almidón.

Comparando los valores del trigo a las tres temperaturas se observa que la CH incrementa conforme aumenta la temperatura, debido a que el almidón se va hinchando y por lo tanto va requiriendo una mayor cantidad de agua para que ocurra la gelatinización.

En lo que respecta a las variedades de cebada EA y E1 no tienen diferencias significativas entre si, al igual que ES y EZ de las cuales sus diferencias son mínimas.

Las cebadas EA y E1 tuvieron una capacidad de hidratación menor que ES y EZ a las tres temperaturas. Comparando la CH entre las tres temperaturas se observa que las cuatro variedades tuvieron una CH menor a la temperatura de 70°C. Esto puede explicarse debido a puede haber variaciones por el contenido acuoso presente en lo almidones durante su análisis dependiendo de la variedad. En este caso la variación más notable fue entre los dos tipos de cereal trigo y la cebada.

La capacidad de hidratación es importante porque nos va a indicar la cantidad de agua que se adiciona para que se gelatinice el almidón y por lo tanto se lleva a cabo a diferentes temperaturas.

Debido a que los gránulos de almidón se hinchan más cuando se calientan en medio acuoso y cuando se alcanza cierta temperatura, el hinchamiento llega a ser irreversible y se puede alterar la estructura del gránulo. Hosoney (1991) menciona que las temperaturas de gelatinización están basadas en el contenido de almidón y el tamaño del grano.

Con respecto al IAA e ISA, el trigo fue el que menor porcentaje registro. De acuerdo a su composición química, el trigo fue el que tuvo el menor contenido de fibra.

En lo que respecta a las cebadas, E1 fue la de menor porcentaje. Por lo cual se establece que la fibra a ser material que va a diferenciar a las muestras y la que impide la facilidad de absorber agua.

En todas las variedades los valores fueron mínimos, pero la diferencia significativa está entre el trigo y la cebada por lo mencionado anteriormente.

Los bajos valores indican que es necesario añadir más agua a las muestras que tienen un menor IAA. Un elevado valor de IAA de la fibra y las proteínas, va a permitir formar una masa más adherente y con mejores propiedades.

Fernández *et.al.*, (1991) señalan que a menor contenido de fibra en las harinas, menor capacidad de retención de agua.

Las variedades ES y EZ fueron las que mayores IAA obtuvieron lo que significa que tienen mayor capacidad de absorción de agua y en lo que respecta a EA y E1 tuvieron valores menores de IAA e ISA.

El ISA y el IAA, nos van a indicar el peso de sólidos secos y el peso del precipitado respectivamente. Con este análisis se determinó cual de las sémolas absorbió más agua según su contenido, la calidad de su proteína y el porcentaje de fibra que contengan.

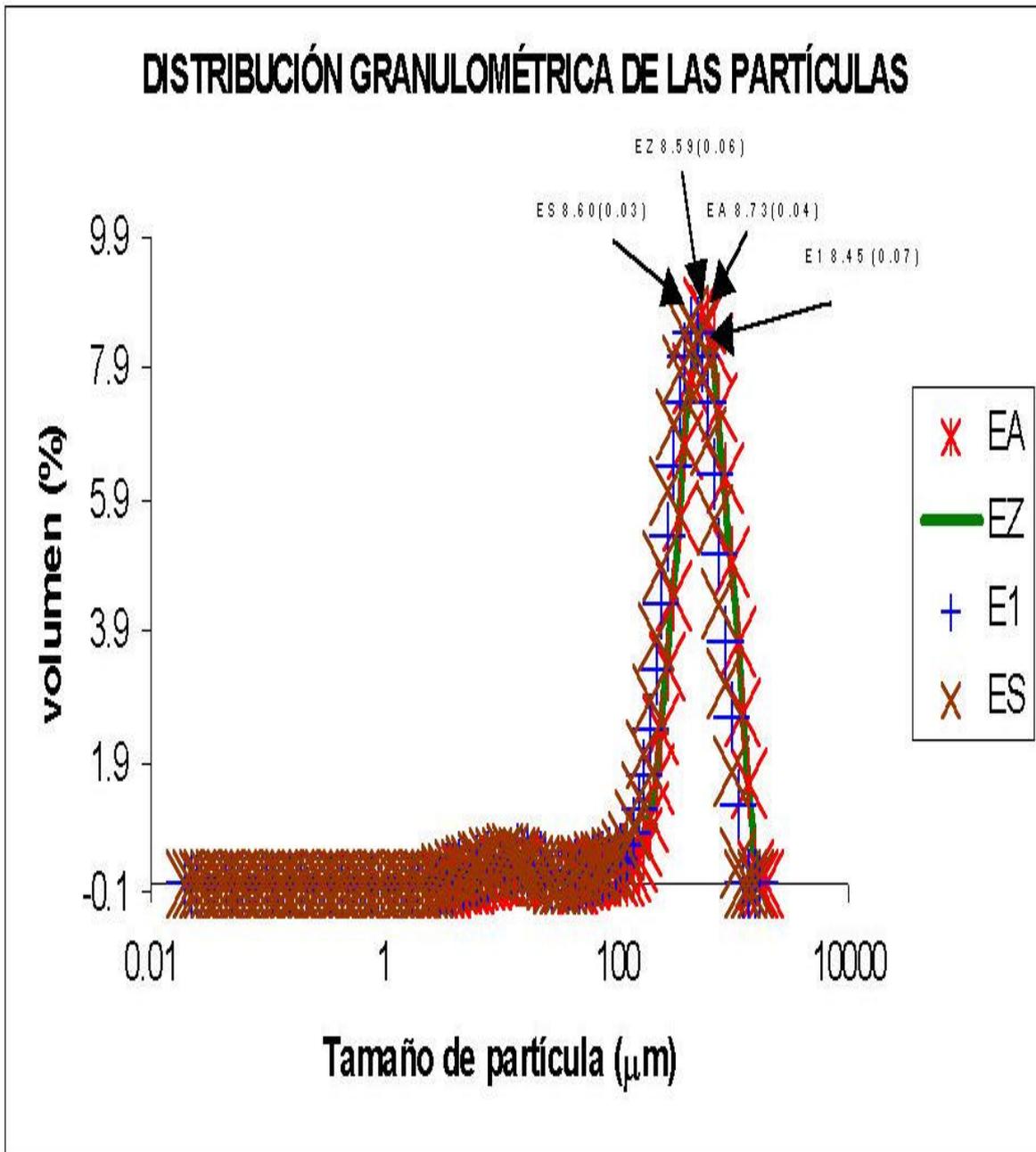
Este factor nos va a ayudar a evaluar la calidad de la sémola en cuanto a la pérdida de sólidos en el agua.

### **5.4 Caracterización física de las sémolas**

#### **5.4.1 Tamaño de partícula**

En la figura 3 se observa la gráfica general que incluye los promedios de las replicas realizadas a las cuatro variedades de cebada analizadas, las cuales no muestran diferencias entre sí.

Figura 3. Gráfica de tamaño de partícula de las variedades de sémola de cebada



Se grafica el tamaño de partícula contra el volumen de cada muestra y se observa que todas las variedades presentan 2 picos bien definidos, lo que indica que en

todas hay dos tipos de granulometría en cada una de las variedades. Pero comparándolas entre sí, todas son similares en el tamaño de partícula, es por ello que en la gráfica no se ven diferencias entre ellas.

Se puede observar que en el primer pico ES y E1 no presentan diferencias significativas entre ellas, forman el pico casi en la misma área; lo mismo sucede con EZ y EA. La diferencia es que E1 y ES muestran el pico más alto que EZ y EA, por lo tanto presentan un tamaño de partícula mayor en lo que respecta al primer pico.

En cuanto al segundo pico se puede observar que las cuatro variedades no presentan diferencias significativas, aunque al igual que en primer pico, ES y E1 son ligeramente mayores en volumen que EZ y EA.

En la figura 3 se observa que los picos más altos en todas las variedades tienen valores alrededor de 8.45 y 8.73, están dentro del mismo rango.

Las gráficas de cada una de las variedades de sémola de cebada con sus repeticiones, se presentan en el anexo 1, y se puede observar que todas presentan los mismos picos y que no hay diferencia significativa entre ellas. El tamaño de partícula fue homogéneo para todas las variedades.

La tabla 16 muestra el promedio del tamaño de partícula del volumen total de la muestra a diferentes porcentajes del volumen.

La variación del tamaño de partícula va a depender de las propiedades del almidón que contenga cada variedad, de las condiciones de cosecha, almacenamiento y molienda, es por eso que existen diferencias entre todas las variedades. Un aspecto que caracteriza a las variedades EA, ES, E1 y EZ es que todas fueron cultivadas en Hidalgo bajo las mismas condiciones y con un tipo de clima similar.

Lo anterior indica que las diferencias no son tan marcadas entre las variedades. La mayoría cumple la norma del CODEX STAN 178-1995 que menciona que la granulometría para una sémola oscila entre 630-125 $\mu$ m. Éstas pueden ser finas o gruesas según el gránulo que presenten dentro de los valores mencionados. Las variedades en estudio muestran sémolas gruesas.

En la tabla 16 se observa que a un volumen de 90% se muestran los mayores promedios de tamaños de partícula por encima de 500  $\mu$ m. Respecto al 50% en la variedad EZ se tienen tamaños de partícula que rebasan 600 $\mu$ m. En los volúmenes 10 y 75% no hay diferencias significativas entre el tamaño de partícula de cada una de las variedades de cebada.

**Tabla 16. Distribución del tamaño de partícula ( $\mu$ m)**

Variedad	D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>90</sub>
EA	234.35 (0.01) <sup>c</sup>	513.61 (0.05) <sup>c</sup>	193.43 (0.01) <sup>c</sup>	550.11 (0.01) <sup>c</sup>
ES	183.63 (0.03) <sup>a</sup>	473.77 (0.03) <sup>a</sup>	133.38 (0.04) <sup>a</sup>	501.18 (0.02) <sup>a</sup>
E1	198.50 (0.00) <sup>b</sup>	484.52 (0.01) <sup>b</sup>	153.42 (0.03) <sup>b</sup>	515.08 (0.05) <sup>b</sup>
EZ	287.04 (0.01) <sup>d</sup>	606.48 (0.01) <sup>d</sup>	282.7 (0.02) <sup>d</sup>	557.84 (0.06) <sup>d</sup>

Comparando los valores de todas las variedades de la tabla 16 se observa que la variedad EZ presenta mayores tamaños de partícula a los diferentes volúmenes. ES presenta las menores cantidades seguida por E1. EA se encuentra posterior a EZ.

Basándonos los resultados obtenidos, podemos decir que el tamaño de partícula de cada variedad podrá influir en las características del almidón (peso, forma), pero no afectará las características de la masa que será utilizada para la elaboración de la pasta. Además, mientras cumpla con los rangos establecidos de tamaño de partícula para que se considere sémola se puede utilizar en la elaboración de pastas alimenticias.

El tamaño de partícula de la sémola va a influir en la calidad de la pasta. Según Kill *et* Turnbull (2004), cuando la sémola se pone en contacto con un exceso de agua, está se hinchara hasta que su volumen sea el doble del original. La velocidad de hinchamiento dependerá de la granulometría de la sémola.

En las variedades utilizadas en este trabajo, se considera gruesa la granulometría que tienen las sémolas en estudio. Por lo que es de esperarse, que absorban el agua más lentamente que las sémolas finas, pero el grado final de hinchamiento será igual en ambos tipos de sémola.

#### 5.4.2 Determinación de color

En la tabla 17 se muestran los parámetros a, b y L para evaluar el color de las variedades de cebada y el trigo.

Haciendo la comparación entre las variedades de cebada, ES y E1 son las que presentan mayor índice de blancura no habiendo diferencia significativa. Al compararlas con la sémola de trigo hay diferencia debido a que pueden estar presentes partículas de salvado o puede ser causa de la variedad. En lo que respecta a EA es la más oscura a diferencia de las otras variedades.

**Tabla 17. Color de las sémolas de cebada y trigo**

<b>Variedad</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>EA</b>	86.81 (0.73) <sup>a</sup>	1.51 (0.15) <sup>d</sup>	9.37 (0.32) <sup>a</sup>
<b>ES</b>	88.84 (0.37) <sup>d</sup>	1.24 (0.15) <sup>b</sup>	9.95 (0.23) <sup>d</sup>
<b>E1</b>	88.08 (1.24) <sup>c</sup>	1.21 (0.13) <sup>b</sup>	9.62 (0.55) <sup>c</sup>
<b>EZ</b>	87.40 (0.37) <sup>b</sup>	1.41 (0.21) <sup>c</sup>	9.50 (0.39) <sup>b</sup>
<b>TRIGO</b>	90.10 (0.54) <sup>e</sup>	0.09 (0.01) <sup>a</sup>	11.50 (0.39) <sup>e</sup>

L: negro = 0, blanco =100

a: +rojo / -verde

b: += amarillo / -azul

Con respecto al parámetro “b”, se observa que EA tiene el valor más bajo y el trigo el más alto, E1 y EZ no tienen diferencia significativa entre ellas; si comparamos los valores de “b” en las variedades de cebada observamos que EA es la que se torna en un color más oscuro, por lo que se deduce que el tipo de variedad presentó un color más oscuro, E1 y EZ están en el mismo rango de 9 por lo que se deduce que el color no varía entre ellas; respecto a ES presenta un valor casi de 10, lo que demuestra que el color amarillo es más marcado en el trigo y en ES. En cuanto al parámetro “L” se observa que el color más blanco lo tiene la sémola de trigo.

El gluten estuvo presente en el trigo por lo que se supone que a mayor contenido de gluten, la matriz proteica que se forma alrededor del almidón disminuye la disponibilidad de los extremos reductores de los azúcares y por lo tanto la posibilidad de que ocurra la reacción de Maillard (Gilles *et* Youngs, 2000).

La mayoría de las sémolas presentan un color de crema a amarillo claro de acuerdo al parámetro “b” y el trigo un color más blanco basándonos en el parámetro “L” según la escala *Lab* utilizada para evaluar el color de las sémolas.

El tamaño de partícula, las proteínas y la cantidad de pigmentos café presentes en cada variedad, son algunos de los factores que pueden influir en la variación de color de una sémola a otra.

### **5.4.3 Determinación de número de pecas**

En la tabla 18 se observan los resultados de la prueba que se realizó para determinar el número de pecas en las diferentes mezclas de sémola de cebada y trigo.

Se observa que la sémola de trigo no registró manchas o pecas. En cuanto a las mezclas de trigo y cebada se puede ver que ninguna rebasa 100cm<sup>2</sup> de pecas. En

todas las mezclas, el número de manchas va aumentando conforme se sustituye la sémola de trigo por sémola de cebada.

**Tabla 18. Número de pecas en cada mezcla de sémola de cebada y trigo**

<b>MEZCLAS</b>	<b>Número de pecas/ cm<sup>2</sup></b>
<b>EA20</b>	20
<b>EA40</b>	40
<b>EA60</b>	50
<b>EA80</b>	50
<b>EA100</b>	60
<b>ES20</b>	0
<b>ES40</b>	20
<b>ES60</b>	20
<b>ES80</b>	20
<b>ES100</b>	30
<b>E120</b>	20
<b>E140</b>	20
<b>E160</b>	30
<b>E180</b>	40
<b>E1100</b>	60
<b>EZ20</b>	0
<b>EZ40</b>	20
<b>EZ60</b>	20
<b>EZ80</b>	50
<b>EZ100</b>	60
<b>TRIGO</b>	0

Se sugiere que el número de manchas por unidad de área no debe exceder de 100cm<sup>2</sup> para que una sémola sea considerada de buena calidad para elaborar pastas. Todas las sémolas cumplen con lo anterior ya que ninguna rebasa los 100cm<sup>2</sup> (Gilles *et* Youngs, 2000).

La realización de esta prueba fue más sencilla debido a que las muestras en estudio son sémolas gruesas por su granulometría. En una sémola gruesa, las partículas de salvado son claramente visibles (Avecías, 1998).

Las mezclas de las variedades EZ y EA fueron las que mostraron más cantidad de manchas, contrario a ES y E1 que tuvieron menor cantidad, pero haciendo una comparación de todas las mezclas, los porcentajes de 80% y 100% de sustitución con sémola de cebada mostraron mayor cantidad de manchas.

La aparición de manchas en las mezclas se pudo ser causada por la calidad del cereal, la eficiencia de la limpieza, la eficiencia de la molienda, etc.

La mayor parte de las sustancias inorgánicas se encuentran en el salvado, cuanto mayor sea el número de pecas presentes en la semolina, mayor será su contenido de cenizas y disminuirá su calidad.

Por lo tanto, todas las mezclas se encuentran dentro de los límites establecidos para la presencia de pecas, las sémolas no tienen tanta contaminación por salvado y por lo tanto podrán obtenerse pastas de buena apariencia física.

### **5.5 Análisis reológicos de las masas**

#### **5.5.1 Análisis de perfil de textura (APT)**

En la tabla 19 se observa que las masas elaboradas con mezclas de sémola de cebada y trigo presentaron mayor dureza y cohesividad que la masa de trigo 100%. Además al aumentar el porcentaje de sémola de cebada en cada variedad aumentaron dichos parámetros.

En cuanto a la adhesividad la masa de trigo presentó mayor porcentaje debido a que el gluten es el único que le da a la masa las propiedades viscoelásticas

adecuadas y se forma por hidratación e hinchamiento de sus proteínas (gliadina y glutelina).

**Tabla 19. Influencia de la proporción de la sémola de cebada en parámetros de APT en la dureza, cohesividad y adhesividad de cada variedad.**

<b>MEZCLAS</b>	<b>Dureza (g<sup>f</sup>)</b>	<b>Cohesividad (g.s)</b>	<b>Adhesividad (g.s)</b>
<b>EA20</b>	15.26(0.11) <sup>a</sup>	12.79(0.07) <sup>a</sup>	8.25(0.01) <sup>e</sup>
<b>EA40</b>	17.80(0.24) <sup>b</sup>	14.48(0.37) <sup>b</sup>	8.07(0.03) <sup>d</sup>
<b>EA60</b>	19.76(1.3) <sup>c</sup>	16.65(0.45) <sup>c</sup>	6.61(0.05) <sup>c</sup>
<b>EA80</b>	21.57(0.30) <sup>d</sup>	24.09(0.12) <sup>d</sup>	5.68(0.04) <sup>b</sup>
<b>EA100</b>	24.68(0.11) <sup>e</sup>	32.35(0.37) <sup>e</sup>	4.37(0.01) <sup>a</sup>
<b>ES20</b>	14.27(0.32) <sup>a</sup>	10.11(0.30) <sup>a</sup>	6.74(0.02) <sup>e</sup>
<b>ES40</b>	22.17(0.66) <sup>b</sup>	21.65(0.05) <sup>b</sup>	5.29(0.01) <sup>d</sup>
<b>ES60</b>	34.96(0.37) <sup>c</sup>	23.15(0.39) <sup>c</sup>	3.84(0.02) <sup>c</sup>
<b>ES80</b>	41.74(0.57) <sup>d</sup>	27.24(0.22) <sup>d</sup>	3.22(0.01) <sup>b</sup>
<b>ES100</b>	47.86(0.35) <sup>e</sup>	28.15(0.25) <sup>e</sup>	2.53(0.02) <sup>a</sup>
<b>E120</b>	13.03(0.28) <sup>a</sup>	16.24(0.16) <sup>a</sup>	6.26(0.04) <sup>e</sup>
<b>E140</b>	21.73(0.52) <sup>b</sup>	17.35(0.21) <sup>b</sup>	5.01(0.04) <sup>d</sup>
<b>E160</b>	26.58(0.51) <sup>c</sup>	22.36(0.07) <sup>c</sup>	4.07(0.01) <sup>c</sup>
<b>E180</b>	32.52(0.32) <sup>d</sup>	33.22(0.10) <sup>d</sup>	3.78(0.01) <sup>b</sup>
<b>E1100</b>	39.04(0.48) <sup>e</sup>	35.67(0.42) <sup>e</sup>	3.14(0.01) <sup>a</sup>
<b>EZ20</b>	16.09(0.41) <sup>a</sup>	14.12(0.39) <sup>a</sup>	8.92(0.03) <sup>e</sup>
<b>EZ40</b>	23.53(0.33) <sup>b</sup>	23.07(0.71) <sup>b</sup>	7.77(0.03) <sup>d</sup>
<b>EZ60</b>	26.25(0.14) <sup>c</sup>	33.97(0.12) <sup>c</sup>	5.55(0.02) <sup>c</sup>
<b>EZ80</b>	30.56(0.46) <sup>d</sup>	44.72(0.15) <sup>d</sup>	4.01(0.02) <sup>b</sup>
<b>EZ100</b>	36.89(0.14) <sup>e</sup>	46.66(0.23) <sup>e</sup>	3.82(0.02) <sup>a</sup>
<b>TRIGO</b>	12.44(0.61) <sup>a</sup>	15.45(0.42) <sup>a</sup>	8.50(0.03) <sup>a</sup>

Dicho hinchamiento posibilita la formación de la masa: unión, elasticidad y capacidad para ser trabajada mejor, además mantenimiento de la forma de las piezas.

Conforme se aumentó el porcentaje de sémola de cebada se modificó la adhesividad, la cohesividad y la dureza debido a que la proteína de cebada (hordeína) no confiere las propiedades del gluten.

La cohesividad es un factor que va a disminuir conforme aumenta el porcentaje de trigo, se puede deber al tiempo y condiciones de almacenamiento de la sémola de cada variedad.

De acuerdo a Weipert (1990), probablemente los polímeros de glutelina forman estructuras muy cohesivas que se fortalecen con el tiempo debido a procesos oxidativos que ocurren en las redes del gluten con oxígeno o a un mejor arreglo de glutenina permitiendo más interacciones físicas entre ellos.

Las masas que tienen mayor porcentaje de cebada tendrán mayor cohesividad porque no tienen capacidad de retener gases y por lo tanto la dureza es mayor porque hay menos cantidad de gluten y no se provoca el esponjamiento y manejabilidad de la masa. Por esta razón se romperán con mayor facilidad.

Además a mayor porcentaje de cebada la masa se hace más pegajosa porque la red de gluten se rompe y por lo tanto, la masa es difícilmente manejable y procesable.

La adición de ingredientes como aceite de oliva y huevo ayudan a aminorar la pegajosidad; el huevo, va a incrementar el contenido proteico y por lo tanto incrementa la fuerza de unión entre las partículas que forman la masa, haciéndola más cohesiva y adhesiva, pero no lo suficiente como para igualarla con una 100% trigo.

Una masa rica en gluten es más fuerte y absorbe mucha agua teniendo masas más elásticas con consistencia; en cambio, una masa con poco gluten se desintegra fácilmente no absorbe agua y no es óptima para elaborar pastas ya que no se puede moldear.

La textura en las muestras fue variable por la especie del cereal con que se elaboro la masa, la variedad, las condiciones de crecimiento y el proceso de elaboración de las masas.

Las masas a un nivel de sustitución de 100, 80 y 60% de todas las variedades producen las masas con mayor dureza, cohesividad y poca elasticidad, lo cual indica que no serán muy recomendables para obtener pastas alimenticias de buena calidad.

### **5.6 Caracterización física de las masas**

#### **5.6.1 Microscopia electrónica de barrido (MEB)**

La microestructura de la superficie de las masas de las diferentes variedades estudiadas fue observada a una amplitud de 500x, 1000x, 1500x y 2000x utilizando un flujo de electrones de 2.5 KV.

La masa evaluada tiene los ingredientes de la formulación completa de la pasta. Las observaciones de la masa en MEB muestran imágenes con forma irregular de diferentes tamaños esto debido a eventos químicos y fisicoquímicos que pueden alterar la estructura de la imagen (Dalla *et al.*, 1996).

Además, la presencia de los ingredientes adicionados a la masa como huevo, aceite de oliva, sal, pueden alterar las condiciones de la masa y por lo tanto las estructuras que puedan presentarse (Fannon *et al.*, 1993).

En la figura 4 se muestra la masa elaborada con trigo a diferentes amplitudes 500x, 1000x, 1500x y 2000x, se pueden observar claramente las estructuras de los gránulos de almidón en diversas formas y tamaños. También se aprecia la

estructura de las proteínas, algunas adheridas a los gránulos, pero todas muestran estructuras circulares y elípticas, lo cual indica que los gránulos de almidón están distribuidos uniformemente (Cunin, 1997).

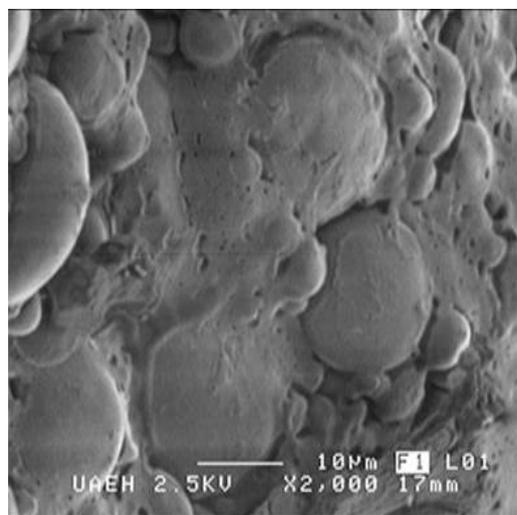
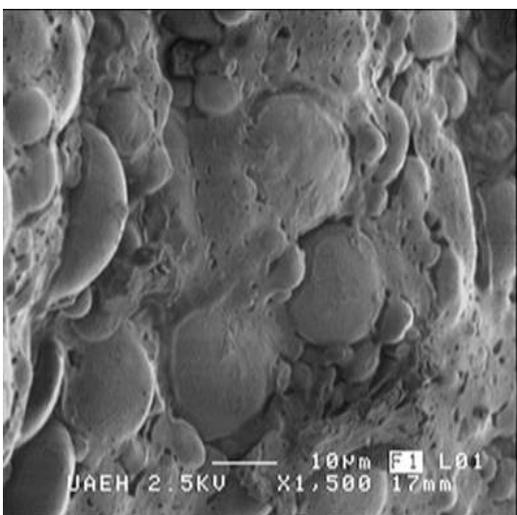
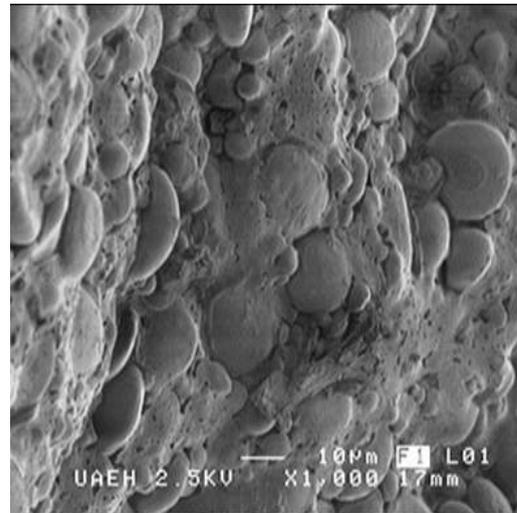
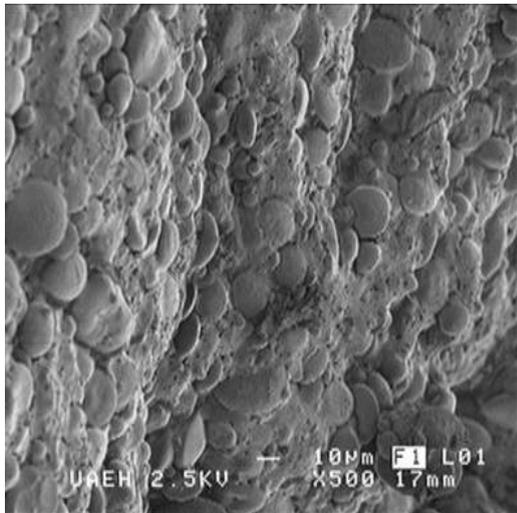
Las figuras 5, 6, 7 y 8 muestran las micrografías de las variedades EA, ES, E1 y EZ a amplitudes de 500x, 1000x, 1500x y 2000x.

Se observan gránulos de almidones pequeños y grandes en todas las variedades de cebada, esto se debe al acomodo y conformación de los gránulos y como ya se menciono a diversos factores que intervienen en la estructura de la masa. También se observan con formas lenticulares y circulares de varios tamaños.

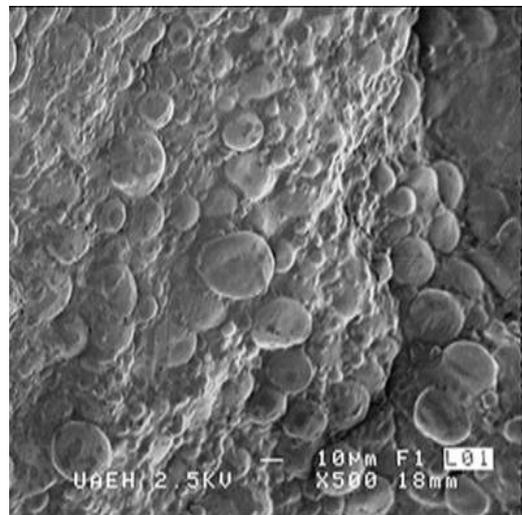
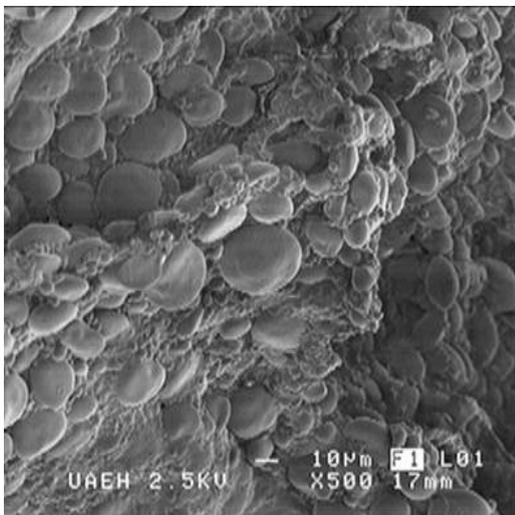
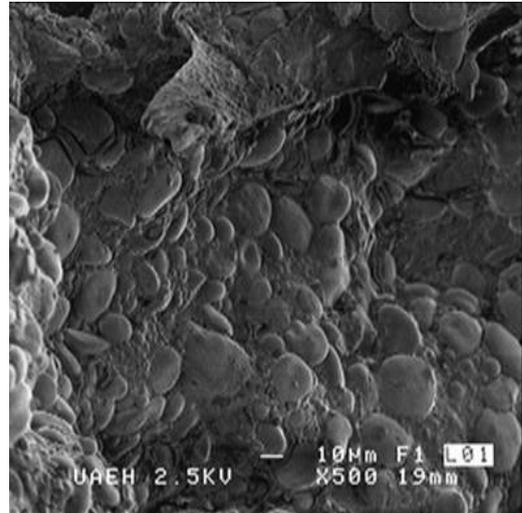
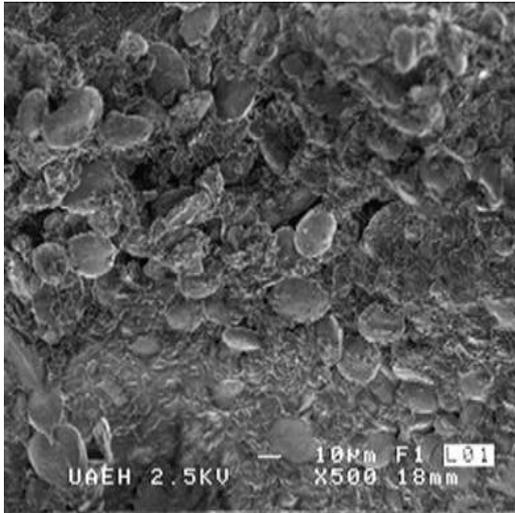
En general se observan gránulos en forma ovalada con una distribución uniforme, en algunos casos se pueden ver aglomerados de proteínas envueltos en gránulos de almidón grandes aparentando una estructura filamentosa en forma de red, algunos se encuentran más unidos entre si, esto quizá por la acción de los ingredientes adicionales. También se pueden ver gránulos de almidón dispersos unos con otros o unidos entre sí con estructura circular (Gallant *et al.*, 1997).

Se observan estructuras en forma de hilos que en el caso de que la molienda no haya sido adecuada, pueden deberse a partículas de fibra que se quedaron adheridas en la sémola con la cual se elaboró la masa, de acuerdo a lo mencionado por McDonough *et Rooney* (1999).

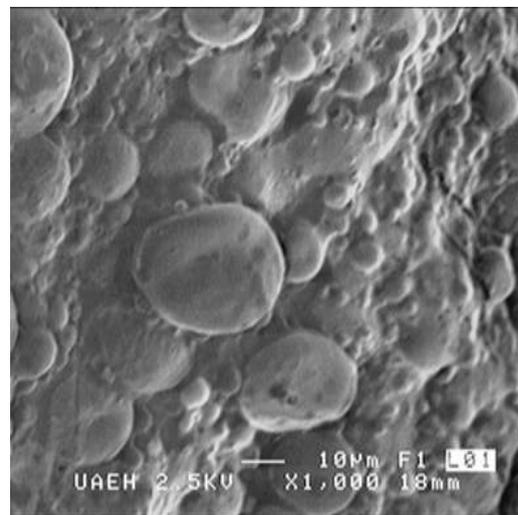
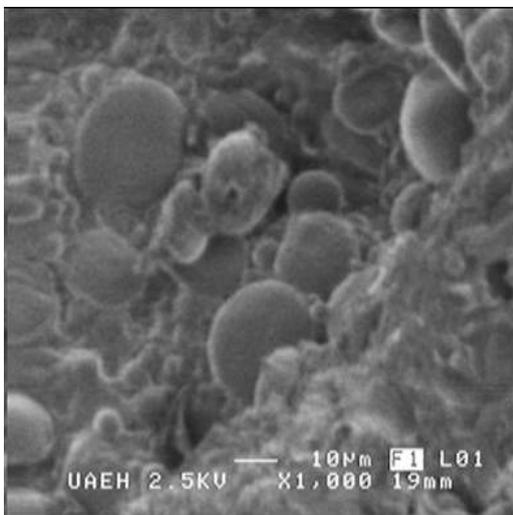
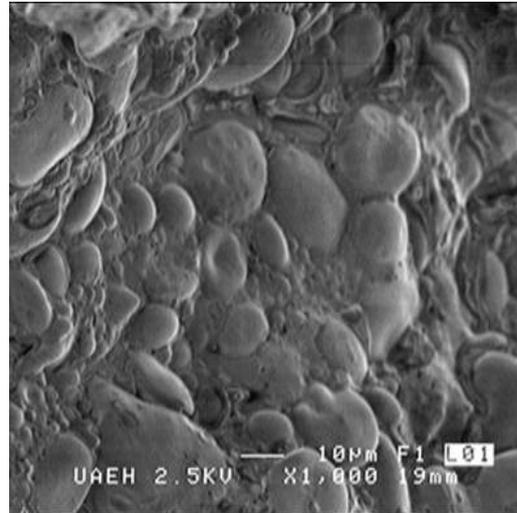
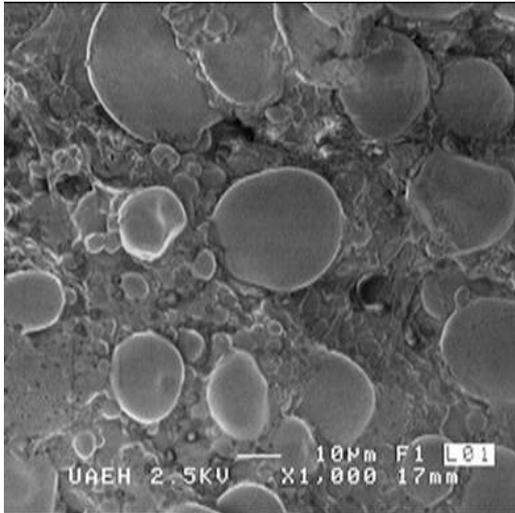
**Figura. 4. Micrografías de la masa de sémola de trigo tomadas a una amplitud de 500x, 1000x, 1500x y 2000x respectivamente**



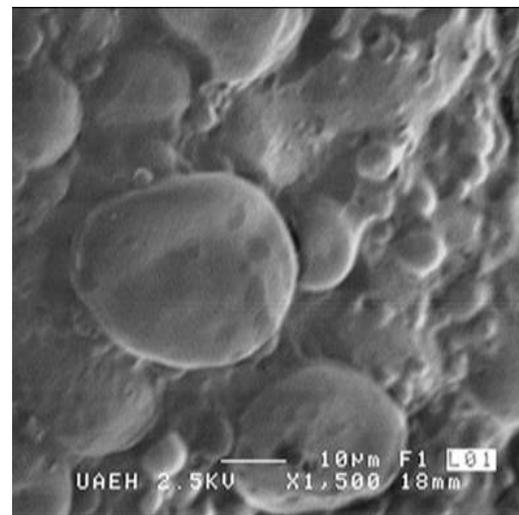
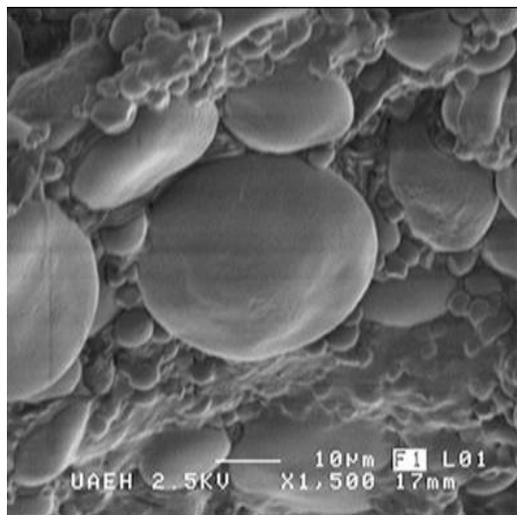
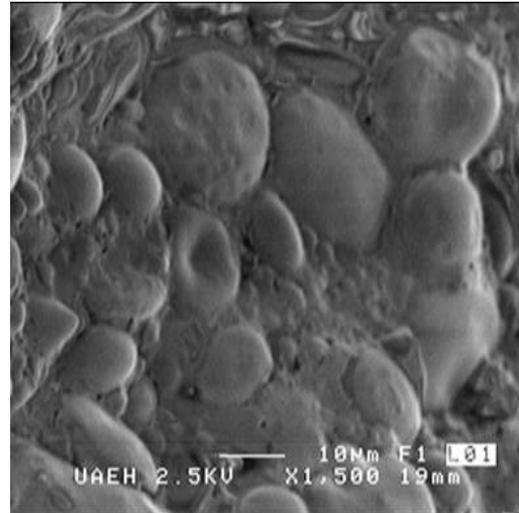
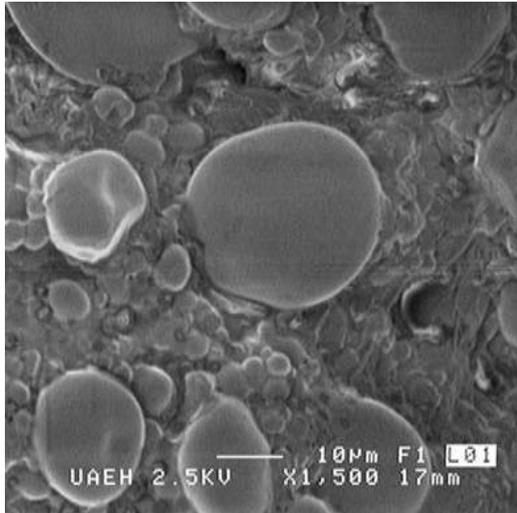
**Figura 5. Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 500x, respectivamente**



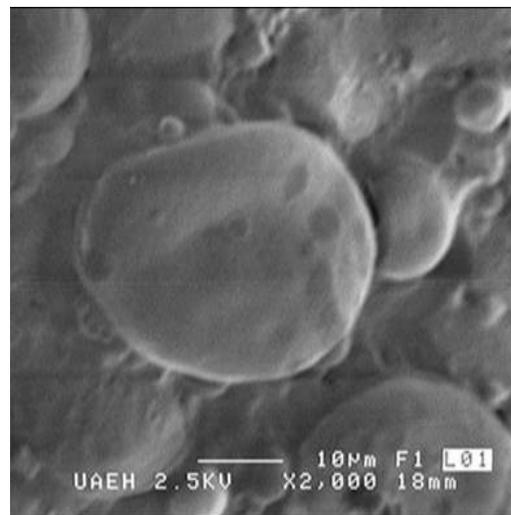
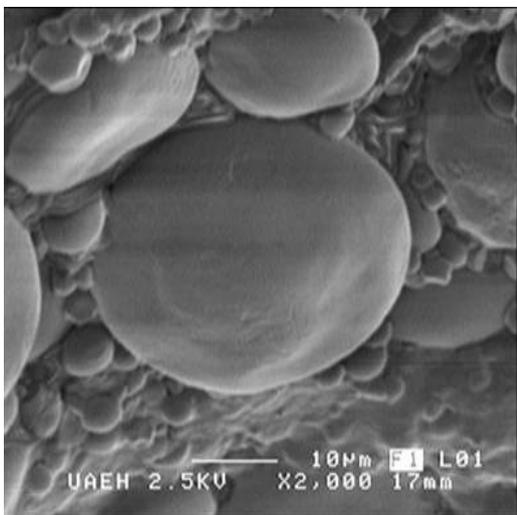
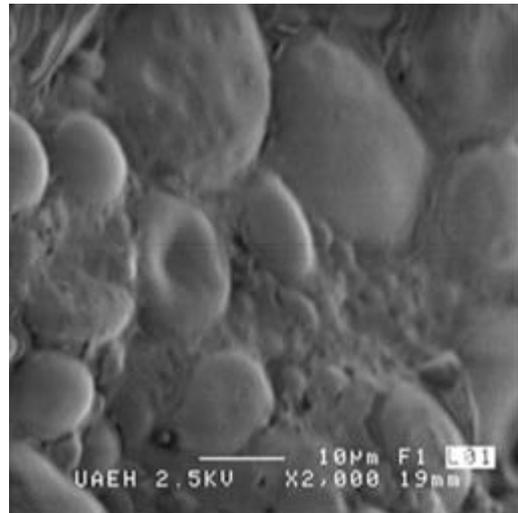
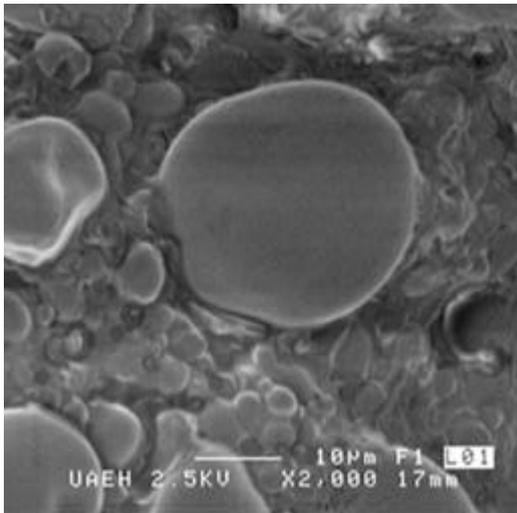
**Figura 6. Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 1000x, respectivamente**



**Figura 7. Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 1500x, respectivamente.**



**Figura 8. Micrografías de las masas de sémola de cebada de las variedades EA, ES, E1 y EZ tomadas a una amplitud de 2000x, respectivamente.**



En la figura 5 se muestran las micrografías de las diferentes masas de sémola de cebada, tomadas a una amplitud de 500x. En ES y E1 es difícil distinguir claramente los gránulos de almidón pero se observan aglomerados de proteína que los envuelven.

En las variedades EA y EZ se pueden ver gránulos esféricos y circulares de varios tamaños y aglomerados de proteína que junto con el almidón hacen una especie de surcos, envolviendo al almidón presente en la cebada.

En la figura 6 se observan las diferentes masas a una amplitud de 1000x. En las micrografías de las cuatro variedades se muestran de forma más clara estructuras elípticas y ovaladas que representan a los gránulos de almidón.

En menor proporción se pueden ver aglomerados proteicos, pero se observan pequeños huecos que pudieron ser provocados por el almidón al salirse de la matriz proteica en el endospermo, probablemente en la preparación de la muestra (Dexter *et al.*, 1990). Este fenómeno se presenta con mayor intensidad en las variedades E1 y ES.

Conforme aumenta la amplitud de las micrografías, se observa con mayor claridad la estructura de los gránulos de almidón en todas las variedades (Cunin, 1997). En la figura 7 se muestran las masas de sémola a una amplitud de 1500x. En la variedad E1 se distinguen los gránulos de almidón más grandes, pero también se observan pequeños aglomerados de proteínas.

En la variedad EZ se observan huecos en los aglomerados lo cual pudo ser causado por los ingredientes adicionados a las masas, que alteraron las formas del gránulo porque se llevo a cabo una compactación en la estructura de éstas.

En la figura 8 se distinguen las masas en estudio a una amplitud de 2000x. A mayor amplitud mayor claridad en la forma de los gránulos de almidón. En estas

micrográficas se distingue la forma esférica del almidón, donde los gránulos pequeños se encuentran intercalados con los gránulos grandes pero en menor proporción.

En EA y EZ es donde menor cantidad de gránulos pequeños se observan, además EZ sigue mostrando huecos y una que otra estructura filamentosa que puede ser fibra no eliminada en el proceso de molienda de la sémola.

Al realizar la comparación de cada una de las variedades a todas las amplitudes podemos observar que EZ es la que presenta los gránulos de almidón de mayor tamaño seguida por EA y ES los más pequeños.

### **5.7 Evaluación de las pastas**

#### **5.7.1 Evaluación de las pastas crudas**

En la tabla 20 se muestran los defectos que pueden manifestarse en la pasta cruda por un proceso deficiente en la elaboración de esta.

Como la sémola de trigo es la materia prima básica e idónea en la elaboración de las pastas alimenticias, no se observó algún defecto en las pastas crudas elaboradas con dicho ingrediente.

Los porcentajes de pasta estrellada van aumentando en todas las variedades conforme aumenta el porcentaje de sémola de cebada, el agrietamiento pudo ser causado por unas condiciones de secado inadecuadas o bien un manejo deficiente en la producción o en el almacenamiento.

En lo que respecta a pasta con burbujas las únicas variedades que presentaron este defecto fueron ES y EA a 100 y 80% esto pudo ser originado porque hubo un vacío o secado deficiente en el proceso de elaboración.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La única variedad que no presentó pasta apelmazada fue ES. En las variedades EA, E1 y EZ, el porcentaje de este defecto también se va incrementando conforme se aumentó la sémola de cebada y puede ser causado por condiciones de secado inadecuadas o por un mal manejo de la pasta en el proceso del secado.

**Tabla 20. Evaluación de la calidad de las pastas crudas**

<b>MEZCLAS</b>	<b>% Estrellada</b>	<b>% Con burbujas</b>	<b>% apelmazada</b>	<b>% Con puntos blancos</b>
<b>EA20</b>	1.2	0	2.6	0
<b>EA40</b>	4.9	0	3.8	0
<b>EA60</b>	8.2	0	4.1	0
<b>EA80</b>	11.3	0	6.8	0
<b>EA100</b>	22.8	1.2	11.5	1.0
<b>ES20</b>	6.4	0	0	0
<b>ES40</b>	10.2	0	0	0
<b>ES60</b>	14.1	0	0	0
<b>ES80</b>	27.3	1.1	0	0.9
<b>ES100</b>	65.4	1.2	0	1.8
<b>E120</b>	7.1	0	6.3	0
<b>E140</b>	10.4	0	9.6	0
<b>E160</b>	22.8	0	10.4	0
<b>E180</b>	31.6	0	15.1	0
<b>E1100</b>	49.8	0	24.2	0
<b>EZ20</b>	3.0	0	4.3	0
<b>EZ40</b>	6.7	0	5.0	0
<b>EZ60</b>	10.2	0	8.6	0
<b>EZ80</b>	15.3	0	12.3	0
<b>EZ100</b>	32.1	0	19.8	0
<b>TRIGO</b>	0	0	0	0

Resultados expresados en porcentaje a partir de 100 grs. de muestra

Las variedades ES y EA a 80 y 100% presentaron puntos blancos en la superficie lo que pudo ser resultado de un mezclado o amasado deficientes o al empleo de semolina con tamaño de partícula variado (partículas finas y gruesas) que al hidratarse más rápidamente las finas, se produce una hidratación no homogénea que origina estos defectos (Escamilla, 2001).

Los defectos mencionados anteriormente no deben exceder el 5% en una pasta para poder ser considerada de calidad aceptable. Todas las mezclas a los diferentes porcentajes presentan algún defecto de los ya mencionados, aunque la sustitución a 60, 80 y 100% fueron la que más cantidad de pasta con defectos presentaron debido a que son las que mayor porcentaje de cebada presentan.

Todas las variedades pueden ser utilizadas para la elaboración de pastas alimenticias pero conforme vaya aumentando el porcentaje de sustitución de sémola de cebada, habrá más pérdidas debido a los defectos que presenten y esto va a influir en la calidad de las pastas elaboradas.

### **5.7.2 Evaluación de la calidad culinaria de las pastas y de las pastas cocidas.**

En la tabla 21 tenemos los valores obtenidos en las pruebas realizadas para determinar la calidad en la cocción de las pastas elaboradas.

El tiempo de cocción para lograr una pasta “al dente” fue de 10 a 16 minutos dependiendo del porcentaje de trigo presente en la mezcla para todas las variedades y porcentajes. De acuerdo a Kent (1987) una pasta debe hincharse el doble de su volumen a los 10 minutos de ser hervidos con agua y mantener su forma y firmeza sin ponerse pastoso ni desintegrarse.

La ganancia de peso estuvo dentro de lo esperado, los aumentos de volumen fueron relativamente bajos y difirieron de manera significativa a la pasta de trigo. Considerando las altas pérdidas por cocción, se observa que el almidón de las

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

pastas se hidrataron, luego se solubilizaron y pasaron al agua de cocción al no haber una matriz proteica suficientemente fuerte para retener el almidón gelatinizado.

**Tabla 21. Evaluación de las pastas durante su cocimiento y pastas cocidas**

<b>MEZCLAS</b>	<b>Tiempo de cocimiento (min)</b>	<b>% de sedimentación</b>	<b>*Índice de tolerancia al cocimiento (min)</b>	<b>Grado de Hinchamiento (%)</b>	<b>Ganancia de peso (g/100g)</b>
<b>EA20</b>	14	10	110	2	224.7
<b>EA40</b>	13	10	107	2	218.5
<b>EA60</b>	12	10	105	1.5	172.5
<b>EA80</b>	10	11	100	1.5	154.7
<b>EA100</b>	9	11	98	1	120.9
<b>ES20</b>	14	13	100	2	148.7
<b>ES40</b>	12	15	92	2	136.2
<b>ES60</b>	10	15	80	2	123.8
<b>ES80</b>	9	25	67	2	112.6
<b>ES100</b>	8	25	50	2	102.9
<b>E120</b>	13	11	115	1.75	206.6
<b>E140</b>	12	11	102	1.25	176
<b>E160</b>	10	12	96	1.25	140.8
<b>E180</b>	10	13	90	0.75	127.8
<b>E1100</b>	9	13	84	0.55	107.7
<b>EZ20</b>	14	12	110	0.25	214.1
<b>EZ40</b>	13	16	105	2	177.3
<b>EZ60</b>	10	16	100	2	132.3
<b>EZ80</b>	10	18	95	2	134.6
<b>EZ100</b>	9	18	90	1.50	116
<b>TRIGO</b>	16	5	100	2	235.4

Resultados expresados en porcentaje a partir de 100 grs. de muestra

\*Hasta la destrucción total de la pasta

Se observa en la tabla 21 que en todas las variedades a mayor porcentaje de gluten menor desintegración y mayor tolerancia a tiempo de cocción, y a mayor porcentaje de trigo mayor aumento de volumen en la pasta y menor pérdida en el agua de cocción.

El porcentaje de sedimentación también fue aumentando conforme se incrementó la cantidad de sémola de cebada, esto por el poco gluten que tenían.

Un factor que pudo influir en disminuir la pérdida de almidón en el agua de cocción en los porcentajes 20 y 40% fue que se llevó a cabo un secado de la pasta a una temperatura elevada con el objetivo de que la coagulación de la proteína por el calor origine una red proteica permanente alrededor de los gránulos de almidón con una fuerza e integridad realizadas.

De esta forma se evito que los gránulos de almidón pasen al agua de cocción y por lo consiguiente mejorara la firmeza y consistencia durante la masticación de la pasta y después de la cocción.

Las pastas elaboradas con mezclas al 20, 40 y 60% de harina de cebada permanecieron en piezas enteras y mostraron una firmeza adecuada “al dente” al ser cocinadas como lo especifica Dendy *et* Dobraszcyk (2001).

### **5.7.3 Prueba sensorial de la pasta**

De acuerdo a la prueba realizada por los consumidores (jueces no entrenados) se puede observar que las pastas que tuvieron un nivel de sustitución de 20 % de las variedades EA, ES, E1 y EZ, fueron aceptadas en su mayoría por los consumidores. En la tabla 22 se muestra la escala hedónica y los valores de frecuencia de las pastas que fueron evaluadas.

Las sémolas de cebada EZ y E1 con sus respectivas mezclas 20 y 40% de sémola de trigo, pueden ser utilizadas para la elaboración de pastas debido a que tuvieron la mayor frecuencia en la escala con respecto al testigo.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluando los comentarios de los consumidores la mayoría opinó que las mezclas con sustitución de 40% de harina de cebada tuvieron mayor dureza al ser masticadas pero que la textura es buena. Lo anterior al compararlas con la sustitución a los demás porcentajes.

**Tabla 22. Prueba sensorial realizada a la pasta**

MUESTRA	MGM	MGMod	MGP	NGND	MDP	MDMod	MDM
EA20			1	3	3	2	
EA40			1	5	2	1	1
ES20				4	2	2	2
ES40				1	4	2	3
E120	1	4	5				
E140		1	4	5			
EZ20	1	4	5				
EZ40		1	4	5			
TRIGO	2	6	2				

Las pastas al 20 y 40% de sustitución no se adhirieron a los dientes ni al paladar, lo cual indica que la pasta es de buena calidad.

La pasta de la variedad ES fue la que menor aceptación tuvo por los consumidores, debido a las características de la cebada.

## VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

---

---

Todas las variedades de cebada son aceptables para ser utilizadas en este trabajo, debido a que las impurezas que presentaron son propias de la planta y no se manifestaron otro tipo de contaminaciones como infestaciones o materiales extraños.

En el proceso de molienda las seis variedades de cebada mostraron que tienen mayor porcentaje de endospermo vítreo debido a la gran cantidad de sémola que se extrae de las mismas. La cebada PO fue la que mayor rendimiento de sémola presentó.

De acuerdo a los resultados del análisis proximal de las diferentes variedades de sémola de cebada, se concluyó que sólo pueden ser utilizadas para la elaboración de pastas alimenticias cuatro de las variedades estudiadas: EA, ES, E1 y EZ. Kill *et* Turnbull (2004) establece que el contenido de proteína de la sémola es un factor determinante de la calidad de las pastas. Se concluye que a mayor contenido de proteína se producen pastas con buenas características culinarias ya que tendrán una adecuada formación.

El contenido de humedad fue aceptable en todas las sémolas, no se obtuvieron valores que pudieran alterar las propiedades organolépticas o generar desarrollo de microorganismos en las mismas.

En cuanto al contenido de cenizas, ninguna variedad presentó valores críticos que pudieran influir en la calidad de las pastas, con lo que se concluyó que el proceso de molienda fue adecuado.

Todas las sémolas mostraron una calidad física aceptable. Los valores de humedad en la hidratación para la gelatinización del almidón y su pérdida de sólidos en agua, se encontró dentro de los límites establecidos en todas las variedades.

Respecto al tamaño de partícula todas las variedades de sémola presentaron una granulometría semejante. Sin embargo, EZ mostró mayores tamaños de partícula y ES los menores a los diferentes volúmenes evaluados en el análisis.

## VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

---

---

El color de las cuatro variedades de sémola de cebada fue aceptable. EA presentó un color más oscuro que las demás esto debido al tamaño de partícula y a su alto contenido de cenizas que pudo ocasionar una contaminación de salvado en la sémola y por consiguiente un color más oscuro en la misma. La variedad ES fue la que mostró un color más amarillo semejante al trigo y por consiguiente un menor porcentaje de cenizas.

El análisis reológico mostró que a medida que se va aumentando la proporción de sémola de cebada en la sémola de trigo, la masa se va haciendo más dura y por tanto presenta menor cohesividad, dificultando su manejo durante el proceso de elaboración de pastas, además se hace más pegajosa.

La textura de las masas de la mezclas de sémola de cebada y trigo fue aceptable a una sustitución de 20- 40%. En las cuales junto con la sémola de trigo se obtuvieron las mejores propiedades viscoelásticas en la masa de las pastas.

Los análisis de microscopia electrónica de barrido revelaron el acomodo de los gránulos de almidón y las diversas formas que presentaron las masas de las variedades de cebada. La masa ES mostró la mayor cantidad de gránulos pequeños. Para EZ abundan los gránulos grandes, lo cual se corrobora con el tamaño de partícula que presentaron las sémolas. Además los ingredientes adicionados a la masa alteraron mejoraron la cohesividad, estructura y distribución de los macroconstituyentes.

Las pastas elaboradas se vieron fuertemente favorecidas con el enriquecimiento (huevo, aceite de oliva y sal). Mejorando con ello los atributos de color, textura y sabor.

Las pastas que fueron preferidas por los jueces en base a parámetros de textura y preferencia fueron las que tuvieron un nivel de sustitución de 20% de cebada de las variedades EZ y E1.

Las pastas elaboradas con mezclas de sémola de cebada y trigo con un nivel de sustitución de 20 y 40% fueron las que mostraron mejores características y menos defectos en cuanto a la calidad de las pastas crudas y cocidas.

### **PERSPECTIVAS**

- Se espera que se lleve a cabo la fabricación de pastas a través de otros procesos de elaboración como pueden ser la extrusión, para con ello se manejen diferentes variables, tales como presión, temperatura e hidratación que van a influir en la calidad del producto.
- Evaluar mediante pruebas microbiológicas la inocuidad de las pastas.
- Determinar el contenido nutricional de las pastas elaboradas.
- Hacer uso de otros ingredientes adicionales y aditivos para mejorar las características organolépticas de las pastas.
- Fomentar la inserción de pastas alimenticias de cebada en la dieta del mexicano, dando con ello usos alternativos de este cereal en su comercialización y uso.
- Elaboración de pastas compuestas enriquecidas con algunos pigmentos (tomate, espinaca, betabel, chile), dando con ello innovaciones en la presentación visual de las mismas.
- Desarrollar un estudio de mercado para evaluar la factibilidad de las pastas en la comercialización regional.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

---

---

1. AACC. 2001. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10<sup>th</sup> edition. Vol. II.
2. Agnesi. 1996. The history of pasta. [www.ilovepasta.org](http://www.ilovepasta.org)
3. Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeiffer, U.F., Griffing, E.L. 1969. Gelatinización of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today*, v. 14, p. 4.
4. Anzaldúa-Morales, A. 1982. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia. Zaragoza, España, pp. 24-37.
5. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15<sup>th</sup> edition. Vol. II. Edited by Kenneth Helrich. pp. 777-781, 1095-1096.
6. Araya, H., Pak, N., Alviña, M. 2003. Digestión rate of legume carbohydrates and glycemic index of legume-based meals. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 54: 119-126.
7. ASERCA, 2003. Claridades agropecuarias: la cebada en la agricultura nacional. Revista 13.
8. AVECÍAS, M. 1998. Caracterización y clasificación industrial de las variedades de trigo (*triticum aestivum*). Tesis de Licenciatura de la Universidad de Chapingo.
9. Badui, S. D. 1996. Química de los Alimentos. Longman de México Editores S.A. de C.V. Alambra Mexicana, México D.F.
10. Becerra, A.P. 1985. Estudio del efecto de la uniformización de tamaño de partícula de la semolina sobre los atributos de calidad de la pasta alimenticia, formato spaghetti. Tesis de Licenciatura de la Universidad Nacional Autónoma de México.
11. Banasik, O. J., Haber, T. A., Seyam, A. 1976. Microscopic structure of durum wheat, semolina dough and spaghetti. *Macaroni J.*, 58:18.
12. Belitz, H. D., Grosh, W. 2000. Química de los alimentos, 2ª Edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 725.
13. Bergman, C., Gualberto, D., Weber, C. 1996. Nutricional evaluation of a high-temperature dried soft wheat pasta supplement with cowpea (*Vigna unguicula* L. Walp). *Revista chilena de nutrición* 46: 146-153.

- 
- 
14. Billiaderis, C.G. 1991. The structure and interactions of starch with food constituyen. *Can J. Physiol.armacol.* 69: 60-78.
  15. Calvo, F.A., Iturrizaga, A.S., Nystrom ,J., Salas, B.R. 2001. Fideos imperial enriquecidos con amaranto. Tesis de Licenciatura de la Universidad del Pacífico.
  16. Callejo, G. M. J. 2002. Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 25-35; 67-72; 90-101; 191-208; 222-23.
  17. Castillo, C. 2005. Uso alternativo de las cebadas (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en el estado de Hidalgo y Tlaxcala en la industria de la panificación. Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
  18. Crozet, N. 1977. Ultrastructure changes in wheat-flour protein fixation and embedding. *Cereal Chem.*, 54:1108-1114.
  19. Cunin, C., Handschin, S., Conde-Petit, B., Escher, F. 1997. Development of microstructure of pasta during processing of the congress "Food rheology and structure" Zurich pp.344-347.
  20. Dalla, R.M., Cencic, L.P., Pittia, P., Mastrocola, D. 1996. Kinetic of physico-chemical and rheological modification of different pasta products during cooking process. *Italian Food Beverage Technol.* VII: 15-19.
  21. Dalbon, G. 1996. Continuous manufacturing process. Pasta and Noodle Technology, 1<sup>st</sup> Ed. American Association or Cereal Chemist, St Paul, MN.
  22. Dendy, D. A. V., Dobraszczyk, B. J. 2003. Cereales y productos derivados, química y tecnología. Editorial Acribia, S.A. España. p.403-421.
  23. Desrosier, N. W. 1999. Elementos de Tecnología de Alimentos. Editorial CECSA, S.A.
  24. Dexter, I.E., Dronsek, B. L., Matsuo, R.R. 1978. Scanning electron microscopy study of cooked spaguetti. *Cereal Chem.*, 55: 23-30.
  25. Dexter, I.E., Matsuo, R.R., Kruger, I.E. 1987. The effect of test weight on durum wheat quality. *Cereal Foods World.*
  26. Dexter, I.E., Matsuo, R.R., Tripples, K.H. 1990. The spaguetti-making quality of commercial durum wheat samples with variable alpha-amylase activity. *Cereal Chemistry.*

- 
- 
27. Donnelly, B.J. 1997. Pasta and noodle technology. *Trends in Food Science & Technology*. 8:252.
  28. Escamilla, E.A, 2001; Métodos para evaluar la calidad de trigos cristalinos, (*triticum durum*) semolinas y pastas alimenticias. Tesis de Licenciatura de la Universidad Nacional Autónoma del México.
  29. Fabriani, G., Lintas, C. 1998. Durum wheat chemistry and technology. Cap 10. American Association of Food Chemists. Inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A.
  30. Fannon, J. E., Shull, J. M., Miller, J. N. 1993. Interior channels of starch granules. *Cereal Chem.*, 70:611-613.
  31. FAO. Food and Agriculture Organization. 2005. <http://www.fao.org/>
  32. Feillet, P. 1974. Determination of common wheat content in pasta. *Cereal Chemistry*.
  33. Feillet, P., Dexter, J.E. 1996 Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. American Association of Cereal Chemist, St. Paul, MN.
  34. Feillet, P., Laignelet, T. 1996 The past, present and future state of international academic research into pasta quality. *Cereal Chemistry*.
  35. Feillet, P. 1998. Present knowledge on biochemical basis of pasta cooking quality. Consequence for wheat breeders. *Sci. Ali*. 4: 551-566.
  36. Fellows, P. 1994. Tecnología del proceso de los Alimentos: Principios y prácticas. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza (España).
  37. Fennema, O. R. 2000. Química de los alimentos, segunda edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
  38. Flores, V.V.S. 1985. Normalización de métodos para evaluación de calidad de cocción de las pasta larga (spaguetti). Tesis de Licenciatura de la Universidad Nacional Autónoma de México.
  39. Franco, M. L., Ciacco, C. F., Tavares, D. Q. 1998. The structure of waxy corn starch: effect of granule size, 50, 193-198.
  40. French, D. 1984. Organization of starch granules. Starch Chemistry and Technology, 2<sup>nd</sup> ed. R. L. Academic Press. Orlando. Pp 184-247.

- 
- 
41. Gallant, D. J., Bouchet, B., Baldwin, P. M. 1997. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polym.*, 32:177-191.
  42. Gilles, K.A., Youngs, V.L. 2000. Evaluation of durum wheat and durum products. *Cereal Chemistry*.
  43. Granito, M., Torres, A., Guerra, M. 2003. Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Revista chilena de nutrición*.
  44. Greenwell, P., Stimson, W., Mackay. 1992. Durotest-rapid purity control for pasta semolina. *Chorleywood Digest*.
  45. Guler, S., Koksel, H. 2005. Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pastas quality. *Food Research Internacional*.
  46. Guzmán, O. F. 2005. Valoración de las propiedades fisicoquímicas de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
  47. Harol, E., Ronald, S. K., Ronald, S. 1987. Análisis químico de alimentos de pearson, 2ª edición. Compañía editorial continental S. A. de C. V. México. p. 725-731.
  48. Hernández, B. D. 1999. Obtención y caracterización de harinas compuestas de endospermo (germen de maíz) y su uso en la preparación de arepas. *Revista chilena de nutrición*.
  49. Hosney, R. C. 1985. The mixing phenomenon. *Cereal Foods World*, 30: 453-457.
  50. Hosney, R. C. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España.
  51. Hosney, R.C. 1998. Principles of cereal: science and technology. 2<sup>nd</sup> Ed. U.S.A.
  52. Jenkins, D.J.A., Jenkins, A.L., Wolever, T.M.S., Collier, G.R., Rao, A.V., Thomson, L.U. 1987. Starchy foods and fiber: reduced rate of digestion and improved carbohydrate metabolism. *Scand. J. Gastroenterol.* 22: 131-141.
  53. Kent, N.L. 1987. Tecnología de los cereales (Introducción para estudiantes de ciencia de los alimentos y agricultura). p.73-93, 149-151.
  54. Kill, R.C., Turnbull, K. 2004. Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

- 
- 
55. Kruger, J., Matsuo, R., Dick, J. 1996. Pasta and Noodle Technology, 1<sup>st</sup> Ed. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.
56. Liu, R., Liang, Z., Posner, J.G., Ponte, J.G. 1986. A technology to improve functionality of flour from sprouted wheat.
57. 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 la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
58. López, P., Guzmán, O. F., Santos, L. E., Prieto, G. F., Román G. A. 2005. Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum* jess) cultivadas en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y México. *Revista chilena de nutrición*.
59. Lorenz, K. J. 1991. Pasta: Raw materials and processing. Cap. 19. Handbook of Cereal Science. Dekker.
60. Mackay, E.L., Stimson, W. 1993. Determination of adulteration of durum wheat. *Food Safety and Quality Assurance*.
61. Matissek, R., Schnepel, F. N., Steiner, G. 1998. Análisis de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. p. 229-235.
62. Matsuo, R.R. 1987. The effect of enzymes on pasta and noodle products. 11: 325-334. American Association of Cereal Chemists. St. Paul. U.S.A.
63. Matz, S.A. 1997. The chemistry and technology of cereal as food and feed, 2nd. Ed. p.450-458: 493-495.
64. McDonough, C. M., Rooney, L. W. 1999. Use of the environmental scanning electron microscope in the study of cereal-based foods. *Cereal Foods World*, 44:342-348.
65. Milatovic, L., Mondelli, G. 1991. Pasta Technology Today. Chiriotti Editori. Italy.
66. Norma CODEX STAN 178-1995. Sémola y harina de trigo duro [www.codexalimentarius.net./2007](http://www.codexalimentarius.net/)
67. Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano –cereal- cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.). Especificaciones y métodos de prueba.

- 
- 
68. Norma Oficial Mexicana NOM-F-23-2000. Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades.
69. Orea, E. 1999. Elaboración de una pasta para sopa, utilizando diferentes aditivos químicos alimenticios. Universidad La Salle.
70. Owen, G. 2001. Cereals processing technology. Woodhead Publishing Limited Cambridge England. p. 109-150.
71. Pomeraz, Y. 1987. Modern cereal science and technology, VCH Publishers. Washington State University. 2<sup>nd</sup> Ed. p.453-463.
72. Pomeraz, Y. 1988. Wheat. Chemistry and technology, 2<sup>nd</sup> Ed. 77-79.
73. Posner, E. S., Hibbs, A. N. 1997. Wheat flour milling. AACC. St. Paul. Minnesota.
74. PRONISEA, Programa Nacional de Investigación y Servicio de Economía y Administración Agropecuaria y Forestal. 2007 Universidad Autónoma de Chapingo. <http://www.chapingo.mx/investigacion/pronisea/>
75. Quaglia, G. 1991. Ciencia y tecnología de la panificación. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España).
76. Rasper, V.F. 1997. Quality evaluation of cereals and cereal products. Cap 15. Handbook of Cereal Science. Dekker.
77. Robles, S. R. 1990. Producción de granos y forrajes. 4<sup>a</sup>. Ed. México.
78. Rodríguez, M. 2003. Las pastas alimenticias. *Trends in food science technology*.
79. Román, G. A. D., Guilbert, S., 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. p. 731-739.
80. SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación Hidalgo. 2006. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
81. Salazar, Z. 2000. Calidad industrial del trigo para su comercialización. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. p. 247-251. Tesis de Licenciatura de la Universidad de Chapingo.
82. Sanders, M. 1999. Durum Wheat Pasta Authenticity. British Pasta Product Association, London.

- 
- 
83. Sangronis, E., Machado, C., Cava, R. 2004. Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas germinadas. *Revista chilena de nutrición*.
84. Sarwar, M., McDonald, C.E. 1993. Detection of bread wheat farina adulterant in durum wheat semolina and pasta dried at low, high and ultra-high temperatures. *Cereal Chemistry*.
85. Serna, S. S. R. 2001. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. México, D. F.
86. Slade, L., Levin, H. 1991. Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 30 (2-3): 115-360.
87. Tester, R. F., Karkalas, J. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry*, 76, 271-277.
88. Tester, R. F., Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry*, 67, 551-557.
89. Tscheuschner, H.D. 2001. Fundamentos de tecnología de los Alimentos. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza (España).
90. Torres, A. 2003. Sustitución parcial de harina de maíz precocida con harina de quinchoncho para la elaboración de arepas. Tesis de Licenciatura de la Universidad Nacional Autónoma de México.
91. Weipert, D. 1990. The benefits of basic rheometry in studying dough rheology. *Cereal Chemistry*, 67 (4): 311-317.
92. Williams, P., Hamein, F.J., Nakkoul, H., Riwawi, S. 2000. Crop quality evaluation methods and guidelines. Technical Manual 14, 2<sup>nd</sup> Ed, 2-38.
93. Witting, E., Serrano, L., Bungler, A., Soto, D., Nieves, L., Ruales, J. 2002. Optimización de una formulación de espaguetis enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el adulto mayor. *Revista chilena de nutrición*.

**Sitios consultados en internet:**

[http://www.grains.org/galleries/technical\\_...](http://www.grains.org/galleries/technical_...), Febrero, 2007

[http://www.puc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/cebada/...](http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada/...), Noviembre, 2006

[www.ndwheat.com](http://www.ndwheat.com). Enero 2007

[www.uswheat.org](http://www.uswheat.org). Enero 2007

## VIII. ANEXOS

---

---

### Anexo 1. Tamaño de partícula

Figura 9. Gráficas del tamaño de partícula de cada una de las variedades de sémola de cebada (EA, EZ, ES y E1).

