



---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**“USO ALTERNATIVO DE CEBADA Y TRITICALE EN LA  
INDUSTRIA DE LA PANIFICACIÓN”**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADA EN QUÍMICA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

**AMBRIZ PÉREZ DULCE LIBNA**

ASESOR:

**DRA. ALMA DELIA ROMÁN GUTIÉRREZ**

Este trabajo de investigación titulado “**Uso alternativo de cebada y triticale en la industria de la panificación**” forma parte del proyecto USOS ALTERNATIVOS DE LA CEBADA EN EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS EN PANIFICACIÓN Y PASTAS, clave y fue financiado por el Programa Anual de Investigación (PAI) de la UAEH en la convocatoria 2006.

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 (UAEH), México, en colaboración con el Instituto de Ciencias e Industrias de Seres Vivos y del Ambiente de AgroParisTech, Massy, Francia.

---

A Pedro y Miriam a quienes debo mucho más que la vida, gracias por ser tan maravillosos padres y por ser un ejemplo a seguir en cada aspecto de la vida, por alentar cada idea y enseñarme a vencer los miedos.

---

¡Para ustedes todos mis éxitos! Los amo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez por brindarme este proyecto, así como su tiempo, ayuda y asesoría.

A PROMEP por su apoyo económico en la realización de este proyecto de investigación.

A INIFAP y a Impulsora Agrícola de Palma Gorda por proporcionar los granos estudiados en este proyecto.

A AgroParisTech, en particular a Pauline Salcedo cuya colaboración fue de gran valor e importancia para este proyecto.

A Yareli Eysais Curiel por su ayuda y participación en el presente trabajo, y por su valiosa amistad.

A Juan Carlos y a Wendy, gracias por su ayuda, su tiempo, su trabajo, su empeño y mucho más; su amistad es invaluable.

A mi Familia por acompañarme y ayudarme a lo largo de este proyecto y de todos los proyectos de mi vida. Gracias por su apoyo.

A los 10 por su ayuda, su compañía, por probar cosas nuevas conmigo, por toda la alegría y las aventuras que hemos compartido y sobre todo por su amistad. Los quiero!!

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
2.1. Origen de la cebada y el triticale	2
2.2. Características generales	2
2.3. Composición química de los granos de cebada y triticale	4
2.3.1. Carbohidratos	4
2.3.1.1. Almidón	5
2.3.2. Fibra dietética	6
2.3.3. Proteínas	6
2.3.4. Lípidos	8
2.3.5. Minerales y vitaminas	9
2.4. Calidad física de los cereales	10
2.5. Aplicaciones de la cebada y el triticale	12
2.6. Operaciones previas a la molienda	13
2.7. Características de los granos relacionados con su transformación	14
2.8. Molienda de cereales	14
2.8.1. Molienda seca	15
2.8.2. Molienda húmeda	15
2.9. Industria panificadora	16
2.9.1. Definición de pan	16
2.9.2. Ingredientes básicos	16
2.9.3. Etapas del proceso de panificación	19
III. OBJETIVOS	22
3.1. Objetivos generales	22
3.2. Objetivos específicos	22

IV. MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1. Materia prima	23
4.2. Métodos	24
4.2.1. Calidad física de los granos de cebada y triticale	24
4.2.1.1. Análisis sensorial y temperatura	24
4.2.1.2. Análisis selectivo	24
4.2.1.3 Densidad	24
4.2.1.4. Resistencia a la abrasión	25
4.2.2. Limpieza	25
4.2.3. Descascarillado y molienda del grano	25
4.2.4. Análisis proximal del grano y las harinas	26
4.2.4.1. Humedad	26
4.2.4.2. Cenizas	26
4.2.4.3. Grasas	26
4.2.4.4. Proteínas	26
4.2.4.5. Fibra dietética total	27
4.2.4.6. Carbohidratos	27
4.2.5. Capacidad de hidratación (CH)	27
4.2.6. Microscopia Electrónica de Barrido	28
4.2.7. Análisis colorimétrico de las harinas	28
4.2.8. Granulometría de harinas	28
4.2.9. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	29
4.2.10. Elaboración del producto de panificación	29
4.2.11. Evaluación de las propiedades físicas del pan elaborado	30
4.2.11.1. Determinación de volumen y densidad del pan	30
4.2.11.2. Capacidad de fermentación	30
4.2.11.3. Pérdida de peso	31
4.2.12. Análisis Estadístico	31
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	32
5.1. Análisis del grano	32
5.1.1. Análisis físico	32

5.1.2. Análisis microscópico del grano	35
5.1.3. Análisis fisicoquímico de los granos de Cebada y Triticale.	38
5.2. Rendimiento de molienda	40
5.3. Análisis de la harina	41
5.3.1. Análisis microscópico de la harina	41
5.3.2. Análisis fisicoquímico de la harina	43
5.3.4. Granulometría de harina de Cebada y Triticale	45
5.3.5. Colorimetría de las harinas	47
5.3.6. Calorimetría Diferencial de Barrido	48
5.3.7. Capacidad de absorción de las harinas	49
5.4. Evaluación del pan	50
5.4.1. Análisis físicos	50
VI. CONCLUSIONES	54
VII. PERSPECTIVAS	56
VIII. BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXO I	61
ANEXO II	62
ANEXO III	63

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Composición química del cariósido de cebada y triticale (g/100g, base seca).	4
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de proteínas en base a su solubilidad.	7
<b>Tabla 3.</b> Ácidos grasos presentes en los granos de cebada y triticale.	9
<b>Tabla 4.</b> Contenido medio en vitaminas de los granos de cebada y triticale (mg/100g de granos)	10
<b>Tabla 5.</b> Codificación del INIFAP de las distintas variedades experimentales de triticale y de cebada.	23
<b>Tabla 6.</b> Formulación de la masa	29
<b>Tabla 7.</b> Resultados en porcentaje en masa del análisis físico realizado a los granos de cebada y triticale.	32
<b>Tabla 8.</b> Análisis físico realizado a los granos de cebada y triticale: Dureza y Densidad.	34
<b>Tabla 9.</b> Composición fisicoquímica del grano de cebada y cinco variedades de triticale expresado en porcentaje	38
<b>Tabla 10.</b> Rendimiento de la molienda de cebada y de cinco variedades de triticale.	40
<b>Tabla 11.</b> Composición fisicoquímica de harina de cebada y de cinco variedades de triticale expresado en porcentaje.	43
<b>Tabla 12.</b> Comparación de las harinas de acuerdo a su tamaño de partícula.	47
<b>Tabla 13.</b> Valores de L, a y b para harinas de cebada y triticale.	47
<b>Tabla 14.</b> Temperatura y Entalpía de gelatinización determinadas por DSC de diferentes variedades de triticale y cebada.	48
<b>Tabla 15.</b> Tasa de hidratación de las harinas a 60, 70 y 80° C.	49
<b>Tabla 16.</b> Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticale L1.	50
<b>Tabla 17.</b> Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad	51

de triticales L3.

**Tabla 18.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticales L19. 51

**Tabla 19.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticales L22. 52

**Tabla 20.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticales L24. 52

**Tabla 21.** Comparación de las mejores mezclas de cebada y cada variedad de triticales. 53

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Estructura interna de los granos de cebada y triticale.	3
<b>Figura 2.</b> Micrografías de los granos de triticale a amplitudes de 500x, 1000x y 2000x.	37
<b>Fig. 3.</b> Micrografía del grano de cebada a amplitudes de 500x, 1000x y 2000x.	38
<b>Fig. 4.</b> Micrografías de la harina de cebada y triticale (500x, 1000x y 2000x).	42
<b>Figura 5.</b> Comparación de la distribución granulométrica de las harinas de cinco variedades de triticale.	45
<b>Figura 6.</b> Distribución granulométrica de partículas de harina de cebada.	46

## I. INTRODUCCIÓN

Los cereales son la principal fuente de alimentación del ser humano, principalmente el trigo, arroz, maíz y cebada (Callejo. 2002).

La cebada es un cultivo de gran importancia económica y social en la zona de los Valles Altos de México, sobre todo en los estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo; las variedades de cebada que se cultivan en México son las especies *Hordeum vulgare* de seis hileras de granos ó hexística y *Hordeum distichum* de dos hileras de granos ó dística. Industrialmente la principal aplicación de la cebada en México es la producción de malta, que es la cebada sometida a una germinación controlada hasta lograr cierto contenido enzimático (Velázquez, 2004).

Con respecto al triticale es un cereal hecho por el hombre, es producto del cruce entre trigo (*Triticum* spp.) y centeno (*Secale cereale* L.). Este cereal tiene una mejor calidad nutricional, ya que se ha demostrado que contiene mayor cantidad de lisina y presenta una mejor proporción de aminoácidos que lo hace más bioasimilable que otras semillas del mismo tipo, también es capaz de realizar producciones mucho mayores que otros cereales (Kulp y Ponte, 2000; López, 2008).

Dada la importancia de estos cereales y a los constantes cambios de los hábitos alimenticios, deben buscarse usos alternativos y potenciales para su mejor aprovechamiento. De ahí radica el objetivo principal de este proyecto de investigación, el cual consiste en evaluar las características de las harinas de cebada y triticale en el proceso de panificación.

## **II. ANTECEDENTES**

Los cereales constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, ya que son el alimento que contribuye con el aporte energético como con los numerosos nutrientes para el organismo, por esto los cereales han sido, son y seguirán siendo el principal sustento del hombre (Serna, 2001).

### **2.1. Origen de la cebada y el triticale**

El cultivo de la cebada se inició probablemente hace 10,000 años, se cree que los habitantes de Oriente Medio comenzaron a recoger los granos de las plantas silvestres que crecían de forma natural y posteriormente comenzaron a recolectar y a sembrar los granos de esta cebada silvestre (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

El triticale es un cereal híbrido hecho por el hombre derivado del cruzamiento genético entre el trigo y el centeno. En 1875 el botánico escocés A. S. Wilson produjo híbridos estériles, posteriormente en 1888, el alemán W. Rimpaud fue el primero en obtener híbridos fértiles. En la actualidad, el triticale esta siendo cultivado en muchos lugares, incluyendo el Centro Internacional para la Mejora del Maíz y el Trigo en México (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

### **2.2. Características generales**

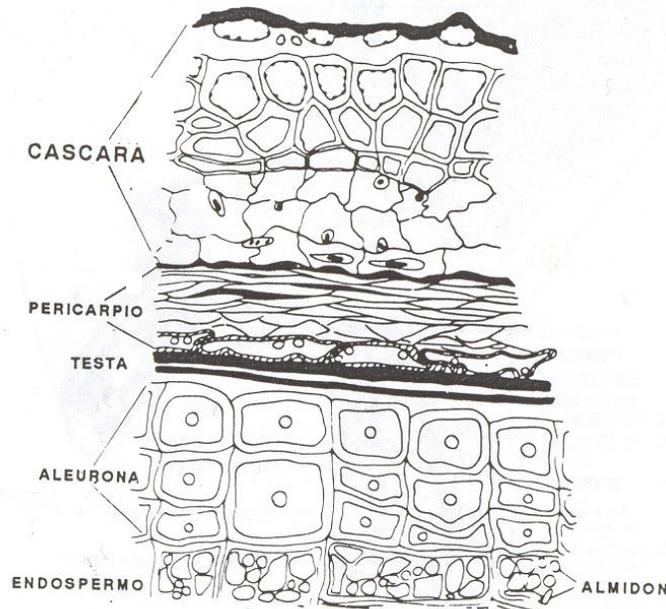
Los cereales son los frutos de pastos cultivados que pertenecen a la familia de las Gramíneas, considerada como la más grande e importante en el mundo. Son plantas cotiledóneas cuyo cotiledón, localizado en el germen del grano, es denominado botánicamente *escutelum* o escudo (Serna, 2001). Los granos constan de tres partes anatómicas fundamentales: pericarpio, endospermo y germen.

El pericarpio es la envoltura real del grano y contiene la mayor parte de la fibra. El endospermo a su vez, está dividido en aleurona, endospermo periférico, endospermo vítreo y endospermo almidonoso. En el endospermo vítreo no existen

espacios de aire y los gránulos de almidón están recubiertos por la matriz proteica, por lo que adquieren formas angulares; esta estructura tiene apariencia vítrea o traslúcida debido a que la luz no es difractada cuando pasa a través del endospermo. El endospermo almidonoso se encuentra encerrado por el vítreo, es decir, se encuentra en la parte más céntrica del grano. Los gránulos de almidón son de mayor tamaño y menos angulares, no están tan aprisionados por la matriz proteica, esto en virtud de la presencia de minúsculos espacios de aire que dan al endospermo su apariencia almidonosa u opaca. La proporción entre el endospermo almidonoso y vítreo determina la dureza y densidad del grano (Serna, 2001).

El germen encierra al axis embrionario y al *escutelum*, se encuentra adherido al endospermo por medio del *escutelum* y se caracteriza por carecer de almidón y por su alto contenido de aceite, proteína, azúcares solubles y cenizas, además, es alto en vitaminas B y E y genera la mayoría de las enzimas para el proceso de germinación (Serna, 2001).

Los granos de cebada y triticale tienen una estructura similar (Figura 1).



**Figura 1.** Estructura interna de los granos de cebada y triticale.

Fuente: Hosenev, 1991.

### 2.3. Composición química de los granos de cebada y triticale

Los granos maduros de cebada y triticale están formados por carbohidratos (fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melobiosa, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas), lípidos (Ac. grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oleico, linoléico, linolénico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas, enzimas y otras sustancias como pigmentos. Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas de los granos, y algunos se concentran en regiones determinadas. (Callejo, 2002, Tscheuschner, 2001).

En la Tabla 1 se presenta la composición promedio del cariósido de cebada *Hordeum sativum jess* y de triticale *Triticosecale* Wittman.

**Tabla 1.** Composición química del cariósido de cebada y triticale (g/100g, base seca).

Constituyentes	Cebada	Triticale
Proteína	7.5 – 15.6 %	12.8 %
Cenizas	2 – 3.1 %	1.6 %
Grasas	1.1 – 3.1 %	2.0 %
Fibra	5 – 6 %	12.6 %
Carbohidratos	72.8 – 82.8 %	70.6 %

Fuente: Serna (2001), Dendy y Dobraszczyk (2001).

#### 2.3.1 Carbohidratos

En las plantas los carbohidratos representan la mayor reserva de energía. Los carbohidratos simples son inmediatamente utilizados para energía por medio de las vías metabólicas y los carbohidratos complejos son reservados para posteriores requerimientos metabólicos. Otra de las funciones de los carbohidratos es el mantenimiento de los tejidos estructurales; los carbohidratos comprenden varios constituyentes, como son los almidones, azúcares, celulosas, hemicelulosas y pentosanos (Serna, 2001).

### 2.3.1.1 Almidón

El almidón es el constituyente principal y por lo tanto de mayor importancia en los cereales, está depositado en gránulos dentro de las células del endospermo, los cuales son relativamente densos e insolubles y no se hidratan adecuadamente en agua fría.

El almidón es un polímero de glucosa que está formado por dos componentes principales:

- **Amilosa** (17-28%), un polímero esencialmente lineal de  $\alpha$  (1- 4) glucosa
- **Amilopectina** (70-80%), una estructura ramificada al azar por cadenas  $\alpha$  (1- 4) glucosa unidas por ramificaciones  $\alpha$  (1 - 6) (Badui, 1996).

La amilosa y amilopectina se encuentran estructuralmente conformadas en los gránulos de almidón depositado en las células del endospermo (Fennema, 2000). El almidón posee una estructura particular que otorga las propiedades específicas de solubilidad, viscosidad, gelificación o adhesión según las condiciones de hidratación, así como la temperatura en los alimentos.

El almidón es insoluble en agua fría, cuando se calienta con agua la absorbe, se hincha y revienta; este fenómeno se llama gelificación. (Tscheuschner, 2001; Fellows, 1994).

El daño parcial de los gránulos del almidón durante la molienda facilita la penetración del agua y el ataque amilásico. La tasa de almidón dañado está ligada a las características del cereal y a las condiciones de la molienda, siendo mayor cuanto más drásticas son y más vítreo es el grano; esto se debe a que existen vías de penetración originadas por las lesiones del grano de almidón y la presencia de agua, así las amilasas tienen mayor accesibilidad a las cadenas de amilosa y de amilopectina, permitiendo una mayor velocidad de amilólisis y de fermentación. No obstante, un exceso de almidón dañado puede tener connotaciones negativas para la panificación, ya que cuando la amilólisis es

excesiva, las dextrinas formadas pueden hacer pegajosa la masa, en la medida que no sean transformadas rápidamente en azúcares, por tanto, es importante definir una tasa óptima de almidón dañado: en harinas panificables, este valor se sitúa en torno al 6-9% (Callejo, 2002).

El grano de cebada contiene entre el 58 y 65% de almidón en materia seca, mientras que el grano de triticale contiene 62.7% aproximadamente (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

### **2.3.2 Fibra dietética**

La fibra es un carbohidrato del tipo polisacárido que no se digiere por carencia de enzimas en el cuerpo humano y se clasifica de la siguiente forma:

- **Fibra insoluble:** celulosa y hemicelulosa
- **Fibra soluble:**  $\beta$ -glucanos y pentosanos

La solubilidad en agua depende del tamaño y el grado de ramificación de la cadena (Serna, 2001).

Los cereales se consideran la principal fuente de fibra dietética, el grano de triticale contiene más fibra que el de cebada (Tabla1). Desde el punto de vista de la salud, la importancia de la fibra dietética ha aumentado durante los últimos años y se le ha etiquetado como agente terapéutico para diabéticos, arterioscleróticos y personas con problemas digestivos (Serna, 2001).

### **2.3.3 Proteínas**

Las proteínas son compuestos nitrogenados de alto peso molecular. La distribución de las proteínas no es uniforme dentro del grano (Callejo, 2002). En la tabla 2 se muestra la clasificación de las proteínas en base a su solubilidad así

como la cantidad en que se encuentran presentes en el grano de cebada y triticale.

**Tabla 2.** Clasificación de proteínas en base a su solubilidad.

<b>Nombre</b>	<b>Solubilidad</b>	<b>Cebada (%)</b>	<b>Triticale (%)</b>
Albúmina	Agua	3-4	20-30
Globulina	Soluciones salinas diluidas	10-20	5-10
Prolamina	Soluciones alcohólicas	33.5-45	20-30
Glutelinas	Soluciones diluidas de ácidos y álcalis	35-45	30-40

Fuente: Callejo, 2002.

Las proteínas en la cebada están compuestas de cuatro grupos que varían en solubilidad. La fracción de albúmina corresponde a menos del 10% de las proteínas; a las globulinas corresponde aproximadamente el 20%, las hordeínas (solubles en alcohol al 70%) constituyen el 30% y el 40% restante de las proteínas son glutelinas. Aproximadamente la mitad de los residuos de aminoácidos en las hordeínas está constituida de glutamina o prolina; la composición de aminoácidos de las glutelinas se asemeja a la de las hordeínas, pero es menos extrema (Callejo, 2002).

Las albúminas y las globulinas se conforman por enzimas, nucleoproteínas y glucoproteínas, sustancias biológicamente activas que juegan un papel crítico durante la germinación (Desrosier, 1999; Fellows, 1994).

De las cuatro fracciones proteicas, las albúminas y las globulinas tienen el menor balance de aminoácidos esenciales, porque son especialmente ricas en lisina. Aproximadamente el 80% de las proteínas del grano es de almacenamiento y reserva como las prolaminas y glutelinas.

La fracción proteica más importante desde el punto de vista nutricional son las prolaminas, estas proteínas de almacén se forman en los protoplastos durante la maduración del grano. Las prolaminas están encerradas en los llamados cuerpos

proteicos localizados en el endospermo; esta fracción proteica adquiere distintos nombres según el cereal, en la cebada se llama hordeína.

En el triticale las glutelinas son las principales proteínas estructurales del endospermo, básicamente se encuentran situadas dentro de la matriz proteica y asociadas con las prolaminas.

Muchas de las variedades de triticale recientes presentan niveles altos de proteína y una composición aminoacídica preferible a la del trigo. Sin embargo, actualmente los niveles de proteína son más o menos equivalentes a los del trigo, mientras que la composición aminoacídica (especialmente el elevado contenido de lisina) sigue favoreciendo al triticale sobre el trigo (Kulp y Ponte, 2000).

Varughese (1997) realizó una revisión de la composición química del triticale, en general, las proporciones del contenido de aminoácidos varía de acuerdo al contenido de proteína, así que a más bajos niveles de nitrógeno en el grano, la proporción de lisina, treonina, tirosina, triptófano, metionina y cisteína fueron más altos en triticale que en trigo y cualquiera de sus niveles de nitrógeno puede permanecer constante o decrecer. Tales beneficios marcan claramente al triticale como un excelente grano para alimento.

#### **2.3.4 Lípidos**

La materia grasa, se encuentra en menor proporción en relación a otros constituyentes de los granos, sin embargo, tienen una gran importancia desde el punto de vista de estabilidad y procesos metabólicos.

Los cereales son ricos en ácidos grasos insaturados (Tabla 3), se concentran en el embrión y en la capa de aleurona, aunque el grano entero sólo tiene el 2% de material extractable en éter de petróleo, los embriones aislados contienen el 15%.

**Tabla 3.** Ácidos grasos presentes en los granos de cebada y triticale.

<b>Nombre</b>	<b>Cebada (%)</b>	<b>Triticale (%)</b>
Ácido palmítico C16:0	25	18-21
Ácido oleico C18:1	8	7-15
Ácido linoléico C18:2	61	63-64
Ácido linolénico C18:3	6	4-8

Fuente: Callejo, 2002.

Aproximadamente, las dos terceras partes de estos lípidos son libres, el tercio restante son lípidos ligados a otros constituyentes proteicos o glucosídicos. Más de la mitad de los lípidos de los cereales son no polares, principalmente triglicéridos, así como diglicéridos y ésteres de esteroides y ácidos grasos libres. El resto son lípidos polares como son glicolípidos y fosfolípidos (Callejo, 2002).

Los procesos de molienda y casi todos los de producción de alimentos están enfocados a remover el germen porque el aceite es susceptible a oxidarse o enranciarse y es aquí donde se concentra la mayor parte (Serna, 2001).

### **2.3.5. Minerales y vitaminas**

Los cereales son considerados como fuente importante de algunos minerales y vitaminas. En general, el pericarpio, el germen y la capa de aleurona son ricos en estos constituyentes. Se considera a los cereales como una fuente pobre de calcio. El fósforo es el micromineral encontrado en mayores cantidades en todos los cereales, se asocia con el ácido fítico que es la principal forma de almacenamiento para el fósforo y se encuentra principalmente en la capa de aleurona (Serna, 2001).

Los cereales son una fuente de potasio, pero ninguno contiene cantidades significativas de sodio. El hierro, el zinc y el cobre están en el pericarpio, germen y en la capa de aleurona, por lo tanto cantidades considerables se pierden durante los procesos de refinación y molienda (Serna, 2001).

El contenido de minerales en la cebada y el triticale están influenciados por la temporada de cultivo, zona, tipo y fertilidad del suelo (Kulp y Ponte, 2004).

Los cereales son una importante fuente de vitaminas del complejo B, particularmente tiamina, riboflavina, niacina y piridoxina, pero pobres aportadores de vitaminas liposolubles y vitamina B<sub>12</sub> (Tabla 4). Las del complejo B se encuentran generalmente en la capa de aleurona. La niacina se presenta en forma libre o ligada; la forma ligada no es bien aprovechada por el organismo humano (Serna, 2001).

**Tabla 4.** Contenido medio en vitaminas de los granos de cebada y triticale (mg/100g de granos)

<b>Especie</b>	<b>Tiamina B1</b>	<b>Rivoflavina B2</b>	<b>Niacina</b>	<b>Ac. Pantoténico</b>	<b>Piridoxina B6</b>	<b>Tocoferoles E</b>
Cebada	0.5	0.18	5.5	0.80	0.30	1.1
Triticale	0.47	0.18	3.2	0.65	-	-

Fuente: Callejo, 2002.

#### **2.4. Calidad física de los cereales**

La calidad de los granos está definida por el conjunto de atributos que identifican un lote y que determinan el grado de aceptación del mismo. El uso potencial del grano está en función de sus características particulares, ya que éstas lo hacen más o menos adecuado para algún tipo de procesos o de productos (Velázquez, 2004).

Por otro lado, para la conservación de granos, es necesario someterlos a un número de operaciones que se determinan al momento de la recepción, basándose en las características de calidad, estas operaciones tienen como objetivo reducir al mínimo las pérdidas cualitativas y cuantitativas del grano y de los productos.

Las determinaciones pueden agruparse de la siguiente manera:

- **Análisis sensorial y temperatura**

Se hace una inspección visual sin abrir el recipiente, para detectar alteraciones o defectos evidentes que puedan poner en riesgo la salud del analista, si hubiese alguno como hongos o infestación, se omite la detección de olor y si el defecto es muy notable, puede ser necesario suspender el análisis e incinerar el grano. Si el aspecto inicial es aceptable, se agita la muestra para favorecer el desprendimiento de los volátiles que originan el olor. Debe ser el aceptable, típico del grano, no deben percibirse olores de humedad, hongos, fermentación, acidez, rancidez, putrefacción, plaguicidas ni otros olores extraños (Velázquez, 2004).

Si en la muestra se está presentando alguna actividad metabólica como germinación del grano o desarrollo microbiano, se genera calor que causa un incremento en la temperatura, por eso se determina la temperatura del grano en 5 zonas diferentes; si hay una diferencia de 5°C ó más entre ellas o con la temperatura ambiente, se debe a desarrollo microbiano o gran población de insectos, o bien, a la respiración relacionada con la germinación (Velázquez, 2004).

- **Impurezas y sanidad**

Es la parte del análisis más importante para la salud del consumidor, por lo que constituye un punto crítico de control. La determinación de sanidad consiste en identificar la presencia de insectos en sus fases de huevecillo, larva, pupa o adulto, así como su identidad, el grano se considera infestado si se encuentran 2 ó más insectos perforadores (gorgojos) vivos en 1 Kg (Velázquez, 2004).

- **Análisis selectivo**

En esta parte del examen se identifican todos los defectos, para tratar de establecer las condiciones a que ha sido sometido el grano desde antes de la cosecha y lo que puede esperarse en el procesamiento. Los daños que pueden presentarse y, por lo tanto las fracciones que se separan son: los granos

quebrados que indican fragilidad, resequedad o mal almacenamiento y pueden facilitar el ataque de plagas; las clases y grupos contrastantes, granos dañados que son los que muestran evidencia visualmente perceptible de daños por insectos, calor, hongos, heladas ó germinación así como granos inmaduros y chupados (Velázquez, 2004).

- **Humedad, densidad y dureza**

La humedad se relaciona con las condiciones de almacenamiento del grano y por lo tanto, con su estabilidad y sanidad ya que la humedad alta puede favorecer la germinación y el desarrollo de plagas, en tanto que una humedad baja genera desecación y fragilidad en el grano, haciéndolo quebradizo (Velázquez, 2004).

En cuanto a la densidad de los granos se relaciona con el tipo, tamaño y forma del grano, con el endospermo y su composición, con la madurez, edad y cambios en el almacenamiento y, por lo tanto, con la calidad molinera y el desempeño del grano en cualquier proceso. Las medidas más utilizadas para describir la densidad son peso hectolítrico (permite estimar la vitrosidad del grano), peso de mil granos (permite estimar la relación peso/volumen del grano) e índice de flotación (Velázquez, 2004).

Con respecto a la dureza de los granos, se relaciona con el tipo de almidón, grado de madurez, y tiempo de almacenamiento, pero sobre todo se relaciona con la estabilidad del grano durante su posterior conservación, con la calidad culinaria y adecuación para otros procesos (Velázquez, 2004).

## **2.5. Aplicaciones de la cebada y el triticale**

Tanto la cebada como el triticale se emplean en la alimentación del ganado, tanto en grano como en verde para forraje.

La aplicación de la cebada es para la alimentación del vacuno, en la alimentación porcina, en avicultura y como materia prima para piensos. Aunque también tiene

importantes aplicaciones en la industria: fabricación de cerveza, en destilería para obtener alcohol, en la preparación de maltas especiales, como sustitutivo del café, elaboración de azúcares, preparados de productos alimenticios (Callejo, 2002; Desrosier, 1999).

El triticale puede utilizarse como alimento si los cultivares cumplen con las necesidades alimenticias en términos de la utilización del producto y la palatabilidad (Kulp y Ponte, 2000). También puede ser utilizado como una fuente económica de almidón, en destilería y como adjunto cervecero (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

## **2.6. Operaciones previas a la molienda**

- **Limpieza**

Se lleva a cabo una operación de limpieza para remover metales, residuos vegetativos, piedras y otros granos. Las operaciones de limpieza incluyen el uso de mesas cribadoras, mesas de gravedad, separadores de discos y magnetos (Serna, 2001).

- **Acondicionamiento**

El acondicionamiento es la simple adición de agua al grano con el objetivo de separar más efectivamente al pericarpio del endospermo, suavizar al endospermo para una mejor y más efectiva reducción de tamaño y lograr un mejor comportamiento de las fracciones durante el tamizado.

Después de la adición del agua, el grano se deja reposar durante horas (16-24 hrs), durante ese tiempo el grano tenderá a absorber el agua concentrada en la parte exterior y alcanzará una humedad que va del 15-17.5% (Serna, 2001).

- **Descascarillado**

La operación de descascarillado o decorticado consiste en remover gradualmente al pericarpio y germen para producir un grano más atractivo y con menor cantidad

de fibra y aceite, y así obtener granos íntegros que cumplan con las especificaciones de color, cantidad de cenizas, fibra y aceite (Serna, 2001).

## **2.7. Características de los granos relacionados con su transformación**

- **Vitrosidad**

Un grano es vítreo cuando la estructura de su almendra tiene aspecto translúcido y contienen menos aire interpuesto, por lo que su proporción de almendra y rendimiento en harina serán mayores. Por lo mismo, dichos granos tendrán un volumen real más elevado y un peso hectolítrico mayor. Teniendo los constituyentes del albumen más soldados, se necesita, en principio, más fuerza mecánica para la trituration (Callejo, 2002).

- **Dureza**

La dureza de los granos se define como la resistencia al aplastamiento, a la fragmentación, a la reducción. Se le considera una propiedad mecánica.

Es más fácil producir una harina rica en almidón dañado con granos duros, vítreos. El daño del almidón es proporcional a la dureza y su tasa en harinas para panificación no debe ser superior al 8% (Callejo, 2002).

## **2.8. Molienda de cereales**

La molienda de los cereales consiste en la separación física de las distintas partes anatómicas del grano, tiene como principal objetivo obtener el endospermo en forma entera, parcialmente quebrado (grits o gránulos) o en harina. A los productos terminados en este proceso se les considera como intermedios ya que son la principal materia prima utilizada en otras industrias alimentarias (Serna, 2001).

El proceso de molienda, se puede clasificar en 4 sistemas (Callejo, 2002):

- Trituración (separa endospermo de salvado y germen).
- Desagregación (rompe grandes trozos de endospermo).
- Compresión (reduce pequeños fragmentos de endospermo a harina).

- Colas (separa la fibra del endospermo recuperado de las otras etapas, a fin de evitar la contaminación de la harina).

### **2.8.1. Molienda seca**

La molienda seca del grano de cebada persigue la separación de las diferentes partes anatómicas del grano, permite la obtención de harinas y sémolas de diferente granulometría, con distintos usos para alimentación humana y animal.

Los objetivos de la transformación de la cebada son:

- Obtener el máximo de fragmentos de almendra conteniendo un mínimo de materia grasa y celulosa.
- Obtener un máximo de gérmenes enteros y fragmentos grandes de germen exentos de almendra y salvado.

Se buscan productos nobles, pobres en materia grasa que se conserven bien. La molienda seca es un proceso sencillo en el que se emplean molinos de rodillos y cribas de forma muy similar a la molienda del trigo. Previamente el cereal se somete a un acondicionamiento de humectación ligera.

Los productos de la molienda seca incluyen germen, salvado y una variedad de sémolas y harinas de diferente granulometría (Serna, 2001).

### **2.8.2. Molienda húmeda**

La molienda húmeda tiene como principal objetivo obtener el máximo rendimiento de gránulos de almidón nativo o sin dañar. A diferencia de la molienda seca, donde se separan las partes anatómicas del grano, estos molinos extraen los componentes químicos del grano que son almidón, proteína (gluten), fibra (pericarpio) y aceite, este último compuesto mediante el procesamiento del germen (Serna, 2001).

El grano se remoja en soluciones con diversos compuestos químicos que ayudan a romper la estructura de la matriz proteica, que esta íntimamente ligada a los gránulos de almidón. Además se usa agua como vehículo para lograr la conducción, separación y purificación del almidón.

Existen diversos métodos para la obtención de almidón entre los que destacan los procesos Halle, Martin, con amoníaco y dióxido de azufre (Serna, 2001).

## **2.9. Industria panificadora**

El pan es un alimento consumido por el hombre desde la antigüedad, ha sido un producto tan popular dado a que para su fabricación requiere utensilios sencillos, es un alimento altamente nutritivo y para su producción requiere ingredientes comunes como son sal, azúcar y fermento (Serna, 2001).

### **2.9.1. Definición de pan**

El pan es el resultado de transformaciones físicas, reacciones químicas y actividades biológicas muy complejas que se producen en el seno de una mezcla de harina, agua, sal y levadura, y en ocasiones de otros ingredientes (aditivos), bajo la acción de energía mecánica y térmica controladas (Feillet, 2000).

### **2.9.2. Ingredientes básicos**

- **Harina**

La harina es el principal componente y es responsable por la estructura del pan e interviene en la formación de una masa viscoelástica capaz de retener gas, afecta la funcionalidad y las características del producto terminado, dictamina parámetros de procesamiento y requerimientos de algunos otros ingredientes (Hoseney, 1998; Serna, 2001).

La funcionalidad es impartida principalmente por el contenido de proteína y o gluten. Se dice que es funcional ya que forma una red continua, elástica,

extensible y hasta cierto punto impermeable al dióxido de carbono liberado durante la fermentación. Otros importantes componentes de la harina son los pentosanos, almidón, carbohidratos simples y lípidos polares.

La evaluación del color de las harinas es importante ya que está relacionada con la calidad de los productos terminados, eficiencia del proceso de molienda, grado de refinación o extracción y como medida de control de calidad para harinas blanqueadas (Serna, 2001).

- **Agua**

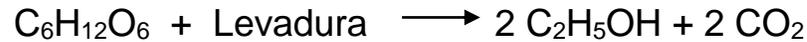
En cantidad, el agua es el segundo ingrediente en el pan y es el menos costoso. El agua es fundamental para solubilizar los ingredientes de panificación, activa la levadura y las enzimas de la malta, hidrata e hincha a los gránulos de almidón y sobre todo es el agente necesario para el desarrollo y formación del gluten una vez que la harina hidratada es sujeta al amasado. La cantidad de agua determina la consistencia de la masa, cuando se humedece la harina, las moléculas presentes pueden interaccionar dando como resultado propiedades plastificantes que inducen una disminución de los módulos elásticos y viscosos poco a poco que la harina es mezclada y que se forma la masa. (Sluimer, 2005; Serna, 2001; Feillet, 2000).

- **Levadura**

La levadura (*Saccharomyces cereviceae*) es el agente fermentador. Son microorganismos quimosintéticos unicelulares, ovales, nucleados e inmóviles que se reproducen vegetativamente o por gemación.

En anaerobiosis (como es el caso de la masa), las levaduras se multiplican difícilmente, utilizando los azúcares para producir la energía que necesitan para mantener su actividad y transformar cerca del 95% de glucosa en etanol y gas carbónico (el resto de la glucosa es transformada en glicerol, ácidos orgánicos,

alcoholes superiores y esteres). Se lleva a cabo la reacción de fermentación que además es exotérmica (Feillet, 2000; Hosenev, 1998):



En la panificación las levaduras son incorporadas en proporción del 2% del peso de la harina, producen gas carbónico que provoca la expansión de la masa durante la fermentación y al inicio de la cocción, el alcohol que es evaporado dentro del horno y algunos constituyentes menores contribuyen a la formación del aroma (Feillet, 2000).

- **Leche**

La adición de leche contribuye al sabor, color, formación de la corteza y al volumen del pan, más específicamente, la leche entera contribuye al sabor, aroma y valor nutricional del pan (Sluimer, 2005).

- **Sal**

La sal es un agente saborizante que tiene como principal función contrarrestar el sabor dulce de los edulcorantes y fortalecer el gluten vía modificación iónica de las proteínas. También baja ligeramente la actividad de agua ( $A_w$ ) del sistema, por lo tanto sirve como agente conservador. Las cantidades generalmente utilizadas varían entre el 1 y el 2% (Serna, 2001).

- **Azúcar**

Los azúcares imparten sabor al pan directa e indirectamente, esto es debido a que la levadura produce un gran número de agentes saborizantes resultante de su fermentación. Los azúcares también son responsables por el desarrollo del color típico del pan vía reacción de Maillard o de pardeamiento no enzimático, que es una reacción entre aminoácidos o péptidos y azúcares reductores, una vez que son expuestos a las altas temperaturas del horno. Las formulaciones de pan de mesa generalmente contienen de 4-6.5% de azúcar (Serna, 2001; Sluimer, 2005).

- **Grasa**

La adición de grasa tiene una gran influencia sobre las propiedades de la masa y las características del pan, la grasa actúa como agente lubricante mejorando el comportamiento de la masa durante el mezclado, la masa es más flexible disminuyendo principalmente el problema de pegosidad. Sin embargo su principal función es mejorar la textura del pan produciendo una miga más fina y de textura más suave, debido a que la grasa forma pequeñas películas entre la red de gluten y los otros constituyentes, interfiriendo con el fenómeno de retrogradación del almidón. El contenido recomendado de manteca vegetal o animal generalmente es de 3-3.5% (Serna, 2001; Sluimer, 2005).

- **Emulsificantes**

La masa de pan es un sistema coloidal de gránulos de almidón, proteínas, pentosanos, glóbulos de grasa y núcleos de gas en agua, por lo tanto son necesarios emulsificantes que estabilicen este sistema.

Los emulsificantes son compuestos químicos con grupos hidrofílicos y lipofílicos, por lo tanto sirven como enlace entre los grupos polares y no polares mejorando el comportamiento de la masa, retardando las reacciones de retrogradación, por lo tanto ayudan a mantener la frescura y suavidad del pan; al igual que las grasas, se utilizan para hacer más flexible la masa, hacerla más tolerante al proceso, obtener mayor volumen, hacer la miga más suave, más cohesionada y que se mantiene suave por más tiempo (Sluimer, 2005).

### **2.9.3. Etapas del proceso de panificación**

El proceso de panificación puede ser dividido en cuatro operaciones básicas que son amasado, fermentación, moldeado y horneado.

- **Amasado**

El amasado consiste en la acción mecánica del mezclado para la formación de masa, tiene dos objetivos, distribuir homogéneamente los ingredientes y propiciar el desarrollo del gluten.

Durante la etapa de mezclado la harina absorbe el agua adquiriendo una textura rugosa y granular, conforme avanza la acción mecánica, la masa adquiere propiedades elásticas cohesivas dado a que el complejo hidratado gliadina-glutelina (gluten) empieza a interactuar vía formación de enlaces hidrofóbicos y disulfuro. Durante el amasado la masa es sometida a fuerzas intensas de extensión, compresión, de cizalla y de la fuerza de rotación del brazo.

El punto óptimo de mezclado o tiempo de desarrollo, es cuando la masa tiene una textura lisa, tenaz y brillante, y es capaz de retener el gas producido durante la fermentación lo que produce un buen volumen del pan (Serna, 2001; Feillet, 2000).

- **Fermentación**

El proceso de fermentación empieza una vez que la levadura y la harina son hidratadas en presencia de azúcar. Esta operación se lleva a cabo bajo un estricto control de temperatura y humedad, generalmente a temperaturas de 26 a 32°C bajo una atmósfera alta en humedad relativa que evita que la masa sufra una deshidratación y afecte la calidad y rendimiento del producto terminado (Serna, 2001).

- **Moldeado**

El moldeado es una operación que permite conferir a la masa la forma que tendrá el producto final, puede ser manual o mecánico. El moldeado es una operación delicada que requiere toda la atención necesaria ya que la masa es muy sensible a las operaciones mecánicas (Feillet, 2000).

- **Horneado**

La masa es transformada en pan mediante su horneado en una atmósfera saturada con vapor de agua, durante aproximadamente 30 minutos dependiendo del peso y forma del pan, a una temperatura de 200-250° C (Feillet, 2000).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivos generales**

- Elaborar un producto de panificación con harina de diferentes variedades de triticale y cebada a fin de darle un uso alternativo a estos cereales.
- Evaluar la calidad de dicho producto de panificación.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad física de los granos de cebada y triticale.
- Obtener harinas mediante el proceso de descascarillado y molienda de la cebada y las distintas variedades de triticale.
- Determinar la composición química de los granos y harinas de cebada y triticale.
- Evaluar la microestructura del grano y de las harinas mediante Microscopía Electrónica de Barrido y Granulometría.
- Evaluar el proceso de gelatinización de las harinas de cebada y triticale mediante el uso de Calorimetría Diferencial de Barrido.
- Elaborar productos de panificación de las mejores mezclas de cebada y triticale, de acuerdo con su análisis físico.

## IV. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Materia prima

Para la realización del presente trabajo se utilizaron como muestras de estudio cinco variedades experimentales de triticale (*X Triticosecale* Wittmack) las cuales fueron producidas en distintas regiones del estado de Hidalgo en el ciclo de cultivo otoño-invierno 2006-2007, dichas variedades fueron proporcionadas por el INIFAP. La variedad Esperanza de cebada (*Hordeum satívum jess*) empleada fue cultivada en la región de Apan, Hidalgo en el ciclo de cultivo primavera-verano 2007, dicha variedad fue proporcionada por el Centro de Acopio de la Impulsora Agrícola de Palma Gorda. Para facilitar la identificación de las muestras estas fueron codificadas (Tabla 5).

**Tabla 5.** Codificación del INIFAP de las distintas variedades experimentales de triticale y de cebada.

Código	Variedad
L1	Supremo
L3	Pollmer_2.2.1//faras/cmh84.4414 *
L19	Dahbi_6/3/ardi_1/topo1419//erizo_9/4/rondo/bant_5//anoas_2/5/lad 622.81/porsas_4-1/3/ardi_1/topo 1419//erizo_9 *
L22	Vicuna_4/3/z9/zebra31//asad/4/liron_2-1/3/musx/lynx//stier_12-3 *
L24	Dagro/ibex//civet#2/3/f3 ind. Pcz *
L39	Erizo_10/bull_1-1//bant_4/gnu_8-1/3/kissa_7-3//sika 26/hare_337 *
Cebada	Esperanza 2007 de riego

\* Información clasificada perteneciente al INIFAP.

Las muestras de cebada y triticale se obtuvieron mediante un muestreo aleatorio simple, en el cual las unidades se eligen 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 4 Kg para cada una de las variedades.

## **4.2. Métodos**

Los análisis que se efectuaron por triplicado para cada una de las muestras.

### **4.2.1. Calidad física de los granos de cebada y triticale**

#### **4.2.1.1. Análisis sensorial y temperatura**

El primer análisis del grano es un análisis visual. Cada variedad de cereal es estudiada rápidamente para detectar alteraciones eventuales o defectos evidentes (presencia de hongos, insectos, roedores, germinación, etc.) Se verifica que el olor sea el característico. En seguida, se toma la temperatura en cinco puntos de cada saco de cereal, si existe una diferencia de temperatura superior a 5°C se considera indicador de un problema: germinación o contaminación (NMX-FF-SCFI-043-2003).

#### **4.2.1.2. Análisis selectivo**

Para el análisis selectivo del grano se siguió la Norma mexicana NMX-FF-SCFI-043-2003, para ello se utilizan 100g de muestra, se separaron y pesaron:

- Los granos quebrados
- Los granos estropeados por hongos (trazas oscuras), por insectos (perforaciones), por un exceso de calor (decoloraciones o fisuras), por heladas (quemaduras, decoloración), granos harinosos (deficiencia de proteína y un alto contenido de almidón), granos inmaduros, verdes y marchitos, granos germinados.
- Impurezas

Se reportan como porcentaje.

#### **4.2.1.3 Densidad**

Para su determinación se siguió la Norma mexicana NMX-FF-SCFI-043-2003, para lo cual se pesan 1000 granos.

El peso hectolítrico del grano se determinó siguiendo la Norma mexicana NMX-FF-SCFI-043-2003, se pesaron 110g del grano limpio, y se midió su volumen mediante el uso de una probeta de precisión graduada de 250 ml.

#### 4.2.1.4. Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión permite estimar la dureza del grano, para su determinación se utilizaron 10 granos de cebada y de cada variedad de triticale, los cuales fueron tomados al azar y pesados. Cada uno fue raspado manualmente 5 veces con una lija No. 100 de 3 x 23 cm. Posteriormente se pesaron los residuos de los granos. La diferencia entre los pesos antes y después de la abrasión permite comparar la dureza del grano (Velázquez, 2004).

#### 4.2.2. Limpieza

La limpieza de los granos de cebada y triticale se llevó a cabo en un agitador de tamices (Testing Sive Shaker, USA) y posteriormente se procedió a retirar, de forma manual los restos de hojas y flores, y de la misma manera, se seleccionaron lo mejores granos de cebada y triticale para proceder a su acondicionamiento, descascarillado y molienda.

#### 4.2.3. Descascarillado y molienda de los granos

El primer paso del proceso de molienda fue el descascarillado, esto con el fin de reducir el salvado, y al mismo tiempo el contenido de cenizas en la harina. Se utilizó el proceso de molienda húmeda, en esta los granos son acondicionados a un 16% de humedad con un reposo de 12 horas, debido a que existen reportes de que a este porcentaje se obtiene un mejor rendimiento (Callejo, 2002). La fórmula que se utilizó para acondicionar el grano a una humedad del 16% 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)

Posteriormente se procedió a eliminar el pericarpio en una descascarilladora de laboratorio (Strong-Scott, USA). Los granos descascarillados de cebada fueron molturados en un molino de laboratorio (Chopin CD1, Francia), con circulación constante.

#### **4.2.4. Análisis proximal del grano y las harinas**

##### **4.2.4.1. Humedad**

Esta prueba se basa en la medición del contenido de agua de la muestra. El método utilizado fue el 925.10 de la AOAC (1990). Se pesaron 3 g de la muestra, la cual fue sometida en una estufa (Imperial V, Lab-line) a 105° C por 4 horas. El cálculo se realizó por diferencia de peso.

##### **4.2.4.2. 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).

##### **4.2.4.3. Grasas**

Para ésta determinación se utilizaron 5 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 4 horas.

##### **4.2.4.4. Proteínas**

Se empleó el método Dumas (Jean-Baptiste Dumas, 1831), el cual cuantifica el total del nitrógeno liberado por la combustión de las muestras a altas temperaturas (700-900 °C) en una atmósfera rica en oxígeno para una rápida combustión y posteriormente se filtran estos gases liberados y se reducen los óxidos de nitrógeno para cuantificar el contenido de nitrógeno. El estándar utilizado fue EDTA grado reactivo.

El contenido de nitrógeno fue multiplicado por el factor 5.85 (específico para cebada y triticale) para obtener el porcentaje de proteína de la muestra en base seca.

#### **4.2.4.5. 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), en donde 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%.

#### **4.2.4.6. Carbohidratos**

Estos fueron calculados por diferencia de porcentajes de todos los constituyentes en materia seca respecto al cien por ciento.

#### **4.2.5. Capacidad de hidratación (CH)**

Para esta determinación se utilizó el método 56.20 de la AACC, con algunas modificaciones que consistieron en usar tres temperaturas (60, 70 y 80° C), para abarcar parte del intervalo donde ocurre la gelatinización del almidón. Cada muestra de harina de 0.5 g, previamente deshidratada se colocó en tubos de propileno de 15 mL a peso constante, se adicionaron 10 mL de agua destilada y se colocaron en baño María. La suspensión se mantuvo en agitación y temperatura constantes durante 30 min, posteriormente se centrifugó a 3000 x g durante 10 min. El sobrenadante se evaporó en una estufa (Imperial V, Lab-line) a una temperatura de 105°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.

#### **4.2.6. Microscopia Electrónica de Barrido**

Los granos de cebada y las variedades de triticale fueron cortados en dos de manera longitudinal. Las muestras de grano y harina fueron recubiertas de oro mediante un electro depositador (Denton Vacuum Desk II) y observadas en un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB, JOEL, JSM-6-300) a ampliaciones de 500x, 1000x y 2000x, utilizando un flujo de electrón de 20 KV y 15 mm.

#### **4.2.7. Análisis colorimétrico de las harinas**

El análisis colorimétrico de las harinas fue realizado con un espectrofotómetro Byk Gardner. La harina fue puesta sobre una fuente luminosa y analizada en un sistema L\*a\*b. El principio de este análisis consiste en la capacidad de absorción de la luz negra y de la reflexión de la luz blanca. Actualmente esta técnica es la más utilizada para el análisis de productos alimenticios.

Sistema L\*a\*b:

- El parámetro **L** es la luminosidad que va desde 0 (negro) hasta 100% (blanco).
- El parámetro **\*a** va desde el rojo (+), pasa por el blanco (0) si la luminosidad es del 100% y va hacia el verde (-).
- El parámetro **\*b** representa la gama del amarillo (+), pasa por el blanco (0) si la luminosidad es del 100% y va hacia el azul (-).

#### **4.2.8. Granulometría de harinas**

El tamaño de partícula se midió mediante el uso de un granulómetro Mastersizer 2000, Malvern, en vía seca, con los siguientes parámetros de calibración:

- Índice de difracción de la harina: 1.49429
- Absorción de la harina: 0.1
- tasa de vibración de la barquilla: 75%
- Presión del aire de dispersión: 3 bars

#### 4.2.9. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Para medir las propiedades térmicas del almidón de la cebada y el triticale se utilizó un calorímetro Diferencial de Barrido, Mettler Toledo modelo 822E. El equipo fue calibrado de acuerdo a la metodología descrita por el fabricante. Se utilizó 1.5 g de harina que se hidrato en exceso (70% de agua), de esta se tomaron 50 mg de muestra la cual fue depositada en un porta muestras de aluminio hermético. Se estudian las variaciones de energía del producto cuando la temperatura aumenta de 30 a 130° C, a una velocidad de 5° C por minuto.

#### 4.2.10. Elaboración del producto de panificación

Para la elaboración de panes de cebada y triticale se depositaron todos los ingredientes (Tabla 6) en un tazón, se mezclaron para formar una masa homogénea de consistencia suave y elástica. El aditivo (Magimix 40, Safmex) se adicionó al 1% y el emulsificante (Paniplus) al 2.5% sobre el peso de la harina.

Tabla 6. Formulación de la masa

Ingredientes	Cantidad
Harina*	100 g
Sal	0.75 g
Azúcar	0.75 g
Mantequilla	4.28 g
Levadura	3.7 g
Leche	21.4 ml
Agua	48.2 ml
Aditivo (Magimix <sup>R</sup> )	1 g
Emulsificante (Paniplus <sup>R</sup> )	2.5 g

\*Se utilizaron las siguientes proporciones de harina: 70% cebada-30% triticale, 50% cebada-50% triticale, 40% cebada-60% triticale y 20% cebada-80% triticale de cada variedad.

Después del mezclado, la masa se sometió a fermentación durante 45 minutos. El tiempo óptimo de "maduración" de la masa (amasado -fermentación) para obtener buenas propiedades reológicas depende de la fuerza de las harinas. Una vez fermentada se volvió a amasar, esto con el fin de sacar el gas producido y obtener un mejor desarrollo de gluten, se amoldó y se volvió a dejar fermentar por un periodo de 15 minutos. El horneado se llevó a cabo en el horno Self Cooking Center Rational, SCC61, Alemania, (programa para pan salado, fermentado y horneado). Finalmente, el pan recién salido del horno se dejó enfriar a temperatura ambiente.

#### **4.2.11. Evaluación de las propiedades físicas del pan elaborado**

##### **4.2.11.1. Determinación de volumen y densidad del pan**

Se determinó el volumen del molde vacío llenándolo con sopa de pasta de munición, rasando con cuidado. Se transfirió la sopa con cuidado, a una probeta y se midió su volumen. Para medir el volumen del pan, cuando ya se ha enfriado, se colocó en el mismo molde y se le añadió la sopa de munición cuidando que ocupara todos los espacios y rasando igual que se hizo con el molde vacío. La sopa utilizada, se volvió a transferir a la probeta y se registró su volumen. El volumen del pan se calcula por diferencia. La densidad se determinó mediante el peso del pan entre el peso de la sopa desplazada por el pan (AACC, 2001).

##### **4.2.11.2. Capacidad de fermentación**

Para medir éste parámetro, se tomó la masa en forma esférica, en la que en todas las muestras se procuró hacerla del mismo modo y tamaño. Ésta se colocó en un recipiente. Posteriormente, se procedió a medir la altura alcanzada de la masa después de 30 minutos de fermentación, así como ancho de la misma. Para ésta prueba se utilizó un vernier (Scala, China) para obtener un resultado con mayor precisión (Quaglia, 1991).

#### **4.2.11.3. Pérdida de peso**

Primero se determinó el peso de la masa que se elaboró a partir de 100 g de harina, posteriormente se introdujo al horno para obtener el pan. Una vez frío el pan se procedió a pesarlo y finalmente la pérdida se calcula por diferencia (Quaglia, 1991).

#### **4.2.12. Análisis Estadístico**

El Análisis estadístico de los resultados se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía donde las variables son cada una de las determinaciones realizadas, utilizando el software STATISTICA 7.0, se trabajó con un 95% de confiabilidad y se compararon medias por la prueba de Duncan.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis del grano

Para la evaluación de la calidad de las materias primas utilizadas en este trabajo de investigación se realizaron las determinaciones físicas y proximales de cada cereal utilizado.

#### 5.1.1. Análisis Físico

En las tablas 7 y 8 se muestran los resultados del análisis físico realizado a la cebada y a las distintas variedades de triticale.

**Tabla 7.** Resultados en porcentaje en masa del análisis físico realizado a los granos de cebada y triticale. (Desviación estándar)

Variedad	Olor	Temperatura	Impurezas	Granos Secos	Puntos negros	Grano Quebrado	Granos verdes	Total de grano dañado
L1	típico	normal	0.39 (0.01) <sup>a</sup>	2.14 (0.02) <sup>a</sup>	0.60 (0.09) <sup>a</sup>	1.69 (0.08) <sup>a</sup>	0.03(0.04)	4.84 (0.16) <sup>a</sup>
L3	típico	normal	0.43 (0.04) <sup>a</sup>	2.70 (0.10) <sup>b</sup>	0.34 (0.05) <sup>b</sup>	2.73 (0.11) <sup>b</sup>	NP	6.21 (0.19) <sup>b</sup>
L19	típico	normal	0.13 (0.02) <sup>b</sup>	1.35 (0.22) <sup>c</sup>	0.73 (0.07) <sup>c</sup>	1.88 (0.08) <sup>c</sup>	NP	4.09 (0.34) <sup>c</sup>
L22	típico	normal	0.64 (0.03) <sup>c</sup>	0.94 (0.06) <sup>d</sup>	0.55 (0.05) <sup>a</sup>	1.01 (0.03) <sup>d</sup>	NP	3.15 (0.08) <sup>d</sup>
L24	típico	normal	0.23 (0.02) <sup>d</sup>	3.48 (0.11) <sup>e</sup>	0.25 (0.05) <sup>d</sup>	1.25 (0.05) <sup>e</sup>	NP	5.02 (0.23) <sup>a</sup>
L39	atípico	anormal	-	-	-	-	-	-
Cebada	típico	normal	0.23(0.01)	NP	0.72 (0.1)	1.13 (0.05)	0.28 (0.1)	2.46 (0.01)

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p>0.95$ ).

NP: No presente

Como se puede observar en la tabla 7 la variedad de triticale L39 presentó un olor atípico y una temperatura anormal, lo cual refleja una alta actividad metabólica provocada por plagas o por microorganismos. Días después de su recepción manifestó plaga, por lo que se suspendió el análisis físico de la muestra y se eliminó.

Todos los granos analizados presentaron un porcentaje mínimo de impurezas (Tabla 7), la Norma Mexicana NMX-FF-SCFI-043-2003 establece 2% como máximo de impurezas, por lo cual todas las variedades de triticale y la cebada cumplen con la norma. Esto indica que al momento de la colecta se tiene un especial cuidado durante la separación de los granos con el resto de la planta, a diferencia de lo estudiado por López (2005) quien evaluó la calidad de siete variedades de cebada que tuvieron entre 0.7 y 13.7% de impurezas, de las cuales solo una variedad estuvo dentro de la Norma.

Los granos de triticale presentaron un porcentaje de granos secos importante en comparación con la cebada, lo cual puede estar causado por falta de agua, enfermedades, o altas temperaturas; estos defectos afectan el rendimiento de los granos (Velázquez, 2004). Las variedades L3 y L24 presentaron porcentajes de granos secos particularmente elevados, esto puede ser provocado por malas condiciones de cultivo como estrés hídrico, malas condiciones de almacenamiento o bien, grandes variaciones de temperatura y humedad elevada (Tabla 7) (Velázquez, 2004).

Los granos secos son en general poco densos y tienen deficiencia de proteína, esto puede afectar el rendimiento de molienda y las propiedades de panificación (Velázquez, 2004).

En la variedad L3 se observó un porcentaje alto de granos quebrados lo que está relacionado con la fragilidad del grano; esto puede ser debido a que los granos se encuentran muy secos y se rompen fácilmente durante su manipulación, lo que trae como consecuencia el ataque de plagas y hongos (Velázquez, 2004).

El porcentaje de puntos negros refleja la contaminación por hongos o por insectos, estos porcentajes fueron muy bajos. Los porcentajes de granos verdes y

germinados fueron prácticamente nulos (Tabla 7), lo cual significa que la humedad del grano fue la adecuada evitando así la actividad enzimática (Velázquez, 2004).

La Norma Mexicana NMX-FF-SCFI-043-2003 establece un límite máximo de 10% del total de grano dañado, la tabla 7 nos permite apreciar que todos los granos analizados están por debajo de este límite.

**Tabla 8.** Análisis físico realizado a los granos de cebada y triticale: Dureza y Densidad. (Desviación estándar).

Variedad	Peso		Índice de flotación	Pérdida a la abrasión
	hectolítrico kg/hL	Peso 1000 granos		
L1	69.62 (0.88) <sup>a</sup>	371.70 (19.53) <sup>a</sup>	NP	13.64 (2.84) <sup>a</sup>
L3	69.33 (1.02) <sup>a</sup>	371.30 (21.59) <sup>a</sup>	1.00 (0) <sup>b</sup>	11.07 (1.01) <sup>b</sup>
L19	67.90 (0.24) <sup>b</sup>	443.80 (17.23) <sup>b</sup>	3.00 (0) <sup>a</sup>	14.3 (1.99) <sup>a</sup>
L22	75.00 (0.58) <sup>c</sup>	558.90 (50.46) <sup>c</sup>	NP	15.94 (2.56) <sup>c</sup>
L24	68.71 (0.79) <sup>a</sup>	503.00 (5.89) <sup>d</sup>	3.50 (0.7) <sup>a</sup>	11.72 (1.43) <sup>b</sup>
CEB	49.80 (1.22)	459.20 (16.63)	6.67 (2.30)	21.75 (1.10)

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

NP. No presentó

Para la cebada Grado México, la Norma Mexicana NMX-FF-SCFI-043-2003 especifica un peso hectolítrico mínimo de 56 kg/hL para cebada de seis hileras y 58 kg/hL para la de dos hileras, como se observa en la tabla 8 la cebada analizada no cumple con esta especificación por lo que se clasifica como Grado México no clasificado. De acuerdo con los parámetros establecidos en la Norma mexicana NMX-FF-036-1996 (Anexo 1), la variedad L22 se clasifica como grado México 1 mientras que las variedades L1, L3, L19 y L24 como grado México 3.

En el estudio realizado por López (2005) se reportó para siete variedades de cebada, un peso hectolítrico entre 60.8 y 77.6%, entre mayor sea el peso hectolítrico mayor es el rendimiento de la cebada y a su vez mayor calidad. Entre las variedades de triticale analizadas la de mayor calidad fue la variedad L22 ya que presentó mayor peso hectolítrico (75.0 kg/hL) (Tabla 8).

El peso de mil granos sirve como referencia del tamaño del grano, las variedades L1 y L3 tienen los granos más pequeños mientras que la variedad L22 tiene los granos de mayor tamaño (Tabla 8). En relación al índice de flotación las variedades L1 y L22 no presentaron granos suspendidos en la superficie lo que indica que en su endospermo existen menos poros de aire o huecos, mientras que las variedades L19 y L24 tuvieron el mayor índice de flotación. En base a estos resultados se deduce que la variedad L22 es más densa, y que a pesar de su mayor tamaño la variedad L24 es menos densa que las otras. López (2005) reportó para siete variedades de cebada un índice de flotación entre 2 y 12.5%, lo cual indica que esas variedades de cebada tienen más huecos y aire en el endospermo que las variedades de triticale estudiadas en este trabajo.

#### **5.1.2. Análisis microscópico del grano**

La Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) es utilizada para analizar la microestructura del grano y la harina, la distribución de sus componentes y para evaluar los cambios estructurales sufridos por la harina; de ésta microestructura dependen en gran medida las propiedades finales del producto.

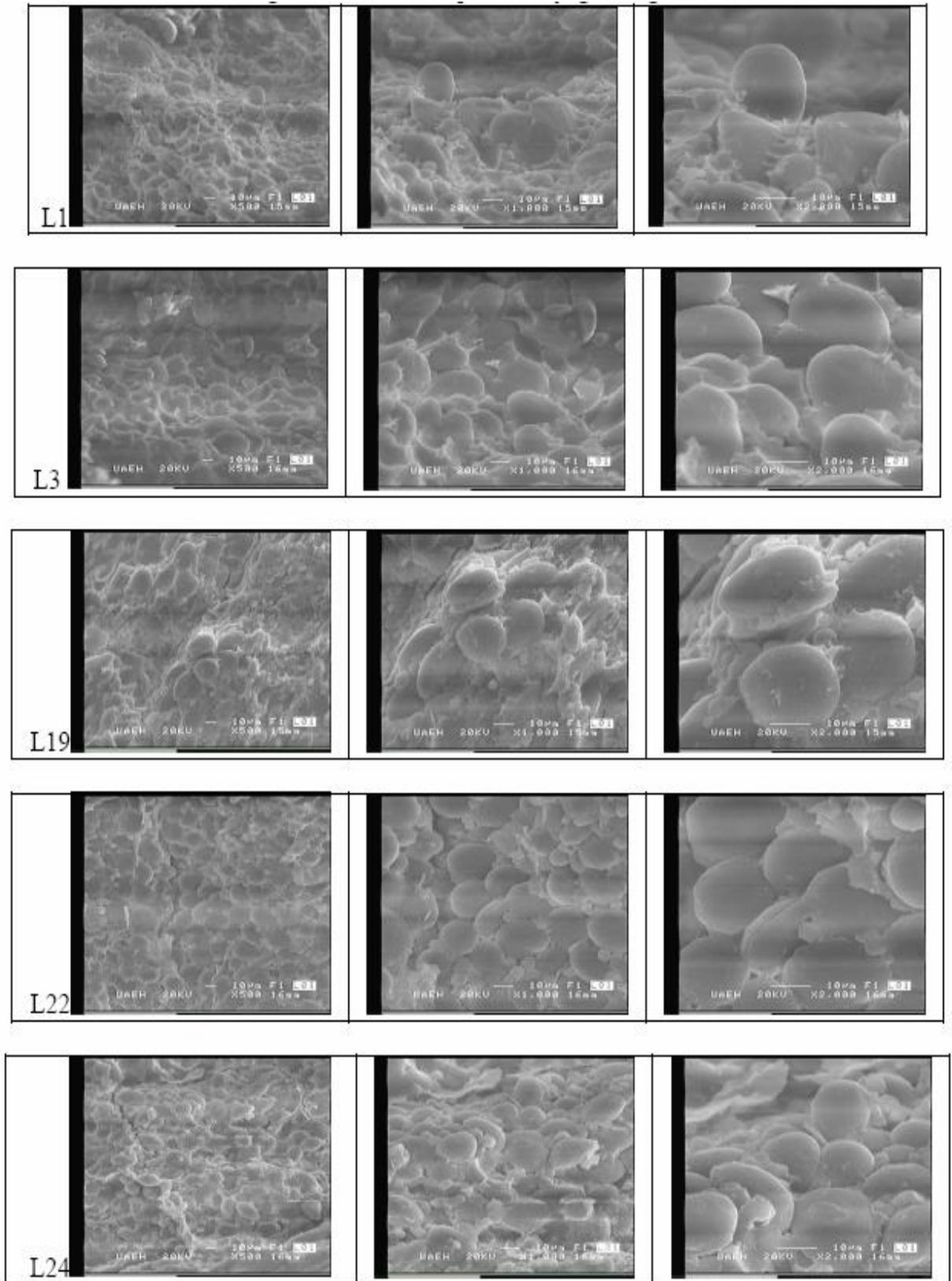
En la figura 2 se muestran las micrográficas del grano de cebada y las variedades de triticale, tomadas a amplitudes de 500x, 1000x y 2000x.

En las imágenes a 500x se observa que en las variedades L19 y L24, los gránulos de almidón están reagrupados en paquetes y se encuentran distribuidos de manera más uniforme.

En las imágenes a 1000x se pueden diferenciar las variedades gracias a la densidad de almidón en el grano, además se distingue una matriz que debe ser una mezcla de fibra y proteínas. El almidón de las variedades L1 y L19 parece ser menos denso y tienen una matriz más rica o al menos más visible.

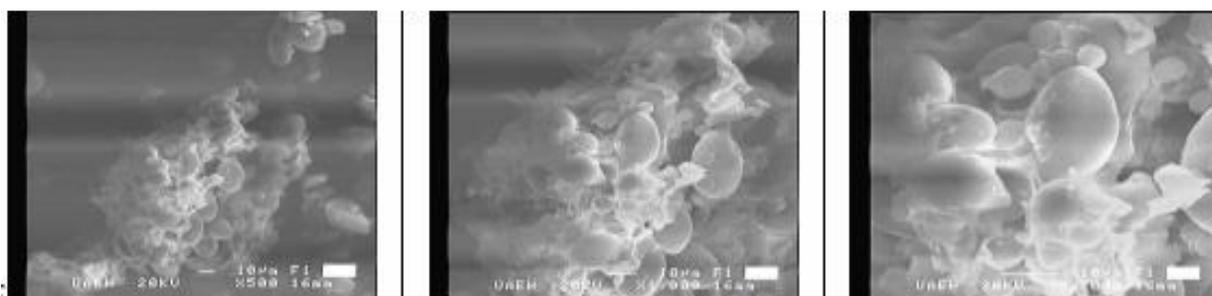
La amplitud 2000x, nos permite diferenciar el tamaño de los gránulos de almidón. Las variedades L3, L19 y L22 tienen gránulos de almidón de mayor tamaño, la variedad L24 tiene gránulos más pequeños, mientras que en la variedad L1 tienen tamaño medio; en todas las variedades de triticale se observaron gránulos de almidón de forma lenticular principalmente.

Según Fredrikson y col. (1998), los gránulos de almidón más grandes son los que se encuentran en el centeno y la cebada con un diámetro alrededor de 20-30  $\mu\text{m}$ . En los cereales tales como trigo, avena y cebada se encuentran presentes dos tipos de gránulos, los de forma lenticular y tamaño grande y los gránulos de forma esférica y tamaño menor; Soulaka y Morrison (1985) observaron que para el rendimiento panadero del almidón de trigo es importante la proporción entre gránulos lenticulares y esféricos, siendo la proporción óptima entre el 25 y 30% en peso de gránulos esféricos.



**Figura 2.** Micrografías de los granos de triticale a amplitudes de 500x, 1000x y 2000x.

La Fig. 3 muestra el grano de cebada a diferentes amplitudes, no se distingue muy bien la matriz proteica, su estructura es poco homogénea, los gránulos de almidón son más pequeños que los observados en el triticale aunque también se reagrupan en paquetes. En el estudio realizado por Guzmán (2005) se observaron por MEB gránulos de almidón de cebada de formas esféricas y lenticulares de varios tamaños y una estructura de proteína adherida a la superficie de los gránulos de almidón, así como estructuras lisas alargadas que supuso fibra. En todas las imágenes observadas en este trabajo el tamaño del grano es uniforme, la mayoría de los gránulos de almidón tienen forma lenticular aunque algunos son esféricos, y también se observó una matriz proteica.



**Fig. 3.** Micrografía del grano de cebada a amplitudes de 500x, 1000x y 2000x.

### 5.1.3. Análisis fisicoquímico de los granos de Cebada y Triticale.

En la tabla 9 se muestran los resultados de análisis fisicoquímicos realizados a los granos de cebada y a cinco diferentes variedades de triticale.

**Tabla 9.** Composición fisicoquímica del grano de cebada y cinco variedades de triticale expresado en porcentaje (Desviación estándar).

Variedad	Proteína %	Lípidos %	Humedad %	Fibra %	Cenizas %	CHO %
L1	16.70(0.01) <sup>a</sup>	2.12(0.71) <sup>a</sup>	11.71(0.008) <sup>a</sup>	1.88 (0.03) <sup>a</sup>	2.58(0.09) <sup>a</sup>	74.43(4.64) <sup>a</sup>
L3	16.74(0.07) <sup>a</sup>	1.53(0.29) <sup>b</sup>	12.95(0.03) <sup>b</sup>	2.57 (1.02) <sup>a</sup>	2.27(0.01) <sup>b</sup>	76.88(0.87) <sup>a</sup>
L19	16.70(0.21) <sup>a</sup>	0.85(0.46) <sup>c</sup>	11.28(0.25) <sup>c</sup>	1.45 (0.22) <sup>a</sup>	2.35(0.0009) <sup>b</sup>	78.51(0.87) <sup>a</sup>
L22	15.34(0.03) <sup>c</sup>	1.77(0.72) <sup>b</sup>	14.25(0.25) <sup>d</sup>	2.00 (0.15) <sup>a</sup>	2.14(0.07) <sup>c</sup>	78.74(0.80) <sup>a</sup>
L24	16.29(0.06) <sup>b</sup>	1.40(0.21) <sup>c</sup>	12.71(0.25) <sup>b</sup>	2.84 (1.18) <sup>a</sup>	2.22(0.001) <sup>c</sup>	77.25(1.41) <sup>a</sup>
CEB	11.83(0.07)	1.41(0.29)	9.31(0.16)	4.44 (0.07)	1.75(0.01)	70.83(1.70)

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

Como se observa en la tabla 9 la variedad que presentó un mayor porcentaje de humedad fue la L22, mientras que la variedad menos húmeda fue la L19, la diferencia de humedad entre variedades está relacionada con las condiciones de almacenamiento y de transporte (Serna, 2001).

Un grano con humedad superior a 14% implica manejo más costoso ya que el grano es más propenso a deteriorarse, a ataque por plagas u hongos por lo que necesita de aireación o secado (Serna, 2001). No existe una norma que especifique las características deseables del grano de triticale, pero debido a su similitud y relación con el grano de trigo, se utilizó para su evaluación la Norma mexicana NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados-cereales-trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* Desf.) la cual especifica un límite máximo de humedad del 13% en el grano, la única variedad que sobrepasa este valor es la L22.

Las variedades L1, L3 y L19 presentaron un mayor porcentaje de proteína mientras que la variedad L22 presentó el menor. El contenido de proteína está directamente relacionado con la variedad, se han observado diferencias de hasta 5% entre variedades (Kulp y Ponte, 2000). El porcentaje medio de proteína en el grano de triticale va de 8-14% (Kulp y Ponte, 2000), las variedades analizadas presentaron porcentajes mayores. Esto resulta adecuado ya que un porcentaje elevado de proteína ayudará a la formación de una matriz proteica necesaria en los productos de panificación.

La variedad de cebada analizada presentó un porcentaje de proteína similar al reportado por Guzmán (2005) quien determino para siete variedades de cebada un intervalo de proteína de 8.4-12.2%.

Con respecto al contenido de grasa y de acuerdo a estudios realizados por Kulp y Ponte (2000), el grano de cebada contiene un porcentaje medio de 3.8%. La cebada analizada presentó un porcentaje de 1.41% (Tabla 9), similar al valor de

1.2% reportado por Francis (2000). Todas las variedades de triticale presentaron un contenido de lípidos inferior al reportado por Kulp y Ponte (2000) (3.9%), la variedad L1 presentó un porcentaje de lípidos mayor, mientras que las variedades L19 y L24 presentaron el menor porcentaje.

La variedad L1 presentó el mayor contenido de cenizas, mientras que las variedades L22 y L24 presentaron el menor.

## 5.2. Rendimiento de la molienda

El rendimiento que se obtuvo de la cebada y de cada variedad de triticale fue a partir de 1 kg de grano. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Rendimiento de la molienda de cebada y de cinco variedades de triticale.

Variedad	Harina	Sémola	Salvado
L1	20.99 (0.49) <sup>a</sup>	58.22 (2.09) <sup>a</sup>	19.92 (1.71) <sup>a</sup>
L3	20.04 (1.58) <sup>a</sup>	63.17 (0.56) <sup>b</sup>	19.78 (1.96) <sup>a</sup>
L19	21.16 (1.86) <sup>a</sup>	57.06 (3.05) <sup>a</sup>	18.39 (2.33) <sup>b</sup>
L22	10.26 (1.16) <sup>c</sup>	74.30 (4.44) <sup>c</sup>	14.86 (3.04) <sup>c</sup>
L24	16.57 (0.34) <sup>b</sup>	61.64 (0.20) <sup>d</sup>	20.82 (0.19) <sup>a</sup>
Cebada	22.32 (1.29)	50.99 (0.61)	19.46 (7.91)

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

Las variedades L1, L3 y L19 presentaron un mayor rendimiento de molienda esto es debido a que el tamaño del endospermo era mayor y por lo tanto más harinoso, mientras que el rendimiento de la variedad L22 fue muy bajo debido a la dureza del grano. En el estudio realizado por Kulp y Ponte (2000) se reportó para diferentes variedades de triticale un porcentaje medio de extracción de 45% de harina, las variedades analizadas en este estudio tuvieron un rendimiento inferior. Esto se puede deber a la dureza que presenta cada uno de los granos estudiados, ya que entre más duro sea el grano mayor fuerza será necesaria para eliminar el salvado y el germen; además, el grano de triticale tiene algunos defectos morfológicos como son granos más secos y arrugas más prominentes a lo largo del grano, estos dos factores incrementan el área entre la superficie y el endospermo, lo cual da como resultado un bajo rendimiento de molienda (Kulp y

Ponte, 2000). La variedad de cebada Esperanza utilizada en este trabajo presentó un porcentaje de harina de 22.32% valor superior al reportado por Márquez (2007) debido al tamaño del endospermo y a la dureza del grano.

### **5.3. Análisis de la harina**

#### **5.3.1. Análisis microscópico de la harina**

En las Fig. 4 se muestran las micrografías de la harina de cebada y de las cinco variedades de triticale, a amplitudes de 500x, 1000x y 2000x. En estas imágenes se distingue que los gránulos de almidón son de tamaños más heterogéneos que en el grano. Estas micrografías revelan que en las variedades L3, L22 y L24 los gránulos de almidón se encuentran rodeados por más proteínas, las cuales conforman una matriz ligante entre ellos (Guzmán, 2005).

Durante la molienda algunos gránulos de almidón resultaron degradados, esto no representa un problema, ya que los almidones dañados son de gran utilidad en la panificación debido a que poseen cadenas glucosídicas más accesibles para las enzimas.

En el estudio realizado por Castillo (2005) se observó, mediante MEB, harina de distintas variedades de cebada en donde se apreciaron partículas de forma irregular de distintos tamaños, y gránulos de almidón lenticulares y esféricos, aglomerados de proteína, proteínas adheridas a la superficie de los gránulos de almidón y estructuras con forma de hilo que supuso fibra. En las micrografías de la harina de cebada observadas en el presente trabajo se observaron principalmente gránulos de almidón de forma esférica y tamaño regular acomodados de manera uniforme.

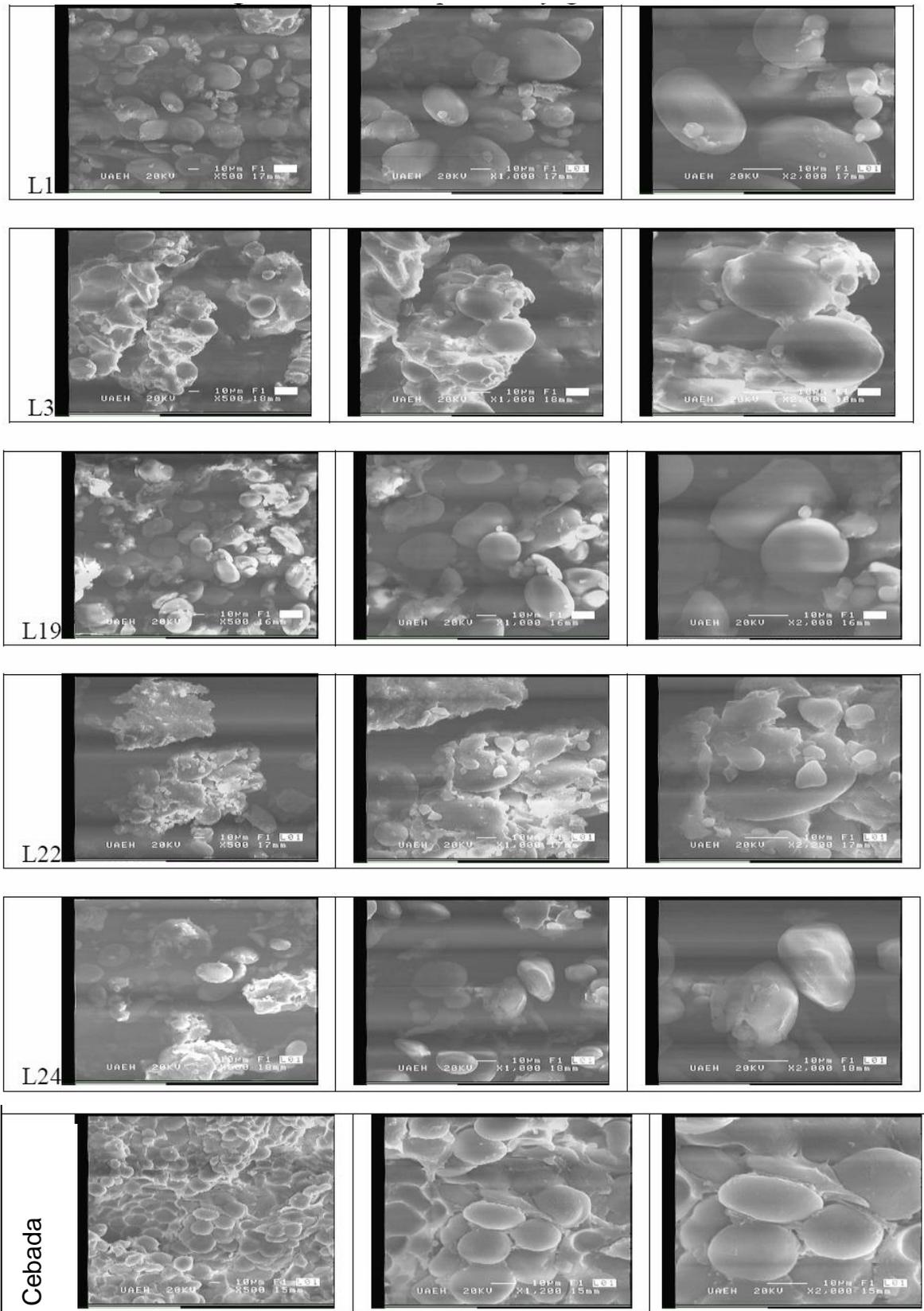


Fig. 4. Micrografías de la harina de cebada y triticale (500x, 1000x y 2000x).

### 5.3.2. Análisis fisicoquímico de la harina

En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos de las principales determinaciones fisicoquímicas realizadas a la harina de cebada y a cinco diferentes variedades de triticale. Estas determinaciones son útiles para evaluar la calidad de las harinas obtenidas.

**Tabla 11.** Composición fisicoquímica de harina de cebada y de cinco variedades de triticale expresado en porcentaje (Desviación estándar).

Variedad	Proteína (%)	Lípidos (%)	Humedad (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	CHO (%)
L1	13.53(0.06) <sup>a</sup>	1.84(0.38) <sup>b</sup>	1.88(0.27) <sup>a</sup>	0.60(0.23) <sup>a</sup>	0.99(0.12) <sup>c</sup>	82.93(0.18) <sup>a</sup>
L3	15.39(0.08) <sup>b</sup>	1.11(0.02) <sup>c</sup>	5.51(0.10) <sup>b</sup>	0.68(0.38) <sup>a</sup>	1.16(0.03) <sup>b</sup>	81.36(0.43) <sup>b</sup>
L19	13.80(0.02) <sup>c</sup>	1.16(0.24) <sup>c</sup>	4.26(0.36) <sup>c</sup>	0.63(0.49) <sup>a</sup>	0.90(0.05) <sup>c</sup>	83.37(0.66) <sup>a</sup>
L22	15.50(0.06) <sup>d</sup>	2.44(0.06) <sup>a</sup>	4.11(0.04) <sup>c</sup>	0.47(0.23) <sup>a</sup>	2.06(0.05) <sup>a</sup>	79.57(0.28) <sup>c</sup>
L24	12.79(0.01) <sup>e</sup>	1.69(0.05) <sup>b</sup>	2.26(1.09) <sup>a</sup>	0.21(0.10) <sup>a</sup>	0.98(0.07) <sup>c</sup>	84.27(0.93) <sup>d</sup>
Cebada	8.52(0.23)	1.78(0.07)	5.22(0.24)	3.21(0.79)	0.90(0.06)	85.30(0.16)

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

No existe una norma que especifique las características deseables de la harina de triticale, pero debido a su similitud y relación con el grano de trigo se utilizó para su evaluación la Norma mexicana NMX-FF-007-1982. Alimento para humanos. Harina de trigo, la cual clasifica la harina de trigo en tres grados de calidad que son Grado I: harina para panificación, Grado II: harina para galletas y Grado III: harina para pastas para sopa (Anexo II). Esta norma especifica una humedad máxima de 14% para los tres grados de calidad, como muestra la tabla 10 todas las harinas analizadas están dentro de este límite.

La variedad con mayor contenido de proteína fue la L22, mientras que la harina de cebada presentó el contenido más bajo (Tabla 11). De acuerdo a la clasificación de harinas, en base a su fuerza, todas las harinas obtenidas de triticale se consideran de gran fuerza (>11%), mientras que la harina de cebada se considera como una harina floja (9%) (Calaveras, 2004). La harina blanca de trigo contiene un porcentaje de proteína medio de 12%, todas las harinas obtenidas del triticale tuvieron un porcentaje más alto.

De acuerdo a la clasificación de la Norma mexicana NMX-FF-007-1982. la cual especifica 9.5% mínimo de proteína para panificación, todas las harinas de triticale analizadas son Grado I.

La variedad L22 presentó el porcentaje de lípidos más alto (Tabla 11) por lo cual es más susceptible al enranciamiento. Las harinas de trigo 100% extracción contienen 2.2% de lípidos, mientras que las harinas 75% extracción tienen de 1 a 2% (Calaveras, 2004), todas las harinas analizadas presentaron un contenido similar al de las harinas de trigo 75% extracción excepto la obtenida de la variedad L22, que presentó un contenido similar a la 100% extracción

Como se observa en las tablas 9 y 11 el porcentaje de fibra se redujo considerablemente después de los procesos de molienda y descascarillado a los que fue sometido el grano, lo cual también influye en el contenido de cenizas debido a que gran parte de la fibra se encuentra en las glumas o cascarillas del grano. La harina blanca de trigo tiene un porcentaje medio de 3% fibra (Calaveras, 2004), todas las harinas de triticale tuvieron un porcentaje inferior mientras que la harina de cebada tuvo un porcentaje similar.

En cuanto al contenido de cenizas de la harina el contenido más bajo lo presentaron las variedades L1, L19 y L24 (Tabla 11), estas harinas se pueden clasificar según su extracción como T-75 y se recomienda su uso para galletas (Calaveras, 2004); las variedades L3 y L22 por su alto contenido se clasifican como T-100 y se recomiendan para la elaboración de pan integral (Calaveras, 2004). La Norma mexicana NMX-FF-007-1982 especifica 0.55% máximo de cenizas en la harina para ser usada en la panificación, las harinas analizadas exceden este límite por lo que no podrían ser utilizadas para este fin.

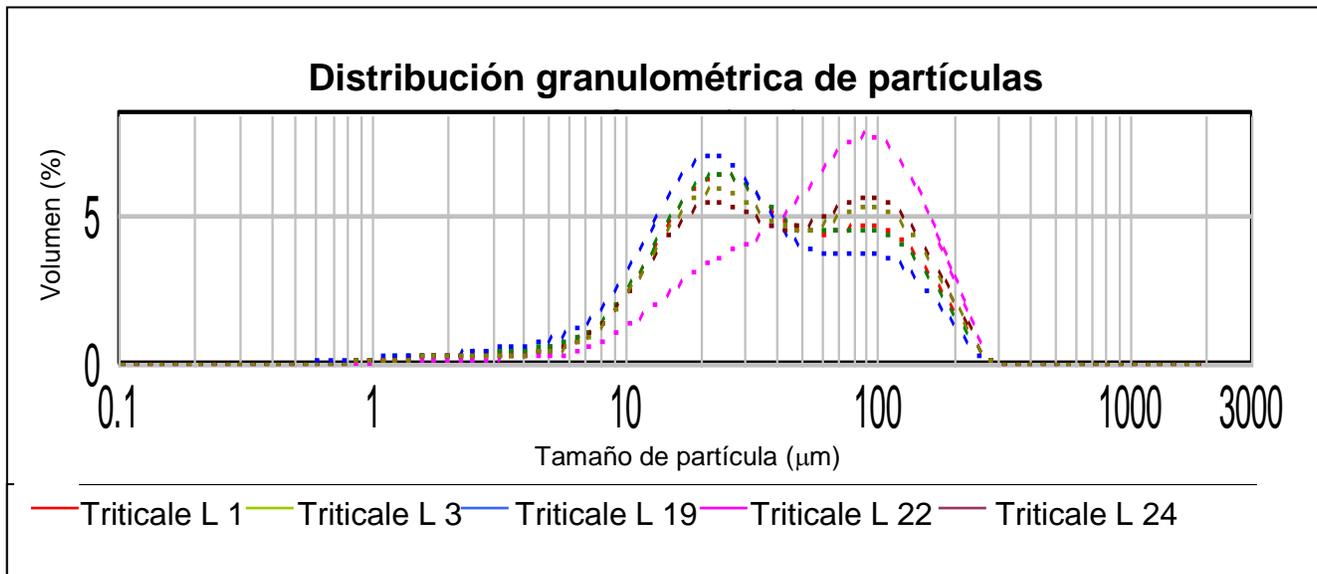
Finalmente, la tabla 11 muestra que los carbohidratos son el mayor constituyente en las diferentes variedades estudiadas, siendo la variedad L24 la de mayor contenido y la L22 la de menor. Tanto la harina de trigo como la de centeno

contienen alrededor de 70% de carbohidratos (Calaveras, 2004), todas las harinas analizadas tuvieron un porcentaje mayor.

### 5.3.3. Granulometría de harina de Cebada y Triticale

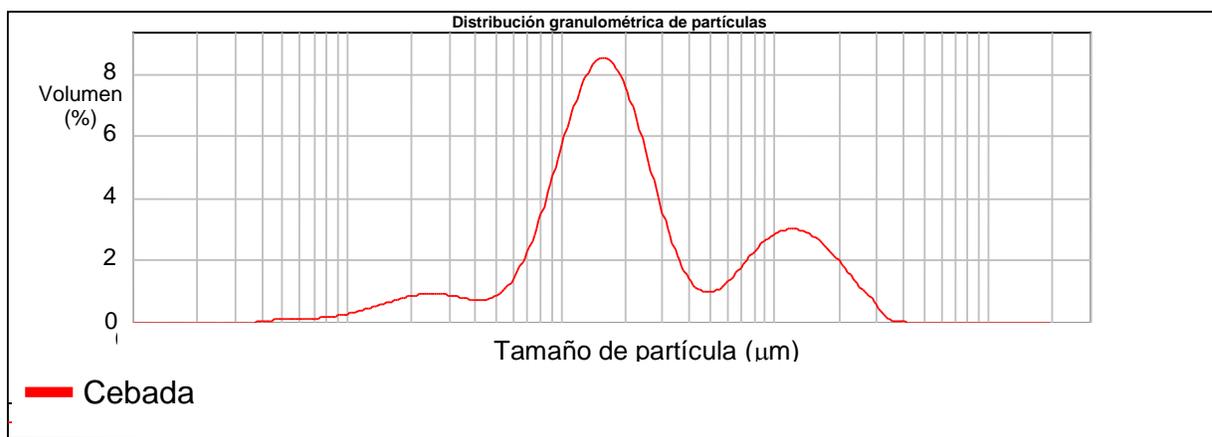
Es necesario remarcar que todas las muestras analizadas poseen una granulometría que comprende entre 0.4  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$  (figura 5). La granulometría de las harinas es de 200  $\mu\text{m}$ , un tamaño de partícula mayor proviene de una rehumidificación de la harina durante su conservación y a la aglomeración de partículas que la presión y la agitación no alcanzaron a separar. Se puede suponer que las partículas superiores a 200  $\mu\text{m}$  son almidones dañados parcialmente hidratados ya que el hinchamiento del almidón en frío es posible solamente gracias a almidones dañados (Salcedo 2007).

En la figura 5 se puede observar una comparación de la distribución granulométrica de la harina de las variedades de triticale.



**Figura 5.** Comparación de la distribución granulométrica de las harinas de cinco variedades de triticale.

La variedad L22 únicamente comprende entre 6 y 300  $\mu\text{m}$ , mientras que las otras variedades tienen un porcentaje importante entre 8 y 50  $\mu\text{m}$ , y un porcentaje menor entre 60 y 300  $\mu\text{m}$ .



**Figura 6.** Distribución granulométrica de partículas de harina de cebada.

La cebada presentó una granulometría dividida en tres grupos distintos (Figura 6), un pequeño porcentaje con un tamaño de partícula inferior a 4  $\mu\text{m}$ , un porcentaje medio superior a 40  $\mu\text{m}$  y un porcentaje mayoritario entre 4 y 40  $\mu\text{m}$ . Castillo (2005) observó una granulometría semejante para distintas variedades de cebada.

Todas las harinas analizadas tienen una granulometría semejante a la reportada por Callejo (2002), que considera como harina aquella que presente un tamaño de partícula inferior a 250  $\mu\text{m}$ .

La Tabla 12 muestra una comparación de las harinas que va desde la más fina a la más gruesa, siendo la harina de cebada la más fina ya que la cebada tiene un menor contenido de proteína que el triticale, por ello tiene una textura menos vitrosa y harina más fina; mientras que la harina más gruesa fue de la variedad L22 ya que fue la variedad con el grano más duro y denso.

**Tabla 12.** Comparación de las harinas de acuerdo a su tamaño de partícula.

Variedad	D <sub>50</sub> (μm)	
Cebada	44.954	<b>Más fina</b>
L19	47.728	
L3	54.666	
L1	56.318	<b>Más gruesa</b>
L24	61.954	
L22	76.743	

### 5.3.4. Colorimetría de las harinas

En la tabla 13 se muestran los valores de L, a y b para la harina de cebada y las cinco variedades de triticale. La cebada tiene una luminosidad más próxima a 100 y valores de a y b más bajos, se trata de una harina más blanca. La variedad L22 obtuvo un valor de L menor, es decir de color menos claro que se ve influenciado por su alto contenido de cenizas. Gracias a los valores de L y b de todas las harinas se puede decir que todas tienen tendencia hacia el color amarillo claro.

**Tabla 13.** Valores de L, a y b para harinas de cebada y triticale.

Variedad	L	a	b
L1	89.07 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	8.10 <sup>a</sup>
L3	88.99 <sup>c</sup>	0.80 <sup>d</sup>	7.72 <sup>a</sup>
L19	90.08 <sup>b</sup>	0.54 <sup>b</sup>	6.61 <sup>b</sup>
L22	84.40 <sup>d</sup>	1.21 <sup>c</sup>	10.81 <sup>c</sup>
L24	88.06 <sup>c</sup>	0.76 <sup>a</sup>	7.80 <sup>a</sup>
CEB	92.79	0.30	6.74

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA (p>0.95).

En el estudio realizado por Kulp y Ponte (2000) se determinó el color de diferentes variedades de triticale, el valor medio de **L** fue de 92.65, el de **a** fue de 0.15 y el de **b** de 6.34 es decir obtuvo harinas amarillo claro o beige pero de un color aún más claro que las analizadas en este proyecto. Castillo (2005) reportó para diferentes

variedades de cebada valores más bajos de **L**, valores similares de **a** y valores menores de **b**; es decir, harinas de color un poco más oscuro.

### 5.3.5. Calorimetría Diferencial de Barrido

Para poder determinar la repetibilidad del experimento se corrieron 3 muestras de una misma variedad, y se observó que la variabilidad entre estas es mayor a partir de 90° C, así que el análisis solo podrá ser válido en un rango de 30-90° C, los resultados a temperaturas superiores solo serán considerados como interpretaciones y suposiciones.

Dado que las temperaturas de gelatinización dependen de la proporción amilosa-amilopectina, dependerán de los genotipos de las especies.

**Tabla 14.** Temperatura y Entalpía de gelatinización determinadas por DSC de diferentes variedades de triticale y cebada.

Variedad	Temperatura de inicio gelatinización (°C)	Temperatura de gelatinización (°C)	Entalpía de gelatinización (J/g)
L1	54.55 <sup>a</sup>	60.68 <sup>b</sup>	1.62 <sup>c</sup>
L3	54.62 <sup>a</sup>	60.52 <sup>b</sup>	1.67 <sup>b</sup>
L19	53.83 <sup>c</sup>	60.10 <sup>c</sup>	1.74 <sup>b</sup>
L22	54.34 <sup>b</sup>	61.36 <sup>a</sup>	1.28 <sup>d</sup>
L24	53.88 <sup>c</sup>	60.22 <sup>b</sup>	1.82 <sup>a</sup>
Cebada	56.04	62.08	1.85

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

La variedad L22 se diferencia por un lado por su temperatura de gelatinización que se sitúa entre las temperaturas de la cebada y las de las otras variedades de triticale, y por otro lado, por su baja entalpía de gelatinización (Tabla 14), dado que este valor es proporcional a la cantidad de almidón. León y col. (2006) observaron en su experimento que la entalpía de gelatinización disminuye significativamente con el incremento de almidón dañado, esto se debe a que el almidón se hidrata y gelatiniza espontáneamente en agua fría y solo los gránulos intactos gelatinizan con el calentamiento.

En todas las muestras se observó un pico exotérmico muy débil pero recurrente alrededor de los 100° C, esto podría corresponder a la fusión de complejos amilosa-lípido.

### 5.3.6. Capacidad de sorción de las harinas

En la tabla 15 se muestran las tasas de sorción a diferentes temperaturas de la harina se cebada y triticale.

**Tabla 15.** Tasa de hidratación de las harinas a 60, 70 y 80° C.

Variedad	Tasa de sorción		
	60° C	70° C	80° C
L1	6.89 <sup>a</sup>	8.55 <sup>a</sup>	5.19 <sup>a</sup>
L3	6.52 <sup>a</sup>	8.31 <sup>a</sup>	4.20 <sup>a</sup>
L19	7.58 <sup>b</sup>	8.77 <sup>b</sup>	7.42 <sup>b</sup>
L22	8.41 <sup>c</sup>	8.67 <sup>a</sup>	8.30 <sup>c</sup>
L24	8.38 <sup>d</sup>	8.77 <sup>b</sup>	8.84 <sup>c</sup>
CEB	5.98	6.83	5.6

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

Las diferencias que se observan en la tabla 15 entre las variedades son el resultado de una combinación de factores tales como el contenido de fibra (principalmente pentosanos), el contenido de proteína y almidón y de sus propiedades funcionales.

En DSC se observó que L22 contiene menos almidón que las otras variedades, pero tiene una capacidad de hidratación muy elevada, esto significa que su bajo contenido de almidón es compensado por sus contenidos de proteína insoluble y fibra elevados, ya que según Calaveras (2004) la cantidad y calidad de proteínas insolubles (gliadina y glutenina) afecta la absorción de agua, cuanto mayor sea conllevará a mayor absorción.

Las variedades L1 y L3 tienen capacidades de hidratación estadísticamente idénticas e inferiores a las otras variedades. En DSC se observó que también

tienen un bajo contenido de almidón, y aunque tienen un alto porcentaje de proteína su contenido de fibra es bajo, según Calaveras (2004) el contenido de fibra, de almidón dañado y la capacidad de absorción son directamente proporcionales.

Las variedades L19, L22 y L24 tienen capacidades de hidratación elevadas, esto se puede explicar por su entalpía de gelatinización alta, en el caso de L19 por su alto contenido de proteína, y por su contenido de fibra elevado. Esto también se justifica, según Calaveras (2004), por su granulometría fina, cuanto más fina mayor absorción de agua.

#### 5.4. Evaluación del producto de panificación

##### 5.4.1. Análisis físicos

Se realizaron como análisis físicos la determinación del porcentaje de pérdida de agua, el volumen y la densidad. En las tablas 16, 17, 18, 19 y 20 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes análisis físicos realizados al pan resultante de las diferentes mezclas.

Como se puede observar en la tabla 16, la mejor mezcla de la variedad L1 y cebada es aquella que contiene 70% cebada y 30% Triticale, ya que es la mezcla que dio como resultado un pan de mayor volumen y menos denso.

**Tabla 16.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticale L1.  
(Desviación estándar).

L1									
Proporción		% Pérdida de peso			Volumen cm <sup>3</sup>			Densidad (g/ml)	
70% cebada	30% Triticale	24.35	(3.01)	a	145.50	(0.71)	c	0.45	(0.04) b
50% cebada	50% Triticale	25.66	(0.63)	a	135.50	(3.54)	b	0.47	(0.02) b
40% cebada	60% Triticale	25.30	(0.85)	a	107.50	(3.54)	b	0.58	(0.05) a
20% cebada	80% Triticale	26.06	(3.58)	a	102.50	(3.54)	a	0.61	(0.06) a

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

La tabla 17 permite observar que las mejores mezclas de la variedad L3 y cebada son aquellas que contienen 70% cebada - 30% Triticale y 50% cebada-50%

Triticale, ya que son las mezclas que darán como resultado panes con mayor volumen y menos densos, es decir más suaves,

**Tabla 17.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticale L3.  
(Desviación estándar).

L3								
Proporción	% Pérdida de peso			Volumen cm <sup>3</sup>		Densidad (g/ml)		
70% cebada 30% Triticale	23.68	(5.05)	a	142.5	(4.95)	b	0.44	(0.04) c
50% cebada 50% Triticale	24.98	(2.23)	a	133.0	(7.07)	b	0.46	(0.04) c
40% cebada 60% Triticale	24.61	(3.29)	a	113.0	(4.24)	a	0.55	(0.00) b
20% cebada 80% Triticale	25.70	(2.09)	a	111.0	(8.49)	a	0.54	(0.05) a

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA (p>0.95).

En la tabla 18 se puede observar que la mejor mezcla de la variedad L19 y cebada es aquella que contiene 70% cebada y 30% Triticale, ya que es la mezcla que dio como resultado panes de mayor volumen y menor densidad.

**Tabla 18.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticale L19.  
(Desviación estándar).

L19								
Proporción	% Pérdida de peso			Volumen cm <sup>3</sup>		Densidad (g/ml)		
70% cebada 30% Triticale	21.08	(1.66)	a	168.5	(4.95)	c	0.38	(0.02) c
50% cebada 50% Triticale	20.58	(0.43)	a	149.0	(7.07)	b	0.44	(0.01) a
40% cebada 60% Triticale	20.84	(1.57)	a	157.0	(4.24)	b	0.42	(0.03) b
20% cebada 80% Triticale	21.46	(0.001)	a	126.5	(4.95)	a	0.51	(0.05) a

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA (p>0.95).

La tabla 19 muestra que las mejores mezclas de la variedad L22 y cebada son aquellas que contienen 50% cebada-50% Triticale y 40% cebada-60% Triticale ya que son la mezclas que dieron como resultado panes de mayor volumen y menor densidad.

**Tabla 19.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticale L22.  
(Desviación estándar).

L22										
Proporción	% Pérdida de peso			Volumen cm <sup>3</sup>			Densidad (g/ml)			
70% cebada 30% Triticale	20.05	(0.02)	a	120.50	(3.54)	b	0.55	(0.02)	b	
50% cebada 50% Triticale	19.06	(0.10)	a	122.50	(3.54)	a	0.55	(0.01)	a	
40% cebada 60% Triticale	21.71	(0.35)	c	117.50	(3.54)	a	0.55	(0.01)	a	
20% cebada 80% Triticale	22.13	(0.44)	b	107.00	(4.24)	c	0.59	(0.02)	a	

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

Como se puede observar en la tabla 20 la mejor mezcla de la variedad L24 y cebada es aquella que contiene 70% cebada - 30% Triticale, ya que con esta mezcla se obtuvo pan de mayor volumen y menor densidad.

**Tabla 20.** Análisis físicos de las mezclas de cebada y la variedad de triticale L24.  
(Desviación estándar).

L24										
Proporción	% Pérdida de peso			Volumen cm <sup>3</sup>			Densidad (g/ml)			
70% cebada 30% Triticale	25.90	(5.51)	a	179.50	(4.95)	d	0.34	(0.002)	c	
50% cebada 50% Triticale	25.58	(4.99)	a	133.50	(6.36)	c	0.47	(0.001)	a	
40% cebada 60% Triticale	26.51	(5.72)	a	123.00	(4.24)	b	0.49	(0.006)	a	
20% cebada 80% Triticale	27.26	(5.91)	a	113.50	(6.36)	a	0.53	(0.002)	b	

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $p > 0.95$ ).

En cuanto a la pérdida de peso en las tablas anteriores se observa que todas las muestras de pan presentaron pérdidas en un intervalo de 19.06-27.26%, esto debido a que ocurre una evaporación de agua en la superficie de la masa durante el proceso de cocción que la deseca y por lo tanto permite la formación de una corteza firme y tostada. Castillo (2005) reportó un intervalo de pérdida de peso de 13.2- 24.5% para panes elaborados con diferentes mezclas de harina de cebada y trigo, este intervalo menor significa que tales panes tuvieron una corteza menos firme y menos tostada que los elaborados con harina de cebada y triticale.

Con respecto al volumen, un mayor volumen indica que la red de gluten retuvo más gas y hubo una buena penetración de calor en la masa que hace que los

gases se expandan, el incremento de la temperatura aumenta la presión de los gases y causa la expansión de las celdillas.

El aumento de volumen también se debe a que los gránulos de almidón empiezan a incorporar agua durante la fase de cocción ya que la masa pierde humedad. De acuerdo a la bibliografía un 77% de agua queda ligada a la porción almidonosa gelatinizada y un 23% a los pentosanos (Eliasson y Larson, 1993).

La densidad de las piezas de pan indica la estructura alveolar, una pieza más densa indica una estructura alveolar de la miga más compacta mientras que una pieza menos densa indica una estructura más suave lo que sensorialmente se traduce como una masa más esponjosa.

Se realizó una comparación de las mejores mezclas de cada variedad (Tabla 21) para determinar cuál es la más adecuada para realizar un producto de panificación, siendo la mezcla de la variedad L19 70% cebada y 30% triticales, la que obtuvo panes con las mejores características, es decir con mayor volumen y menor densidad.

**Tabla 21.** Comparación de las mejores mezclas de cebada y cada variedad de triticales.  
(Desviación estándar).

Comparación de mezclas										
Proporción	% Pérdida de peso			Volumen cm <sup>3</sup>			Densidad (g/ml)			
L1 70% cebada 30% Triticales	26.06	(3.58)	b	102.50	(3.54)	a	0.61	(0.06)	a	
L3 70% cebada 30% Triticales	25.70	(2.09)	b	111.00	(8.49)	b	0.54	(0.05)	b	
L3 50% cebada 50% Triticales	24.61	(3.29)	b	113.00	(4.24)	b	0.55	(0.00)	b	
L19 70% cebada 30% Triticales	21.46	(0.00)	b	126.50	(4.95)	c	0.51	(0.05)	c	
L22 50% cebada 50% Triticales	21.71	(0.35)	b	117.50	(3.54)	d	0.55	(0.01)	b	
L22 40% cebada 60% Triticales	19.06	(0.10)	a	122.50	(3.53)	c	0.55	(0.01)	b	
L24 70% cebada 30% Triticales	27.26	(5.91)	c	113.50	(6.36)	d	0.49	(0.01)	c	

La letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas de acuerdo al ANOVA (p>0.95).

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis físico realizado a los granos de triticale se puede concluir que la variedad de triticale L22 tiene las mejores características, la cebada variedad Esperanza (*Hordeum sativum jess*) periodo primavera-verano 2007 debe ser clasificada como Grado México no clasificado, la variedad de triticale L22 se clasifica como grado México 1 mientras que las variedades L1, L3, L19 y L24 como grado México 3.

Los gránulos de almidón del triticale y la cebada tienen principalmente forma lenticular, se agrupan en paquetes y se encuentran dentro de una matriz proteica, durante la molienda los gránulos fueron degradados.

El análisis fisicoquímico del grano reveló que todas las variedades de triticale y cebada analizadas tuvieron un porcentaje alto de proteína, las variedades L1, L3 y L19 presentaron el mayor porcentaje mientras que la variedad L22 presentó el menor.

En cuanto a la molienda, las variedades L1, L3 y L19 obtuvieron un mayor rendimiento, sin embargo todas las variedades analizadas tienen un porcentaje bajo de extracción.

En cuanto al análisis fisicoquímico realizado a la harina, se recomienda la elaboración de galletas con las variedades L1, L19 y L24; y la elaboración de pan integral con las variedades L3 y L22.

La harina con mayor contenido de proteína fue la de la variedad L22, mientras que la harina de cebada tuvo el contenido más bajo. El porcentaje de fibra se redujo considerablemente después de los procesos de molienda y descascarillado a los que fue sometido el grano, lo cual también influyó en el contenido de cenizas.

En cuanto a la granulometría de las harinas, se puede concluir que todas las harinas analizadas tienen una granulometría inferior a 250  $\mu\text{m}$ . Gracias a los valores de L y b de todas las harinas obtenidos en la colorimetría, se puede decir que todas tienen tendencia hacia el color amarillo claro.

La Calorimetría Diferencial de Barrido mostró que desde el punto de vista de entalpía de gelatinización la cebada no se considera diferente al triticale. Dado que las temperaturas de gelatinización dependen de la proporción amilosa-amilopectina, dependerán de los genotipos de las especies.

En cuanto a la evaluación del pan, los análisis físicos revelaron que la mezcla más apropiada para la elaboración de un producto de panificación es la de la variedad L19 70% cebada y 30% triticale, ya que ésta dio como resultado panes con mayor volumen y consistencia más suave. Sin embargo, también se puede concluir que los panes elaborados con harina de cebada y triticale tuvieron una corteza más firme y dorada, un menor volumen y una estructura menos suave que aquellos elaborados a partir de la mezcla de harina de cebada y trigo.

## **VII. PERSPECTIVAS**

De acuerdo a los rendimientos de molienda y a las características de la harina de triticale observados en este trabajo, se recomienda dar otros usos alternativos como la elaboración de pastas, galletas y pan integral.

Se recomienda optimizar la formulación de la masa, ajustando las cantidades de cada ingrediente de acuerdo a las características de la harina de cebada y triticale.

Debido a la gran variabilidad de los resultados en el proceso de panificación, se recomienda para trabajos posteriores controlar la temperatura de fermentación y la humedad relativa del ambiente.

Posteriormente se puede realizar un análisis sensorial para evaluar la aceptación del producto y hacer las mejoras que se consideren pertinentes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AACC. 2001. Aproved methods of American Association of Cereal Chemist. 10<sup>th</sup> Edition. Vol. II.
2. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 15<sup>th</sup> Edition. Vol. II. Pp. 777-781, 1095-1096.
3. BADUI, S.D. (1996). Química de los Alimentos. Logman de México Editores S.A. de C.V. Alambra Mexicana, México.
4. CALAVERAS, J. (2004). Nuevo Tratado de Panificación y bollería. 2<sup>o</sup> Edición. Editorial Mundi-Prensa. España. pp. 54-56, 69-76, 81-82, 90.
5. CALLEJO, G. M. J. (2002). Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 24-35, 62-67, 90-101, 191-208, 222-232.
6. CASTILLO C. D. (2005). Uso alternativo de las cebadas (*Hordeum satuvum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala en la industria de la panificación. Tesis de Licenciatura en Química en Alimentos. UAEH. pp. 55-57, 67-68.
7. CODEX Alimentarius. Codex Stan 152-1985, Revisión 1-1995.
8. DENDY, D., DOBRASZCZYK, B. (2001). Cereales y productos derivados. Química y Tecnología. Editorial Acribia. España.
9. DESROSIER, N. (1999). Elementos de tecnología de Alimentos. Editorial CECOSA, S.A. de C.V.
10. ELIASSON, A.C. LARSON K. (1993). Cereals in breadmaking. Marcel Dekker, Inc. New York. U.S.A.
11. FEILLET, P. (2000). Le grain de blé, Composition et utilization. Ed. INRA. Paris, France. pp. 137-140, 143-148, 153-155, 160-163.
12. FELLOWS, P. (1994). Tecnología del proceso de los alimentos: principios y prácticas. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
13. FENEMMA, O.R. (2000). Química de los Alimentos. Editorial Acribia S.A. España.
14. FRANCIS, F. (2000). Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology. Vol. I. Ed. Wiley-Interscience. U.S.A. pp. 287.

15. FREDRIKSON, H., SILVERIO J., ANDERSON R., ELIASSON A. C., AMAN P. (1998). The influence of amylose and amilopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers*. 35:119-134.
16. GUZMÁN, F. A. (2005). Valoración de las Propiedades Fisicoquímicas de Diferentes Variedades de Cebada (*Hordeum sativum jess*) Cultivadas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala. México. Tesis de Licenciatura en Química en Alimentos. UAEH.
17. HOSENEY, R. (1991). Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Editorial Acribia S.A. España,
18. HOSENEY, R. (1998). Principles of cereal, Science and technology. 2° Edition. American Association of Cereal Chemist, Inc. USA. pp. 231, 234.
19. KULP K., PONTE J. (2000). Handbook of Cereal Science and Technology. 2° Edition. Editorial Marcel Dekker, Inc. EUA. Chapter 3, 9 y 16.
20. LEÓN, A., BARRERA G., PÉREZ G., RIBOTTA P., ROSELL C. (2006). Influencia del contenido de almidón dañado en las harinas sobre el envejecimiento del pan. Argentina. ([http://azul.bnct.ipn.mx/Libros/vision\\_alimentos/Tomoll/II-83.pdf](http://azul.bnct.ipn.mx/Libros/vision_alimentos/Tomoll/II-83.pdf). Revisión: 13/07/08.)
21. LÓPEZ A. (2008). "Caracterización de la harina y almidón de triticale (*Triticosecale wittmack*) y su evaluación para panificación". Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. México. ([http://www.pncta.com.mx/pages/pncta\\_investigaciones\\_07h.asp?page=07e6](http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_07h.asp?page=07e6) Revisión: 15/06/08.).
22. LÓPEZ, P. (2005). Evaluación de la calidad de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) Cultivadas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala. México. Tesis de Licenciatura en Química en Alimentos. UAEH.
23. MÁRQUEZ A. K. (2007). Elaboración y Evaluación de un Producto de Panificación con harina de Cebada. México. Tesis de Licenciatura en Química en Alimentos. UAEH.

24. Norma Mexicana NMX-F-007-1982. Alimento para humanos. Harina de Trigo. Normas mexicanas. Dirección general de Normas.
25. Norma Mexicana NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados -cereales- trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* Desf.)
26. 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.
27. QUAGLIA, G. (1991). Ciencia y tecnología de la panificación. Editorial Acribia S.A. España.
28. SALCEDO, P. (2007). La filière orge à Apan, région de l'état d'Hidalgo au Mexique. Diagnostic de la filière. Evaluation de la potentialité de panification de la farine d'orge. Tesis de INSFA. AgroParis Tec. Francia.
29. SERNA, S. R. O. (2001) Química almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. México. pp. Capítulo 1, Capítulo 2, 165-169, 205-206, 214-215, 229-238.
30. SLUIMER, P. (2005). Principles of breadmaking, Functionality of raw materials and process steps. American Association of Cereal Chemist, Inc. USA. pp. Chapter 2, 49-53, 66-69, 82-84.
31. SOULAKA, A. B., MORRISON W. R. (1985). The amylose and lipid contents, dimensions and gelatinization characteristics of some wheat starches and their A and B fraction. *Journal of the Science of Food and agriculture*. 36:709-718.
32. TSCHEUSCHNER, H. (2001). Fundamentos de Tecnología de los Alimentos. Editorial Acribia S.A. España.
33. VARUGHESE, G., (1997). Triticale: an overview, in Proc. of satellite Meeting of the International Triticale Association on Triticale Quality, All Africa Crop Science Congress, Pretoria, South Africa. pp. 10-15.
34. VELÁZQUEZ O. (2004). Productos de Cereales y Leguminosas. Manual de laboratorio. 3º Edición. Editorial UNAM, México. pp. 3-9, 69-70.

### 35. ANEXO I

Norma Mexicana NMX-FF-036-1996. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS-CEREALESTRIGO (*Triticum aestyrum L.* y *Triticum durum Desf.*). Especificaciones físicas para los grados de Calidad del trigo.

Parámetros		Grado de calidad		
		México 1	México 2	México 3
Densidad (peso hectolítrico) (kg/Hl) (mínimo)	Grupos 1, 2, 4 y 5	78	74	68
	Grupo 3	74	72	68
Granos dañados % en masa (peso máximo)		2	4	7
Granos quebrados % en masa (peso máximo)		3	5	8
Impurezas % en masa (peso máximo)		2	3	5
Suma total de defectos % en masa (peso máximo)		4	6	9
Trigo de otras clases % en masa (peso máximo)	Clases contrastantes	1	2	3
	Grupos contrastantes	3	5	10

## ANEXO II

Norma Mexicana NMX-FF-007-1982. ALIMENTO PARA HUMANOS. HARINA DE TRIGO. Especificaciones físicas y químicas para la harina de trigo.

<b>Especificaciones</b>	<b>Grado I Panificación</b>	<b>Grado II Galletas</b>	<b>Grado III Pastas para Sopa</b>
Humedad % Máx.	14.0	14.0	14.0
Proteínas % (N x 5.7) Mín.	9.5	9.0	9.0
Cenizas %	0.55 Máx.	0.4 - 1.0	0.6 Máx.
*Fibra Cruda %	0.2 - 0.4	0.2 - 0.6	0.3 Máx.
Gluten húmedo % Mín.	31.3	29.7	29.7
Granulometría	(véase A.3)		

Nota 1. Los porcentajes están expresados sobre base húmeda de 14% excepto gluten.

Nota 2. (Referente a fibra cruda). Será sólo para orientación del analista.

### ANEXO III

Curvas de variación de entalpía de la harina de cebada y triticale, con respecto a la temperatura. (DSC).

