



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**“ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO DE  
PANIFICACIÓN CON HARINA DE CEBADA”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN QUÍMICA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**ANA KARINA MÁRQUEZ ELÍAS**

**ASESORAS:**

**DRA. ALMA DELIA ROMÁN GUTIÉRREZ  
M. EN C. IRAÍS SÁNCHEZ ORTEGA**

**PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, 2007.**



El presente trabajo de investigación ha participado y ha sido publicado en los siguientes foros científicos.

### **Congresos**

- Il Foro de Química en Alimentos, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2006.
- VIII Congreso de Ciencia de los Alimentos y IV Foro nacional de Ciencia de los Alimentos, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. 2006.
- VII Congreso de Ciencia de los Alimentos y III Foro nacional de Ciencia de los Alimentos, Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. 2005.

### **Artículos**

- Ana Karina Márquez Elías, Alma Delia Román Gutiérrez. 2006. “Análisis fisicoquímico de diferentes variedades de harina de cebada”. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial No. 14-2006 ISSN 1870-0160.
- Ana Karina Márquez Elías, Karime Acosta Rueda, Alma Delia Román Gutiérrez. 2006. “Rendimiento de molienda de distintas variedades de cebada (*Hordeum Sativum jess*)”. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial No. 14-2006 ISSN 1870-0160.
- Ana Karina Márquez Elías, Alma Delia Román Gutiérrez. 2006. “Elaboración de un producto de panificación con harina de cebada a través de sus propiedades físicas y reológicas”. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial No. 14-2006 ISSN 1870-0160.
- Ana Karina Márquez Elías, Alma Delia Román Gutiérrez. 2005. “Usos Alternativos De La Harina De Cebada En La Industria De Panificación: Desarrollo De Nuevos Productos”. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial No. 13-2005 ISSN 1870-0160.



# QA

## QUÍMICA EN ALIMENTOS

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Alimentos I del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Este proyecto de investigación fue financiado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) con clave PROMEP/103.5/03/2568, UAEHGO-PTC-255.

| <b>ÍNDICE GENERAL</b>   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| <b>INDICE GENERAL</b>   | i             |
| <b>INDICE DE TABLAS</b>   | iv            |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b>  | v             |
| <b>GLOSARIO</b>   | vii           |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>  | 1             |
| <b>II. ANTECEDENTES</b>   | 2             |
| <b>2.1 ESTRUCTURA DEL GRANO DE CEBADA</b>                       | 2             |
| <b>2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS GRANOS DE TRIGO Y CEBADA</b>  | 5             |
| 2.2.1 Carbohidratos   | 6             |
| 2.2.2 Proteínas   | 13            |
| 2.2.3 Lípidos   | 17            |
| <b>2.3 USOS DE LA CEBADA</b>                                    | 18            |
| <b>2.4 MOLIENDA DE LOS CEREALES</b>                             | 18            |
| 2.4.1 Características de los granos ligados a su transformación | 19            |
| 2.4.2 Productos de molienda                                     | 19            |
| 2.4.3 Etapas de la molienda                                     | 20            |
| 2.4.4 Tipos de molienda   | 24            |
| <b>2.5 INDUSTRIA PANIFICADORA</b>                               | 26            |
| 2.5.1 Definición de pan   | 26            |
| 2.5.2 Ingredientes funcionales                                  | 27            |
| 2.5.2.1 Harina  | 28            |
| 2.5.2.2 Levaduras   | 32            |
| 2.5.2.3 Sal   | 32            |
| 2.5.2.4 Grasa   | 32            |
| 2.5.2.5 Aditivos  | 33            |
| 2.5.3 Proceso de panificación                                   | 41            |
| <b>III. OBJETIVOS</b>   | 48            |
| <b>3.1 OBJETIVO GENERAL</b>                                     | 48            |

|   |    |
|---|----|
| <b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>  | 48 |
| <b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>   | 49 |
| <b>4.1 MATERIA PRIMA</b>  | 49 |
| <b>4.2 MÉTODOS</b>  | 49 |
| 4.2.1 Muestreo  | 49 |
| 4.2.2 Descascarillado y molienda del grano                                      | 50 |
| 4.2.3 Análisis proximal de las harinas de cebada                                | 51 |
| 4.2.4 Caracterización y calidad física de las harinas de cebada                 | 52 |
| 4.2.4.1 Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)                         | 52 |
| 4.2.4.2 Capacidad de hidratación (CH)   | 52 |
| 4.2.4.3 Índice de retención de agua alcalina (IRAA)                             | 53 |
| 4.2.4.4 Índice de absorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) | 53 |
| 4.2.4.5 Tamaño de partícula   | 54 |
| 4.2.4.6 Determinación de color  | 54 |
| 4.2.5 Análisis reológicos   | 55 |
| 4.2.5.1 Análisis de perfil de textura   | 56 |
| 4.2.6 Caracterización física de las masas                                       | 57 |
| 4.2.6.1 Microscopía electrónica de barrido                                      | 57 |
| 4.2.7 Proceso de panificación   | 57 |
| 4.2.8 Evaluación del pan  | 57 |
| 4.2.8.1 Determinación de volumen y densidad del pan                             | 57 |
| 4.2.8.2 Evaluación de la impronta   | 58 |
| 4.2.8.3 Capacidad de fermentación   | 58 |
| 4.2.8.4 Pérdida de peso   | 59 |
| 4.2.8.5 Análisis sensorial  | 59 |
| <b>4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>   | 60 |
| <b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>  | 61 |
| <b>5.1 RENDIMIENTO DE MOLIENDA</b>  | 61 |
| <b>5.2 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LAS HARINAS</b>                          | 63 |
| 5.2.1 Análisis proximal de las mezclas  | 65 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>5.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS HARINAS</b>    | 66  |
| 5.3.1 Calidad física de las harinas                 | 66  |
| 5.3.1 Tamaño de partícula                           | 68  |
| 5.3.2 Determinación del color de las harinas        | 71  |
| <b>5.4 PRUEBAS REOLÓGICAS</b>                       | 72  |
| 5.4.1 Prueba de dureza, adhesividad y cohesividad   | 72  |
| <b>5.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS MASAS</b>      | 76  |
| 5.5.1 Microscopía electrónica de barrido            | 76  |
| <b>5.6 EVALUACIÓN DEL PAN</b>                       | 89  |
| 5.6.1 Evaluación de la impronta                     | 89  |
| 5.6.2 Análisis físicos del pan                      | 92  |
| 5.6.3 Análisis sensorial al pan                     | 94  |
| <b>VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS</b>              | 95  |
| <b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>                            | 98  |
| <b>VIII. ANEXOS</b>                                 | 105 |
| <b>ANEXO I.</b> Tamaño de partícula                 | 105 |
| <b>ANEXO II.</b> Microscopía electrónica de barrido | 107 |
| <b>ANEXO III.</b> Análisis sensorial                | 108 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1. Composición química del cariósido de cebada (Callejo, 2002).  | 6             |
| 2. Proteínas presentes en la cebada (Callejo, 2002).   | 13            |
| 3. Ácidos grasos presentes en el grano de cebada (Callejo, 2002).  | 17            |
| 4. Variedades de cebada utilizadas en la presente investigación.   | 49            |
| 5. Códigos utilizados para identificar cada una de las variedades de harina de cebada a sus diferentes proporciones con harina de trigo.                     | 55            |
| 6. Formulación de la masa.   | 56            |
| 7. Escala hedónica para evaluar la textura y color de la miga.   | 58            |
| 8. Escala hedónica verbal de nueve puntos.   | 60            |
| 9. Rendimiento de molienda de las seis variedades de cebada (Desviación estándar).   | 61            |
| 10. Composición fisicoquímica de las seis variedades de harina de cebada expresado en porcentaje en base seca (Desviación estándar).                         | 64            |
| 11. Composición química de las mezclas en estudio expresada en porcentaje en base seca de cada variedad de harina de cebada (Desviación estándar).           | 65            |
| 12. Análisis de calidad física realizados a las harinas de las cuatro variedades de cebada (Desviación estándar).  | 67            |
| 13. Promedio de la distribución del tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ ) a distintos volúmenes (Desviación estándar).                                       | 70            |
| 14. Valores de L, a y b de las harinas de cebada y trigo (Desviación estándar).  | 71            |
| 15. Influencia de la proporción de harina de cebada en los parámetros de APT en la dureza, cohesividad y adhesividad de cada variedad (Desviación estándar). | 74            |
| 16. Resultados de los análisis físicos que se realizaron a las muestras de pan (Desviación estándar).  | 92            |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| <b>1.</b> Grano de cebada y su estructura<br>( <a href="http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm">http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm</a> ,<br>Agosto, 2006). | 3             |
| <b>2.</b> Distribución granulométrica del tamaño de partícula de las harinas de<br>cebada en estudio.  | 69            |
| <b>3.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con PO50 a distintas<br>amplitudes.   | 77            |
| <b>4.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con PO40 a distintas<br>amplitudes.   | 78            |
| <b>5.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con PO20 a distintas<br>amplitudes.   | 79            |
| <b>6.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con ES50 a distintas<br>amplitudes.   | 80            |
| <b>7.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con ES40 a distintas<br>amplitudes.   | 81            |
| <b>8.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con ES20 a distintas<br>amplitudes.   | 82            |
| <b>9.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con EA50 a distintas<br>amplitudes.   | 83            |
| <b>10.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con EA40 a distintas<br>amplitudes.  | 84            |
| <b>11.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con EA20 a distintas<br>amplitudes.  | 85            |
| <b>12.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con E150 a distintas<br>amplitudes.  | 86            |
| <b>13.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con E140 a distintas<br>amplitudes.  | 87            |
| <b>14.</b> Micrografías tomadas de las masas elaboradas con E120 a distintas<br>amplitudes.  | 88            |

|  |     |
|--|-----|
| <b>15.</b> Pan elaborado a distintos porcentajes de harina de cebada- trigo de cada una de las cuatro variedades en estudio. | 90  |
| <b>16.</b> Impronta de los panes elaborados con las harinas de cebada-trigo a distintos porcentajes.                         | 91  |
| <b>17.</b> Tamaño de partícula de las variedades de harina de cebada PO y EA   | 105 |
| <b>18.</b> Tamaño de partícula de las variedades de harina de cebada E1 y ES.  | 106 |
| <b>19.</b> Micrografías de la masa elaborada con E140 a 4000x y del Testigo a 1000x.   | 107 |
| <b>20.</b> Ficha de cata utilizada para la realización del análisis sensorial.   | 108 |

## GLOSARIO

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

**Aleurona:** Son células que recubren al endospermo, las características de estas células es que poseen una pared celular gruesa pigmentada y que fluórese cuando se expone a la luz ultravioleta.

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

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

**Celiaquía:** Es una enfermedad en personas genéticamente predispuestas, la cual causa atrofia de la mucosa del intestino delgado y la consiguiente mal absorción generalizada de los alimentos.

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

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

**Difractar:** Desviación del rayo luminoso al rozar el borde de un cuerpo opaco.

**Disgregar:** Separar, desunir, apartar o desintegrar lo que estaba unido.

**Dislacerar:** Consiste en un efecto combinado de fuerzas normales de compresión y tangenciales (cizalladura) provocando la rotura del grano por abrasión.

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

**Enranciamiento oxidativo o auto oxidación:** Esta alteración tiene como agente causal al oxígeno del aire y el sustrato que se va a ver afectado son los ácidos grasos insaturados, resultando al final, entre otros productos: peróxidos, hidroperóxidos, aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos e incluso polímeros. Como consecuencia de la formación de éstos productos se modificaran las propiedades organolépticas, así como el sabor por ejemplo pasará de ser suave a dulzón y progresivamente picante. Y no sólo se provocará la pérdida de la calidad, sino que además disminuirá el valor nutritivo al destruirse ácidos grasos esenciales (linoléico y linolénico), viéndose afectadas también vitaminas con estructuras insaturadas (Vitamina A).

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

**Gelatinización:** Es un fenómeno irreversible, en el cual el almidón nativo o insoluble en agua pierde su organización interna o birrefringencia debido a la aplicación de temperatura en presencia de agua. Es un proceso de hidratación que confiere un estado gelatinoso típico de coloide coagulado (gel).

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

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

**Gluten:** Proteína de reserva nutritiva que se encuentra en las gramíneas junto con el almidón, compuesta por prolaminas y glutelinas. Red viscoelástica proteica, que se forma cuando la harina de trigo se amasa en presencia de agua.

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

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

**Harina:** Polvo que resulta de la molienda del trigo o de otras semillas. Polvo procedente de algunos tubérculos y legumbres. Polvo menudo a que se reducen algunas materias sólidas. Fracción refinada del endospermo que posee una granulometría menor de la malla 100.

**Impronta:** Reproducción de imágenes en hueco o de relieve, en cualquier materia blanda o dúctil, como papel humedecido, cera, lacre, escayola, etc.

**Lábil:** Dicho de un compuesto: inestable, que se transforma fácilmente en otro.

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

**Microscopio electrónico de barrido (MEB):** Microscopio que utiliza un flujo de electrones para examinar en una imagen tridimensional, la estructura superficial de muestras preparadas.

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

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

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

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

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

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

# I. INTRODUCCIÓN

---

Los cereales constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, ya que son el alimento que contribuye con el 15% de aporte energético en la alimentación humana, así como también con numerosos nutrientes para el organismo. Por esto, los cereales han sido, y seguirán siendo el principal sustento en la alimentación del hombre (Serna, 2001).

Dentro de los principales cereales consumidos por la humanidad se encuentran el trigo, el arroz, el maíz y la cebada. Ésta última es actualmente utilizada en la industria de cervecería y como alimento para animales (Callejo, 2002).

En el 2006, el estado de Hidalgo ocupó el primer lugar con una producción de 294,972.9 toneladas de cebada en grano. De las cuales 58,994.58 toneladas se destinaron al consumo animal (<http://www.sagarpa.gob.mx>, enero, 2007).

Es por eso que deben buscarse alternativas de uso en la alimentación humana, como por ejemplo en la elaboración de pan, el cual en sus múltiples formas, es uno de los alimentos más ampliamente consumidos por la humanidad. Debido a las propiedades viscoelásticas del gluten, la elaboración de pan queda actualmente limitada al uso de harina de trigo (Cauvain *et* Young, 1998). Por esta razón el objetivo principal de éste proyecto de investigación ha sido evaluar las características de las harinas de cebada en el proceso de panificación.

En este proyecto se utilizaron diferentes variedades de cebada para elaborar harina, la cual se mezcló en diferentes porcentajes con harina de trigo para la elaboración de pan. De esta forma se estudió la importancia que puede tener la cebada en la industria de la panificación, y así darle valor agregado.

## **II. ANTECEDENTES**

---

Los cereales son alimentos ampliamente extendidos por todo el mundo. Entre las plantas cultivadas sólo siete alcanzan una producción anual de más de 100 millones de toneladas y entre ellas se encuentran el trigo, el arroz y el maíz, los cuales ocupan los 3 primeros lugares y la cebada ocupa el cuarto lugar. Debido a la necesidad de garantizar el abastecimiento alimentario, la FAO hace permanentemente un seguimiento exhaustivo de la producción mundial de cereales (Callejo, 2002).

En los países más industrializados, tres cuartas partes del consumo de cereales se basan en el trigo y sus productos derivados. Sin embargo, el cultivo de la cebada presenta la ventaja, con respecto al trigo, de que suelen conseguirse mejores rendimientos por hectárea.

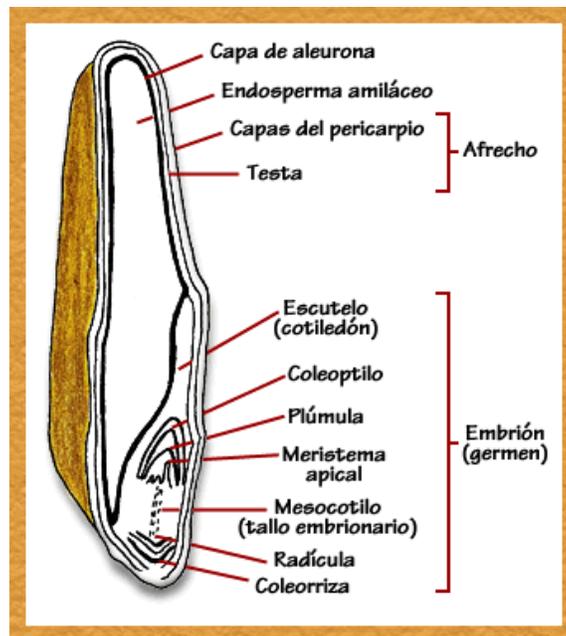
### **2.1 ESTRUCTURA DEL GRANO DE CEBADA**

Los granos de cebada se componen de una parte externa constituida por algunas capas secas y duras, las cuales protegen al grano, denominadas glumas y glumillas que son estructuras florales en forma de hoja que encierran a las carióspsides de los cereales (Serna, 2001).

Las cubiertas más externas forman parte del pericarpio, que se subdivide en epicarpio (protegido por cutículas y vellosidades), mesocarpio (formado por células transversales) y endocarpio (formado por células tubulares). El pericarpio protege a la semilla, formada por germen y endospermo y rodeada por su propia envoltura.

La función principal del pericarpio es la de proteger el grano contra agentes bióticos externos, impedir la pérdida de humedad, conducir y distribuir el agua y otros nutrientes durante la germinación. Otra parte del grano es la testa o envoltura de la semilla, la cual está adherida a la parte ventral de las células tubulares y consiste en una o dos capas de células (Serna, 2001).

La capa más externa del endospermo, de naturaleza proteica, se denomina capa de aleurona (figura 1), que en la mayoría de los cereales está compuesta por una sola capa de células, pero en la cebada hay dos o cuatro estratos. La capa de aleurona es muy importante durante la germinación porque sintetiza enzimas indispensables para lograr desdoblar el almidón que se encuentra en el endospermo (Desrosier, 1999).



**Figura 1.** Grano de cebada y su estructura

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

El endospermo puede ser vítreo o almidonoso. En el endospermo vítreo, no existen espacios de aire y los gránulos de almidón están bien recubiertos por la matriz proteica, por lo que adquieren formas angulares. El endospermo

almidonoso se encuentra encerrado por el vítreo. Contiene las mismas estructuras del endospermo vítreo, pero las unidades de almidón son de mayor tamaño y menos angulares; la asociación entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es más débil y en general tiene menos contenido de proteína que el vítreo (Serna, 2001)

El almidón del endospermo, excluyendo la capa de la aleurona, está compuesto por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. Las células varían en tamaño, forma y localización dentro del grano. Las células periféricas son la primera hilera de células que están en el interior de la capa de la aleurona, y son usualmente pequeñas, siendo igual en diámetro en todas direcciones o ligeramente prolongadas hacia el centro del grano. El endospermo periférico se caracteriza por su alto contenido proteico y por contener unidades de almidón pequeñas, angulares y compactadas. Algunos procesos como el laminado, tratamiento térmico con vapor, microionización y explosión o reventado tienen como objetivo principal destruir o modificar esta capa de tal manera que las enzimas digestivas tengan un mejor acceso al sustrato (Serna, 2001).

Las células maduras del endospermo vítreo contienen básicamente cuatro estructuras: paredes celulares, gránulos de almidón, matriz y cuerpos proteicos. Las paredes celulares son delgadas y encierran a los demás componentes. En ellas hay un alto contenido de fibra insoluble (celulosa y  $\beta$ -glucanos) y soluble (pentosanas). Los gránulos de almidón ocupan la mayoría del espacio celular y están rodeados y separados por la matriz proteica que sirve como pegamento para mantener la estructura interna de la célula. Los cuerpos proteicos son para mantener la estructura interna de la célula. Éstos son redondos y muy pequeños si se comparan con las unidades de almidón. Están dispersos en el espacio celular y en su mayoría incrustados en la membrana de los gránulos de almidón. En las células del endospermo vítreo, no existen espacios de aire y los gránulos de almidón están bien recubiertos por la matriz proteica, por lo que adquieren formas angulares (poligonales). Esta estructura tiene una apariencia vítrea o traslúcida

debido a que la luz no es difractada cuando pasa a través del endospermo (Serna, 2001).

El endospermo almidonoso contiene las mismas estructuras del endospermo vítreo y se encuentra encerrado por él, pero las unidades de almidón son de mayor tamaño y menos angulares; la asociación entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es más débil y las unidades de almidón tienen menos incrustaciones de los cuerpos proteicos, las paredes celulares son más delgadas y en general tienen un menor contenido de proteína. En otras palabras, estas estructuras no están tan aprisionadas como en el endospermo vítreo. Esto en virtud de la presencia de minúsculos espacios de aire que dan al endospermo su apariencia almidonosa u opaca. (Serna, 2001).

La proporción entre ambos endospermos determina la dureza y densidad del grano y por consiguiente muchos factores que afectan el procesamiento de los alimentos.

## **2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS GRANOS DE TRIGO Y CEBADA**

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (Fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melódica, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: Albúmina, globulina, prolamina, residuo y gluteínas), lípidos (Ac. Grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oleico, linoléico, linolénico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (inositol, colina y del complejo B), enzimas ( $\beta$ -amilasa, celulasa, glucosidasa) y otras sustancias como pigmentos.

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida, casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad

de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado. La aleurona es más rica en lípidos que el pericarpio y testa. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona (Callejo, 2002).

La cebada contiene una alta proporción de carbohidratos y proteínas (Tabla 1). Dicho cereal puede contener una humedad del 10 al 14%, el contenido de materia inorgánica y grasas es muy bajo respectivamente (Callejo, 2002).

**Tabla 1.** Composición química del cariósido de cebada (Callejo, 2002)

| <b>Componentes</b> | <b>Porcentajes (%)</b> |
|--------------------|------------------------|
| Humedad            | 12.0 – 13.0            |
| Carbohidratos      | 65.0 – 72.0            |
| Proteína           | 10.0 – 11.0            |
| Grasa              | 1.5 – 2.5              |
| Fibra              | 2.5 – 4.5              |
| Ceniza             | 2.0 – 3.0              |

### **2.2.1 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 hidratos de carbono comprenden varios constituyentes, como son los almidones, azúcares, celulosas, hemicelulosas y pentosanas (Serna, 2001).

#### **2.2.1.1 Almidón**

El almidón es el constituyente principal y por lo tanto de mayor importancia en los cereales. Se encuentra depositado en gránulos dentro de las células del endospermo, los cuales son relativamente densos e insolubles, y no se hidratan adecuadamente en agua fría. En la cebada estos gránulos se clasifican según su tamaño en grandes (20 a 30  $\mu\text{m}$ ) y pequeños (2 a 8  $\mu\text{m}$ ). Es mínimamente

hidrolizado durante la germinación de la cebada. El contenido de azúcares simples es bajo en la cebada, incrementándose algo en la malta como consecuencia de la hidrólisis parcial del almidón en la germinación (Desrosier, 1999).

El almidón se encuentra en los granos de cereal en forma de gránulos que actúan como tejido de reserva durante el crecimiento de la planta. En gránulo fresco en su estado nativo no se encuentra presente en los alimentos si se exceptúa la masa panaria quizás en muy pocos productos alimenticios más. Por su parte, la estructura del gránulo nativo de almidón se destruye en todos los procesos de fabricación de alimentos que utilicen alguno de los constituyentes del cereal (es decir, la gelatinización del almidón) (Dendy *et* Dobraszczyk, 2003).

El almidón es insoluble en agua fría. Cuando se calienta con agua, la absorbe, se hincha y revienta; este fenómeno se llama gelificación. Durante la molturación se puede lesionar mecánicamente a los granos de almidón, el almidón alterado juega un papel importante en el proceso de cocción (Fellows, 1994, Tscheuschner, 2001).

La susceptibilidad a la degradación enzimática del almidón aumenta significativamente cuando el almidón gelatiniza en la masa durante la cocción. La gelatinización del almidón es el cambio más claramente perceptible en la masa durante el proceso de panificación. Además, es la explicación más evidente que justifica la transformación de la masa viscosa en un producto sólido cocido. La gelatinización implica diferentes procesos, como la pérdida de cristalinidad, la absorción de agua, el hinchamiento del gránulo, la solubilización de la amilasa y la formación de la masa y de un gel (o al menos un aumento de viscosidad) (Guinet *et* Godon, 1996).

En efecto, cuando el almidón que es insoluble en agua fría, se calienta en medio húmedo, el grano pierde su configuración nativa: los gránulos comienzan a absorber agua; al continuar el calentamiento, se distorsiona el grano de almidón,

pasando a la solución almidón soluble. La solubilidad del almidón sean los responsables del aumento de viscosidad en el medio. Este fenómeno es reversible hasta una determinada temperatura denominado como temperatura de gelatinización (Guinet *et* Godon, 1996; Quaglia, 1991).

Así mismo, el daño parcial de los gránulos de almidón durante la molienda, facilita la penetración del agua y el ataque amilásico. La tasa de almidón dañado está ligada a las características del trigo 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, las amilasas tienen mayor accesibilidad a las cadenas de amilasa y de amilopectina, permitiendo una mayor velocidad de amilolisis y de fermentación (Callejo, 2002).

Durante el almacenamiento, la pérdida de frescura en el pan, paralela a un incremento en la dureza de la miga, produce una menor aceptación del consumidor. Este es un complejo proceso que involucra varios cambios físico-químicos. Sin embargo, sabiendo que el almidón es el constituyente mayoritario en la miga del pan, los cambios físicos que acompañan a la retrogradación del almidón han sido propuestos como la principal causa de endurecimiento del pan (Mota *et al*, 2005).

**Almidón dañado:**

1. Factores que influyen sobre la tasa de almidón dañado.
  - Características del cereal.
  - Tipo y severidad de la molienda.
  - Proporción de agua en los cereales durante la molienda.
2. El destino de la harina depende del nivel de almidón dañado.
3. Definir un óptimo para cada caso.

### **Retrogradación del almidón**

Después de un ciclo completo de panificación, comienzan los procesos de enfriamiento y envejecimiento, durante los cuales se reasocian o reordenan a las moléculas de almidón: el almidón retrograda (Callejo, 2002; Román *et al.*, 2002).

La retrogradación del almidón se produce cuando las moléculas del mismo comienzan a asociarse en estructuras ordenadas. En una fase inicial, dos o más moléculas pueden formar un simple punto de unión que después puede desarrollarse en regiones ordenadas más extensas. Finalmente, bajo condiciones favorables, aparece el orden cristalino. Es importante notificar que la retrogradación no implica una vuelta literal al mismo grado de orden o propiedades encontradas en el almidón nativo (Callejo, 2002).

En el estado de masa, los gránulos se representan más pequeños, para iniciar su estado sin gelatinizar comparado con los gránulos en los estados de pan fresco y envejecido. El gluten se representa cubriendo las superficies de los gránulos y como puente entre ellos, formando una base continua. La amilopectina aparece en conformaciones moleculares helicoidales agregadas en regiones cristalinas. La amilosa, en forma amorfa, en conformación de simple hélice. Otro componente granular son los lípidos polares, que son susceptibles de interaccionar con la amilosa durante el proceso de panificación (Goñi *et al*, 1996).

El estado de pan envejecido muestra la “reformación” de estructuras de doble hélice en la fracción amilopectina y su reorganización en regiones cristalinas durante el envejecimiento. Esta nueva organización imparte rigidez tanto al gránulo de almidón gelatinizado como al material intergranular, funcionando como un “entrelazamiento físico” sobre toda estructura de gel. La acción de las amilasas, inhibiendo el incremento de firmeza que se produce como consecuencia de la retrogradación del almidón, podría iniciarse en el horno, tras la gelatinización del almidón (Callejo, 2002).

Tras un recalentamiento, el envejecimiento del pan puede ser momentáneamente reversible. En este caso, los principales cambios se producen en la fracción amilopectina, más lábil que las moléculas de amilosa retrogradadas (Rodríguez, *et al*, 2005).

### **Otros hidratos de carbono**

La cebada contiene cantidades significativas de azúcares simples y de oligosacáridos. Sin embargo estos carbohidratos están presentes en tan bajas cantidades que son difíciles de determinar. En la actualidad utilizando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) se determina con alta precisión pequeñas cantidades de azúcares. La maltosa se encuentra en niveles bajos, algunas veces en las regiones adyacentes del endospermo, en el embrión y la capa de aleurona. En pequeñas cantidades se presentan la galactosa y manosa durante el desarrollo de la cebada.

La rafinosa es el mayor de los oligosacáridos presentes en la cebada y se considera cerca de 25% de los carbohidratos de bajo peso molecular del grano. Más del 80% de este oligosacárido está en el embrión y su metabolismo es rápido durante los estados de germinación (Serna, 2001).

La sacarosa está virtualmente restringida al embrión y a la aleurona, representa del 12 al 15%. La rafinosa es también otro de los constituyentes principales del embrión y corresponde aproximadamente al 5% del peso seco, las vainas contienen más de los dos tercios de los granos de celulosa; las paredes celulares del endospermo harinoso central carecen de celulosa verdadera.

La cebada madura puede contener más del 2% de fructosanos y a diferencia del almidón, en el que se encuentran restringidos al endospermo, los fructosanos se distribuyen en todo el grano (Callejo, 2002).

Los polisacáridos no amiláceos incluyen todos los componentes del grano no unidos mediante enlaces  $\alpha$ -glucosídicos. Incluyen celulosa,  $\beta$ -glucanos, hemicelulosas y gluco y galacto-mananos. Las glicoproteínas son similares a las pentosanas porque poseen una larga fracción polisacáridica pero solo una relativamente pequeña fracción proteica (Callejo, 2002).

Los polisacáridos no amiláceos más importantes en el trigo son pentosanas. El contenido en pentosanas de la harina blanca de trigo se cifra en un 2-3%. Se encuentran presentes en las paredes celulares de las células del endospermo. Constituidas fundamentalmente por arabinoxilanos y arabinogalactanos, llevan una pequeña proporción de ácido ferúlico asociado a los arabinoxilanos (Callejo, 2002; Calaveras, 1996).

La estructura de las pentosanas insolubles es básicamente similar a la de las pentosanas solubles, pero con un grado de polimerización diferente. Determinadas las viscosidades intrínsecas y los pesos moleculares de las pentosanas insolubles, éstos fueron tres veces mayores que en la fracción soluble (Callejo, 2002).

Efectos positivos de las pentosanas solubles que se ejercen a través de sus propiedades:

- De fijación de agua, especialmente los arabinoxilanos.
- Interacciones moleculares que se pueden establecer con otros componentes.
- Propiedades viscosas y tensoactivas.

Debido a que las pentosanas no coagulan durante el tratamiento térmico (como en el caso de las proteínas), ni se retrogradan durante el enfriamiento y almacenamiento del pan (como le ocurre al almidón) tienen también un efecto positivo en la capacidad del pan de mantenerse fresco durante el almacenamiento (Callejo, 2002; Guinet *et* Godon, 1996).

Las hemicelulosas y pentosanas forman las paredes celulares y el material de unión que mantienen juntas las células. Los azúcares, frecuentemente citados como componentes de la hemicelulosa en los cereales incluyen D-xilosa, L-arabinosa, D-galactosa, D-glucosa, ácido D-glucorónico, etc.

### **2.2.1.2 Fibra**

La fibra es un carbohidrato del tipo polisacárido que no se digiere por carencia de enzimas en el cuerpo humano y se divide para su análisis en dos partes:

**Fibra cruda:** Se evalúa como la porción de los hidratos de carbono (más lignina) insoluble en ácidos diluídos y en álcalis bajo determinadas condiciones.

**Fibra no digerible:** Es la parte del producto que queda sin digerir en el tubo digestivo, comprende: celulosa, polisacáridos no celulosos (gomas, mucílagos, sustancias pépticas, hemicelulosas) y también lignina, un polímero aromático no hidrocarbonatado.

La cifra de fibra no digerible es siempre mayor que la de fibra cruda, ya que una parte de los componentes de la fibra no digerible se degrada durante la valoración de la fibra cruda; sin embargo, la relación es constante (Callejo, 2002).

Los cereales cuando se consumen integrales, a través de su contenido de celulosa y hemicelulosa, contribuyen de forma importante al aporte de fibra dietética. La mayor parte de la fibra está constituida por  $\beta$ -glucanos y pentosanas, en proporciones muy variables. El contenido medio de  $\beta$ -glucanos en la cebada es superior a trigo, maíz y centeno y similar al de avena (Callejo, 2002). Al estar localizados en la pared celular del endospermo y de la capa de aleurona, su proporción aumenta en granos desnudos y es también superior en variedades de 2 hileras respecto a las de 6 hileras (Hill, 1965).

### 2.2.2 Proteínas

Las proteínas son compuestos nitrogenados de alto peso molecular. La distribución de las proteínas no es uniforme dentro del grano. En la tabla 2 se muestra la clasificación de las proteínas de la cebada de acuerdo a sus propiedades de solubilidad establecidas por Osborne en 1924.

**Tabla 2.** Proteínas presentes en la cebada (Callejo, 2002).

| <b>NOMBRE</b>        | <b>%</b> | <b>SOLUBILIDAD</b>                      |
|----------------------|----------|---|
| Albúmina (Leucosina) | 3-4      | Agua                                    |
| Globulina (Edestina) | 10-20    | Soluciones salinas diluidas             |
| Prolamina (Hordeína) | 33.5-45  | Soluciones alcohólicas                  |
| Glutelinas           | 35-45    | Soluciones diluidas de ácidos y álcalis |

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 están constituidas de glutamina o prolina; la composición de aminoácidos de las glutelinas se asemeja a la de las hordeínas, pero es menos extrema. 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).

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. Las glutelinas son las principales proteínas estructurales del endospermo, básicamente se encuentran situadas dentro de la matriz protéica y asociadas con las prolaminas.

Las proteínas de los cereales, como la mayoría de las proteínas vegetales, son deficientes de ciertos aminoácidos, esenciales como la lisina, treonina, histidina, metionina y triptófano.

En su estructura primaria, las moléculas de proteína están formadas por cadenas de aminoácidos unidos entre sí por enlaces peptídicos entre el grupo carboxilo (COOH) de un aminoácido y el grupo amino. En las proteínas de los cereales se encuentran unos 18 aminoácidos diferentes. Las proporciones en que se encuentran y su orden en las cadenas, determinan las propiedades de cada proteína. Los alimentos preparados con trigo son fuentes de proteínas incompletas. Esto significa que pudiera contener los 8 aminoácidos esenciales pero no todos ellos en niveles adecuados, así que la combinación del trigo con otros alimentos proporcionaría de ser correcta, una ingestión de proteína completa. Sin embargo si se compara con otros cereales como el arroz y el maíz llegaríamos a la conclusión de que tiene más proteínas (Callejo, 2002; Desrosier, 1999; Belitz *et Grosch*, 2000).

La proporción proteica del grano de trigo está localizada en el endospermo, embrión y escutelo en mayor abundancia. Se puede hacer una clasificación semejante de las proteínas de todos los cereales.

Las proteínas del gluten, que representan aproximadamente un 80-90% del total de las proteínas de la harina blanca, permiten reconocer la calidad panadera de una harina (Callejo, 2002; Calaveras, 1996).

El gluten comprende esencialmente dos grupos de proteínas:

- Gliadinas: Definidas como la fracción insoluble en soluciones salinas.
- Gluteninas: Insoluble en soluciones salinas y soluciones alcohólicas.

Gliadinas y gluteninas se sintetizan solo en el endospermo en desarrollo del grano de trigo; poseen similares composiciones aminoacídicas, pero existen importantes diferencias químicas y físicas entre ellas que son de especial relevancia en sus características funcionales (Callejo, 2002).

La especial composición y las interacciones no covalentes entre gliadinas y gluteninas hidratadas, con ellas mismas, dan lugar a la creación de la red de gluten. Cuando se hidratan, las gliadinas se comportan como un líquido viscoso, aportan extensibilidad a la masa. Las gluteninas, cuando se hidratan, se comportan como un sólido elástico cohesivo aportando a la masa elasticidad y fuerza cohesiva. Ambas fracciones, gliadinas y gluteninas, contribuyen a la naturaleza viscoelástica del gluten. Una adecuada proporción entre gliadinas y gluteninas es muy importante para decidir el posible uso de la harina, así las masas que son demasiado elásticas, pero inextensibles, no manifiestan unas buenas propiedades de panificación. Las propiedades físicas de la masa dependen de la composición de las proteínas del gluten y de su estado de agregación que está mediatizado por la formación de puentes disulfuro (Callejo, 2002; Quaglia, 1991).

Desde que el agua es añadida a la harina y después, en el curso del amasado, se desatan, más o menos simultáneamente, las siguientes reacciones (Calaveras, 1996):

- Reordenación de las configuraciones espaciales de las proteínas.
- Formación de enlaces no covalentes entre las proteínas y otros constituyentes de la harina.
- Ruptura y formación de puentes disulfuro.
- Aparición de una red compleja formada por las fibrillas de las proteínas.

En una masa correctamente amasada y de buena calidad, la película proteica es homogénea, el sobre amasado la va a romper progresivamente. La ruptura de algunos enlaces, covalentes o no, pueden modificar rápidamente el comportamiento de toda la red (Callejo, 2002; Guinet *et* Godon, 1996).

Las reacciones de polimerización-despolimerización de las proteínas (formación y ruptura de puentes S-S) se añaden a las reacciones de agregación-desagregación (ruptura de enlaces no covalentes); son facilitadas por la reactividad de los radicales tiol (-SH) de las proteínas solubles en agua (Callejo, 2002).

La aptitud de las unidades de glutenina para asociarse por medio de puentes S-S intermoleculares, es uno de los parámetros principales de los que depende la viscoelasticidad de la masa.

Más allá del tiempo óptimo de amasado, la masa pierde su consistencia y se hace húmeda y pegajosa; la estructura continua del gluten se disocia en pequeñas fracciones. Por último, las proteínas del gluten retienen el CO<sub>2</sub> desprendido durante la fermentación panaria, con el consiguiente incremento de volumen en la masa, primero, y en el pan, tras la cocción. Además la coagulación de la proteína durante la cocción es responsable, junto con el almidón gelatinizado de la textura de la miga (Guinet *et* Godon, 1996; Quaglia, 1991).

### **Papel del gluten en panificación**

- Absorción de agua durante el amasado.
- Transmite propiedades físicas a la masa: extensibilidad y elasticidad.
- Es responsable del volumen del pan.
- Es responsable, junto con el almidón, de la textura de la miga.

### 2.2.3 Lípidos

La materia grasa, se encuentra en menor proporción en relación a otros constituyentes del grano de cebada. Sin embargo, estos constituyentes tienen una gran importancia desde el punto de vista para procesos metabólicos.

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 lípidos 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 lípidos de la cebada se concentran en el embrión y en la capa de aleurona y son ricos en ácidos grasos insaturados. Aunque el grano entero sólo tiene el 2% de material extractable en éter de petróleo, los embriones aislados contienen el 15%. En la tabla 3 se presentan algunos ácidos grasos esenciales presentes en el grano de cebada.

**Tabla 3.** Ácidos grasos presentes en el grano de cebada (Callejo, 2002).

| <b>NOMBRE</b>    | <b>PORCENTAJE (%)</b> |
|------------------|-----------------------|
| Ácido palmítico  | 25                    |
| Ácido oléico     | 8                     |
| Ácido linoleico  | 61                    |
| Ácido linolénico | 6                     |

El trigo está constituido de un 2 a un 23% de lípidos, el lípido predominante es el linoleico, el cual es esencial, seguido del oleico y del palmítico. La porción lipídica se encuentra de manera más abundante en el germen de trigo.

La separación entre lípidos libres se basa en las diferencias en su solubilidad. Los lípidos libres se pueden extraer con solventes no polares, tales como éter de

petróleo. Para extraer los lípidos ligados, principalmente a la proteína, se requiere el empleo de solventes polares en caliente (Callejo, 2002; Calaveras, 1996).

Los lípidos polares juegan un papel benéfico en panificación, especialmente los lípidos libres polares, ya que los lípidos ligados al almidón no parece que jueguen un papel significativo en panificación, salvo, quizás, tras la cocción en la que se produce la gelificación del almidón. Así, se ha puesto en evidencia la formación de enlaces entre lípidos y proteínas durante la hidratación de la harina en el curso del amasado (Calaveras, 1996).

### **2.3 USOS DE LA CEBADA**

La cebada se emplea en la alimentación del ganado, tanto en grano como para forraje. La aplicación de la cebada es para alimentación del vacuno de carne, en la alimentación porcina, en avicultura y como materia prima para piensos. Sin embargo también tiene importantes aplicaciones en la industria: fabricación de cerveza, en destilería para obtener alcohol, en la preparación de maltas especiales, como sustituto de café, en la elaboración de azúcares y preparados de productos alimenticios etc (Callejo, 2002; Desrosier, 1999).

### **2.4 MOLIENDA DE CEREALES**

La molienda de los cereales empezó a practicarse en la prehistoria hacia el inicio del neolítico. Desde entonces, el objetivo de la misma es facilitar el consumo directo de los cereales, separando las partes del grano. Generalmente implica la eliminación del salvado que está formado por pericarpio, epidermis y capa de aleurona, además de eliminar el germen, que por ser rico en aceites hace al producto más susceptible de enranciamiento (Serna, 2001).

### **2.4.1 Características de los granos ligadas a su transformación**

#### **Vitrosidad**

El grano es vítreo cuando la estructura de su almendra tiene aspecto translúcido. Lo opuesto es un grano farinoso, de aspecto opaco debido a la porosidad de su almendra.

#### **Dureza**

La dureza “física” de los granos se define como la resistencia al aplastamiento, a la fragmentación, a la reducción. El opuesto a duro puede ser: friable, blando, fácil de reducir. Es una propiedad mecánica.

La dureza del grano de trigo condiciona su comportamiento durante la molienda. Es más fácil producir una harina rica en almidón dañado con trigos duros, vítreos. El daño del almidón es, por tanto, proporcional a la dureza. En cualquier caso, la tasa de almidón dañado en harinas para panificación no debe ser superior al 8% (Callejo, 2002).

#### **Humedad**

Los cereales se pueden almacenar sin merma de su calidad durante dos o tres años, con tal de que el contenido de humedad del grano, que es de 20-24% después de recolectarlo, se reduzca por lo menos al 14% (Belitz *et Grosch*, 2000). La humedad del grano influye visiblemente en la molienda, ya que la separación de las células del endospermo amiláceo, del germen y el salvado es más fácil.

### **2.4.2 Productos de la molienda**

Los productos de la molienda varían en los diferentes países y, dentro de cada país, según la instalación y exigencias del mercado.

El grano contiene aproximadamente el 84% de endospermo capaz de producir harina “blanca”, pero nunca es posible separarlo por completo del salvado, capa

de aleurona y germen. En la práctica es imposible obtener extracciones superiores al 75% sin oscurecer la harina (Callejo, 2002, Tscheuschner, 2001).

### **2.4.3. Etapas de la molienda**

El proceso de molienda es el más importante de la fabricación de harinas. Teóricamente, se puede resumir la molienda de los cereales en 2 etapas (Callejo, 2002):

- Separación de la almendra harinosa del salvado y germen.
- Reducción de esa almendra a gránulos sumamente finos.

El proceso de molienda, se puede clasificar en 4 sistemas:

- Trituración, separa endospermo de salvado y germen.
- Desagregación, rompe grandes trozos de endospermo.
- Compresión (reducción), reduce pequeños fragmentos de endospermo a harina.
- Colas, separa la fibra del endospermo recuperado de los otros 3 sistemas.

Las características cualitativas de las partículas de harina están notablemente influidas por la acción de molienda usada en el sistema de compresión (Callejo, 2002).

### **Trituración**

Consiste en pasar el trigo por una sucesión de cilindros estriados para abrir el grano de trigo y separar germen y endospermo del salvado, obteniendo la máxima granulometría en las sémolas y la mínima cantidad de harina y sémolas finas. Separando después de cada molienda los productos desprendidos por medio de cernedores extractores.

La molturación del grano en los cilindros estriados se realiza por dislaceración, que consiste en el efecto combinado de esfuerzos normales (compresión) y

tangenciales (cizalladura), provocando la rotura del grano por abrasión (Callejo, 2002).

Se dan de 4 a 7 pasadas de trituración. Después de cada paso de molienda, un tamiz clasifica el material para el siguiente paso: otra molienda, purificación, etc.

Se separan 3 clases de material:

- 1.- Fragmentos gruesos, van a la siguiente trituración, hasta que sólo quede salvado.
- 2.- Harina o partículas finas que van a un tamiz más fino.
- 3.- Partículas de granulometría intermedia.

Cada una de las pasadas de trituración, trabaja con un producto diferente de grosor, superficie y cantidad, por lo que la separación, estriado y longitud necesaria de los cilindros ha de adaptarse en cada una de las pasadas.

Es fundamental la clasificación en cada pasada de la trituración, para un ajuste óptimo, que permita conseguir:

- 1.- Hojas grandes de salvado.
- 2.- Mínima cantidad de harina de trituración.
- 3.- Gran cantidad de sémolas y semolinas de tamaño uniforme.

### **Extracción**

La extracción se realiza en tamices tras la trituración, desagregación y compresión, separando del producto fino las partículas gruesas o inacabadas que salen por la cola (Callejo, 2002; Desrosier, 1999).

La división entre desprendimiento y cola depende del paso o claridad de las enteladuras de los tamices extractores empleados como elemento separador. Así puede diferenciarse:

- Desprendimientos: Sémolas, semolinas y harinas destinadas a cernido y clasificación y purificación para su desagregación y/o compresión posterior.
- Colas: Producto inacabado, destinado a trituración gruesa.

El orden de los tamices es según el número de malla, de paso decreciente de arriba hacia abajo. Cada tamiz consta de una malla y una bandeja recolectora del producto cernido. La alimentación se produce por la parte superior por tubos metálicos recubiertos de una manga de tela.

Si la extracción del producto de los cilindros de trituración se realiza en un agitador de tamices se efectúa además la clasificación de sémolas y el secado parcial de semolinas. Para la realización de estas tareas pueden combinarse cernedores y tornos.

En general, la pureza de las harinas, en cualquier fase, decrece a medida que se agotan los productos. La tasa de cenizas o materias grasas acusa netamente este hecho (Hoseney, 1998).

### **Purificación**

El objeto es separar las partículas de endospermo con salvado y germen adherido, originados durante la trituración, en 3 fracciones (Hoseney, 1998; Calaveras, 1996):

- Endospermo puro: Pasa a compresión.
- Endospermo con salvado adherido: pasa a trituración.
- Partículas de salvado.

Se pueden distinguir 3 secciones de purificación:

- 1.- Purificación primaria, para productos de la trituración.
- 2.- Purificación secundaria, para los productos procedentes de desagregación.
- 3.- Purificación de repaso, para los productos de los anteriores.

### **Desagregación**

Consiste en hacer pasar los gránulos de sémolas puras y gruesas, ya purificadas en el tamiz, por cilindros finamente estriados.

El objetivo principal es fragmentar agregados de endospermo, dando lugar a sémolas de tamaño adecuado para su conversión en harina en los cilindros de compresión y obtención de una fracción de harina tras la clasificación en tamices (Hoseney, 1998; Calaveras, 1996).

### **Compresión**

El objetivo es reducir las sémolas y semolinas ya limpias y debidamente clasificadas por tamaños a harinas, de la forma más económica, manteniendo en ellas las características más deseables para panificación. Esto se consigue mediante un gradual sistema de compresión que controle el daño del almidón y minimice la suma de partículas de salvado que pasan por el tamiz a la harina.

La acción de molienda de los cilindros lisos reduce el endospermo más friable y permite salir intacto al salvado, separando luego en tamices. Es, por tanto, muy importante clasificar perfectamente la alimentación, y los productos intermedios de las compresiones para ajustar adecuadamente la presión en cada fase de compresión, evitando:

- Calentamiento de los cilindros.
- Alteración del gluten y almidón.
- Formación de copos, trozos de endospermo comprimido por la acción de los cilindros, que dificultan el cernido.

### **Colas**

El objetivo de la molienda en el sistema de colas es recuperar pequeños trozos de endospermo mediante la reducción de su tamaño en relación con las partículas de salvado y germen. Los cilindros lisos minimizan la rotura de salvado y germen.

El rendimiento de los cilindros lisos se mide por la cantidad de harina fina y granulosa que puede extraerse por cernido. Es decisivo para la calidad de la harina eliminar enseguida los restos de envueltas y de germen, evitando su remolido, para que no contamine la harina. La mayoría de los molinos tienen costosos sistemas para almacenamiento y mezcla de harinas (Callejo, 2002).

### **Control de calidad**

Un buen sistema de muestreo para obtener información sobre los componentes a mezclar y el producto final se obtiene de un buen control de calidad. La muestra va al laboratorio, donde se somete a las siguientes determinaciones: cenizas, humedad, proteína, almidón dañado y granulometría. Se lleva a cabo un control de proceso estadístico, usando los resultados de laboratorio (Desrosier, 1999).

#### **2.4.4 Tipos de molienda**

El objetivo perseguido por la molturación es obtener preferentemente una harina en la cual predominen los constituyentes de las células del endospermo amiláceo. Se distingue, por tanto, entre (Guinet *et* Godon, 1996; Finney, 1984):

- Molienda seca
- Molienda seca – húmeda o semihúmeda (20 – 23% en agua)
- Molienda seca – seca sin desgerminador (17 – 17.5% en agua)
- Molienda húmeda, con desgerminado siempre (45% en agua).

##### **2.4.4.1 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.

### **Proceso de molienda seca**

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 busca, por tanto, 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.

#### **2.4.4.2 Molienda húmeda**

La molienda húmeda separa los diferentes componentes químicos del grano. Se utiliza para la obtención del almidón. El proceso es fundamentalmente físico, aunque durante el remojo hay que tener en consideración factores químicos y biológicos. El grano tras una limpia similar a la aplicada en la molturación seca, se pone a macerar durante unas 40 horas en agua tibia que tiene dióxido de azufre. Esto lo ablanda para la molienda, separa el material soluble que es evaporado para dar licor de remojo y pierde la matriz proteica en la que está embebido el almidón (Guinet *et* Godon 1996; Posner *et* Hibbs, 1997).

La cebada remojada pasa a través de los molinos, generalmente en 2 etapas. Esto tiene por objeto romper el grano y liberar el germen sin fragmentarlo.

## **2.5 INDUSTRIA PANIFICADORA**

Del mismo modo que, con el paso del tiempo han evolucionado las diferentes formas de presentación del pan, así lo han hecho los métodos de conversión de la harina y otros ingredientes en pan. En muchos casos, la relación entre el producto y el proceso es tan estrecha que podría ser un error considerarlos por separado. Todos los procesos que se han diseñado para la fabricación de pan tienen una finalidad común muy simple: la conversión de la harina de trigo en un alimento esponjoso y apetitoso (Cauvain *et* Young, 1998).

### **2.5.1 Definición de pan**

El término designa al producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos propios de la fermentación panaria. Las materias primas empleadas en la elaboración del pan son, a raíz de la definición anterior: harina de trigo, agua, levadura y sal, así como varios aditivos o auxiliares tecnológicos, admitidos por la legislación (Callejo, 2002; Quaglia, 1991).

Los panes se pueden elaborar con diversos cereales o sus mezclas como el centeno, cebada, avena, maíz, arroz, sorgo y trigo, este último es el que contiene la mayor cantidad de gluten que retiene el gas producido por las levaduras y elevar el pan.

Al pan se le puede añadir leche, mantequilla, huevos, azúcar, pero siempre conviene poner algo de sal. El aceite, la mantequilla y la margarina sirven para mantener húmedo el pan y la retención de agua varía según la clase de harina empleada (<http://www.ceopan.es/historia/lahistoria.htm>, Abril, 2006).

El agua representa el 55-60% del peso total de la mezcla. La sal que se añade en torno a un 2% del peso total del producto, contribuye al sabor y contribuye a la formación de glútenes más fuertes, al contrarrestar las cargas propias de las

proteínas permitiendo una menor repulsión entre éstas. Igualmente, retrasa un poco la actividad de las levaduras por lo que se añade la sal al final. Las levaduras fermentarán de forma rápida la sacarosa y maltosa presente en la harina liberándose gas CO<sub>2</sub> que es el que provoca la formación de los típicos agujeros que se pueden observar en la miga del pan. La temperatura óptima de crecimiento del *Sacharomyces cerevisiae* es de 25° C y la de fermentación es en torno a 30° C por lo que es el margen que se ha de someter en un principio al pan, Finalmente se someten a cocción para que se forme la textura y aroma típico del pan (Cauvain *et* Young, 1998).

Hay tres etapas en la fabricación del pan: mezcla y amasado, esponjamiento de la masa y cocción en el horno. El método para la maduración y esponjamiento de la masa, que ha sido costumbre desde los tiempos de los faraones consiste en la fermentación por medio de la levadura (Kent, 1987).

### **2.5.2. Ingredientes funcionales**

La masa panaria más básica para obtener un producto de panadería necesita contener, como mínimo, los siguientes ingredientes: harina, agua, levadura y sal. No obstante, sólo con esas materias primas sería muy difícil obtener un pan de buena calidad. Los panaderos siempre han añadido cantidades pequeñas de ingredientes extra para mejorar el comportamiento de la masa durante su procesado o la calidad del pan una vez elaborado. Es posible que las sucesivas denominaciones que se han ido dando a estos ingredientes menores, aditivos o auxiliares de la fabricación, que se añaden a la masa para mejorar la calidad del pan, se deban a su actividad. Sucesivamente se han denominado: nutrientes de levaduras, mejoradores de la harina y, en la actualidad, acondicionadores de masa (Cauvain *et* Young, 1998).

Un acondicionador de masa es cualquier material o combinación de materiales añadidos a una masa levantada por levaduras para mejorar y controlar la producción de gas, la retención de gas o ambos. La utilización de estas sustancias

está regulada por la legislación de muchos países, haciendo referencia al tipo de aditivo y a la proporción en que se añade.

Los componentes funcionales de las masas panarias pueden dividirse en tres grupos principales: ingredientes, aditivos y coadyuvantes de la fabricación. Los ingredientes pueden definirse como productos alimenticios en un sentido estricto, aunque algunos no se consuman, por regla general, en la forma en que se añaden a la masa (Cauvain *et* Young, 1998).

### **2.5.2.1 Harina**

Conocer y determinar las características organolépticas y fisicoquímicas de las harinas es importante cuando se pretende elaborar cierta cantidad de pan y cuando queremos que estos sean de buena calidad.

La fuerza de la harina que se utiliza en el método directo está estrechamente ligada con el periodo de fermentación que apliquemos. En general, mientras más fuerza tiene la harina, más largo será el tiempo de fermentación que requeriremos para alcanzar un desarrollo óptimo de la masa y mejor será la calidad final del pan (es decir, de un volumen mayor, con una estructura de la miga más fina y blanda).

La fuerza de la harina depende estrechamente de su contenido en proteína, las harinas con un elevado contenido en proteína requieren tiempos de fermentación más largos que las harinas de contenido proteico más bajo. El nivel de salvado que contenga la harina afectará también al tiempo de fermentación. Las harinas integrales requieren tiempos menores de fermentación que las harinas blancas. El contenido típico de proteína de la harina blanca que se utiliza en el método directo puede ser del 12% o mayor (Harol *et al.*, 1987).

Un defecto en la calidad de la harina o un fallo en el tiempo de fermentación conllevarán la aparición de diversas anomalías, tanto en la masa como en el producto ya horneado.

La harina es siempre la principal materia prima para la elaboración de pan y otros productos fermentados y ha de tener siempre la misma calidad, de tal manera que los panaderos puedan, a su vez, alcanzar la más elevada eficacia de producción y proporcionar a sus clientes un producto con calidad consistente. El problema para los molineros es que la harina se emplea para una gran variedad de aplicaciones, desde las industrias panaderas hasta la de explosivos y deben encontrar la manera de controlar la calidad para todas y cada una de sus aplicaciones, incluso teniendo en cuenta que la materia prima básica es variable. Esto se logra empleando dos técnicas fundamentales (Calaveras, 1996):

- Mediante la mezcla de trigo, de la harina o de ambos.
- Por la mezcla de determinados aditivos.

#### **2.5.2.1.1 Condiciones específicas de las harinas**

##### **Humedad no superior al 15% en el momento del envasado**

El contenido en agua de las harinas al final de la molienda deberá variar entre el 14 y 15%. Si no es así, es decir, si el contenido en agua supera el máximo del 15% marcado por la legislación, no sólo estaremos pagando agua al precio de harina, sino que estamos ante una harina que puede dar problemas durante un almacenamiento prolongado (Callejo, 2002).

##### **Contenido en materias minerales (Cenizas)**

El contenido en cenizas define los tipos de harinas comerciales. Está en relación con la tasa de extracción de la harina. A medida que aumenta la tasa de extracción, la harina contiene más elementos de la periferia del grano, más ricos en materias minerales que el endospermo y, por tanto, mayor será el contenido en cenizas (Callejo, 2002; Guinet, 1996).

##### **Cantidad y calidad de proteínas presentes en la harina**

Son factor determinante de su aptitud panadera. El contenido en proteínas de las harinas de trigo, oscila entre un 7 y un 15%. Va a depender del contenido proteico

del grano de trigo, de su distribución en el grano y de la tasa de extracción de la harina. En panificación, se requiere un mínimo de un 9% de proteína y un 5.5% de gluten seco (Callejo, 2002; Quaglia, 1991).

#### **2.5.2.1.2 Métodos de análisis de la harina**

El valor panadero de un trigo esta representado, manteniendo las condiciones de fabricación siempre iguales, por la aptitud de la harina para dar un buen pan, en condiciones de trabajo y rendimiento acordes con la fabricación normal (Callejo, 2002).

#### **Contenido de proteína y humedad**

Estos son dos de los parámetros más importantes en la harina y generalmente se miden durante la producción. Para el contenido de proteína normalmente es el método Kjeldahl de digestión ácida, que emplea ácido sulfúrico en presencia de un catalizador. La cifra de nitrógeno obtenida se convierte a valor de proteína empleando factores adimensionales establecidos por el método Kjeldahl.

#### **Determinación del color de la harina**

El grado de color de la harina da una medida de la contaminación de salvado en la harina blanca y varía con la cantidad de harina de bajo grado, obtenida en el extremo final del molino, que se permite pase al producto final. El valor medido también depende del color de fondo del endospermo, el cual varía a su vez con el tipo de trigo en la formulación y el año de cosecha, en particular, ya que la calidad del trigo también puede influir en el color final del endospermo.

El grado de color no es una medida de la apariencia visual de la harina. El color de la harina está tan estrechamente asociado con el contenido de cenizas, que se emplea para medir la pureza de la harina en muchas partes del mundo. El color de la harina o el contenido de cenizas puede afectar al comportamiento de la misma durante la cocción; generalmente cuanto más blanco sea el color mejores serán sus propiedades para la panificación (Quaglia, 1991).

Hay tres principales categorías, definidas sobre la base del contenido de sólidos secos:

- Harina de tipo 00 = 0.50%
- Harina de tipo 0 = 0.65%
- Harina de tipo 1 = 0.80%

La harina moteada, es decir, la harina contaminada con partículas de salvado de tamaño muy pequeño pero visible no se detecta fácilmente con la prueba de graduación de color de la harina, sino que se detectará visualmente por parte de los molineros.

En las harinas de buena calidad el color es blanco amarillento, en las medianas, blanco mate y en las inferiores blanco empañado a rojizo, el sabor de las harinas buenas es parecido al del engrudo fresco y es acre, ácido, picante o dulce en las echadas a perder, al tacto las harinas buenas son untuosas y frescas, mientras que las malas son ásperas, no se pegan a los dedos y no dejan sensación de fresco (Quaglia, 1991).

La harina refinada contiene almidón, gluten y extracto soluble, este último formado por dextrinas, azúcares simples, fosfatos, sustancias nitrogenadas, albúminas, vitaminas y minerales.

Para que una harina pueda considerarse buena, debe contener más de 13 % de gluten y no más de 13 % de agua, 66 % de almidón, 4 % de albúminas, 4 % de azúcares y 2 % de minerales.

La inspección microscópica de la harina y los gránulos de almidón, es importante ya que puede estar adulterada con féculas de papa o de otros granos, así como detectar otras adulteraciones y contaminantes (Codex Alimentarius, 1995).

### **2.5.2.2 Levaduras**

En sus comienzos, la elaboración de pan se hacía sin levadura, pero desde que se descubrió que ésta, fermenta y esponja la masa, haciéndola más rendidora y produciendo panes mas suaves y de mejor sabor, las levaduras se convierten en un elemento indispensable para la panificación (Quaglia, 1991).

Las levaduras son más conocidas por su habilidad para producir fermentación alcohólica y por las enzimas que producen, así algunas producen la enzima invertasa, que transforma la sacarosa (Azúcar de caña de azúcar) en dextrosa y levulosa, otras producen la enzima maltasa, que parte a la maltosa en dos dextrosas y a esta en alcohol y bióxido de carbono, esta última se emplea en la fabricación de cerveza de malta.

La cantidad usada en panadería está en la relación inversa con la duración de fermentación más larga, generalmente aplican temperaturas algo más bajas a la masa. La actividad de la levadura aumenta rápidamente con la temperatura y la cantidad a utilizar se reduce (Kent, 1987).

### **2.5.2.3 Sal**

Para desarrollar sabor, se añade sal. También endurece el gluten y produce masa menos pegajosa. La sal atenúa la velocidad de fermentación, por lo que a veces su adición se retrasa hasta que la masa se ha fermentado parcialmente. La cantidad que se agrega generalmente es de 1.8 – 2.1% del peso de la harina, quedando la sal a una concentración de 1.1 – 1.4% en el pan (Kent, 1987).

### **2.5.2.4 Grasa**

Cuando se añade a razón de 1% aproximadamente del peso de la harina, mejora el volumen de la pieza, reduce la dureza de la corteza y produce paredes más finas en las celdillas de la miga, dando por resultado un pan de textura más tierna y con características de corte mejoradas (Kent, 1987).

#### **2.5.2.5 Aditivos**

##### **Mejorantes Panarios**

Cuando se habla de mejorantes panarios nos estamos refiriendo a una mezcla a base de aditivos y coadyuvantes, que van a ayudar a subsanar las distintas anomalías en la harina o a potenciar alguna de sus características, con el fin de obtener la harina que mejor se adapte a nuestro proceso de elaboración.

Para hacer un buen uso de este producto es necesario conocer las características de la harina (humedad, cenizas, proteínas, gluten, fuerza, tenacidad, extensibilidad, capacidad de absorción de agua, etc) ya que el efecto del mejorante será distinto en unas harinas que en otras en función de sus características. La dosificación, debe ser precisa ya que dosis elevadas del mismo, puede limitar los sabores característicos de las piezas, o dar cambios no deseables en las masas (Kent, 1987).

Existen diferentes tipos de mejorantes en función del proceso de panificación que se realice (<http://www.cetece.org/pags/documentacion/aditivos/mejorates.htm>, Septiembre, 2006):

- **Mejorantes para procesos artesanales.**- se realizan a nivel de pequeñas fábricas. Estos mejorantes se caracterizan porque aparecen como concentrados y se utilizan en pequeñas dosis, sobre la harina, para elaborar las distintas masas.
- **Mejorantes para procesos industrializados.**- se adicionan con el fin principal de adaptar las características de la masa al proceso de producción, facilitando la maquinabilidad y mejorando los resultados.

##### **Composición de los mejorantes:**

Generalmente los mejorantes están compuestos por una serie de aditivos y coadyuvantes que se repiten en mayor o menor proporción según el fin al que estén destinados. De esta forma aparecen en el mercado mejorantes para

productos panarios congelados, mejorantes para panes rústicos, mejorantes para pastelería, etc (Cauvain *et* Young, 1998).

Los aditivos mas utilizados para elaborar estas mezclas son:

- Emulgentes.
- Antioxidantes (actuando como oxidantes).
- Enzimas.
- Excipientes.

#### **2.5.2.5.1 Emulgentes**

Se denominan emulsionantes o emulgentes a las sustancias que favorecen la formación y la estabilización de las emulsiones. Los emulsionantes, gracias a la estructura particular de sus moléculas, compuestas por una zona hidrófila y otra lipófila, sirven de enlace de las distintas fases que componen una emulsión fase acuosa y la fase lipídica, al tiempo que hace esta unión estable. Otra de las funciones importantes que realizan es reforzar las proteínas constituyentes de la red de gluten (<http://www.cetece.org/pags/documentacion/aditivos/mejorates.htm>, Septiembre, 2006).

Son múltiples los motivos de que los emulgentes sean utilizados en panificación, pero entre todas destacan las siguientes (Cauvain *et* Young, 1998):

- Durante el amasado
  - ◆ Dan suavidad a las masas.
  - ◆ Facilitan su trabajo en las máquinas.
  - ◆ Reducen tiempos de amasado (por lo tanto provoca un ahorro energético).
  - ◆ Limitan la cantidad de grasa en el producto.

- Durante la fermentación:
  - ◆ Refuerzan las masas actuando sobre las moléculas de gluten.
  - ◆ Mejoran la capacidad de retención de gas.
  - ◆ Reducen los tiempos de fermentación.
  
- Durante el horneado:
  - ◆ Mejoran la capacidad de mantener el gas en el producto dentro del horno, dando lugar a piezas con:
    - ◆ Mejor volumen.
    - ◆ Mejor textura.
    - ◆ Mejor miga.
  
- Disminuyen la pérdida de agua.
  
- Durante el almacenaje:
  - ◆ Mantienen la humedad interna del producto (miga más tierna).
  - ◆ Prolongan la vida útil del producto.

Los emulgentes más utilizados en panadería-pastelería son los siguientes (<http://www.cetece.org/pags/documentacion/aditivos/mejorates.htm>, Septiembre, 2006):

### **Lecitina de soya**

Es el emulgente más conocido y utilizado de todos. Es de origen natural y se extrae a partir de la de soya. Su dosis máxima admisible esta establecida en 2 g/Kg de harina. Posee una alta concentración en fosfolípidos, lo que ayuda a la masa dándole extensibilidad y facilitando la absorción del agua. Su uso proporciona panes de buen volumen, retrasa su endurecimiento y no le resta sabor, manteniendo las características organolépticas deseadas.

### **Monoglicéridos de ácidos grasos**

Este emulgente se utiliza en la elaboración del pan con una dosis máxima de 3 g/Kg de harina. Su característica principal es facilitar la mezcla de los distintos ingredientes de la masa, permitiéndola soportar los procesos mecanizados; aunque su principal función es evitar la retrogradación del almidón. Retrasa el endurecimiento del pan, facilitando un gran volumen y suavizando las masas. Suelen aparecer en los mejorantes de pastelería y bollería.

### **Mono y diglicéridos de los ácidos grasos esterificados**

Es un grupo de emulgentes que suavizan la masa protegiéndola de tratamientos fuertes, también ayudan a estabilizar el gluten y a aumentar la tolerancia de la masa frente a fermentaciones largas.

Al igual que el emulgente anterior, evitan la retrogradación del almidón, retrasando el endurecimiento del pan, dando lugar a panes de mayor volumen y con corteza fina. Su dosis máxima de utilización es de 3 g/Kg de harina.

### **Ésteres de mono y diglicéridos con el ácido diacetil tartárico (DATA)**

De los emulgentes que se utilizan en panificación, es el que presenta un efecto más fuerte y claro como mejorante en las masas. Su principal función es como reforzador de las masas panarias. Favorece los procesos muy mecanizados o con fermentaciones largas, permitiendo obtener un mayor volumen de las piezas.

#### **2.5.2.5.2 Oxidantes**

Los agentes oxidantes se han venido utilizando junto a las harinas porque producen masas más fuertes, menos pegajosas, más resistentes a condiciones de estrés producidas en los procesos, como la división el formado o la fermentación. Por otro lado los oxidantes favorecen la subida de volumen de las piezas dentro del horno, obteniendo productos de mayor volumen, miga más blanca, alveolado mas fino y regular y corteza más uniforme. En el alveógrafo se observa un

incremento de la fuerza (W) y de la tenacidad P) de las masas, así como un descenso en la extensibilidad (L) (Cauvain *et* Young, 1998).

La única sustancia oxidante permitida es:

### **Ácido L- ascórbico**

Se utiliza como sustituto de los antiguos oxidantes, y suele estar presente en todo los mejorantes panarios incluso como único componente de harinas aditivadas.

Su función principal es reforzar las cadenas de gluten, actuando como oxidante de las proteínas de la harina ayudando así a que se entrelacen entre sí. (mayor capacidad de retención de gas) (Fennema, 2000).

Otras funciones son que evita la pérdida de CO<sub>2</sub>, facilita la absorción de agua y permite reducir los tiempos de reposo para la maduración de la harina. Posee un efecto de blanqueamiento ya que favorece la oxidación de algunos pigmentos como los β-carotenos.

Debido a estas propiedades se consigue aumentar la fuerza (W), hasta un determinado valor, lo que hace que pueda obtener masas que soporten mejor los tiempos de fermentación y se desarrollen panes de mayor volumen.

Generalmente las harinas de fuerza, vienen aditivadas con este elemento, ya que intensifica las características reológicas propias de una harina de esa calidad panaria.

En la fabricación de harinas se recomienda añadir 10 gr de mejorante por cada 100 Kg de harina, ya que si se añadiese en cantidades mayores, se provocaría un efecto excesivo sobre el gluten, dando lugar a masas demasiado tenaces y muy difíciles de trabajar. Para utilizar un mejorante hay que tener en cuenta si la harina

a utilizar está o no aditivada, para evitar que se produzca el efecto anteriormente mencionado (Cauvain *et* Young, 1998).

### **2.5.2.5.3 Enzimas**

Las enzimas como catalizadores biológicos, ayudan a acelerar diversas reacciones bioquímicas que tienen lugar durante el desarrollo de la masa panaria. Quizás al ser productos naturales y con un gran campo de aplicaciones, las enzimas tienen funciones a desempeñar muy importantes en la panificación y posiblemente sean la base fundamental en el futuro de los mejorantes (Cauvain *et* Young, 2002).

En panificación son principalmente dos las que suelen aparecer formando parte de los mejorantes.

- Las  $\alpha$ -amilasas.
- Las hemicelulosas.

#### **$\alpha$ -amilasas**

Su función principal es degradar el almidón progresivamente, facilitando azúcares simples que sean utilizados por las levaduras como sustrato de la fermentación. También reducen la viscosidad del almidón. Ayudan a regular la velocidad de fermentación, acortando los tiempos, y favoreciendo también el aspecto de los productos finales (mejoran el color).

Realizan una función muy importante sobre todo en los trigos españoles, caracterizados por poseer una actividad  $\alpha$ -amilásica baja y por dar lugar a harinas que producen masas poco desarrolladas (Fennema, 2000).

#### **Hemicelulosas:**

Su función es facilitar el amasado dando extensibilidad a la masa y facilitando el desarrollo del pan en el horno. Altera el greñado, creando una greña nítida y

proporcionando el color dorado tan buscado en algunos panes. Suele adicionarse en cantidades entre 4 a 15 g / 100 Kg de harina.

Existen otras de gran importancia en harinas como por ejemplo las proteasas, pero que tienen funciones más específicas, (como romper la red de gluten en harinas de fuerza en masas en las que tecnológicamente no sea deseable, por ej. en la industria galletera). Por este motivo no son utilizados como aditivo fundamental de los mejorantes panarios (Fennema, 2000).

Otras con importancia tecnológica son las lipasas, las transglutaminasas, glucoxidasa, etc.

#### **2.5.2.5.4 Excipientes**

Se denomina excipiente a aquella sustancia que se adiciona en el mejorante con el único fin de servir como medio para mezclar todos los demás aditivos. Ya que las cantidades en las que estos se añaden en pequeñas dosis, por lo que su utilización sería complicada sobre todo si se trabajase con masas no demasiado grandes.

De esta manera el excipiente, es el componente mayoritario del mejorante. Existen distintos ingredientes que pueden utilizarse como excipiente en panadería. Almidones (trigo, maíz, arroz, patata), harinas de cereales (de trigo, de centeno, etc) y mandioca. Los más habituales son el almidón de trigo y maíz o la harina de trigo, por ser los que menos modificaciones pueden introducir en el producto (<http://www.cetece.org/pags/documentacion/aditivos/mejorates.htm>, Septiembre, 2006).

#### **2.5.2.5.5 Otros componentes**

Otros componentes que pueden aparecer en los mejorantes panarios son el carbonato cálcico y el fosfato monocálcico (Cauvain *et* Young, 1998).

### **Carbonato de calcio**

Este aditivo se utiliza como antiapelmazante de los ingredientes. Ayuda a dar flexibilidad al pan y a la bollería en general, manteniéndolos tiernos durante más tiempo. También favorece el efecto de esponjamiento de las masas y proporciona color a las cortezas.

### **Fosfato monocálcico**

Es un principio activo que se incluye en los mejorantes para atenuar los efectos de la degradación proteolítica en harinas. Este hecho daña las características reológicas de la harina, (desciende su fuerza, su capacidad de retener gas, dará lugar a masas pegajosas y húmedas, panes con poco volumen y aplanados, etc).

#### **2.5.2.5.6 Mejorantes con valor nutritivo**

### **Harina de Soya**

Es una harina con un alto contenido en lecitina que le proporciona un efecto emulsionante. Se adiciona como mejorante panario en pequeñas cantidades entorno al 0.3% a la harina. Esta dosis al ser tan pequeña prácticamente no afecta al valor nutritivo. Si incrementa ligeramente el contenido en grasa, ayudando a la emulsión y blanqueando sensiblemente la masa ya que elimina gracias a determinadas enzimas algunos  $\beta$ -carotenos (Cauvain *et* Young, 1998).

### **Harina de Malta**

Procede de la molturación del grano germinado de la cebada y su concentración en  $\alpha$ -amilasas es elevado. Antiguamente se utilizaba mucho esta harina como mejorante porque se sabía que favorecía el desarrollo de las masas, aunque se desconocía el porqué de este efecto. Actualmente los fabricantes de mejorantes utilizan más la enzima propiamente dicha, ya que la calidad y el efecto de las enzimas de la harina de malta son muy variables y hay que tener un control muy estricto (<http://www.cetece.org/pags/documentacion/aditivos/mejorates.htm>, Septiembre, 2006).

La harina a veces se usa tostada, eliminando su función amilásica pero con un efecto muy positivo sobre el sabor del pan y el color de la miga. Generalmente este tipo de harina de malta se utiliza sobre todo en la elaboración de panes especiales.

### **2.5.3 Proceso de panificación**

El pan se obtiene por muchos procedimientos diferentes. El proceso aplicado particularmente depende de varios factores, entre ellos la tradición, la calidad, el costo y tipo de energía disponible, el tipo de pan deseado y el tiempo que se ha de transcurrir entre la cocción y el consumo (Morales, 1999).

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

La elección y preparación de las materias primas supone (Callejo, 2002):

- Un examen de su calidad (en el caso de la harina es imprescindible el conocimiento de sus parámetros alveográficos).
- Una medida de la temperatura de los ingredientes (Harina, agua) y de local, la temperatura de la masa al finalizar el amasado deberá determinarse previamente y estará estrictamente controlado.
- Habrá que determinar la cantidad de cada uno de los ingredientes, respetando la formulación elegida.

La preparación de la harina abarca la recepción y almacenamiento, el cernido y el mezclado.

La preparación del agua permite el templado y dosificación del agua necesaria para la preparación de la masa. De este modo se mezclan cantidades de agua fría y agua caliente en proporciones tales que permitan obtener la cantidad precisa de agua a la temperatura óptima.

La preparación de la sal consiste en una disolución y una filtración. La salmuera preparada asegura una distribución regular de la sal en la masa.

La preparación de la levadura supone la elaboración de una suspensión en agua de la misma y, dado el caso, la activación en una solución nutritiva de cultivo. La suspensión facilita la dosificación y la distribución precisa de las células de levadura en la masa (Callejo, 2002).

### **Amasado**

La primera fase de elaboración consiste en mezclar el agua y la harina y los demás ingredientes previstos, que varían según el tipo de pan que se quiera obtener (Callejo, 2002; Quaglia, 1991).

El amasado asegura la mezcla de los componentes, para formar una pasta llamada masa, hasta que tenga las mejores propiedades reológicas. La intensidad, la duración de la operación, así como el tipo de amasadora, determinará en parte la calidad de la masa. Con ello se entremezclan e interaccionan la harina, el agua, la levadura y la sal, desencadenándose microprocesos de naturaleza física, química, bioquímica, microbiológica y químico-coloidal, necesarios para el proceso de formación de masa (Quaglia, 1991).

El objetivo de la preparación de la masa junto con el mezclado de los componentes mediante el amasado de la mezcla es la consecución de una determinada estructura de la masa, de una determinada actividad fermentativa de las levaduras y bacterias, de un esponjamiento por formación de gas y de una formación de sustancias aromáticas, así como de un determinado estado autocatalítico de los complejos proteínas-proteasas y carbohidratos-amilasas para la preparación de los componentes reactivos durante el proceso del horneado. Los procesos de preparación de la masa deben darse con unas condiciones apropiadas de temperatura, concentración de nutrientes, humedad, concentración de microorganismos y tiempo de reposo para asegurar las condiciones ambientales vitales para los microorganismos, de modo que puedan darse los procesos metabólicos y de multiplicación necesarios (Callejo, 2002; Quaglia, 1991). Durante el amasado:

- La harina absorbe agua (la cantidad de agua absorbida depende de la granulometría, y contenido de proteínas, la humedad inicial de la harina, la humedad relativa del ambiente y la consistencia de la masa).
- Las proteínas (gliadina, glutenina) se combinan entre sí, desarrollándose la red de gluten.
- El almidón absorbe agua, hinchándose.
- Otros fenómenos, tales como los procesos oxido-reductores propicia la formación de puentes disulfuro que propician la combinación de las proteínas.

### **Métodos de producción de la masa**

**1.- Amasado mecánico clásico:** Se basa de un tratamiento mecánico moderado que permite formar lentamente la masa sin recalentamiento importante, lo que exige la adición de agua atemperada para conseguir una temperatura al final del amasado, de 25° C en la masa (Callejo, 2002; Guinet *et* Godon, 1996).

**2.- Amasado intensivo:** La evolución de las máquinas amasadoras hacia máquinas con altas velocidades, reduce notablemente el tipo de amasado y suprime el periodo de reposo intermedio. Todo ello va acompañado de la acentuación de los fenómenos oxidantes, que conducen a la reasociación de las proteínas para desarrollar la red de gluten y se ve favorecido por el empleo de ácido ascórbico. Por ello, las masas resultan más elásticas y más blancas (Callejo, 2002; Guinet *et* Godon, 1996).

La amasadora generalmente posee dos velocidades, aunque consigue un buen desarrollo de volumen y una miga más blanca, el amasado intensivo conduce a la formación de panes mas sosos (menor desarrollo de aromas porque, además, suele acompañarse de periodos de fermentación más cortos, con dosis mayores de elevadores).

**3.- Amasadoras de alta velocidad:** Llegan a reducir el tiempo de amasado hasta valores de 1 min 30 seg a 5 min con velocidades que van desde 400 a 1500 rpm.

En cualquier caso, es muy importante determinar el tiempo óptimo de amasado que dependerá, no solo del tipo de máquina amasadora, sino también de las características de la harina empleada (el tiempo de amasado es directamente proporcional a la fuerza de la harina) y de la consistencia de la masa (para la masa blanda de duración es mayor porque opone una menor resistencia al amasado) (Guinet *et* Godon, 1996).

#### **Métodos de elaboración de masas**

- a) **Método polish o de la “esponja”:** Se desarrolla en Polonia, consiste en preparar un previo cultivo o “esponja” unas horas antes del comienzo del amasado. La esponja se prepara con una cantidad de harina de entre 1/3 a las 4/5 partes del total que se va a usar durante el amasado, toda la levadura y la cantidad de agua suficiente como para conseguir el desarrollo de la masa. En el momento del amasado, se incorporan a la amasadora el resto de la harina, el resto del agua y la sal junto con las esponjas (Guinet *et* Godon, 1996).
- b) **Método directo:** El empleo de levadura industrial, añadida directamente a la amasadora en el momento de comienzo del amasado.

#### **Boleado o heñado**

La división es una operación mecánica, bastante “agresiva”, acarrea una pérdida de flexibilidad de la masa, e incluso la degradación de la estructura formada durante el amasado (la masa presenta un aspecto desgarrado y es pegajosa al tacto). El boleado persigue la formación aproximadamente esférica de las piezas, consiguiendo un exterior liso y “seco” en los pastones, que facilita su manejo en las operaciones siguientes (Callejo, 2002).

### **Reposo o prefermentación**

El reposo corresponde a un periodo de descanso entre el boleado y el formado y asegura una recuperación de la flexibilidad necesaria para un buen manejo de la masa. El reposo se efectúa en cámaras de prefermentación (Callejo, 2002).

### **Formado**

El principal objetivo de esta operación es dar forma concreta y definitiva al pan. El formado se desarrolla en tres etapas (Callejo, 2002):

- 1) **Laminado:** Para producir una estructura uniforme, la masa se lamina haciendo pasar la bola entre dos rodillos que, girando en sentido opuesto, aplastan la masa en forma de galleta. Solo los grandes alvéolos son eliminados en esta fase. Para evitarse el desgarro de la pieza los rodillos deben abrirse o cerrarse, dependiendo del tamaño o volumen de la pieza.
- 2) **Enrollado:** Consiste en plegar la masa laminada en forma de capas para preparar la estructura del pan. La masa, previamente laminada en los rodillos, cae a una cinta que avanza muy lentamente. La rápida velocidad con la que está alimentada provoca un movimiento de enrollado.
- 3) **Alargamiento:** La masa enrollada pasa por entre dos tapices que dan vuelta en sentido inverso, lo que provoca su alargamiento, asegurando así la longitud deseada de la barra.

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

### **Fermentación**

La fermentación final corresponde al periodo que transcurre desde que se forma la pieza definitiva hasta el momento que entra en el horno, durante el cual el pan se

desarrolla hasta alcanzar el volumen considerado, óptimo por el panadero. Su duración es variable y depende mucho de la manera en que la masa siga amasada, pero también de la temperatura de la masa y de la del ambiente, así como de la humedad, tanto antes de esta fase como después. La temperatura por encima de 28° C en la cámara de fermentación debe usarse solo en fermentaciones cortas. Los periodos largos de fermentación, suelen ir acompañados de temperaturas mas bajas: 23-25° C (Callejo, 2002; Guinet *et* Godon, 1996)

En cuanto a la humedad, es conveniente que la superficie de la pieza evapore una pequeña cantidad de agua con objeto de que se forme una finísima película mas “seca” sobre la superficie de la misma, para mejorar su manejabilidad de al posterior horneado. La humedad del ambiente influye en la actividad de las levaduras, siendo el índice óptimo de humedad entre 80 y 85%.

Las condiciones óptimas de la fermentación alcohólica de la masa panaria se establece a un pH próximo a 5. A un pH igual a 6, la fermentación tiene lugar produciendo una cantidad excesiva de glicerina y ácido acético además de etanol y CO<sub>2</sub>.

La fermentación intermedia (duración de 3 a 6 minutos) de las piezas moldeadas proporciona una relajación de la tensión, previa a la forma final. La forma final en los panes de trigo se alcanza tras el moldeado y la fermentación intermedia.

### **Corte**

El objetivo del corte es conseguir, a través de unas incisiones longitudinales a lo largo de la pieza, unas zonas que, puestas en el horno, se van a endurecer más tarde que el resto de la superficie de la pieza, permitiendo así el empuje del CO<sub>2</sub> durante los primeros instantes de la cocción, durante el último impulso que sufre la barra, permite la obtención de panes mas voluminosos y uniformes, con un menor contenido de humedad en el interior (Callejo, 2002; Guinet *et* Godon, 1996).

### **Cocción**

La cocción es la última fase en el proceso de panificación. La temperatura y duración de la cocción varía según el tamaño y el tipo de pan. La temperatura oscila entre 220° y 260° C en una atmósfera de vapor y el tiempo puede variar desde 13-18 minutos para panes de 200 g a 45-50 minutos para panes grandes de 2000 gramos. En cualquier caso, en el interior de la pieza no superan jamás los 98° C. el pan pierde, como término medio, un 20% de su peso en masa y en los primeros minutos que transcurren una vez sacado el pan del horno, vuelve a registrarse una pérdida de peso de mas o menos el 3% sobre su peso en masa.

El calentamiento en el horno rápido da lugar a la formación de una costra impermeable que retiene la humedad y la grasa e impide la degradación de diversos nutrientes y componentes aromáticos. Se forma, como consecuencia de ello un acusado gradiente de presión de vapor entre el interior ( $a_w$  elevada) y la superficie del alimento ( $a_w$  baja). El vapor introducido al principio de la cocción se condensa sobre la superficie del producto, limitando la deshidratación de la capa superficial de la masa, así permanece elástica mas tiempo, permitiendo mejor el empuje del  $CO_2$  en los primeros instantes de la cocción, el vapor provoca grandes turbulencias que facilita la transferencia del calor al producto (Callejo, 2002; Quaglia, 1991).

Las condiciones drásticas de calentamiento en las capas superficiales provocan reacciones de Maillard entre los azúcares y los aminoácidos. Así mismo, la elevada temperatura y el bajo contenido del agua de las capas superficiales provoca la caramelización de los azúcares y la oxidación de los ácidos grasos a aldehídos, lactosas, cetonas, alcoholes y ésteres. Las reacciones de Maillard y las reacciones de Strecker dan lugar a diferentes sustancias aromáticas, derivadas de la combinación de los aminoácidos libres con los azúcares presentes. Cada aminoácido desarrolla, cuando se calienta con un azúcar determinado, un aroma característico (Callejo, 2002).

### **III. OBJETIVOS**

---

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar un producto de panificación con diferentes variedades de harina de cebada evaluando sus propiedades fisicoquímicas y reológicas.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener harinas mediante el proceso de molienda y descascarillado de las variedades de cebada.
- Evaluar la composición de los macroconstituyentes de las harinas de cebada así como también su calidad física.
- Evaluar las propiedades físicas de las masas hechas con diferentes mezclas de harina de cebada y trigo haciendo uso de aditivos para panificación.
- Evaluar las propiedades reológicas de las masas, elaborar un producto de panificación y seleccionar los panes obtenidos de las mezclas de harinas basándonos en sus propiedades físicas.
- Realizar un análisis sensorial para conocer el nivel de aceptación de los productos obtenidos.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

---

### 4.1 MATERIA PRIMA

Para la realización del presente trabajo se utilizaron como muestras de estudio seis variedades de cebada (*Hordeum sativum* jess) las cuales fueron producidas en distintas regiones del estado de Hidalgo, así como harina de trigo comercial adquirida en la central de abastos, Pachuca. Las muestras se codificaron para facilitar su identificación como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.** Variedades de cebada utilizadas en la presente investigación.

| <b>VARIEDAD</b>           | <b>CLAVE</b> | <b>REGION</b>      | <b>AÑO DE COSECHA</b> |
|---------------------------|--------------|--------------------|-----------------------|
| <b>Adabella</b>           | <b>AD</b>    | Apan               | 2005                  |
| <b>Pastor Ortiz</b>       | <b>PO</b>    | Apan               | 2005                  |
| <b>Esmeralda Apan</b>     | <b>EA</b>    | Apan               | 2005                  |
| <b>Esperanza</b>          | <b>ES</b>    | Palma Gorda        | 2004                  |
| <b>Esmeralda 1</b>        | <b>E1</b>    | Apan               | 2003                  |
| <b>Esmeralda Zapotlán</b> | <b>EZ</b>    | Zapotlán de Juárez | 2005                  |

### 4.2 MÉTODOS

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

#### 4.2.1 Muestreo

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

La limpieza 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 para proceder a su acondicionamiento, descascarillado y molienda.

#### **4.2.2 Descascarillado y molienda del grano**

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, acondicionada a un 17% 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 17% en 100 g de materia seca fue:

$$X = \left( \frac{HfMs}{Dh} \right) - Hi$$

Donde:

Hf = Humedad requerida (%)

Ms = Materia seca (g)

Dh = Diferencia de humedad (%)

Hi = Humedad inicial (%)

X = Cantidad de agua (ml)

Se tomó como muestra 1 Kg de grano de cebada de cada variedad, se acondicionó a 17% de humedad y 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), el cual estaba en circulación constante además de pasar el grano por una fase de trituración y dos fases de compresión para obtener un mayor rendimiento de harina.

### **4.2.3 Análisis proximal de las harinas**

#### **4.2.3.1 Humedad**

Esta prueba se basa en la medición total 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 calentada en una estufa (Imperial V, Lab-line) a  $105^{\circ} \text{C} \pm 3^{\circ} \text{C}$  por 4 horas. El cálculo se realizó por diferencia de peso.

#### **4.2.3.2 Cenizas**

El material mineral se cuantificó incinerando la muestra hasta la obtención de un residuo inorgánico correspondiente a la fracción de las cenizas de la muestra. Se determinó de acuerdo al método 923.03 de la AOAC (1990).

#### **4.2.3.3 Grasas**

Para ésta determinación se utilizaron 3 g de muestra seca y éter de petróleo anhidro como solvente, basándose en el procedimiento Soxhlet 920.39 de la AOAC (1990). El periodo de extracción fue de 6 horas.

#### **4.2.3.4 Proteínas**

Se empleó el método Kjeldahl 46.10 de la AACC (2001). La muestra de 0.5 g con 5 g de sulfato de potasio y 0.3 g de sulfato de cobre se sometió a una digestión con 20 mL de ácido sulfúrico concentrado en un digestor (Kjeldahl 80 ESEVE, México). Ésta reacción convirtió el nitrógeno orgánico e inorgánico en nitrógeno amoniacal. Después de 4 horas de digestión, cuando las muestras presentaron un color transparente, se adicionaron aproximadamente 50 mL de agua destilada a cada muestra para evitar que el sulfato de cobre precipitara. La destilación se llevó a cabo en un destilador (Labconco RapidStill, USA) utilizando NaOH al 60% para que el amoniaco se liberara. Se utilizaron 20 mL de ácido bórico al 4% para recibir el destilado. Posteriormente se tituló con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 N que en forma indirecta es proporcional al contenido de nitrógeno. El factor de conversión utilizado fue 5.83 para obtener el contenido proteico (Callejo, 2002).

#### **4.2.3.5 Fibra dietética total**

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

#### **4.2.3.6 Carbohidratos**

Se obtuvo por diferencia de porcentajes de todos los constituyentes en materia seca respecto al cien por ciento.

#### **4.2.4 Caracterización y calidad física de las harinas de cebada**

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

Se determinó pesando 100 g de harina, adicionando agua de forma gradual, realizando un amasado manual y suave hasta obtener una masa viscoelástica. La cantidad de agua adicionada se registra como la capacidad de absorción de agua de la harina (Anderson *et al*, 1969).

##### **4.2.4.2 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 ± 3° C hasta peso constante y luego se pesó.

La capacidad de hidratación se calculó mediante la relación del peso del residuo de centrifugación y el peso seco de la muestra en cada temperatura probada.

#### **4.2.4.3 Índice de retención de agua alcalina (IRAA)**

Para ésta determinación se utilizó el método 56-10 de la AACC (2001). Se pesaron 0.95 g de muestra de humedad conocida y se colocó en un tubo para centrifuga puesto previamente a peso constante, al cual se le adicionaron 5 mL de una solución de NaHCO<sub>3</sub> 0.1 N. Se agitó vigorosamente y se dejó en reposo durante 20 min. Transcurrido ese tiempo, se volvió a agitar en periodos de 5, 10, 15 y 20 min, posteriormente se centrifugó a 1000 x g por 15 min. El sobrenadante se decantó y la humedad se limpió con papel filtro. El tubo se volteo a un ángulo de 90° por 5 minutos para eliminar los restos de humedad y posteriormente se pesó.

La Índice de retención de agua alcalina se calculó con la fórmula siguiente:

$$\% \text{IRAA} = \left( \frac{P_{tm} - P_t}{M} \right) \left( \frac{86}{100 - H} \right) - (1 * 100)$$

Donde:

P<sub>tm</sub> = Peso del tubo con la muestra

P<sub>t</sub> = Peso del tubo

M = Peso de la muestra

H = Humedad de la muestra

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

Se utilizó la metodología descrita por Anderson *et al*, 1969. Una porción de 1.5 g de cada muestra se agregó en 10 mL de agua destilada en un tubo de propileno a peso constante. La suspensión se homogenizó con una varilla de vidrio por 1 min a 25 °C y se centrifugó a 3000 x g por 10 minutos. El sobrenadante se separó y se

colocó en crisoles previamente tarados. El IAA se calculó a partir del peso del precipitado y se expresó como g gel/g sólidos. El ISA, expresado como g sólidos/g sólidos originales, se calculó a partir del peso de los sólidos secos recobrados al evaporar el sobrenadante a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en una estufa (Imperial V, Lab-line) durante 24 horas.

#### **4.2.4.5 Tamaño de partícula**

Se secaron previamente las muestras en una estufa (Imperial V, Lab-line) a una temperatura de  $45^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 3 días, para esta determinación se utilizaron 100 g de muestra de cada variedad. El estudio fue realizado en un analizador de Partículas Mastersizer 2000 con una precisión de  $\pm 1\%$  en el Dv50 utilizando el Estándar de Auditoría de Calidad Malvern, en donde se utilizó como medio de transporte el aire.

#### **4.2.4.6 Determinación de color**

Para esta prueba se utilizaron 20 g de harina de cebada de cada una de las variedades en estudio y como testigo la harina de trigo. La determinación del color se efectuó con un espectrofotómetro (Minolta CM-508d, USA), cuyo principio se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores rojo, azul, amarillo y verde. El método se basa en la determinación por reflexión de la luz, de tres parámetros; "L", que mide el grado de luminosidad y varía de 100 para el blanco perfecto a 0 para el negro; "a" y "b", son indicativos de la cromaticidad, los valores positivos de "a" están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro "b", están asociados con el color amarillo y los negativos con el azul. Las mediciones de las muestras se hicieron por triplicado, se utilizó como referencia una teja blanca, que se usa para la calibración del equipo.

#### 4.2.5 Análisis reológicos

Para ésta prueba se utilizaron masas de harina de trigo (HT) con harina de cebada (HC) a diferentes proporciones para cada una de las variedades como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5.** Códigos utilizados para identificar cada una de las variedades de harina de cebada a sus diferentes proporciones con harina de trigo.

| <b>PORCENTAJE</b> | <b>CÓDIGO</b>              |
|-------------------|----------------------------|
| 100 % HC          | E1100, EA100, ES100, PO100 |
| 70% HC con 30% HT | E170, EA70, ES70, PO70     |
| 50% HC con 50% HT | E150, EA50, ES50, PO50     |
| 40% HC con 60% HT | E140, EA40, ES40, PO40     |
| 20% HC con 80% HT | E120, EA20, ES20 ,PO20     |
| 100%HT            | Testigo                    |

Las muestras se prepararon con las diversas variaciones de harina de cebada y trigo siguiendo la fórmula que se muestra en la tabla 6. El amasado se realizó en una batidora de pedestal *GE* con el accesorio gancho. Una vez pesados los ingredientes se utilizó la mezcla de los secos y posteriormente se inició el amasado incorporando la mantequilla y posteriormente la leche y el agua hasta obtener una masa elástica y suave.

**Tabla 6.** Formulación de la masa

| <b>INGREDIENTES</b> | <b>CANTIDAD</b> |
|---------------------|-----------------|
| Harina              | 100 g           |
| Sal                 | 0.75 g          |
| Mantequilla         | 4.28 g          |
| Azúcar              | 0.75 g          |
| Levadura            | 3.7 g           |
| Leche               | 21.4 ml         |
| Agua                | 42.8 ml         |
| Aditivo             | 1 g             |

El almacenamiento de las muestras se realizó en bolsas de polietileno herméticamente cerradas y se mantuvieron a una temperatura de 5 °C durante 24 horas.

#### **4.2.5.1 Análisis de Perfil de Textura (APT)**

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

- Sonda cilíndrica de acrílico de 2 plg (5.08 cm) de diámetro.
- Vaso contenedor para masa.

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

#### **4.2.6 Caracterización física de las masas**

##### **4.2.6.1 Microscopía electrónica de barrido (MEB)**

Cada una de las masas se secaron en una estufa (Imperial V, Lab-line) a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 3 días. Las muestras se recubrieron con oro (Au) en un electro-depositador (Denton Vacuum Desk II) y se observaron en un microscopio electrónico de barrido (MEB, JOEL, JSM-6-300) utilizando un flujo de electrones de 20 KV y 15 mm, las muestras fueron observadas a amplitudes de 100x, 500x, 1000x y 2000x.

##### **4.2.7 Proceso de panificación**

Los ingredientes se depositaron en el tazón de la batidora de pedestal (GE), se mezclaron para formar una masa homogénea de consistencia suave y elástica; esto se logró con el aditamento de la batidora llamado “gancho”. El aditivo (Magimix 40, Safmex) se adicionó al 1% sobre el peso de la harina. Después del mezclado, la masa se sometió a fermentación; la duración de ésta etapa fluctuó entre 30 y 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 30 minutos. Una vez que se alcanzó el volumen necesario, se procedió al horneado, el cual fue de a  $200^{\circ}\text{C}$  de 20 a 35 minutos. Finalmente el pan recién salido del horno (Self Cooking Center Rational, SCC61, Alemania) se dejó enfriar a temperatura ambiente.

##### **4.2.8 Evaluación del pan**

###### **4.2.8.1 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).

#### **4.2.8.2 Evaluación de la impronta**

Para evaluar las características internas, se cortó una rebanada transversal, la del centro, que fue la de mayor altura, con un cuchillo eléctrico para obtener un corte muy limpio. Se impregnó de tinta para sellos y se coloca la rebanada en una hoja de papel blanco. A través de ésta prueba se evalúa la textura mediante una escala, que muestra también las calificaciones correspondientes al color de una miga (tabla 7).

**Tabla 7.** Escala hedónica para evaluar la textura y color de la miga

| <b>TEXTURA DE LA MIGA</b>  | <b>COLOR DE LA MIGA</b> |
|--|-------------------------|
| <b>10 Exelente.</b> Celdas pequeñas y uniformes                                | 10 Blanco               |
| <b>9 Muy buena</b> Presencia de algunas celdas grandes                         | 9 Acremado              |
| <b>8 Buena</b> Presencia de muchas celdas grandes                              | 8 Amarillo crema        |
| <b>7 Regular</b> Celdas grandes y chicas con distribución no uniforme          | 7 Amarillo              |
| <b>6 Pobre</b> Celdas grandes con desgarraduras                                | 6 Café                  |
| <b>5 Mala</b> Celdas grandes con desgarraduras y compactación en algunas zonas | 5 Café oscuro           |

#### **4.2.8.3 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 de ancho de la misma. Para

ésta prueba se utilizó un vernier (Scala, China) para obtener un resultado con mayor precisión.

#### **4.2.8.4 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 enfriado el pan se procedió a pesarlo y finalmente la pérdida se calcula por diferencia.

#### **4.2.8.5 Análisis sensorial**

Se realizó una prueba afectiva de grado de satisfacción. Estas pruebas son intentos para manejar más objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuánto les gusta o les disgusta un alimento (Anzaldúa, 1982).

Para la realización de ésta prueba se utilizó una escala hedónica verbal de nueve puntos (tabla 8). Estas escalas son las que presentan a los jueces una descripción verbal de la sensación que les produce la muestra. Siempre deben incluir el punto central “ni me gusta, ni me disgusta”. A éste punto se le asignó la calificación de cero. A los puntos de la escala por encima de éste se le otorgaron valores positivos, indicando que las muestras son agradables; en cambio a los puntos por debajo del valor de indiferencia se les asignaron valores negativos, correspondiendo a calificaciones de disgusto.

**Tabla 8.** Escala hedónica verbal de nueve puntos.

| <b>ESCALA</b>              | <b>CALIFICACIÓN</b> |
|----------------------------|---------------------|
| Me gusta muchísimo         | 4                   |
| Me gusta mucho             | 3                   |
| Me gusta bastante          | 2                   |
| Me gusta ligeramente       | 1                   |
| Ni me gusta ni me disgusta | 0                   |
| Me disgusta ligeramente    | -1                  |
| Me disgusta bastante       | -2                  |
| Me disgusta mucho          | -3                  |
| Me disgusta muchísimo      | -4                  |

### **4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Las evaluaciones estadísticas de los resultados se realizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, donde las variables son cada una de las muestras, utilizando el software STATISTICA 6.0, trabajando con un 95% de confiabilidad (Spiegel, 1991)

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 RENDIMIENTO DE MOLIENDA

El rendimiento que se obtuvo de cada variedad fue a partir de 1 kg de grano de cebada a las condiciones que se mencionaron anteriormente. En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos del rendimiento de las seis variedades estudiadas.

**Tabla 9.** Rendimiento de molienda de las seis variedades de cebada (Desviación estándar).

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

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

En la primera columna se observa el porcentaje de granos de cebada obtenidos después de ser trillados, observándose que la variedad que presentó mayor porcentaje de impurezas fue la variedad Pastor Ortiz (PO). Esto nos indica claramente que durante su proceso de recolección no se tuvo un adecuado manejo, lo cual se ve directamente reflejado en su porcentaje de rendimiento que a su vez influirá notablemente en su precio de comercialización.

En México la comercialización de la cebada para consumo humano está regida por la norma NMX-FF-043-SCFI-2003. Los grados que establece la norma mexicana son: grado México y grado México no clasificado (López *et al*, 2005). El grado México establece que el límite de impurezas debe ser del 2%, esto nos indica que sólo dos de las variedades en estudio cumplen con el grado México. La

variedad que presentó bajo rendimiento fue PO, esto se debió a que una vez limpia se encontraron grandes cantidades de restos de flores, paja, tallos, hojas, semillas y piedras. Por otro lado la variedad más limpia fue E1 porque no presentó impurezas.

Aunque casi ninguna de las cebadas del presente estudio cumplió con el grado México, éstas fueron limpiadas y seleccionadas, debido a que no presentaron insectos vivos

En la segunda columna se muestran los porcentajes de cebada descascarillada. Es importante remarcar que el porcentaje expresado es con respecto al 100% de la cebada limpia. Esto involucra el tamaño del endospermo ya que a mayor tamaño de endospermo mayor será el rendimiento de la cebada perlada. En cuanto a éste parámetro se obtuvo un mayor rendimiento de cebada perlada en la variedad Esmeralda Zapotlán (EZ), en cuanto a Esmeralda Apan (EA) y Adabella (AD) no se observa una diferencia significativa. Respecto a la variedad PO su rendimiento fue menor lo cual indica que presenta un tamaño de grano pequeño el cual se traduce en que contiene menos endospermo, y por lo tanto presentará un contenido mayor de fibra.

Posteriormente se procedió a molturar en un molino de laboratorio (Chopin, Francia) y en las últimas columnas se presentan los porcentajes de molienda, siempre tomando en cuenta como 100% el porcentaje de cebada perlada como base. Respecto a productos de primera transformación, se observa que la mayoría de las cebadas posee endospermo vítreo debido a que durante el proceso de molturación permanecieron unidos dando por consecuencia una granulometría de partículas grandes.

Respecto al rendimiento de harina, las variedades que obtuvieron mayor porcentaje fueron EZ y E1, esto debido a que el tamaño del endospermo era mayor y por lo tanto, más harinoso que las otras variedades. Pese a esto todas las

variedades presentan un bajo grado de extracción ya que según Callejo, 2002 se considera a una harina de alta extracción aquella con un 65-70% de rendimiento. Esto se puede deber a la dureza que presenta cada una de las variedades, ya que entre más duro sea el grano se necesitará más fuerza para eliminar el salvado y germen, ya que para moler harina, el primer objetivo es eliminar el salvado y germen del endospermo. Esto se consigue en su mayor parte en el sistema de fragmentación del molino. Después de hacer la separación, el objetivo siguiente es reducir el endospermo a harina. En las primeras fragmentaciones, el endospermo se separa en trozos grandes y en las últimas, la acción es más como raspar el salvado, por lo que en el molino pudo haber quedado parte del grano que no se molió o que quedó adherido a los tamices del mismo.

## **5.2 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LAS HARINAS**

El análisis proximal se emplea en todo el mundo para hacer descripciones de los alimentos y conocer la composición química del mismo, además de conocer sus componentes químicos mayoritarios (Matissek *et al*, 1998).

En la tabla 10 se muestran los resultados de los principales análisis fisicoquímicos realizados a las harinas obtenidas con las distintas variedades de cebada utilizadas. La variedad que presentó un mayor porcentaje de humedad después del proceso de molienda fue la E1. Por otra parte las variedades que presentaron un menor contenido de humedad fueron EZ y ES además de que presentaron diferencia significativa con todas las demás variedades. Esto indica un menor contenido de humedad en el grano debido posiblemente al año de cosecha y al almacenamiento.

Posteriormente se determinaron los principales macroconstituyentes. Las muestras que presentaron menor porcentaje de proteínas fueron EZ y AD, por lo que se traduce en una harina de baja calidad, lo cual no es deseable para el

proceso de panificación. Con respecto al contenido de grasas se obtuvieron rangos de 1.75 a 0.83 %, estos resultados son muy similares a los reportados por Belitz *et Grosch*, 2000. Referente al contenido de cenizas la variedad que presentó mayor contenido fue PO con 1.17 %, lo cual indica que en esta harina el descascarillado no fue tan eficiente, debido principalmente al tamaño del endospermo. Con esto se deduce que a mayor porcentaje de cenizas, mayor serán los restos de cascarilla. En relación al contenido de fibra, la variedad más baja en este parámetro es EA. Éste contenido se redujo considerablemente debido al descascarillado del grano, lo cual influye también en el contenido de cenizas debido a que gran parte de la fibra se encuentra en las glumas o cascarilla del grano. Finalmente los carbohidratos son el mayor constituyente en las diferentes variedades estudiadas siendo EZ y PO con el mayor y menor contenido respectivamente.

**Tabla 10.** Composición fisicoquímica de las seis variedades de harina de cebada y trigo expresado en porcentaje en base seca (Desviación estándar).

| Análisis Fisicoquímico de la Harina de Cebada |                           |                           |                          |                          |                          |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Variedad                                      | % Humedad                 | %Proteína                 | % Grasa                  | % Ceniza                 | % Fibra                  | % CHO`s                   |
| E1  | 13.31 (0.08) <sup>a</sup> | 6.51 (0.03) <sup>d</sup>  | 0.92 (0.01) <sup>e</sup> | 0.96 (0.01) <sup>d</sup> | 4.08 (0.01) <sup>c</sup> | 74.13 (0.06) <sup>f</sup> |
| EZ  | 8.21 (0.02) <sup>f</sup>  | 4.97 (0.01) <sup>g</sup>  | 0.83 (0.01) <sup>g</sup> | 0.99 (0.00) <sup>c</sup> | 4.02 (0.01) <sup>d</sup> | 80.97 (0.01) <sup>b</sup> |
| ES  | 9.28 (0.05) <sup>e</sup>  | 8.54 (0.06) <sup>b</sup>  | 1.75 (0.01) <sup>a</sup> | 1.09 (0.01) <sup>b</sup> | 4.09 (0.01) <sup>c</sup> | 75.27 (0.11) <sup>d</sup> |
| AD  | 12.29 (0.05) <sup>b</sup> | 5.83 (0.02) <sup>f</sup>  | 0.90 (0.01) <sup>f</sup> | 1.10 (0.01) <sup>b</sup> | 4.13 (0.01) <sup>b</sup> | 75.75 (0.04) <sup>c</sup> |
| EA  | 12.33 (0.04) <sup>b</sup> | 6.79 (0.01) <sup>c</sup>  | 0.98 (0.00) <sup>c</sup> | 1.10 (0.01) <sup>b</sup> | 3.70 (0.01) <sup>e</sup> | 75.11 (0.04) <sup>e</sup> |
| PO  | 12.75 (0.03) <sup>c</sup> | 6.39 (0.01) <sup>e</sup>  | 0.96 (0.01) <sup>d</sup> | 1.17 (0.01) <sup>a</sup> | 4.43 (0.00) <sup>a</sup> | 72.93 (0.09) <sup>g</sup> |
| Trigo   | 11.58 (0.07) <sup>d</sup> | 11.82 (0.04) <sup>a</sup> | 1.15 (0.01) <sup>b</sup> | 0.67 (0.01) <sup>e</sup> | 0.97 (0.00) <sup>f</sup> | 85.39 (0.03) <sup>a</sup> |

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

Las harinas que presentaron un mayor contenido de proteína fueron E1, ES, EA y PO. Por lo cual es factible su uso en panificación debido a que fueron las variedades que presentaron el mayor contenido de proteína de todas las variedades estudiadas, ya que al usarlas en mezclas con harina de trigo éstas pueden brindar masas más viscoelásticas. Las variedades que presentaron valores altos contenido en carbohidratos son ideales para la fabricación de almidones modificados que pueden ser utilizados en sopas o aderezos.

**5.2.1 Análisis proximal de las mezclas**

Haciendo un comparativo en cuanto a la composición del grano de cebada (Serna, 2001, Dendy *et* Dobraczyk, 2003) con respecto a la harina de cebada se observaron cambios de composición a consecuencia de la molturación, ya que el salvado y el germen tienen composición química muy diferente a la del endospermo, y por lo tanto, diferente de las harinas resultantes, debido a que la harina proviene principalmente del endospermo.

**Tabla 11.** Composición química de las mezclas en estudio expresada en porcentaje en base seca de cada variedad de harina de cebada.

| <b>Muestra</b> | <b>Humedad</b> | <b>Proteína</b> | <b>Grasas</b> | <b>Cenizas</b> | <b>Fibra</b> | <b>Carbohidratos</b> |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|--------------|----------------------|
| <b>E120</b>    | 11.95          | 10.76           | 1.10          | 0.73           | 1.59         | 73.87                |
| <b>E140</b>    | 12.32          | 9.70            | 1.06          | 0.79           | 2.22         | 73.93                |
| <b>E150</b>    | 12.51          | 9.17            | 1.03          | 0.82           | 2.53         | 73.95                |
| <b>E170</b>    | 12.88          | 8.11            | 0.99          | 0.87           | 3.15         | 74.01                |
| <b>E1100</b>   | 13.43          | 6.51            | 0.92          | 0.96           | 4.08         | 74.11                |
| <b>ES20</b>    | 11.12          | 11.16           | 1.25          | 0.75           | 1.59         | 74.12                |
| <b>ES40</b>    | 10.66          | 10.51           | 1.35          | 0.84           | 2.22         | 74.43                |
| <b>ES50</b>    | 10.43          | 10.18           | 1.40          | 0.88           | 2.53         | 74.58                |
| <b>ES70</b>    | 9.97           | 9.52            | 1.50          | 0.97           | 3.15         | 74.89                |
| <b>ES100</b>   | 9.28           | 8.54            | 1.65          | 1.09           | 4.09         | 75.35                |
| <b>EA20</b>    | 11.74          | 10.81           | 1.12          | 0.76           | 1.52         | 74.05                |
| <b>EA40</b>    | 11.90          | 9.81            | 1.09          | 0.84           | 2.06         | 74.30                |
| <b>EA50</b>    | 11.98          | 9.30            | 1.08          | 0.89           | 2.34         | 74.42                |
| <b>EA70</b>    | 12.14          | 8.29            | 1.05          | 0.97           | 2.88         | 74.67                |
| <b>EA100</b>   | 12.37          | 6.78            | 1.00          | 1.10           | 3.70         | 75.04                |
| <b>PO20</b>    | 11.74          | 11.01           | 1.12          | 0.77           | 1.66         | 73.71                |
| <b>PO40</b>    | 11.90          | 10.20           | 1.08          | 0.87           | 2.35         | 73.60                |
| <b>PO50</b>    | 11.98          | 9.79            | 1.06          | 0.92           | 2.70         | 73.55                |
| <b>PO70</b>    | 12.14          | 8.98            | 1.03          | 1.02           | 3.39         | 73.44                |
| <b>PO100</b>   | 12.71          | 7.76            | 0.98          | 1.17           | 4.43         | 72.95                |

Una vez obtenido el análisis proximal de cada una de las harinas de cebada se procedió a hacer las mezclas de harina de cebada con harina de trigo de acuerdo a los porcentajes establecidos en la tabla 5, posteriormente se calculó la composición proximal de cada una de las mezclas. Con respecto a la composición química de las mezclas se observó que aumentó el contenido de proteína y disminuyó el contenido de carbohidratos en cada una de las variedades de cebada

al adicionar menos cantidad de harina de cebada. Sin embargo las mezclas que contienen mayor contenido de proteína son las que pueden formar una adecuada masa de panificación, debido a las propiedades del gluten. También se muestra que con menos cantidad de harina de cebada se disminuye el contenido de cenizas, fibra y humedad, y por consecuencia se obtienen mezclas de harinas más finas.

### **5.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS HARINAS**

#### **5.3.1. Calidad física de las harinas**

Se calculó el porcentaje de CAAS en las harinas de cebada. Según Serna, 2001, la rápida absorción de agua está directamente relacionada al endospermo suave, mientras que si el grano tiene un endospermo duro, la absorción de agua será más lenta. En éste caso se observó que la variedad que tuvo mayor porcentaje de CAAS fue la ES, en tanto que las que tuvieron un menor porcentaje de CAAS fueron las variedades EA y E1, debido al tamaño de partícula, la humedad de la muestra, el grado de gelatinización y el porcentaje de almidón dañado (Gaytan *et al*, 2000).

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

Los valores obtenidos en la CAAS algunas veces van a depender de las características de las harinas como humedad inicial, la temperatura, cantidad de proteínas y el porcentaje de almidón dañado en la molienda (Guzmán, 2005). Lo anterior provoca un aumento en su capacidad de retención de agua, también puede influir la rapidez de absorción de cada variedad con el amasado, las

características del grano y el tamaño de partícula debido a que las partículas de harina se hidratan rápidamente cuando el tamaño de partículas es pequeño.

**Tabla 12.** Análisis de calidad física realizados a las harinas de las cuatro variedades de cebada (Desviación estándar).

| VARIEDAD (HARINA) | %CAAS                      | IAA (G GEL/G SÓLIDOS)    | ISA (G SÓLIDOS/G SÓLIDOS ORIGINALES) | %CH 60 °C                | %CH 70 °C                | %CH 80°C                  | %IRAA                    |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| EA                | 79.98 (0.01) <sup>c</sup>  | 2.72 (0.02) <sup>c</sup> | 0.06 (0.00) <sup>a</sup>             | 4.62 (0.19) <sup>c</sup> | 5.29 (0.20) <sup>c</sup> | 7.34 (0.15) <sup>a</sup>  | 1.70 (0.03) <sup>c</sup> |
| E1                | 79.99 (0.10) <sup>c</sup>  | 2.73 (0.01) <sup>c</sup> | 0.05 (0.00) <sup>b</sup>             | 4.71 (0.12) <sup>c</sup> | 5.48 (0.21) <sup>c</sup> | 7.07 (0.24) <sup>ab</sup> | 1.89 (0.00) <sup>b</sup> |
| PO                | 91.97 (0.00) <sup>b</sup>  | 3.49 (0.21) <sup>b</sup> | 0.06 (0.01) <sup>ab</sup>            | 5.20 (0.09) <sup>b</sup> | 5.92 (0.11) <sup>b</sup> | 6.65 (0.20) <sup>c</sup>  | 2.33 (0.19) <sup>a</sup> |
| ES                | 119.98 (0.00) <sup>a</sup> | 4.14 (0.10) <sup>a</sup> | 0.06 (0.00) <sup>a</sup>             | 6.24 (0.37) <sup>a</sup> | 6.40 (0.10) <sup>a</sup> | 7.05 (0.26) <sup>ab</sup> | 2.33 (0.00) <sup>a</sup> |

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

**CAAS** = Capacidad de Absorción de Agua Subjetiva

**IAA** = Índice de Absorción en Agua

**ISA** = Índice de Solubilidad en Agua

**CH** = Capacidad de Hidratación

**IRAA** = Índice de Retención de Agua Alcalina

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

El ISA y el IAA, indican el peso de sólidos secos y el peso del precipitado respectivamente. Con este análisis se determinó cual de las harinas absorbió más agua según su contenido, la calidad de su proteína y el porcentaje de fibra que contengan. Este factor evalúa la calidad de la harina en cuanto a la pérdida de sólidos en el agua.

Con respecto al IAA la variedad que tuvo un valor mayor fue la harina elaborada con la variedad ES, lo cual influye directamente en la humedad, como se observa

en la tabla 10, obtuvo un contenido de humedad muy bajo. En las variedades E1 y EA no se observan diferencias significativas respecto al valor de IAA. El aumento de IAA en harinas podría estar relacionado con la presencia de almidón dañado.

En la tercera columna se observan los resultados del ISA en el cual no hay diferencias significativas entre las cuatro variedades elegidas para su estudio. El ISA está asociado con la presencia de moléculas de almidón solubles, lo cual se relaciona con la dextrinización (Colonna *et al*, 1983). Este comportamiento puede ser causado por la degradación de almidón, debido a la presión de corte sobre éste durante la molturación.

Respecto al parámetro CH en las tres temperaturas se observa que para una misma harina se presentan diferencias significativas entre temperaturas, pues el grado de gelatinización se relaciona positivamente con la cantidad de agua que hidrata a los gránulos de almidón (Gómez *et al*, 1991). Se observa que estos valores aumentan y son directamente proporcionales al aumento de temperatura.

En la última columna se observan los resultados obtenidos en el %IRAA, éste es un parámetro en el cual también se evalúa la tolerancia de la harina al agregar sal durante la incorporación de ingredientes en el amasado. Se observa que los valores mas altos los tuvieron las variedades de harina PO y ES no habiendo diferencias significativas entre dichas variedades. Las variedades que presentaron valores menores fueron E1 y EA lo cual indica la poca retención de agua de esas variedades de harina en una solución alcalina. Dichas harinas pueden ser aptas para la industria galletera debido a los resultados antes descritos.

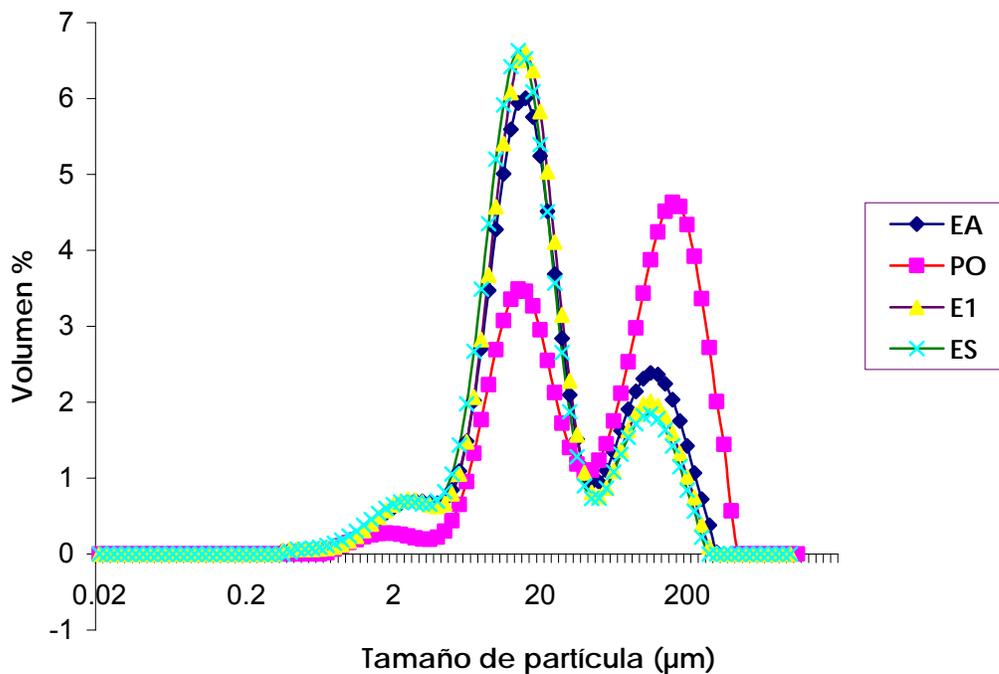
### **5.3.2 Tamaño de partícula**

En la figura 2 se aprecia el promedio del tamaño de partícula de las harinas de cebada, en la cual se observa diferencia en la variedad PO y EA. Esto debido a que son dos tipos de harina, con la misma granulometría pero con distinto porcentaje de volumen. También se observó que todas las variedades presentan

tres picos, lo que indica que existen diferentes tamaños de partícula entre las harinas de cebada.

Se puede observar que las variedades que no presentan diferencias significativas entre ellas son E1 y ES en cuanto al primer pico, es decir que tienen un tamaño de partícula de 5.93  $\mu\text{m}$  y 5.79  $\mu\text{m}$  respectivamente. En cuanto al segundo pico presentan diferencias significativas entre sus valores, además de que también presentan un tamaño de partícula mayor que las otras variedades.

### *Distribución granulométrica de las partículas*



**Figura 2.** Distribución granulométrica del tamaño de partícula de las harinas de cebada en estudio.

Con respecto a la variedad EA, se observa que presenta un primer pico el cual se observa que no tiene diferencias significativas con las demás variedades. Respecto a la variedad PO se observa claramente que el segundo pico es más

alto que el primero, esto debido a la variabilidad en el tamaño de partícula de dicha harina.

En la tabla 13 se presenta el promedio del tamaño de partícula a distintos volúmenes, en la cual se puede observar que las variedades que presentaron un menor tamaño de partícula fueron E1 y ES en todos los volúmenes, en cambio las variedades que presentaron un mayor tamaño de partícula fueron las harinas elaboradas con PO y EA. Sin embargo todas cumplen con lo reportado por Callejo (2002) que considera como harina aquella que presente un tamaño de partícula menor a 250  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 13.** Promedio de la distribución del tamaño de partícula a distintos volúmenes (Desviación estándar).

| Muestra | D <sub>10</sub> ( $\mu\text{m}$ ) | D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ ) | D <sub>75</sub> ( $\mu\text{m}$ ) | D <sub>90</sub> ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| E1      | 5.93 (0.27) <sup>c</sup>          | 18.05 (0.48) <sup>c</sup>         | 38.09 (0.99) <sup>c</sup>         | 118.38 (0.35) <sup>c</sup>        |
| ES      | 5.79 (0.12) <sup>c</sup>          | 16.46 (0.42) <sup>d</sup>         | 39.55 (0.17) <sup>c</sup>         | 111.70 (0.28) <sup>d</sup>        |
| PO      | 9.31 (0.32) <sup>a</sup>          | 73.26 (0.66) <sup>a</sup>         | 103.73 (0.92) <sup>a</sup>        | 241.11 (0.71) <sup>a</sup>        |
| EA      | 7.01 (0.56) <sup>b</sup>          | 19.55 (0.36) <sup>b</sup>         | 51.59 (0.00) <sup>b</sup>         | 146.73 (0.00) <sup>b</sup>        |

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

Con esto se puede decir que las propiedades del almidón varían de acuerdo a cada variedad, ya que dependen de las condiciones de crecimiento, cosecha, almacenamiento y proceso de molienda. Con base en esto se puede decir que tal vez las variedades E1 y ES se hayan cultivado en condiciones similares.

Según Fredrikson *et al* (1998), los gránulos de almidón más grandes son los que se encuentran en el centeno y la cebada con un diámetro de alrededor de 20-30  $\mu\text{m}$ . En los cereales tales como el trigo, avena y cebada se encuentran presentes dos clases de gránulos, los de forma lenticular y tamaño grande y los gránulos de forma esférica y tamaño menor (Soulaka *et Morrison*, 1985 a). Observaron que para el rendimiento panadero de almidón de trigo es importante la proporción entre gránulos lenticulares y esféricos, siendo una proporción óptima cuando los gránulos esféricos se encuentran entre el 25 y el 35% en peso. Así mismo se sabe

que la distribución del tamaño de partícula afecta a la proporción de forma y peso de los gránulos pero no al volumen de la masa ni a la firmeza de la miga en el producto final (Sahlström *et al*, 1998). Por lo tanto se puede decir que en cuanto al tamaño de partícula todas las variedades cumplen con lo reportado en la bibliografía.

### 5.3.3 Determinación de color de las harinas

En la tabla 14 se observa que el parámetro “a” que corresponde a la escala del verde al rojo, las muestras revelaron una tendencia hacia la escala del verde de los parámetros Lab ya que son valores positivos aunque cercanos a cero, mostrando diferencias significativas entre ellas, sin embargo las variedades ES y EA no presentan diferencias significativas entre ellas. Respecto al parámetro “b” (corresponde a la escala del azul al amarillo), las muestras presentaron una tendencia hacia la escala del amarillo del Lab, presentando entre ellas diferencias significativas.

El trigo presentó el valor mas bajo de “a” y el más alto con respecto al valor de “b”. También se aprecia que todas las harinas de cebada presentan diferencias significativas con respecto al valor de “b”.

**Tabla 14.** Valores de L, a y b de las harinas de cebada y trigo (Desviación estándar)

| VARIEDAD | L                         | a                        | b                        |
|----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| EA       | 92.76 (0.07) <sup>b</sup> | 0.53 (0.03) <sup>b</sup> | 6.00 (0.10) <sup>d</sup> |
| E1       | 93.46 (0.09) <sup>a</sup> | 0.44 (0.03) <sup>c</sup> | 4.98 (0.10) <sup>e</sup> |
| PO       | 89.80 (0.17) <sup>d</sup> | 0.82 (0.04) <sup>a</sup> | 7.89 (0.22) <sup>c</sup> |
| ES       | 93.44 (0.03) <sup>a</sup> | 0.27 (0.05) <sup>d</sup> | 8.71 (0.19) <sup>b</sup> |
| TRIGO    | 90.10 (0.54) <sup>c</sup> | 0.09 (0.01) <sup>e</sup> | 9.25 (0.02) <sup>a</sup> |

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

Con respecto al parámetro “L” se observa que la harina de trigo y las harinas de las variedades EA, E1 y ES muestran un color más blanco que las demás variedades por presentar valores más altos en “L” y más bajos de “a” por lo que se podría suponer que no difieren en el color.

Esto indica que la mayoría de las harinas presentan un color amarillo claro o color crema basándonos en la escala de Lab, en donde se puede deducir que como son valores muy cercanos a la escala del amarillo y blanco respectivamente, combinados ambos colores dan como resultado un color crema o amarillo claro. Sin embargo el trigo presenta un color más blanco con respecto a las harinas de cebada ya que éste presenta un valor más alto de “b”.

## **5.4 PRUEBAS REOLÓGICAS**

### **5.4.1 Prueba de dureza, adhesividad y cohesividad**

El análisis Instrumental del Perfil de Textura es un método que consiste en comprimir una muestra del alimento dos veces consecutivas.

Haciendo una comparación de las masas obtenidas con las mezclas de harina de cebada y trigo, y de las elaboradas solamente con harina de cebada, se observó que presentaron una mayor dureza, cohesividad y adhesividad conforme iba aumentando el porcentaje de harina de cebada. Esto se debe a las propiedades de la proteína del trigo (gluten), ya que es la que le proporciona a la masa propiedades viscoelásticas adecuadas, así como también de hidratación e hinchamiento, lo cual posibilita la formación de la masa: unión, elasticidad y capacidad para tener un mejor proceso de amasado.

Debido a las propiedades del gluten mencionadas anteriormente, a las masas elaboradas se le agregaron distintos porcentajes de harina de trigo, ya que la harina de cebada contiene hordeína, que es la proteína de la cebada, la cual no

tiene la misma capacidad que el gluten de retener el gas producido durante la fermentación, debido a esto, entre más alto sea el contenido de harina de cebada mayor será la cohesividad, adhesividad y dureza de la masa, debido a que hay menos cantidad de gluten y por lo tanto el CO<sub>2</sub> producido durante la fermentación, no podrá retenerse durante el proceso de cocción, lo que causará que no haya un correcto esponjamiento de la masa. Existen también otros factores que pueden afectar dichas propiedades, ya sea el exceso de amasado, de fermentación y de cocción (Cauvain *et* Young, 1998).

En la tabla 15 se presenta el comportamiento de las masas con respecto a los parámetros de dureza, cohesividad y adhesividad obtenidos en la prueba de Análisis de Perfil de Textura (APT), para los diferentes porcentajes de harina de cebada de cada variedad en estudio.

Con respecto a las masas elaboradas con la variedad ES, se puede observar que la masa elaborada con 100% de harina de cebada fue la que obtuvo un valor mayor de dureza respecto a todas las demás variedades, es decir, ésta se rompe con mayor facilidad y así mismo necesita una mayor fuerza para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie de la masa y la superficie de los otros materiales con los cuales entra en contacto la masa (Castillo, 2005). Esto indica que a mayor porcentaje de harina de cebada, la muestra de masa se hará más pegajosa lo cual no es favorable ya que esto revela que se rompe la red de gluten, y por lo tanto ésta masa presentará fuertes problemas durante su manejo y procesamiento. También se puede explicar éste fenómeno por medio del efecto de la levadura que se le adiciona a la masa, ya que incrementa la fuerza de unión entre las moléculas que forman la masa, haciéndola más cohesiva y adhesiva (Hoseney, 1985, Nagao, 1981).

**Tabla 15.** Influencia de la proporción de harina de cebada en los parámetros de APT en la dureza, cohesividad y adhesividad de cada variedad (Desviación estándar).

| MUESTRA | DUREZA (KG)             | COHESIVIDAD (KG/S)        | ADHESIVIDAD (KG/S)        |
|---------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ES100   | 330 (0.84) <sup>a</sup> | 1.85 (0.02) <sup>a</sup>  | 2.47 (0.03) <sup>b</sup>  |
| ES70    | 164 (0.69) <sup>c</sup> | 1.70 (0.06) <sup>c</sup>  | 2.30 (0.00) <sup>c</sup>  |
| ES50    | 184 (0.73) <sup>b</sup> | 1.78 (0.22) <sup>bc</sup> | 2.54 (0.11) <sup>a</sup>  |
| ES40    | 94 (0.74) <sup>e</sup>  | 1.10 (0.01) <sup>d</sup>  | 1.53 (0.04) <sup>de</sup> |
| ES20    | 108 (0.28) <sup>d</sup> | 1.09 (0.01) <sup>d</sup>  | 1.55 (0.09) <sup>d</sup>  |
| E1100   | 145 (0.70) <sup>a</sup> | 1.10 (0.00) <sup>b</sup>  | 1.65 (0.03) <sup>a</sup>  |
| E170    | 111 (0.84) <sup>b</sup> | 1.09 (0.01) <sup>c</sup>  | 1.59 (0.00) <sup>b</sup>  |
| E150    | 111 (0.81) <sup>b</sup> | 1.11 (0.00) <sup>a</sup>  | 1.48 (0.01) <sup>cd</sup> |
| E140    | 104 (0.87) <sup>c</sup> | 1.09 (0.00) <sup>c</sup>  | 1.51 (0.05) <sup>c</sup>  |
| E120    | 80 (0.01) <sup>d</sup>  | 1.11 (0.01) <sup>a</sup>  | 1.50 (0.01) <sup>cd</sup> |
| EA100   | 140 (0.58) <sup>a</sup> | 2.43 (0.30) <sup>a</sup>  | 3.42 (0.25) <sup>a</sup>  |
| EA70    | 102 (0.99) <sup>b</sup> | 1.12 (0.02) <sup>cb</sup> | 1.67 (0.09) <sup>b</sup>  |
| EA50    | 74 (0.51) <sup>d</sup>  | 1.14 (0.01) <sup>b</sup>  | 1.51 (0.05) <sup>bd</sup> |
| EA40    | 75 (0.78) <sup>c</sup>  | 1.11 (0.00) <sup>c</sup>  | 1.61 (0.02) <sup>bc</sup> |
| EA20    | 66 (0.32) <sup>e</sup>  | 1.10 (0.01) <sup>d</sup>  | 1.47 (0.06) <sup>e</sup>  |
| PO100   | 112 (0.50) <sup>c</sup> | 1.18 (0.01) <sup>a</sup>  | 1.81 (0.04) <sup>a</sup>  |
| PO70    | 169 (0.56) <sup>a</sup> | 1.09 (0.00) <sup>e</sup>  | 1.57 (0.07) <sup>bc</sup> |
| PO50    | 121 (0.84) <sup>b</sup> | 1.11 (0.00) <sup>c</sup>  | 1.52 (0.01) <sup>d</sup>  |
| PO40    | 81 (0.83) <sup>e</sup>  | 1.13 (0.01) <sup>b</sup>  | 1.58 (0.08) <sup>b</sup>  |
| PO20    | 99 (0.50) <sup>d</sup>  | 1.10 (0.00) <sup>d</sup>  | 1.46 (0.04) <sup>de</sup> |
| TRIGO   | 102 (0.52) <sup>b</sup> | 1.08 (0.01) <sup>c</sup>  | 1.52 (0.05) <sup>d</sup>  |

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

En cuanto a las muestras que se prepararon con la variedad E1 se observó un comportamiento parecido al que presentó la variedad ES, salvo que no hay variaciones entre los porcentajes de harina de cebada. Respecto a las mezclas E170 y E150, no se encontraron diferencias significativas entre éstas.

Referente a las de la variedad PO en sus distintos porcentajes se observa que la masa elaborada con PO70, presenta una mayor dureza que la elaborada con PO100, sin embargo, la masa que se elaboró con PO50, presenta una menor dureza con respecto a la masa elaborada con PO70. En cambio, en los parámetros de adhesividad y cohesividad, no se observan diferencias significativas entre las distintas mezclas de la variedad PO, ya que el parámetro

que presentó mayores variaciones fue el de dureza. Con respecto al testigo, la masa que presentó características con mayor similitud, fue la elaborada con la mezcla EA70 en los tres parámetros.

Las variaciones de cada uno de los parámetros medidos de cada variedad, especialmente en cohesividad, se pueden deber al tiempo de almacenamiento, el cual provoca un incremento en general, posiblemente debido a que los polímeros de glutenina forman estructuras muy cohesivas que se fortalecen con el tiempo debido a procesos oxidativos que ocurren en las redes de gluten con oxígeno o a un mejor arreglo de los polímeros de glutenina permitiendo más interacciones físicas entre ellos (Weipert, 1990).

La harina de trigo fuerte es rica en gluten y tiene la capacidad de retener mucha agua, da masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios. Por el contrario, la harina floja es pobre en gluten, absorbe poca agua, forma masas débiles y con tendencia a fluir durante la fermentación, dando panes bajos y de textura deficiente, sin embargo este tipo de harinas es apta para fabricar galletas, pasteles de miga ultra fina y otros productos de repostería (Blokman, 1990). Debido a esto, las masas que presentaron propiedades viscoelásticas adecuadas por contener mayor cantidad de gluten, fueron las elaboradas a porcentajes 80-20 de harina de trigo-cebada en todas las variedades en estudio. Sin embargo las variedades elaboradas hasta un 50% de harina de cebada-trigo, presentaron características aceptables de dureza, cohesividad y adhesividad, esto debido a que la masa se complementó con un mejorante, lo cual coadyuvó a mejorar las características reológicas de la masa.

## **5.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS MASAS**

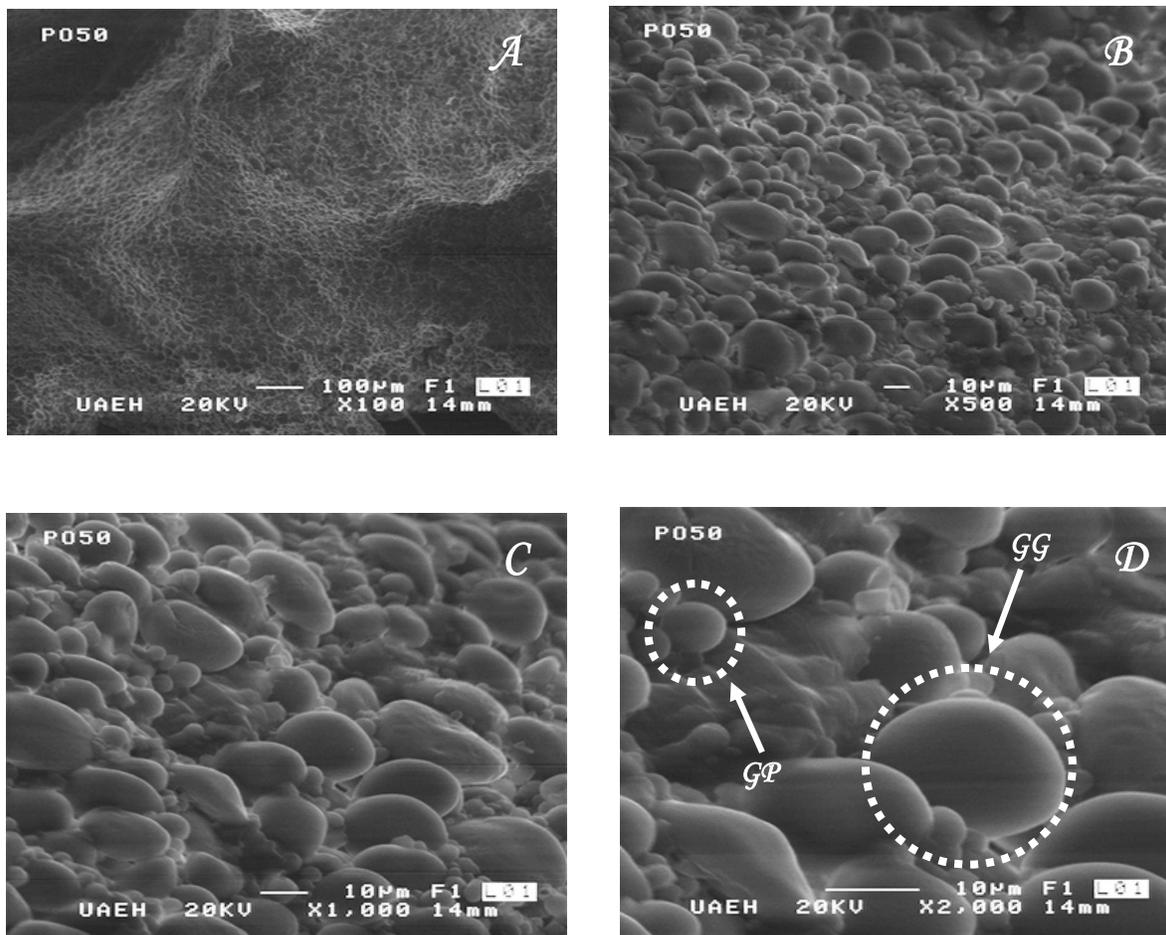
### **5.5.1 Microscopía electrónica de barrido (MEB)**

Las distintas etapas del procesado y almacenamiento de los alimentos producen modificaciones químicas y físicas que se manifiestan en cambios macroscópicos que confieren al alimento elaborado sus atributos característicos (textura, color y sabor). Estas modificaciones afectan también a la estructura submicroscópica de los alimentos, a su organización tisular y a la distribución de sus componentes, en suma, a su microestructura, de la que dependen en gran medida las propiedades finales, deseables o no, del alimento elaborado (Pérez, 2006). La MEB es usada para evaluar los cambios estructurales entre la harina y la masa de panificación (Castillo, 2005). Una gran variedad de microscopios y técnicas de imágenes han sido usadas para estudiar y documentar la microestructura de los granos de los cereales y sus cambios durante su procesamiento (McDonough *et Rooney*, 1999, Gallant *et al.*, 1997).

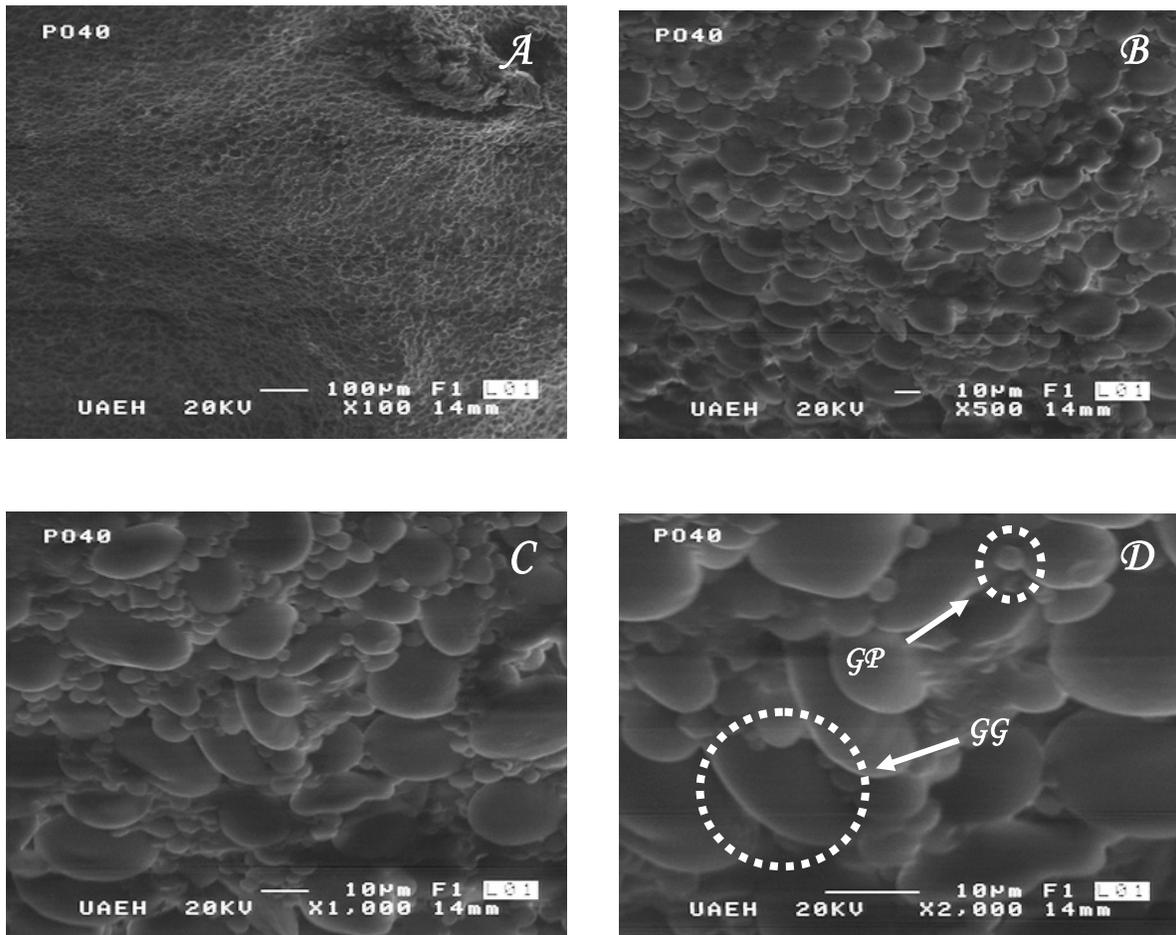
En éste apartado se presenta la microestructura de los componentes de las diferentes masas elaboradas con harina de cebada-trigo a porcentajes de 50%, 40% y 20%, que fueron observadas a una amplitud de 100x, 500x, 1000x y 2000x. De manera general algunas imágenes muestran a los gránulos de almidón que presentan formas lenticulares y circulares además de distintos tamaños, la estructura de las proteínas se observa en forma de hilos, que son los que unen a los gránulos de almidón.

En las microfotografías se observan diversas formas y tamaños, esto debido a distintos eventos químicos y físicoquímicos que pudieron alterar la estructura de la masa (Amend *et Belitz*, 1990). Además la presencia de algunos ingredientes pueden alterar las condiciones de la masa y por lo tanto las estructuras que en ella puedan presentarse (Billiaderis, 1991). En las figuras 3, 4 y 5, se muestran las micrografías de las masas elaboradas con la variedad PO a porcentajes de 50%, 40% y 20% de harina de cebada-trigo, respectivamente, a amplitudes de 100x,

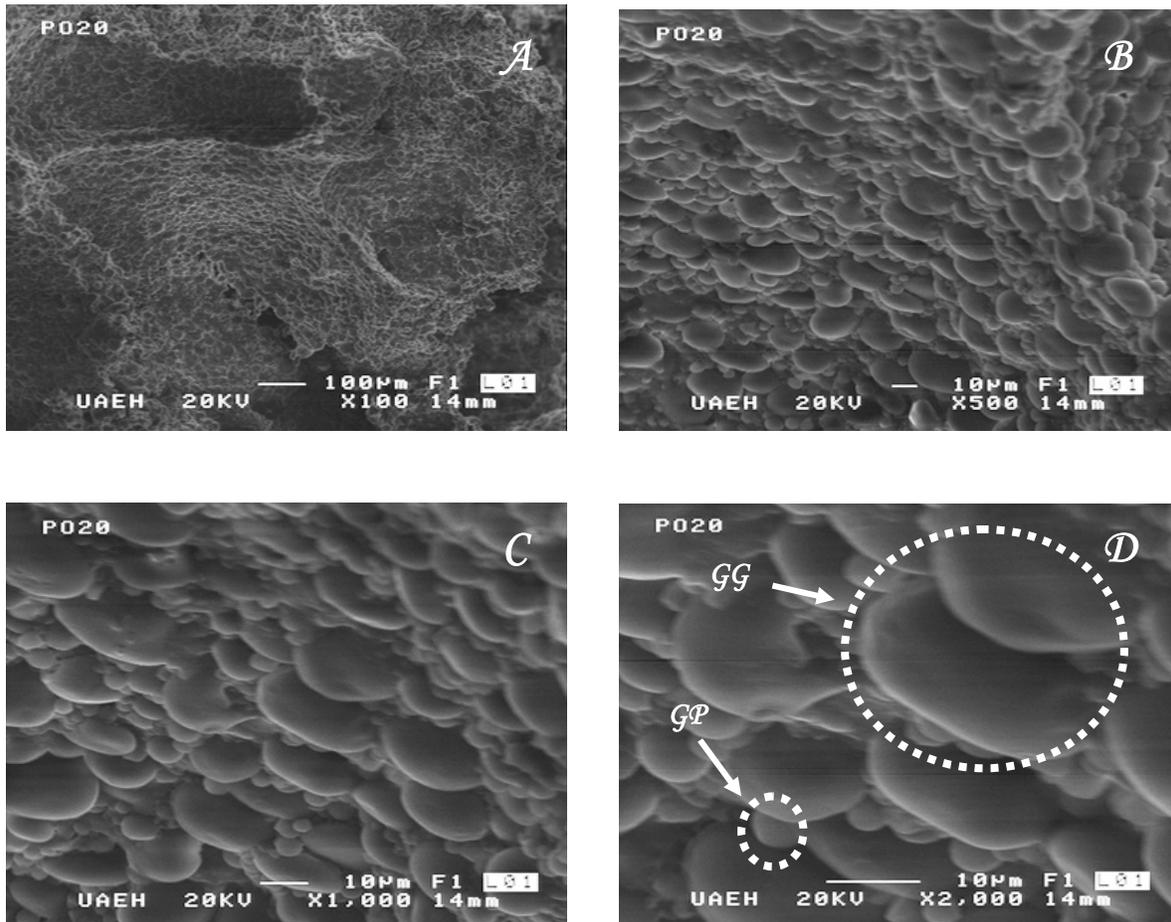
500x, 1000x y 2000x. En éstas imágenes se pueden observar que los gránulos de almidón son de forma circular y elíptica, también se aprecian claramente gránulos grandes y gránulos pequeños. No se aprecian las redes proteicas, debido a que las uniones entre los gránulos de almidón son muy fuertes y compactas. Sin embargo, se observa uniformidad entre los gránulos de almidón grandes (GG) los cuales pueden corresponder al trigo y los pequeños (GP) a la cebada. En la figura 5-D se observan mayormente gránulos grandes, esto debido a que se utilizó para la elaboración de esa masa, un porcentaje mayor de harina de trigo.



**Figura 3.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con PO50 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D)2000x

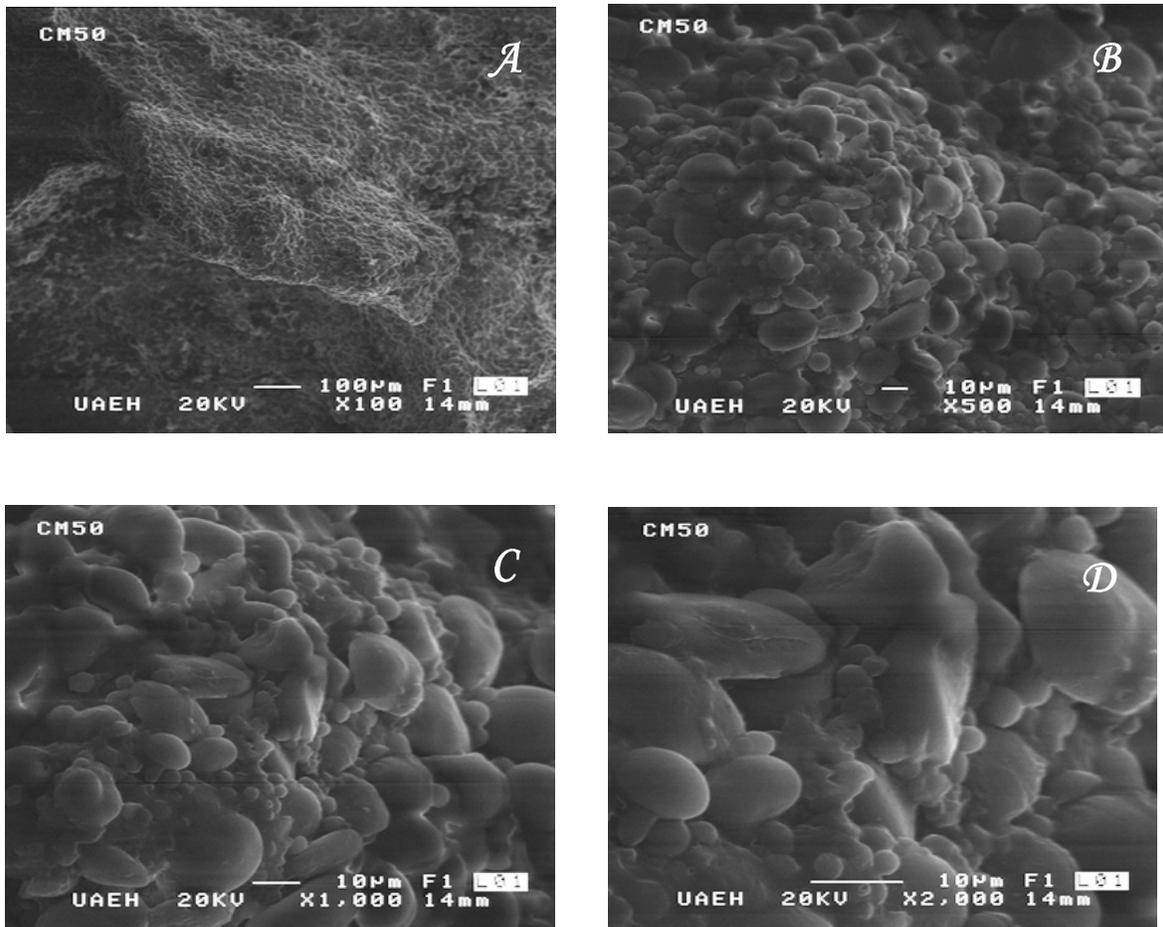


**Figura 4.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con PO40 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D)2000x

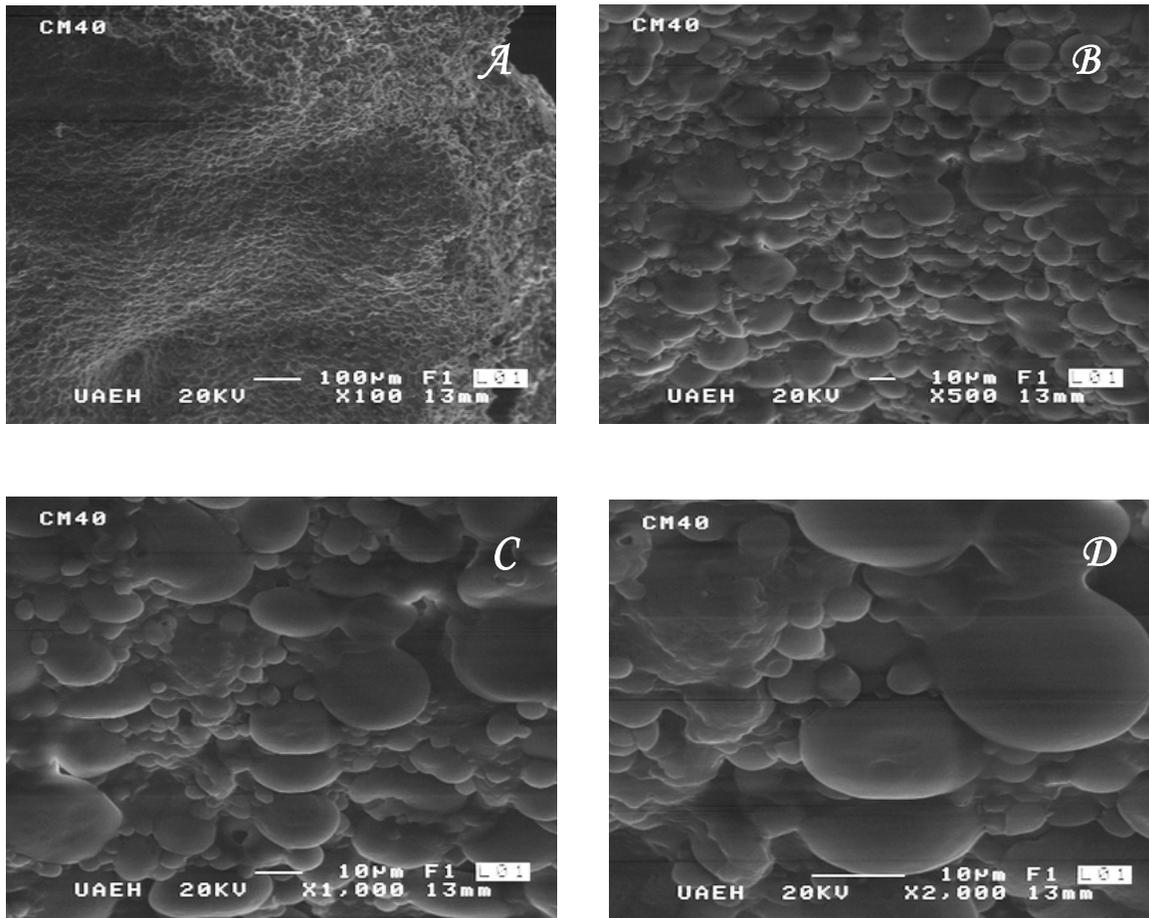


**Figura 5.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con PO20 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D)2000x

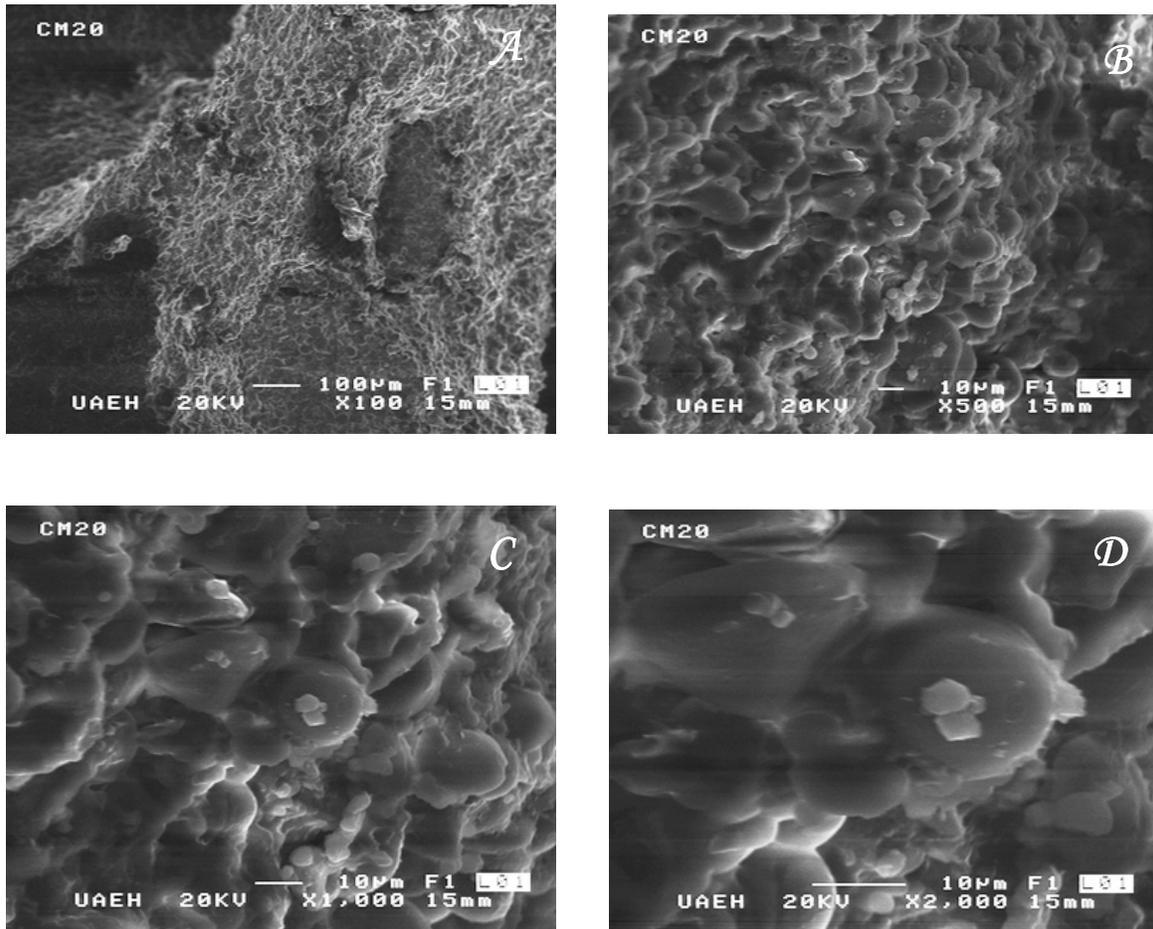
En las figuras 6, 7 y 8, se muestran las micrografías de las masas elaboradas con la variedad ES a porcentajes de 50%, 40% y 20% de harina de cebada-trigo, respectivamente, a las cuatro amplitudes. En éstas micrografías se observa uniformidad entre los gránulos de almidón, con excepción de algunos gránulos que resaltan por ser un poco mas grandes que los demás. En general se observan gránulos de forma ovalada con una distribución uniforme, en algunos casos se pueden observar algunos gránulos más unidos entre sí, esto debido quizá a la acción de alguno de los ingredientes adicionales.



**Figura 6.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con ES50 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D)2000x

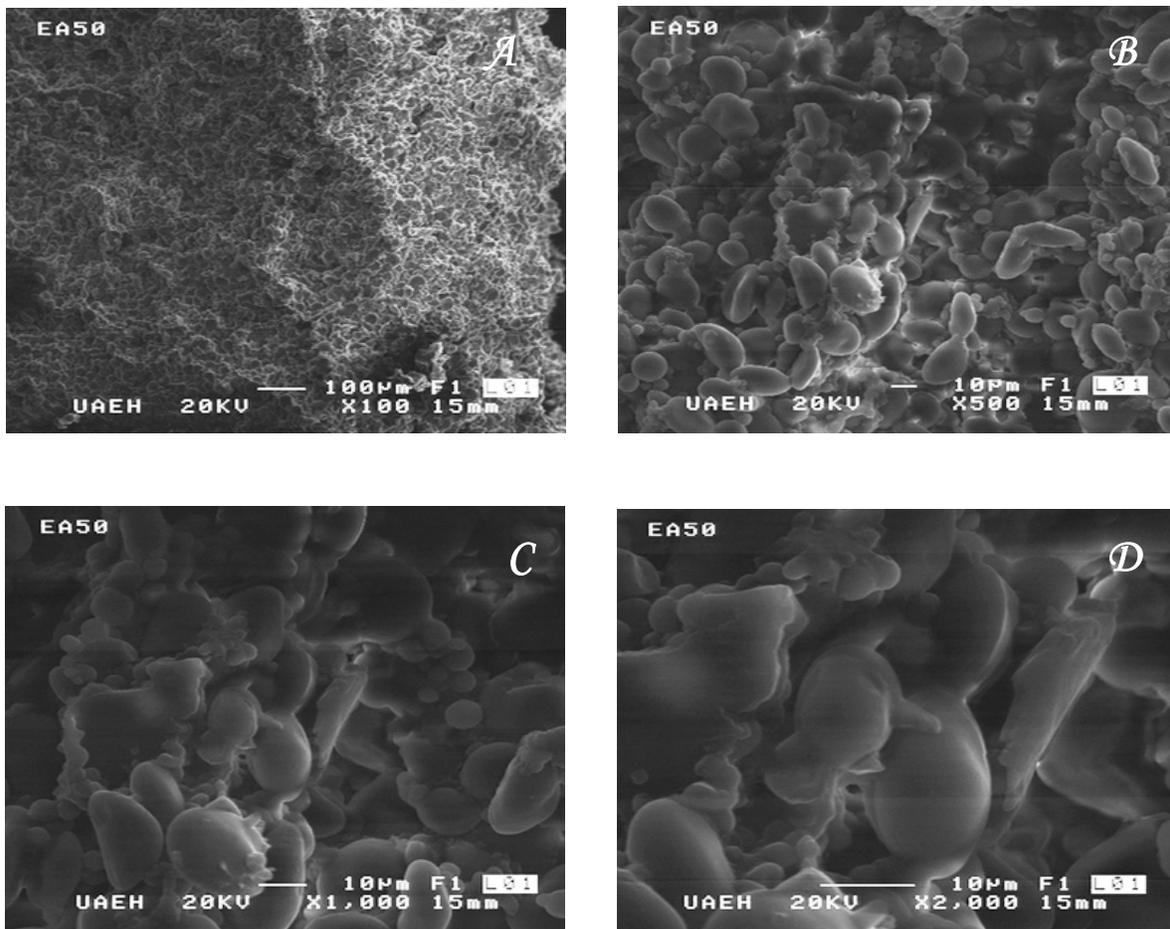


**Figura 7.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con ES40 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D)2000x

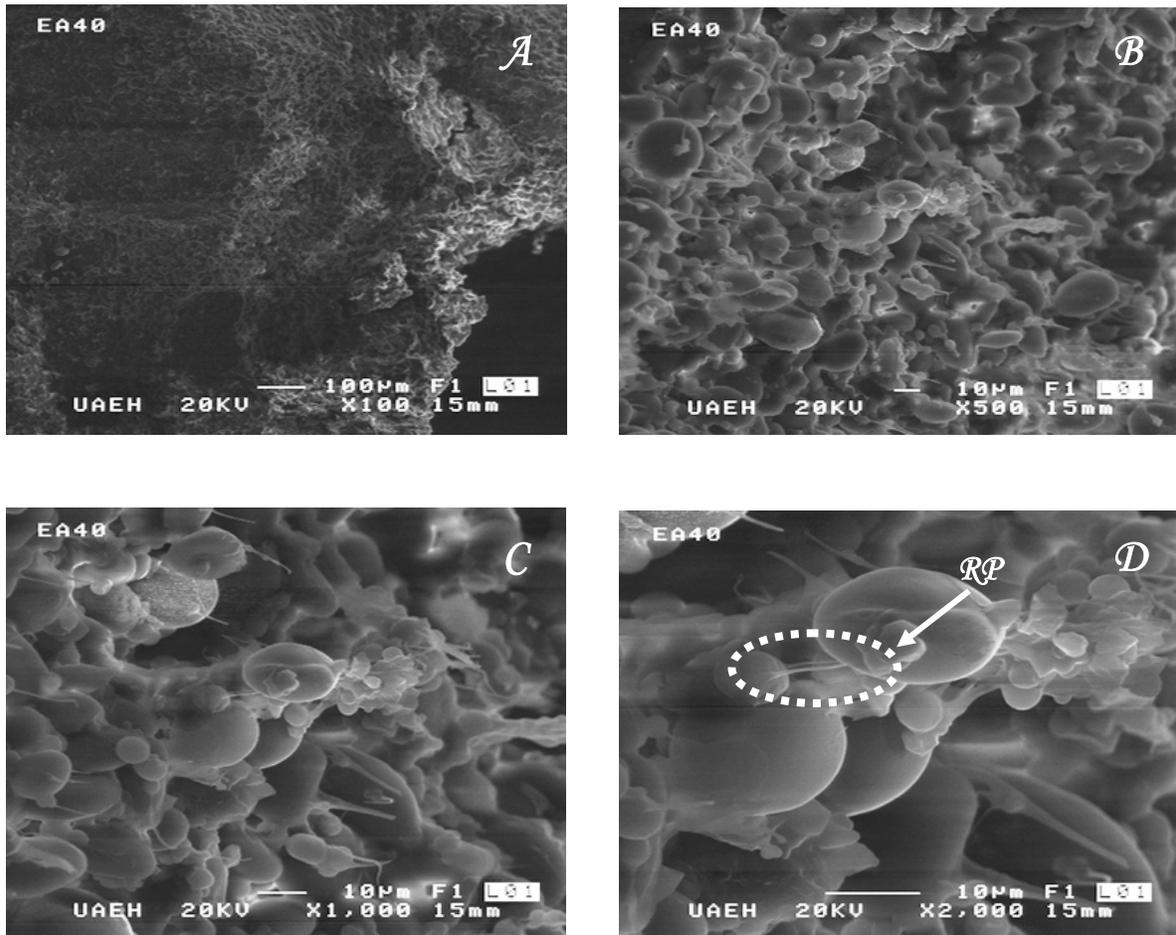


**Figura 8.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con ES20 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D) 2000x

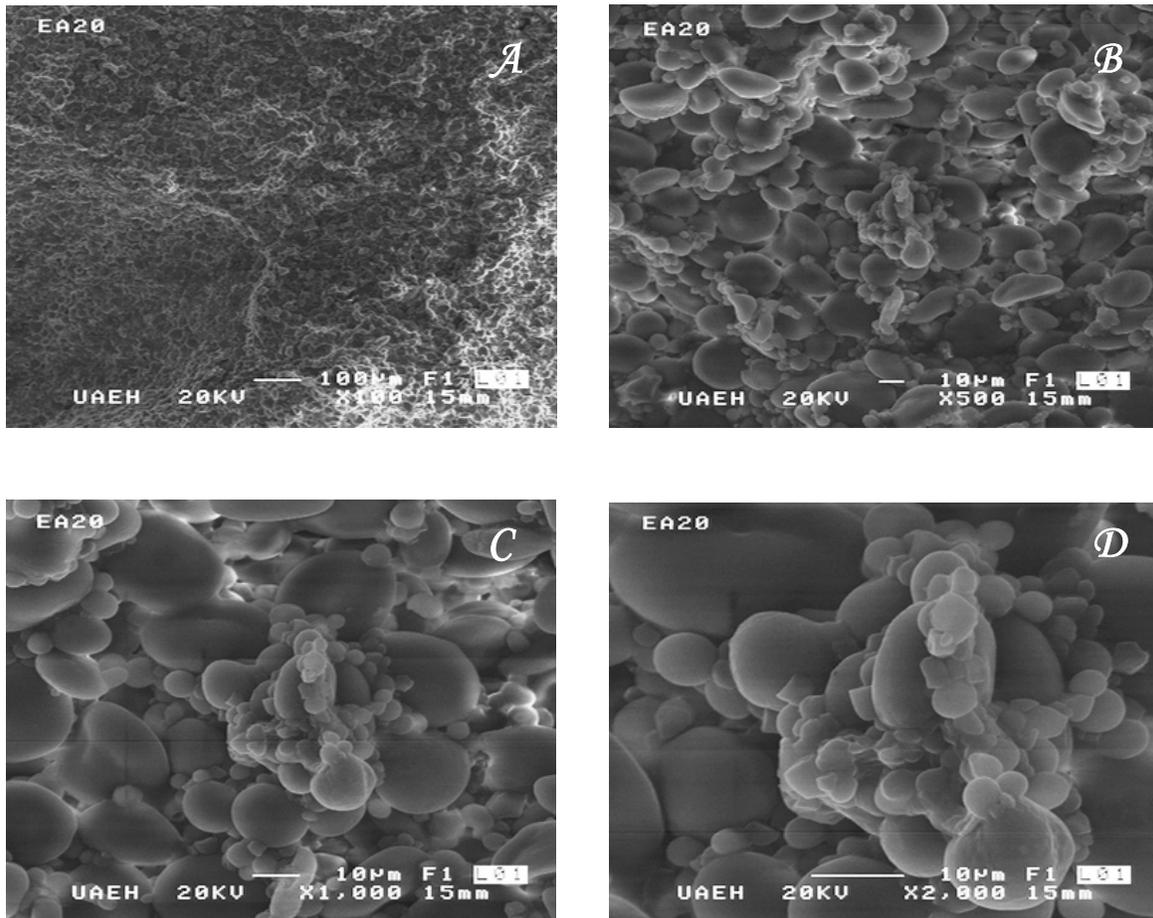
En las figuras 9, 10 y 11, se muestran las micrografías de las masas elaboradas con la variedad EA. En éstas micrografías se observan gránulos de almidón grandes y pequeños, así mismo, se observan claramente las redes proteicas (RP) a una amplitud de 2000x de la masa EA40. De igual manera, se aprecian gránulos de almidón muy grandes unidos a cadenas de gránulos más pequeños, como se estima en la micrografía a una amplitud de 2000x de la masa EA20. Esto posiblemente debido al reacomodo de la red de gluten de las masas, ya que se ve afectada por la presencia de los gránulos de almidón de la cebada.



**Figura 9.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con EA50 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D) 2000x

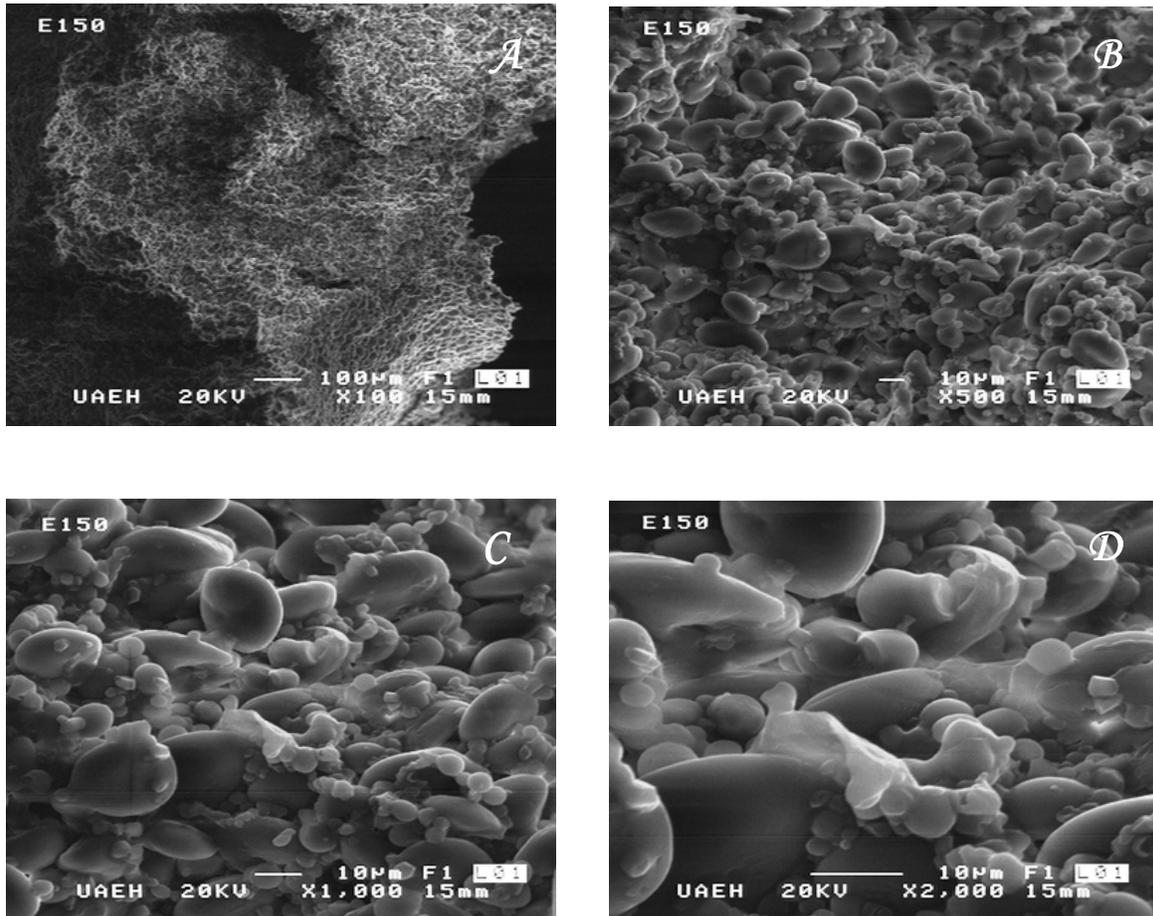


**Figura 10.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con EA40 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D) 2000x

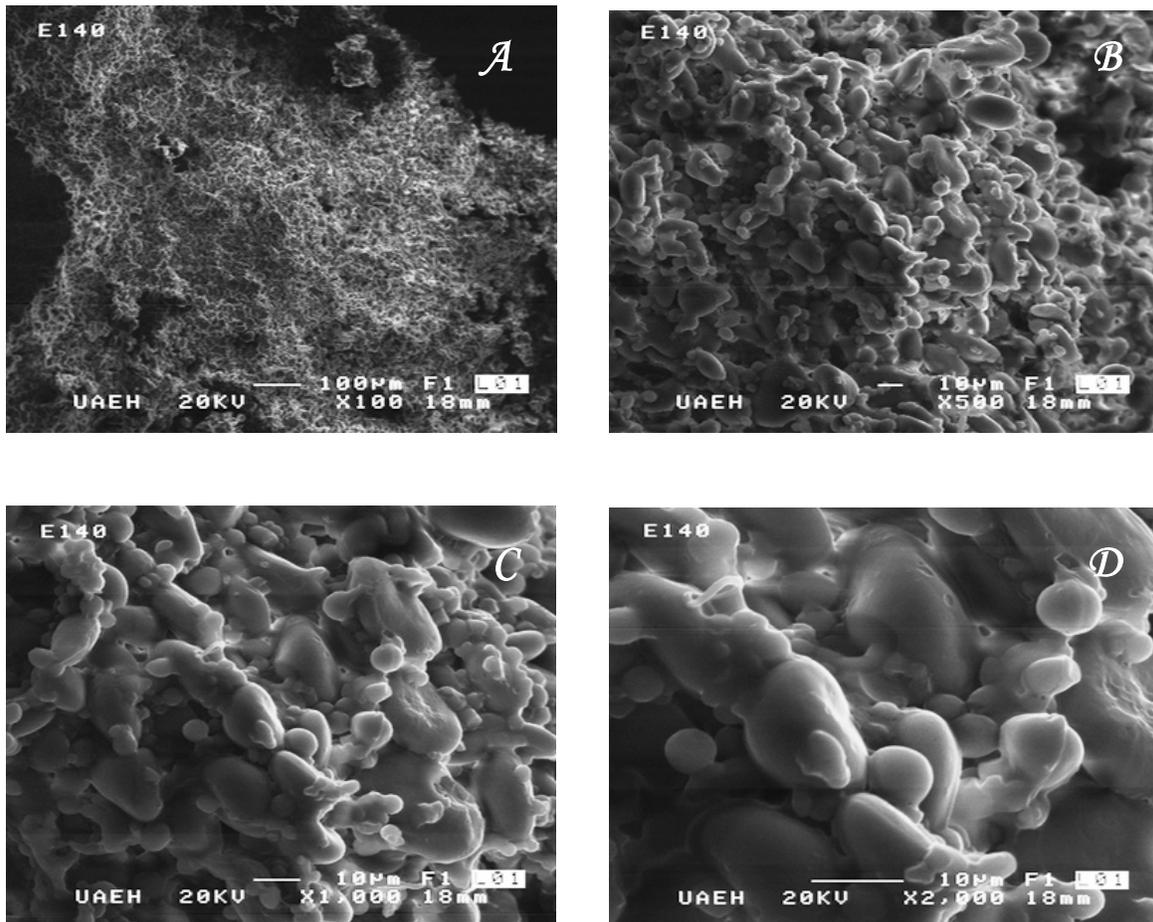


**Figura 11.** Micrográficas tomadas de las masas elaboradas con EA20 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D) 2000x

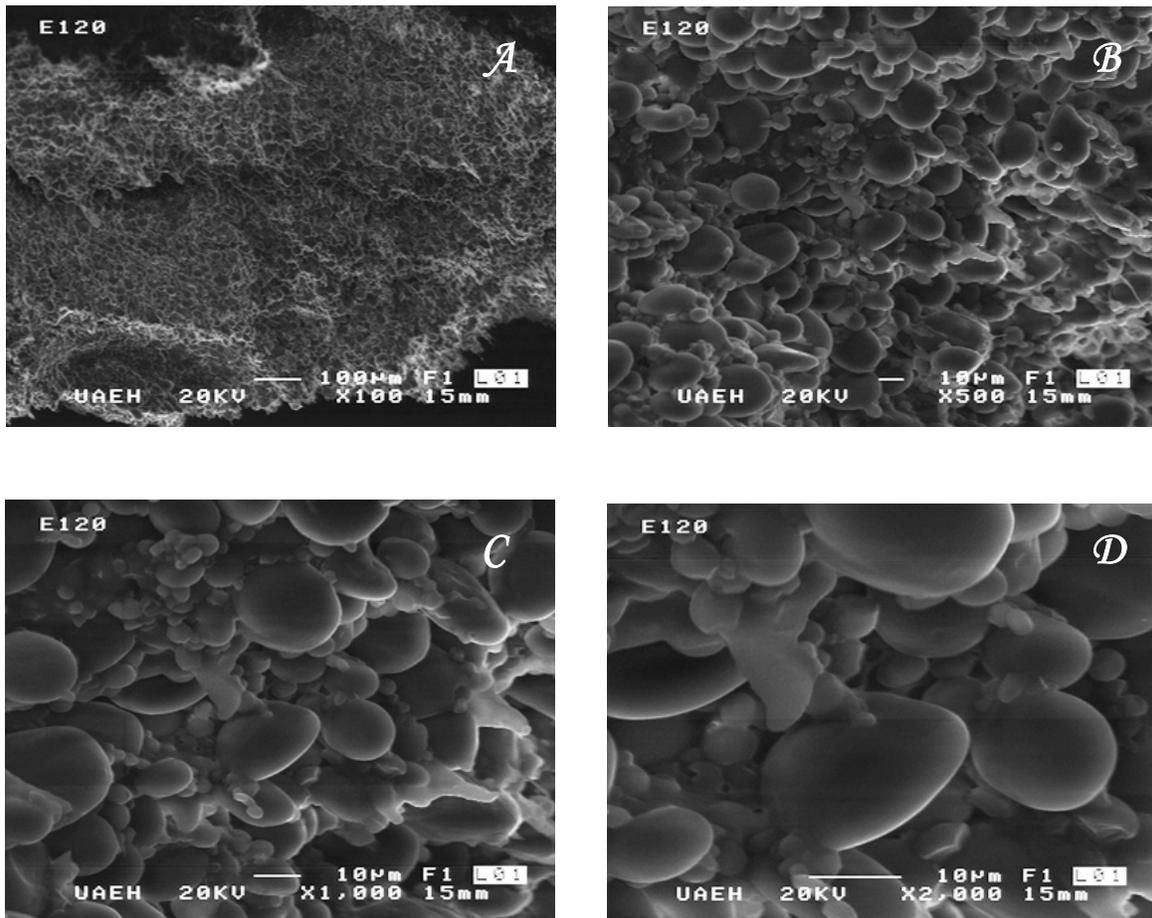
En las figuras 12, 13 y 14, observan las micrografías de las masas elaboradas con la variedad E1. En dichas imágenes se aprecian gránulos de almidón grandes y pequeños, algunos de forma elíptica y otros de forma irregular. En estas micrografías, no se aprecian las redes proteicas que se forman durante el proceso de amasado, pero se observan claramente las cavernas que se formaron durante el proceso de fermentación, lo cual es deseable en panificación, para la obtención de panes con textura suave. En la figura 13-D, no se observa uniformidad entre los gránulos de almidón grandes y pequeños, esto debido posiblemente al reacomodo entre los gránulos de almidón de trigo y cebada, durante el proceso de amasado y fermentación.



**Figura 12.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con E150 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D) 2000x



**Figura 13.** Micrografías tomadas de las masas elaboradas con E140 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D) 2000x



**Figura 14.** Micrográficas tomadas de las masas elaboradas con E120 a distintas amplitudes. A) 100x, B) 500x, C) 1000x, D) 2000x

## **5.6 EVALUACIÓN DEL PAN**

### **5.6.1 Evaluación de la impronta**

Ésta prueba sirve para evaluar la textura mediante la escala mostrada en la tabla 15 que muestra las calificaciones correspondientes al color de la miga. Se observó que todos los panes presentaban un color cremado a amarillo crema, así como la textura de la miga presentó presencia de algunas celdas grandes; sin embargo, el pan elaborado a partir de harina PO presentó celdas pobres y un color de miga café a un porcentaje de 100% de harina de cebada. Esto debido principalmente al color de la harina de esa variedad.

En la figura 15 se aprecian los panes elaborados a distintas proporciones de harina de cebada-trigo en las cuatro variedades en estudio. En general, los panes que se elaboraron hasta una proporción de 50% de ambas harinas, presentaron una distribución de celdillas uniforme, lo que indica que hubo buena aireación durante el amasado y por lo tanto el CO<sub>2</sub> producido durante la fermentación se difundió correctamente y no salió de la masa haciendo que el producto tenga un volumen adecuado.

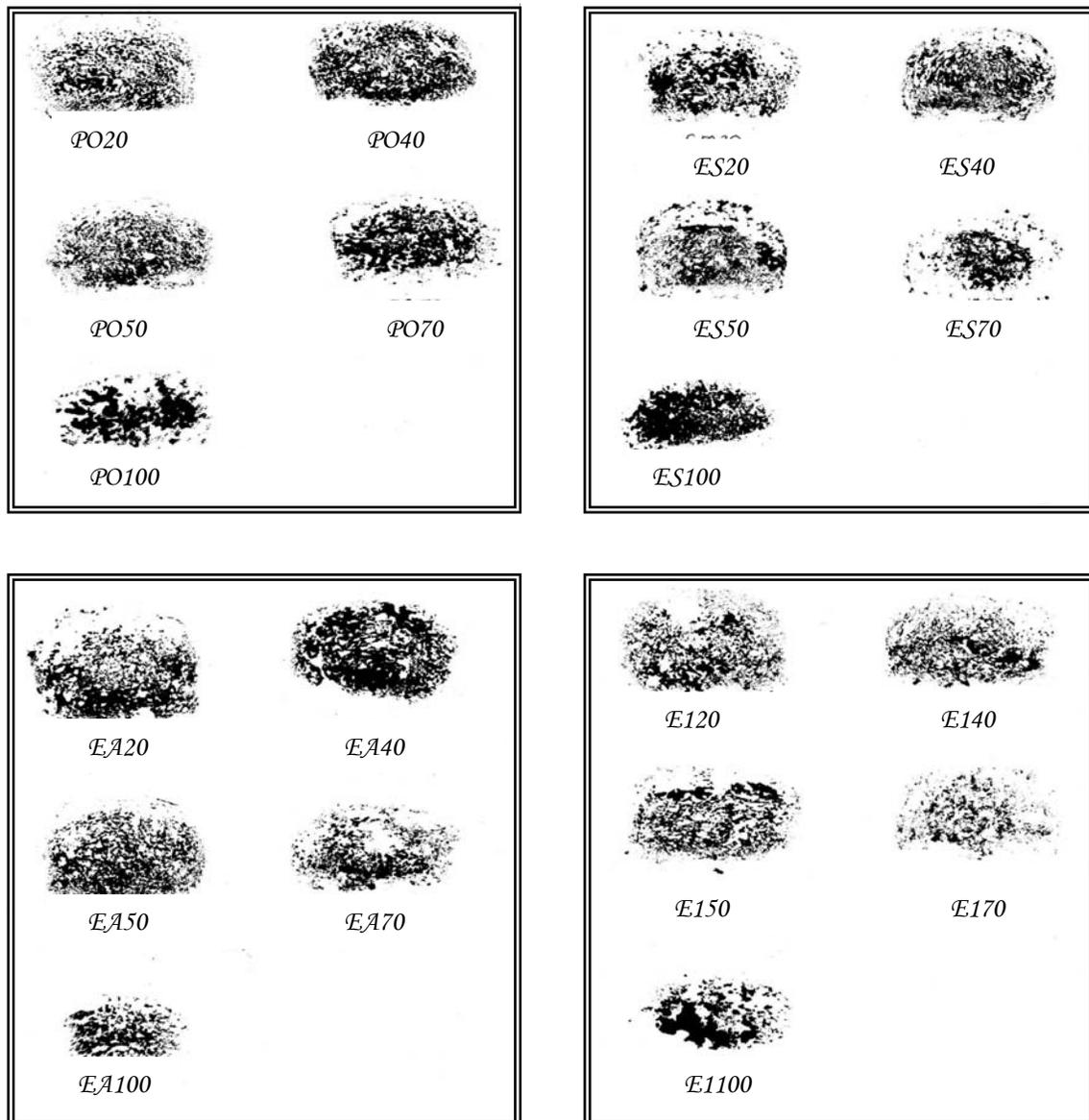


**Figura 15.** Pan elaborado a distintos porcentajes de harina de cebada-trigo en cada una de las cuatro variedades en estudio.

La aireación que se produce durante el amasado proporciona pequeñas burbujas de aire que actúan como puntos de nucleación para la difusión del  $\text{CO}_2$  y el crecimiento de dichas celdillas durante la fase de fermentación. Sin éstos puntos de nucleación, el  $\text{CO}_2$  producido no tendría sitios o huecos a donde ir y se saldría de la masa por lo que se produciría un pan con muy pocas celdillas de gas, escaso volumen y una estructura abierta y poco atractiva (Baker *et al*, 1941, Campbell, 1991).

En la figura 16 se observa la impronta de los panes elaborados a distintos porcentajes de cebada y trigo, en la cual se puede observar que las muestras elaboradas a porcentajes de 70% y 100%, presentaron muy pocas celdillas impregnadas en la hoja, lo cual podría suponer que durante la cocción no se produjo una estructura de celdillas interconectadas entre sí, a lo cual también intervino el proceso de fermentación, ya que durante la cocción la masa

fermentada se transforma en una estructura esponjosa de celdillas interconectadas (Hoseney, 1985). Un aspecto crucial en el proceso de panificación es favorecer la estabilidad de las burbujas, antes de la cocción, por medio de la fermentación; y durante la cocción, usar la temperatura adecuada para el tipo de pan. Éstos son parámetros que afectan directamente a la textura en el número, tamaño y distribución de las celdillas, y de igual manera influye en el volumen del producto final (Hoseney, 1985).



**Figura 16.** Impronta de los panes elaborados con las harinas de cebada-trigo, a distintos porcentajes.

### 5.6.2 Análisis físicos del pan

En la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos de los diferentes análisis de los panes seleccionados.

**Tabla 16.** Resultados de los análisis físicos que se realizaron a las muestras de pan (Desviación estándar).

| Análisis Físicos |                          |                           |                            |                         | % Fermentación            |                            |
|------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Muestra          | % Pérdida de peso        | % Pérdida de humedad      | Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Densidad (g/mL)         | Ancho                     | Alto                       |
| E150             | 11.8 (0.08) <sup>g</sup> | 13.07 (0.17) <sup>i</sup> | 225 (0.01) <sup>e</sup>    | 0.4 (0.01) <sup>c</sup> | 65.17(0.45) <sup>j</sup>  | 133.33 (0.03) <sup>b</sup> |
| E140             | 12.1 (0.11) <sup>f</sup> | 13.60 (0.08) <sup>h</sup> | 180 (0.06) <sup>i</sup>    | 0.3 (0.03) <sup>d</sup> | 70.51 (0.00) <sup>g</sup> | 109.68 (0.00) <sup>h</sup> |
| E120             | 13.1 (0.24) <sup>e</sup> | 14.52 (0.14) <sup>g</sup> | 271 (0.16) <sup>b</sup>    | 0.5 (0.02) <sup>b</sup> | 66.25 (0.03) <sup>h</sup> | 100.00 (0.04) <sup>i</sup> |
| EA50             | 12.0 (0.36) <sup>f</sup> | 13.19 (0.23) <sup>i</sup> | 248 (0.09) <sup>d</sup>    | 0.5 (0.01) <sup>b</sup> | 65.56 (0.06) <sup>j</sup> | 102.94 (0.01) <sup>k</sup> |
| EA40             | 10.5 (0.13) <sup>h</sup> | 11.80 (0.18) <sup>j</sup> | 210 (0.02) <sup>f</sup>    | 0.4 (0.00) <sup>c</sup> | 73.42 (0.02) <sup>e</sup> | 107.41 (0.18) <sup>j</sup> |
| EA20             | 14.0 (0.87) <sup>d</sup> | 15.63 (0.26) <sup>e</sup> | 267 (0.56) <sup>b</sup>    | 0.5 (0.02) <sup>b</sup> | 73.75 (0.06) <sup>e</sup> | 109.68 (0.16) <sup>h</sup> |
| ES50             | 17.9 (0.01) <sup>b</sup> | 19.48 (0.03) <sup>b</sup> | 146 (0.34) <sup>j</sup>    | 0.3 (0.03) <sup>e</sup> | 77.27 (0.14) <sup>b</sup> | 165.22 (0.04) <sup>a</sup> |
| ES40             | 14.4 (0.45) <sup>d</sup> | 16.16 (0.01) <sup>d</sup> | 150 (0.13) <sup>j</sup>    | 0.3 (0.01) <sup>e</sup> | 81.16 (0.25) <sup>a</sup> | 110.71 (0.10) <sup>f</sup> |
| ES20             | 19.6 (0.13) <sup>a</sup> | 22.10 (0.16) <sup>a</sup> | 206 (0.07) <sup>g</sup>    | 0.4 (0.00) <sup>c</sup> | 67.06 (0.01) <sup>i</sup> | 130.43 (0.15) <sup>c</sup> |
| PO50             | 13.5 (0.45)              | 14.55 (0.29) <sup>g</sup> | 188 (0.34) <sup>h</sup>    | 0.4 (0.05) <sup>c</sup> | 76.06 (0.15) <sup>c</sup> | 108.33 (0.00) <sup>i</sup> |
| PO40             | 14.0 (0.24) <sup>d</sup> | 14.97 (0.30) <sup>f</sup> | 188 (0.04) <sup>h</sup>    | 0.4 (0.02) <sup>c</sup> | 75.00 (0.19) <sup>d</sup> | 110.34 (0.01) <sup>g</sup> |
| PO20             | 14.6 (0.04) <sup>d</sup> | 15.67 (0.10) <sup>e</sup> | 250 (0.27) <sup>c</sup>    | 0.5 (0.06) <sup>b</sup> | 72.53 (0.00) <sup>f</sup> | 115.38 (0.14) <sup>d</sup> |
| TRIGO            | 15.9 (0.19) <sup>c</sup> | 18.62 (0.23) <sup>c</sup> | 314 (0.06) <sup>a</sup>    | 0.7 (0.01) <sup>a</sup> | 60.87 (0.10) <sup>k</sup> | 111.11 (0.02) <sup>e</sup> |

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

En la primera columna se observan los resultados de pérdida de peso. El pan que presentó una mayor pérdida de peso fue el que se elaboró con la variedad ES20 y la que presentó un menor porcentaje de pérdida de peso fue la variedad EA40, con respecto al Trigo, que fue el pan elaborado con 100% harina de trigo. La pérdida de peso es causada por la 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.

Las variedades que presentaron un mayor porcentaje de pérdida de peso con respecto al Trigo, fueron los panes elaborados con ES20 y ES50. Esto indica que el pan sufrió una mayor evaporación en su superficie, ocasionando que la corteza

fuera un poco más dura que las demás muestras. Ésta evaporación conduce a que la humedad del producto final disminuya, por lo que es importante entender que la pérdida de humedad y de peso son parte fundamental en la formación de la corteza. Por el contrario, las variedades que presentaron un menor % de pérdida de peso fueron E140, E150, EA40 y EA50.

El porcentaje de pérdida de peso es directamente proporcional al porcentaje de pérdida de humedad, ya que a mayor pérdida de peso, mayor será también el porcentaje de pérdida de humedad.

En cuanto al volumen se observó que el pan que se elaboró con E120 y EA20 fueron los que presentaron mayor volumen con respecto al pan elaborado con harina de trigo que presentó un volumen de 314 cm<sup>3</sup> y que fue tomado como referencia. Esto indica que fue mejor la retención de gas en la red de gluten al igual que una buena penetración de calor durante la cocción, lo cual hace que los gases se expandan, incrementando así el volumen del pan, ya que el incremento de la temperatura aumenta la presión en 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 aproximadamente el 10% de humedad.

Respecto a la densidad de los panes, se observó que los que presentaron una menor densidad fueron los elaborados con E140, ES50 y ES40, lo cual indica que la estructura alveolar de la miga es mas compacta. Por el contrario, los panes que presentaron una mayor densidad, fueron los elaborados con las variedades E120, EA50, EA20 y PO20, ya que al ocupar un mayor espacio, quiere decir que su estructura alveolar es más suave y por lo tanto el pan es más esponjoso. Estas son las características sensorialmente deseables.

Relativo a la fermentación, se observa que la muestras que presentaron fermentaciones similares a la de la masa elaborada con Trigo, fueron las muestras

ES20, EA20, PO20 y E120, las cuales en porcentaje contienen mayor cantidad de gluten debido a que el contenido de harina de trigo es mayor en esas masas, lo cual hace que los gases producidos durante la fermentación se retengan mejor, además de retardar la coalescencia de las burbujas de gas para mantener una estructura de miga fina y lograr un buen volumen de masa en donde la levadura metaboliza anaeróticamente los azúcares disponibles, produciendo CO<sub>2</sub>, etanol y otros productos responsables de olor y sabor (Kulp, 1991). Con ello, transforma la masa densa en una suave y esponjosa, gracias a que la red de gluten retiene el gas.

A pesar de ello, las demás muestras presentan valores de fermentación que no están tan alejados de los valores del Trigo, esto debido a la adición del mejorante, lo cual coadyuvó a que las propiedades generales de la masa se optimizaran a pesar de no tener un alto porcentaje de harina de trigo. Así que los panes elaborados a porcentajes de hasta 50% haciendo uso de aditivos son aceptables.

### **5.6.3 Análisis sensorial del pan**

Mediante la prueba afectiva de grado de satisfacción la cual se realizó con jueces no entrenados se determinó que los panes elaborados en un porcentaje de 20% en las cuatro variedades, fueron las de mayor aceptación.

Sin embargo, los panes elaborados con EA40, E150, E140 y PO40 también fueron aceptados por los jueces, ya que en cuanto al sabor, indicaron que les gustaba bastante, por lo que resultó agradable para el consumidor. La mayoría opinó que los panes elaborados hasta un 40% de harina de cebada tenían una textura y sabor agradable, pero la variedad que resultó menos favorecida fue ES, ya que los jueces indicaron un sabor y regusto amargo. El pan elaborado con E150 tuvo mediana aceptación, a pesar de esto, los jueces indicaron un sabor y textura agradable. Por lo tanto, elaborar pan con harina de cebada de la variedad E1 hasta un 50% de cebada-trigo, haciendo uso de mejoradores, proporciona panes con características organolépticas aceptables.

## **VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

---

### **6.1 CONCLUSIONES**

El rendimiento de molienda que se obtuvo fue muy bajo en las seis variedades de cebada, debido principalmente al tamaño del endospermo.

La determinación del análisis proximal en las seis variedades de cebada que originalmente se estudiaron, fue fundamental para escoger las variedades con mayor contenido proteínico, las cuales fueron E1, EA, ES y PO por lo tanto son aptas para la elaboración de pan, ya que a proporciones adecuadas de harina de cebada-trigo haciendo uso de mejoradores, se obtienen masas con propiedades deseables en panificación.

Respecto a la calidad física, se observó que las harinas de las variedades E1, EA, PO y ES, tenían características estadísticamente diferentes. La variedad que tuvo un mayor porcentaje de CAAS y por lo tanto mayor IAA fue la variedad ES, también su porcentaje de IRAA fue mayor, lo cual indica que tolera bien la cantidad de sal añadida a la mezcla para la formación de la masa.

Con relación a la determinación de color de las harinas, se observó similitud en ellas, predominando un color amarillo crema, a pesar de eso, la variedad PO, presentó un color un poco más oscuro que las demás, y esto está directamente relacionado al contenido de fibra y cenizas, el cual fue mayor en esta variedad. También se observó que la harina tenía cierta contaminación de salvado.

Respecto al tamaño de partícula, se observa que tres de las cuatro variedades en estudio, tuvieron cierta similitud (ES, E1 y EA), pero la variedad que tuvo un mayor tamaño de partícula fue la PO, lo cual se traduce a que el endospermo era más vítreo que las otras variedades.

El Análisis de perfil de textura reveló que a medida que va aumentando la proporción de harina de trigo, también van mejorando sus propiedades reológicas, es decir, la dureza, adhesividad y cohesividad va disminuyendo, lo que ocasiona masas con mejores propiedades para su manejo, aún así, las masas elaboradas hasta un 50% de harina de cebada-trigo, presentaron características reológicas aceptables.

Respecto a la MEB se observaron gránulos de almidón de forma circular y elíptica. De igual manera se observaron, gránulos de almidón, grandes y pequeños, los cuales están unidos por redes proteicas, lo cual indica que las uniones entre éstas son favorable para el proceso de panificación hasta un 50% de harina de cebada, en mezcla con harina de trigo.

Mediante el proceso de panificación se determinó que los mejorantes coadyuvan dicho proceso, ya que se obtienen panes con hasta un 50% de harina de cebada-trigo con buena textura y volumen, lo cual indicó que el proceso de fermentación se llevo a cabo de manera correcta.

Respecto al análisis sensorial, se determinó que los panes elaborados hasta 50% de harina de cebada-trigo, son aceptados por el consumidor, de acuerdo a las características organolépticas de color, sabor y textura. Pero la variedad de cebada que se esperaba tuviera una mejor aceptación por la calidad física de las harinas, fue la ES ya que se obtuvieron masas con propiedades reológicas aceptables. El consumidor determinó que el pan elaborado con esa variedad, tenía un sabor y regusto amargo, a pesar de que presentaba una buena textura y color.

## **6.2 PERSPECTIVAS**

El aditivo panario, utilizado en el presente trabajo de investigación mejora visiblemente el proceso de panificación, ya que las pruebas que se realizaron resultaron satisfactorias a una proporción de hasta 50% de harina de cebada.

Éstos resultados son satisfactorios, debido a que la harina de cebada actualmente no se usa en el área de panificación.

Con esto se dio valor agregado a la cebada producida en el estado de Hidalgo. Para posteriores estudios, se recomienda estudiar y alargar la vida de anaquel del pan de caja elaborado con harina de cebada. De la misma manera, el proceso, se puede realizar a nivel industrial ya que al agregar otros constituyentes estos pueden optimizar el proceso de panificación.

Debido a las propiedades que presentó la harina de cebada, se recomienda hacer distintas variedades de productos panificables. También se recomiendan estudios posteriores en pacientes con enfermedad celiaca, debido a los altos porcentajes de harina de cebada en combinación con aditivos, ya que el porcentaje de gluten en el producto obtenido, es bajo.

Posteriormente, se puede realizar una investigación para sustituir un porcentaje de harina de trigo en pan, por harina del cereal triticale, debido a las propiedades híbridas de dicho cereal.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

---

1. AACC. 2001. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10<sup>th</sup> edition. Vol II.
2. Amend, T., Belitz, H. D. 1990. Microstructural studies of gluten and a hypothesis on dough formation. *Food Microstructure*, 10:227-288.
3. Amend, T., Belitz, H. D. 1991. The formation of dough and gluten Microscopical studies of water/flour systems. *Unters Forsch., Food Microstructure*, 10:227-288.
4. Anderson, R.A., H.F. Conway, V.F. Pfeifer and E.L. Griffin, 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14:4, 11,12.
5. Anzaldúa – Morales, A. 1982. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia. Zaragoza, España, pp. 24-37.
6. AOAC. 1990. Oficial Methods of Análisis of the Association of Official Analytical Chemists. 15<sup>th</sup> edition. Vol. II. Edited by Kenneth Helrich. Pp. 777-781, 1095-1096.
7. Badui S.D. 1996. Química de los Alimentos. Logman de México Editores S.A. de C.V. Alhambra Mexicana, México D.F.
8. Baker, J.C., Mize, M.D. 1941. The origin of the gas cell in bread dough. *Cereal Chemistry*, 18, 34-41.
9. Banasik, O. J., Haber, T. A., Seyam, A. 1976. Microscopic structure of durum wheat, semolina dough and spaghetti. *Macaroni Journal*, 58:18.
10. Belitz, H.D., Grosch, W. 2000. Química de los Alimentos . 2da. Edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 725.
11. Billiaderis, C.G. 1991. The structure and interactions of starch with food constituyen. *Journal Physiology*, 69: 60-78.
12. Bloksman, A. H. 1990. Rheology of the breadmaking process. *Cereal Foods World*. 35, 228-236.

13. Burhans, M. E., Clapp, J. 1942. A microscopic study of bread dough. *Cereal Chemistry*, 19: 196-216.
14. Calaveras, J. 1996. Tratado de panificación y bollería. AMV Ediciones. Madrid, España.
15. Callejo, G. M. J. 2002. Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 24-35; 67-62; 90-101; 191-208; 222- 232.
16. Campbell, G. M., Rielly, C. D., Fryyer, P. J., Sadd, P.A. 1991. The measurement of bubble size distributions in an opaque food fluid. *Transactions I Chem E, Part C: Food and Bioproducts Processing*, 69, 67-76.
17. Campbell, G. M., Rielly, C. D., Fryyer, P. J., Sadd, P.A. 1993. Measurement and interpretation of dough densities. *Cereal Chemistry*, 70, 517-521.
18. Campbell, G. M., Rielly, C. D., Fryyer, P. J., Sadd, P.A. 1999. Reconstruction of bubble size distributions from slices. In G.M. Campbell, C. Webb, S.S. Pandiella, K. Niranjana (Eds), *Bubbles in food*. St. Paul, MN: *American Association of Cereal Chemistry*. pp. 207-220.
19. Campbell, G. M. 1991. The aeration of bread dough during mixing. PhD thesis, University of Cambridge.
20. Carlson, T., Bohlin, L. 1978. Communication to the editor: Free surface energy in the elasticity of wheat flour dough. *Cereal Chemistry*, 55, 539-544.
21. Castillo R. C. 2005. Uso alternativo de las cebadas (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en el estado de Hidalgo y Tlaxcala en la industria de la panificación. Tesis de Licenciatura. LQA-UAEH.
22. Cauvain P. Stanley, Young S. Linda. 1998. Fabricación de pan. Ed. Acribia. 1era. ed. Zaragoza, España.
23. Chamberlain, N. 1979. Gases-the neglected bread ingredients. *Proceedings of the 49<sup>th</sup> Conference of the British Society of Baking*.
24. Codex Alimentarius. Codex Stan 152-1985, Rev. 1-1995.
25. Colonna, P., J. Tayeb, and C. Mercier. 1983. Extrusion cooking of starch and starchy products. *In: Extrusion Cooking*. Mercier, C. Linko, P. Harper, J.

- M. (eds.) *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, St. Paul, MN, USA. pp: 281-308.
26. Dendy D. A. V. Dobraszczyk B. J. 2003. Cereales y productos derivados, Química y tecnología. Editorial Acribia, S.A. pp. 403-421.
27. Desrosier, N. 1999. Elementos de tecnología de alimentos. Editorial CECOSA, S.A.
28. Eliasson, A. C. 1986. Viscoelastic behaviour during the gelatinization of starch. I. Comparison of wheat, maize, potato and waxy-barley starches. *Journal of Texture Studies*, 17, 253-265
29. Fannon, J. E., Shull, J. M., BeMiller, J. N. 1993. Interior channels of starch granules. *Cereal Chemistry.*, 70:611-613.
30. Fellows, Peter. 1994. Tecnología del proceso de los Alimentos: Principios y prácticas. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.
31. Fennema O.R. 2000. Química de los alimentos. 2da Edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
32. Finney, K. F. 1984. An optimized, straight-dough, bread-making method after 44 years. *Cereal Chemistry*, 61:20-27.
33. Flores F.R., Martínez B.F. Salinas M. Y. y Rios E. 2002. Caracterización de harinas comerciales en maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36:5
34. Franco, M. L., Ciacco, C. F., Tavares, D. Q. 1998. The structure of waxy corn starch: effect of granule size, *Cereal Chemistry*, 50, 193-198.
35. Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A.C., Aman, P. 1998. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers*, 35, 119-134.
36. French, D. 1984. Organization of starch granules. *Starch Chemistry and Technology*, 2<sup>nd</sup> ed. R. L. Academic Press. Orlando. Pp 184-247.
37. Gallant, D. J., Bouchet, B., Baldwin, P. M. 1997. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polymers*, 32:177-191.

38. Gaytan M. M., Martínez B. F., y Morales S. E. 2000. Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantáneas de maíz amarillo para preparación de frituras de masa y tortillas. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, vol.50, no.4, p.366-373. ISSN 0004-0622.
39. Gómez M. H. L., W. Rooney, R.D. Wanishka and R.L. Pflugfelder. 1987. Dry corn masa flours for tortilla and snack production. *Cereal Foods World*. 32:372.
40. Gómez, M.H., L.W. Rooney and R.D. Wanishka. 1991. Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chemistry*, 68:578-572.
41. Goñi, I., García, D, L., Mañas, E. and Saura C. F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*. 56.445-449.
42. Guinet, R., Godon, B. 1996. La panificación. Montagud Editores. Barcelona, España.
43. Guzmán O. F. 2005. Valoración de las propiedades fisicoquímicas de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. LQA-UAEH.
44. Harol, E., Ronald, S. K., Ronald, S. 1987. Análisis químico de alimentos de Pearson, 2da. Ed. CECOSA. México, D.F. p.p. 725–731.
45. Hernández B.D. 1999. Obtención y caracterización de harinas compuestas de endospermo (germen de maíz) y su uso en la preparación de arepas. *Revista Chilena de Nutrición*.
46. Hill, Albert F. 1965. Botánica económica. Omega, S.A. Barcelona, España.
47. Hoseney, R. C. 1985. The mixing phenomenon. *Cereal Foods World*, 30: 453-457.
48. Hoseney, R. C. 1998. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España.
49. Kent N. L. Tecnología de los cereales, introducción para estudiantes de ciencias de los alimentos y agricultura. Ed. Acribia. 1era. ed. Zaragoza, España. 1987. p.p. 133-142.
50. Kulp, K. 1991. Breads and Yeast Bakery Foods. Cap 16. En: Handbook of Cereal Science and Technology. K. J. Lorenz and K. Kulp.

51. López, P. 2005. Evaluación de la calidad de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. LQA-UAEH.
52. López, P., Guzmán, O. F., Santos, L. E., Prieto, G: F., Román G. A. 2005. Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y México, *Revista Chilena de Nutrición*.
53. Matissek, R., Schnepel, F. N. Y Steiner, G. 1998. Análisis de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. p. 229-235.
54. Matz S.A 1997. The chemistry and technology of cereal as food and feed, 2nd. Ed. p.450-458: 493-495.
55. McDonough, C. M., Rooney, L. W. 1999. Use of the environmental scanning electron microscope in the study of cereal-based foods. *Cereal Foods World*, 44:342-348.
56. Morales, P., 1999. Utilización de xilanasas de *Arpergillus sp.* FP-470 para el mejoramiento de la calidad de panes elaborados con harinas de bajo potencial de panificación.
57. Mota Z., Mireles M. C., Camarena A. E., Bautista J. M. 2005. Efecto del uso de Masas Congeladas sobre las Características y Textura en Pan Blanco. *Revista de salud pública y nutrición*. Edición especial No. 14-2006 ISSN 1870-0160.
58. Nagao, S., Endo, S., Tanaka, K. 1981. Effect of fermentation on the DoCorder and bread-making properties of a dough. *Cereal Chemistry*, 58: 388-392.
59. 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.
60. Owen, G. 2001. Cereals processing technology. Woodhead Publising Limited Cambridge England. P.p. 109-150.

61. Pérez M. I. 2006. Los alimentos y su procesado desde una perspectiva microestructural. 1er. Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria.
62. Pomeraz, Y. 1971. Composition and functionality of wheat-flour components, in wheat: *Chemistry and Technology*, 2nd. Ed. 585-674
63. Pomeraz, Y. 1987. Modern cereal science and technology, VCH Publishers. Washington State University. 2<sup>nd</sup> Ed. p.453-463.
64. Pomeraz, Y. 1988. Wheat. *Chemistry and technology*, 2<sup>nd</sup> Ed. 77-79
65. Posner, E. S., Hibbs, A. N. 1997. Wheat flour milling. AACC. St. Paul. Minnesota.
66. Quaglia, G. 1991. Ciencia y tecnología de la panificación. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
67. Rasper, V.F. 1997. Quality evaluation of cereals and cereal products. Cap 15. Handbook of Cereal Science. Dekker.
68. Rodríguez V.M., Sánchez P.M., Jiménez G.E., Ortiz M.A. 2005. *Salud Pública y Nutrición*. Edición especial No. 13-2005 ISSN 1870-0160.
69. Román, G. A. D.; Guilbert, S. and Cuq, B. 2002. Description of microstructural changes in wheat flour and flour components during hydration by using environmental scanning electron microscopy. *Journal of Cereal Science*. Vol. 35, No 8. p. 731-739.
70. Sahlström, S., Brathen, E., Autio, K. 1998. Influence of starch granule size distribution on bread characteristics. *Journal of Cereal Science*, 28, 157-164.
71. Serna-Saldívar, S. R. O. 2001. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. México , D.F. pp. 3-23, 47-73 y 79-89.
72. Soulaka, A. B., Morrison, W. R. 1985a. The amylose and lipid contents, dimensions and gelatinization characteristics of some wheat starches and their A and B granule fraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36, 709-718.

73. Soulaka, A. B., Morrison, W. R. 1985b. The bread baking quality of six wheat starches differing in composition and physical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36, 719-727.
74. Spiegel, R. M., 1991. Estadística. Serie Shaum. 2da. ed. McGraw Hill. México, DF.
75. Steeneken, P. A. M. 1989. Rheological properties of aqueous suspensions of swollen starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 11, 23-42.
76. Tester, R. F., Karkalas, J. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry*, 76, 271-277.
77. Tester, R. F., Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry*, 67, 551-557.
78. Torres A. Guerra, M. 2003. Sustitución parcial de harina de maíz precocida con harina de qinchoncho (*Cajanus cajan*) para la elaboración de arepas. *INCI*. Vol.28, no.11, p.660-664. ISSN 0378-1844.
79. Tscheuchner, Horst-Dieter. 2001. Fundamentos de Tecnología de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
80. Weipert, D. 1990. The benefits of basic rheometry in studying dough rheology, *Cereal Chemistry*, 67 (4): 311-317.
81. Williams, P; Hamein, F:J; Nakkoul, H. and Riwawi, S. 2000. Crop quality evaluation methods and guidelines. Technical Manual 14, 2<sup>nd</sup> Ed, 2-38

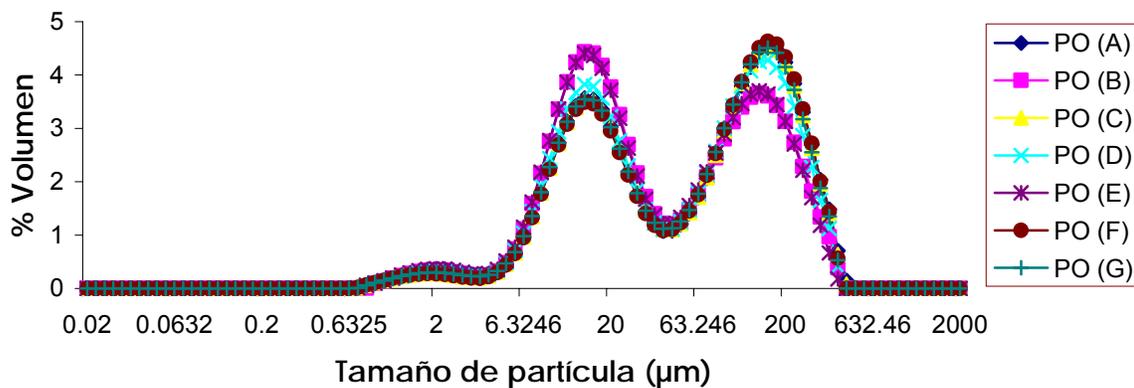
**Páginas de Internet consultadas:**

- <http://www.ceopan.es/historia/lahistoria.htm> (Abril, 2006)
- <http://www.hayas.edu.mx/bach/alimentos/definicion.html> (Abril, 2006)
- [http://www.puc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm](http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada/semillas.htm) (Agosto, 2006)
- <http://www.cetece.org/pags/documentacion/aditivos/mejorates.htm> (Septiembre, 2006)
- <http://www.sagarpa.gob.mx> (Enero 2007)

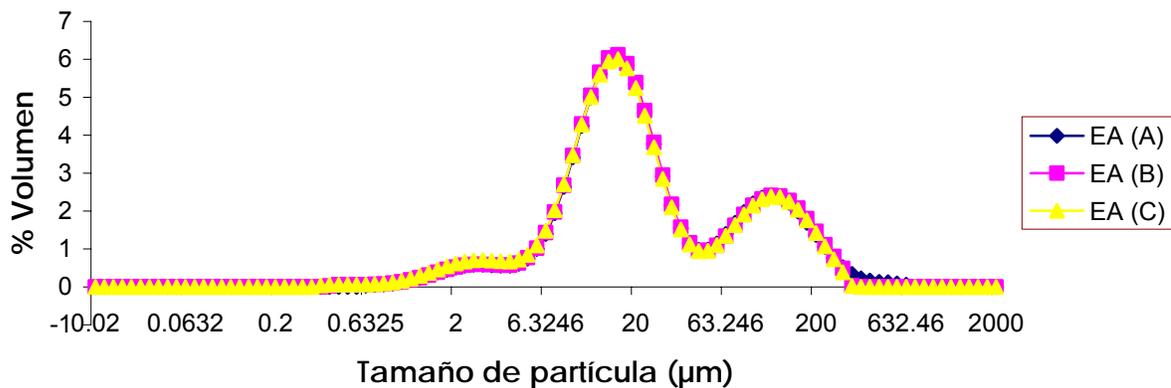
## VIII. ANEXOS

### ANEXO I. Tamaño de partícula

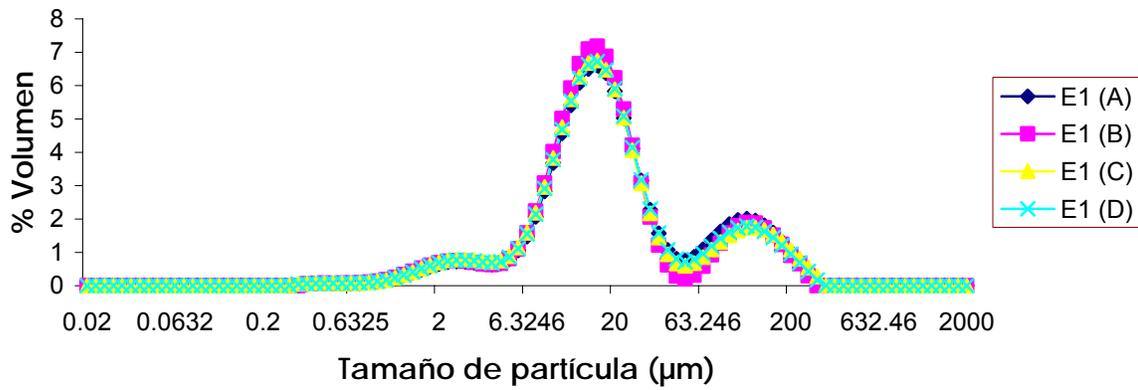
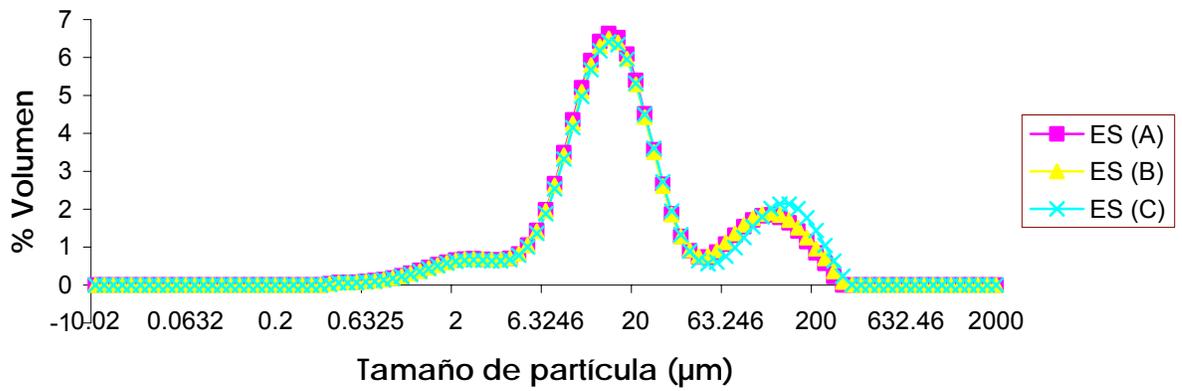
*Distribución granulométrica de las partículas*



*Distribución granulométrica de las partículas*

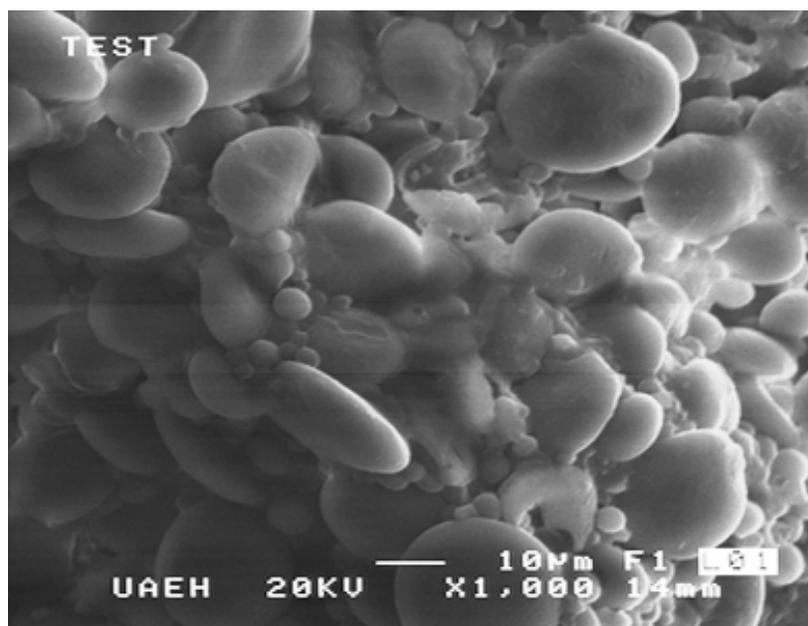
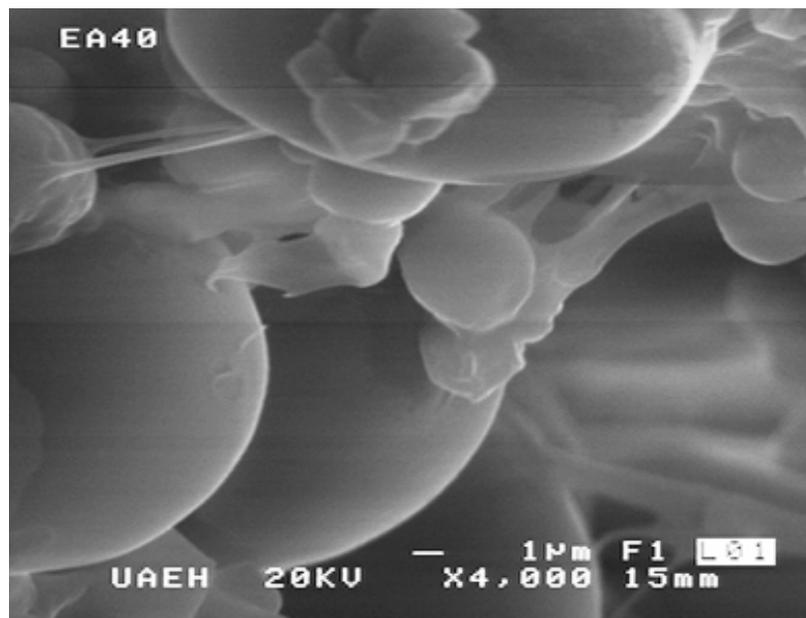


**Figura 17.** Tamaño de partícula de las variedades de harina de cebada PO y EA.

*Distribución granulométrica de las partículas**Distribución granulométrica de las partículas*

**Figura 18.** Tamaño de partícula de las variedades de harina de cebada E1 y ES.

ANEXO II. Microscopía electrónica de barrido



**Figura 19.** Micrografías de la masa elaborada con E140 a 4000x, y del Testigo a 1000x.

**ANEXO III. Análisis sensorial**

Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_

Producto: **Pan de cebada**

Fecha: \_\_\_\_\_

Instrucciones:

Marque con una **X** en el lugar que indique su opinión acerca de cada muestra

| <b>ESCALA</b>              | <b>294</b> | <b>738</b> | <b>501</b> | <b>685</b> |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Me gusta muchísimo         | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Me gusta mucho             | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Me gusta bastante          | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Me gusta ligeramente       | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Ni me gusta ni me disgusta | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Me disgusta ligeramente    | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Me disgusta bastante       | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Me disgusta mucho          | _____      | _____      | _____      | _____      |
| Me disgusta muchísimo      | _____      | _____      | _____      | _____      |

Comentarios \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

!!!!GRACIAS POR TU PARTICIPACIÓN!!!!

**Figura 20.** Ficha de cata utilizada para la realización del análisis sensorial