



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de **Ciencias Básicas e Ingeniería**
Área Académica de **Química**

**“ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE
MALTAS CERVECERAS DE DIFERENTES
VARIETADES DE CEBADA (*Hordeum
vulgare*) PRODUCIDAS EN LOS ESTADOS
DE HIDALGO Y TLAXCALA”**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

Yuridia Ruiz Sánchez

ASESOR:

Dra. Alma Delia Román Gutiérrez



PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, 2006



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

- XXXV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 2004.
- Congreso Internacional de Inocuidad Alimentaria, 2004.
- II Simposio Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 2005.
- VII Congreso Ciencia de los Alimentos, 2005.
- Primer Foro de Química en Alimentos, 2005.



Este trabajo de investigación fue apoyado por la Fundación Hidalgo Produce y se realizó en el laboratorio de Alimentos I, del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

DEDICATORIAS

A Dios, por haber designado este tiempo y espacio especialmente para mí, por permitirme disfrutar del regalo máspreciado que me ha dado como prueba de su amor: mis papás y mis hermanos. Gracias por permitirme conseguir éste anhelado sueño y por ser mi consuelo en los momentos más difíciles de mi vida. Gracias ¡Amigo que nunca falla!

A mis papitos queridos: Guille y José Luis, por haber dado todo cuanto está en sus manos para ayudarme a culminar mi meta sin esperar nada a cambio. Mamá, te admiro tanto por tu lucha constante ante esta vida; tus consejos, tus enseñanzas y todos los momentos de alegrías y tristezas que hemos compartido me han enseñado a enfrentar la vida por más difícil que esta sea. Papá, gracias por confiar siempre en mí y por haberme brindado la oportunidad de realizar mi carrera profesional, la cual también es fruto de todo el esfuerzo que has hecho por mí. Gracias a los dos por quererme tanto y aunque no suelo expresarlo quiero decirles que los Amo y que no hay tesoro más valioso para mí que el tenerlos a ustedes a mi lado.

A mis hermanos y compañeros de travesuras: Gely, Luis, Isra y Lupita, quienes más que hermanos han sido amigos. Luis, gracias por apoyarme cuando más te necesité, tú tuviste gran culpa en mi ingreso a la universidad, gracias por hacerme reír con tus bromas pesadas y por dejarme aprender un poquito con tus experiencias de vida. Gely gracias por confiar en mí; sé que aunque no te doy las mejores soluciones siempre estaré cuando me necesites para escucharte o cuando haya un chisme bueno que compartir. Isra, mi compañero de travesuras, aunque eres menor que yo, a menudo sueles darme lecciones de vida. Hermanito aventurero sé que tienes un concepto de vida que te va a llevar muy lejos, gracias por estar ahí siempre que te necesito. Lupita, aunque no coincidimos en gustos, sabes que siempre cuentas conmigo para todo, nunca te lo he dicho pero mil gracias por ser tan cariñosa conmigo. Los cuatro saben cuanto los amo, ojalá que Dios nos permita seguir unidos como hasta ahora lo hemos hecho.

A mis cuates de chocolate: Edgar, Alondra y Sury, quienes alegran mi vida con sus ocurrencias y travesuras; Edgar y Alo gracias por elegirme como su tía favorita y a Sury que me despierta en las mañanas con sus brincos y gritos.

AGRADECIMIENTOS

- A la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez, quien me permitió formar parte de su equipo de trabajo, por su confianza y la paciencia que me tuvo durante la elaboración de mi tesis, con usted aprendí a tomar decisiones inmediatas y a ser independiente, mil gracias por todo.
- A la Fundación Hidalgo Produce por el apoyo económico que aportó durante esta investigación, su colaboración permitió culminar este trabajo con resultados satisfactorios.
- A la Dra. Eva Maria Santos y la M. en C. Marcela Gaytán por su apoyo en la parte estadística de esta investigación.
- Al Q. A. Eduardo Vega por su apoyo en la determinación de proteínas.
- Al Dr. Javier Castro, al Dr. Carlos Alberto Gómez, al Dr. Francisco Prieto y a la Dra. Elizabeth Contreras por asesorarme en diversas cuestiones y por el préstamo de material.
- A la Dra. Rosa Isela Beltrán y a la técnico Yolanda por su apoyo con préstamo de equipo de análisis de alimentos.
- A mi amiga y compañera de trabajo Viry por su esfuerzo enorme en esta investigación, estos resultados también son tuyos, y creo que sin tu ayuda no se hubiesen logrado. Pero sobre todo por tratar de comprenderme y aguantar mis actitudes después de las vacaciones sacrificadas, uno que otro experimento imperfecto, muchas réplicas de poder diastásico y otras cuantas más de proteínas, ante todo me demostraste que eres una persona excepcional, pues siempre he contado contigo para todo, gracias por ser una de mis mejores amigas.
- A Pedro Fernando, por todos los momentos que hemos compartido, gracias por ser mi apoyo, por comprenderme y aceptarme como soy, por tu amistad y cariño que me has brindado siempre; te quiero mucho.
- A Aurora, Maribel, Luis y el Maestro Eugenio Omaña, por estar siempre que los necesito, por esa amistad tan hermosa que hemos mantenido durante unos cuantos años.
- A Viry, Paty, Clau, Lili, Nely, Mary, Yady, Angye, Karla, Fa y Zenia por las múltiples reuniones sociales, por las travesuras de las clases aburridas, por hacerme reír, por una que otra viboreada de gente y por brindarme su amistad.
- A Mary Cruz y Manuel por haber compartido su casa conmigo durante 4 años y medio, por su cariño, consejos y comprensión, les estaré eternamente agradecida.
- A la familia Sánchez; en especial a Consuelo y Meli, a mi tío Juan Sánchez, al tío "Lón", a Saúl y Lina por su apoyo, consejos y ánimos.

ÍNDICE GENERAL

TEMA	Página
DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	lii
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	Vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Tecnología de la malta.....	3
2.1.1 Importancia del grano de cebada en la elaboración de la malta.....	5
2.2 Composición bioquímica y propiedades del grano de cebada.....	7
2.2.1 Contenido de carbohidratos amiláceos y no amiláceos.....	8
2.2.2 Importancia de los β -glucanos en cebada.....	12
2.2.3 Contenido de nitrógeno y proteínas.....	14
2.2.3.1 Enzimas implicadas en el proceso de malteado.....	15
2.2.4 Presencia de lípidos en cebada.....	17
2.2.5 Otros constituyentes del grano de cebada.....	17
2.3 Bioquímica del proceso de malteado.....	18
2.4 Elaboración de malta.....	19
2.4.1 Selección y limpieza del grano.....	19
2.4.1.1 Parámetros de calidad de cebada maltera.....	20
2.4.2 Remojo.....	22
2.4.3 Germinación.....	23
2.4.4 Secado.....	26
2.4.5 Molienda y eliminación de raicillas.....	28
2.4.6 Pérdidas por malteado.....	29
2.5 Calidad microbiológica de la malta.....	29
2.6 Usos de la malta.....	32
2.6.1 Producción de cerveza.....	32
2.6.2 Otros usos de la malta.....	35
III. OBJETIVOS	36
3.1 Objetivo general.....	36
3.2 Objetivos específicos.....	36
IV. MATERIALES Y METODOS	37
4.1 Materia prima.....	37
4.2 Muestreo y tamaño de la muestra.....	37
4.3 Evaluación de calidad maltera en cebadas.....	38
4.3.1 Viabilidad de germinación (Porcentaje de germinación).....	38
4.3.1.1 Tamaño de raicillas.....	39
4.3.2 Determinación de β -glucanos en cebada.....	39
4.3.3 Determinación de humedad.....	41
4.4 Pruebas preeliminares de remojo, germinación y secado.....	41
4.4.1 Experimentos de remojo.....	42
4.4.2 Condiciones de germinación.....	43
4.4.3 Condiciones de secado.....	43
4.5 Diseño de experimentos.....	44
4.6 Malteado de cebada.....	45
4.6.1 Selección y limpieza.....	45

4.6.2 Remojo.....	45
4.6.3 Germinación.....	45
4.6.4 Secado.....	46
4.6.5 Molienda y eliminación de raicillas.....	46
4.7 Análisis de calidad de maltas terminadas.....	46
4.7.1 Pérdidas por malteado.....	46
4.7.2 β -glucanos en malta.....	47
4.7.3 Determinación del poder diastásico de malta.....	47
4.7.4 Nitrógeno total en malta y determinación de proteínas.....	48
4.8 Análisis en maltas seleccionadas.....	49
4.8.1 Extracto de malta.....	49
4.9 Análisis estadísticos.....	51
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
5.1 Evaluación de calidad maltera en cebadas.....	52
5.2 Pruebas preeliminares de remojo, germinación y secado.....	55
5.3 Evaluación de las fases de malteado.....	60
5.4 Optimización del proceso de malteado y selección de maltas de mejor calidad.....	66
5.5 Evaluación de calidad de maltas seleccionadas.....	80
5.5.1 Comparación con testigos de calidad maltera aceptable.....	80
VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	82
6.1 Conclusiones.....	82
6.2 Perspectivas.....	83
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	84
VIII. ANEXOS.....	92
GLOSARIO.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Número		Página
Tabla 1.	Composición química media de la materia seca del grano de cebada (Callejo, 2002).....	8
Tabla 2.	Parámetros y especificaciones de calidad maltera en cebada (NMX-FF-043-SCFI-2003).....	20
Tabla 3.	Características de calidad maltera en cebada (Anderson et al, 2000; Callejo, 2002; Hornsey, 1999).....	21
Tabla 4.	Variedades de cebada sometidas a procesos de malteado.....	37
Tabla 5.	Factores y niveles para el malteado de 7 variedades de cebada....	44
Tabla 6.	Matriz del diseño de experimentos del proceso de malteado.....	44
Tabla 7.	Análisis físico y selectivo de cebada (López, 2005).....	52
Tabla 8.	Parámetros de evaluación de calidad maltera en cebada (desviación estándar).....	54
Tabla 9.	Promedios de viabilidad de germinación (desviación estándar).....	58
Tabla 10.	Humedades de remojo (%) durante 2 y 4 días (desviación estándar).....	61
Tabla 11.	Porcentaje de germinación para muestras de cebada sometidas a diversos tratamientos de germinación (desviación estándar).....	63
Tabla 12.	Tamaño de Raicillas para las variedades de cebada analizadas (desviación estándar).....	66
Tabla 13.	Humedades de secado (%) (desviación estándar).....	67
Tabla 14.	Pérdidas por malteado (%) para las diversas maltas obtenidas (desviación estándar).....	67
Tabla 15.	β -glucanos en malta (%) (desviación estándar).....	68
Tabla 16.	Poder diastásico en malta (Unidades Windisch Kolbalch) (desviación estándar).....	71
Tabla 17.	Contenido de proteínas en malta (%) (desviación estándar)..	72
Tabla 18.	Tratamientos de malteado 2 días de remojo a 10°C.....	74
Tabla 19.	Parámetros de calidad de malta	75
Tabla 20.	Maltas apropiadas para la elaboración de cerveza.....	75
Tabla 21.	Correlación entre parámetros de calidad en maltas	77
Tabla 22.	Vectores característicos para las variables de cebada maltera.....	78
Tabla 23.	Evaluación de calidad de maltas seleccionadas para la elaboración de cerveza (desviación estándar).....	81
Tabla 24.	Humedad alcanzada (%) durante el remojo a 19-22°C (desviación estándar).....	92
Tabla 25.	Humedad alcanzada (%) durante el remojo a 4°C (desviación estándar).....	92
Tabla 26.	Humedad alcanzada (%) durante el remojo a 10°C (desviación estándar).....	92
Tabla 27.	Tamaño de raicillas (TR); 2 días de germinación a 16°C (desviación estándar).....	93
Tabla 28.	Tamaño de raicillas (TR); 2 días de germinación a 20°C (desviación estándar).....	93
Tabla 29.	Tamaño de raicillas (TR); 4 días de germinación a 16°C (desviación estándar).....	94
Tabla 30.	Tamaño de raicillas (TR); 4 días de germinación a 20°C (desviación estándar).....	94
Tabla 31.	Humedades (en %) alcanzadas durante los tratamientos de remojo (desviación estándar).....	95
Tabla 32.	Contenido de nitrógeno en malta (%) (desviación estándar).....	96
Tabla 33.	Comparación múltiple de tratamientos de malteado mediante distancias euclidianas.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Página
Figura 1. Proceso de malteado de la cebada (http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/7522/maltade.htm).....	3
Figura 2. Especies de cebada; (a) <i>Horedum distichum</i> , (b) <i>Hordeum vulgare</i> (http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm).....	6
Figura 3. Ubicación de los constituyentes del grano de cebada de mayor importancia para el proceso de malteado (http://www.html.rincondelvago.com/files.jpg).....	6
Figura 4. Sección esquemática de los principales compartimentos del grano de cebada (corte lateral) (http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm).....	8
Figura 5. Estructura química de la amilopectina (http://msdlocal.ebi.ac.uk/docs/chem_comp/gif/raffinose).....	9
Figura 6. Estructura química de la amilosa (http://msdlocal.ebi.ac.uk/docs/chem_comp/gif/raffinose).....	10
Figura 7. Principales azúcares presentes cebada; (a) Sacarosa, (b) Rafinosa (http://www.telecable.es/quimica/industria/sacarosa).....	10
Figura 8. Estructura química de los pentosanos (http://www.sbu.ac.uk/water/images/hyglu.gif).....	11
Figura 9. Estructura química de los β -glucanos (http://www.sbu.ac.uk/water/images/hyglu.gif).....	11
Figura 10. Célula de endospermo del grano de cebada (Lewis et Young, 1995).....	12
Figura 11. Esquema de raicillas y acospira durante la germinación de cebada (Callejo, 2002).....	24
Figura 12. Comparación de la eficiencia de los métodos preeliminares de remojo.....	56
Figura 13. Humedad obtenida después del tratamiento preliminar de secado.....	59
Figura 14. Fase de remojo.....	60
Figura 15. Germinación de cebada.....	62
Figura 16. Evaluación de la viabilidad de la cebada (Conteo de granos germinados y medida del grano y tamaño de raicillas).....	62
Figura 17. Secado de la cebada germinada.....	65
Figura 18. Determinación de β - glucanos en malta.....	68
Figura 19. Determinación de poder diastásico en maltas.....	70
Figura 20. Distribución de componentes principales, tomando en cuenta los análisis de calidad en malta.....	79

I. INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum sativum*) es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas, los principales tipos de cebada que se cultivan pertenecen a las especies *Hordeum distichum* (de 2 hileras) y *Hordeum vulgare* (de 6 hileras). Desde hace 3000 años su primordial aplicación es como materia prima para la producción de malta en la industria cervecera (Hornsey, 1999), sin embargo, no todas las variedades de cebada pueden ser utilizadas para elaborar malta, debido a que no se conocen las características de calidad que poseen.

La cebada se ha destacado por ser un cultivo de gran importancia económica y social en México; tan sólo en el año 2005 la producción nacional de este cereal fue de 457,856 toneladas (ciclo primavera-verano), los Estados de Hidalgo y Tlaxcala se destacan por ser dos de los más importantes productores de cebada a nivel nacional, la producción total de cebada en el ciclo primavera-verano 2005 fue de 245, 503 toneladas para el Estado de Hidalgo, mientras que en el Estado de Tlaxcala se produjeron Hidalgo 124, 793 toneladas (SAGARPA, 2005).

Los tipos de cebada que se cultivan en los estados de Hidalgo y Tlaxcala pertenecen a la especie *Hordeum vulgare*; existe una amplia diversidad de variedades de cebada, entre las cuales se pueden destacar Esmeralda, Pastor Ortiz, M16, Esperanza, Gaviota, Forrajera, etc.; actualmente la industria maltera utiliza la variedad Esmeralda de temporal y la Esperanza de riego. Probablemente las otras variedades posean características malteras, pero hasta el momento no se han realizado estudios.

La primera fase de la producción de cerveza es el malteado, el cual se lleva a cabo mediante tres etapas principales: remojo, germinación y secado del grano, se realiza con el objetivo de generar enzimas encargadas de hidrolizar el almidón de la cebada para obtener azúcares y otros nutrientes necesarios para la levadura durante la fermentación mediante una germinación controlada de la cebada, la elaboración de la malta es una etapa trascendental, pues precisamente en este período se define si la cebada posee características ideales para ser empleada la

industria cervecera.

La calidad final de la malta depende de las propiedades fisicoquímicas del grano de cebada, así como de las condiciones de tiempo y temperatura de las fases de malteado, la calidad de la malta se evalúa mediante una serie de métodos analíticos, entre los cuales destacan la viabilidad de germinación, contenido de humedad, pérdidas por malteado, contenido de proteínas (nitrógeno en malta), extracto de malta, poder diastásico y el contenido de β -glucanos (Analytica EBC, 2003).

Este trabajo de investigación tiene por propósito establecer las condiciones óptimas de malteado para variedades de cebada producidas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala y seleccionar las variedades de cebada con las cuales se obtenga malta de mejor calidad.

II. ANTECEDENTES

2.1 Tecnología de la malta

La malta es la cebada parcialmente germinada y secada; durante la germinación se producen una gran cantidad de enzimas activas que transforman las reservas del grano (principalmente almidón) en compuestos requeridos durante la elaboración de cerveza (Callejo, 2002).

Actualmente, la cebada es el cereal más empleado para la elaboración de malta cervecera, en menor proporción se usa el trigo y sorgo. Cada año se producen alrededor de 1.5×10^7 toneladas de malta a partir de cebada; alrededor de un 94% de esa cantidad, es usada en la industria cervecera (Schilbach, 1999). La conversión de cebada en malta requiere un mínimo de 2 semanas y se somete a malteado después de 6 a 8 semanas de la cosecha del grano.

La malta es una materia prima necesaria para la fabricación de cerveza ya que confiere características de color, sabor y espuma por ello su elaboración exige controles rigurosos de tiempo y temperatura, el malteado constituye toda una industria que en la mayoría de los casos es independiente de la industria cervecera. El malteado consta de varias etapas mostradas en la figura 1.



Figura 1. Proceso de malteado de la cebada (www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/7522/maltade.htm)

Tipos de maltas cerveceras

Existen diversos tipos de malta, que difieren en las condiciones de tiempo y temperatura a las cuales fueron tratadas durante el malteado, por lo que poseen características especiales de sabor y color (Anderson *et al*, 2000):

Maltas cerveceras claras. Se trata de maltas destinadas a la elaboración de cervezas de tipo lager o pilsner. En el secado, estas maltas son sometidas a bajas temperaturas (50-70°C), lo cual promueve la formación de S-metilmetionina, durante la elaboración de la cerveza esta sustancia se transforma a dimetilsulfato, aportando el sabor característico de las cervezas claras.

Maltas cerveceras claras especiales. También se conocen como maltas proteolíticas, enzimáticas o ácidas y están enriquecidas con ácido láctico, el cual se adiciona con la finalidad de reducir el pH de la malta hasta obtener un valor óptimo para la actividad de las enzimas α -amilasas que actúan durante la maceración durante la elaboración de cerveza. Además el ácido láctico reduce la acción indeseable de la dureza carbonatada del agua. Las maltas especiales se emplean en una concentración máxima de 10% junto con otros tipos de maltas.

Maltas oscuras (*Secadas parcialmente*). En este grupo se incluyen a las maltas de tipo Vienna que se producen principalmente en Europa y se emplean para la elaboración de cervezas ale “*coloreadas*” u “*oscuras*”; cervezas que se caracterizan por tener sabores de amargor más acentuado. El secado de estas maltas se realiza a temperaturas más altas (80-100°C) y periodos de tiempo cortos.

Maltas tostadas. Se trata de maltas “*ámbar, cafés, chocolate y negras*” (en orden de ascendencia en la tonalidad de color) y se utilizan para la elaboración de cervezas de tipo *stout*. En esta clasificación también se encuentran las maltas acarameladas conocidas como *maltas caramelo y cristal*. Las maltas tostadas se someten a secados con humedad controlada seguida de un tratamiento de cristalización (acentuación de colores inducidos por reacciones de Maillard) y enfriamiento, estas se emplean en concentraciones bajas para elaborar cervezas de tipo ale y lager originando sabores típicos de cerveza.

Maltas destiladas. Se elaboran con cebadas dísticas y requieren una cantidad moderada de nitrógeno, así como bajas temperaturas seguidas de un proceso de ahumado al final del secado. Las maltas destiladas se emplean junto con altas cantidades de adjuntos cerveceros de alto poder diastásico y normalmente se emplean para la elaboración de bebidas de tipo spirit y whisky.

2.1.1 Importancia del grano de cebada en la elaboración de la malta

El objetivo del malteado es transformar las reservas nutritivas del grano a sustratos apropiados requeridos para la elaboración de cerveza mediante una germinación controlada; las siguientes características fisiológicas hacen de la cebada sea el cereal preferido para la elaboración de malta cervecera; cualidad que se dio a denotar a partir del siglo XVI (Hornsey, 1999):

La planta de cebada pertenece a la familia de las Gramíneas, todas las cebadas se integran en el género *Hordeum* dentro del cual se encuentran las especies *Hordeum distichum* o dísticas (plantas que producen 2 granos en los nudos de la cabeza; es decir producen cabezas de 2 hileras) y *Hordeum vulgare* o hexísticas (son cebadas que producen cabezas de 6 hileras) (Figura 2). Estas dos especies incluyen a numerosas variedades de cebada.

Ambas especies de cebada se emplean para la elaboración de malta cervecera; las variedades *H. distichum* producen granos más gruesos y uniformes, y por ello se utilizan para la elaboración de maltas primordialmente en países de Europa, en tanto que las variedades de *H. vulgare* poseen un alto potencial enzimático y son preferidas principalmente en cervecerías de México, Canadá y Estados Unidos (Hornsey, 1999).



Figura 2. Especies de cebada; (a) *Hordeum distichum*, (b) *Hordeum vulgare* (http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm)

La semilla de cebada está rodeada de una capa protectora que recubre la verdadera cubierta de la semilla o testa, por lo tanto, posee tres capas (cáscara, pericarpio y testa) que le confieren una protección al grano destinado al malteado, sobre todo durante el almacenamiento (figura 3).

Los fragmentos de cáscara sirven de lecho filtrante después de la maceración para separar el mosto.

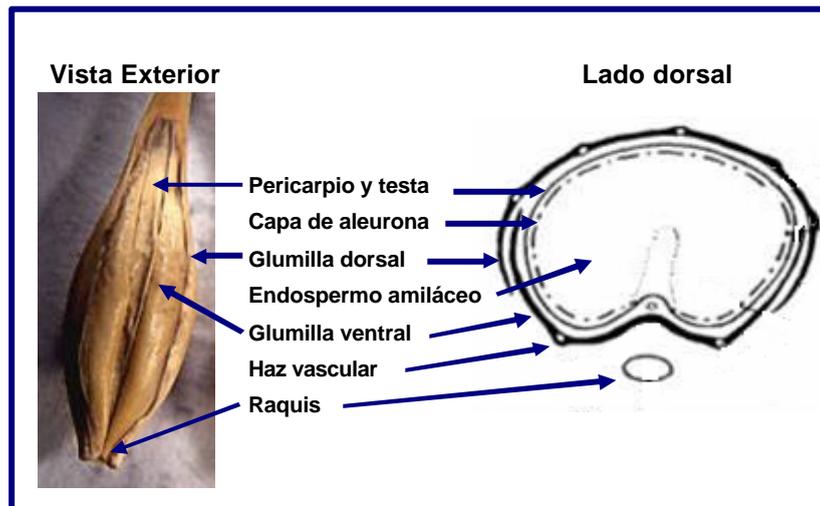


Figura 3. Ubicación de los constituyentes del grano de cebada de mayor importancia para el proceso de malteado (<http://www.html.rincondelvago.com/files.jpg>)

El endospermo de los granos de cebada posee hasta un 90% de carbohidratos totales, de los cuales un 80% se encuentra en forma de gránulos de almidón que sirve de reserva nutritiva del grano. El almidón es solubilizado e hidrolizado durante el malteado hasta monosacáridos (principalmente glucosa y maltosa) gracias a la capacidad enzimática de las α y β -amilasas que se desarrollan en la cebada durante la germinación.

2.2 Composición bioquímica y propiedades del grano de cebada

El grano de cebada presenta forma oval y alargada (Figura 4); posee 2 compartimentos especiales: el endospermo y el embrión, ambas zonas se encuentran rodeadas por dos capas externas (testa y pericarpio) que le confieren una protección vital durante el almacenamiento (Callejo, 2002).

El endospermo es el lugar en donde se almacena el almidón y está cubierto por la capa de aleurona; tanto las paredes celulares del endospermo amiláceo como las que conforman la aleurona se encuentran cubiertas por polisacáridos no amiláceos tales como arabinosilanos, β -glucanos y en menor cantidad unidades de celulosa (MacGregor et Batty, 1996). El endospermo del grano de cebada también es rico en nitrógeno (1.4-1.8% del peso seco), el cual se encuentra en forma de proteína enzimática y proteína de reserva (Hornsey, 1999).

El embrión es la parte de la semilla de la cebada que se desarrolla durante la germinación ya que requiere de nutrientes como el almidón y proteínas para su crecimiento; en el embrión se promueve la formación de enzimas que potencian la degradación de dichos componentes. La producción de enzimas durante la germinación inicia en el escútelos.

Los lípidos constituyen el 3-4% del peso total del grano y se encuentran localizados mayoritariamente en las células del embrión y la aleurona.

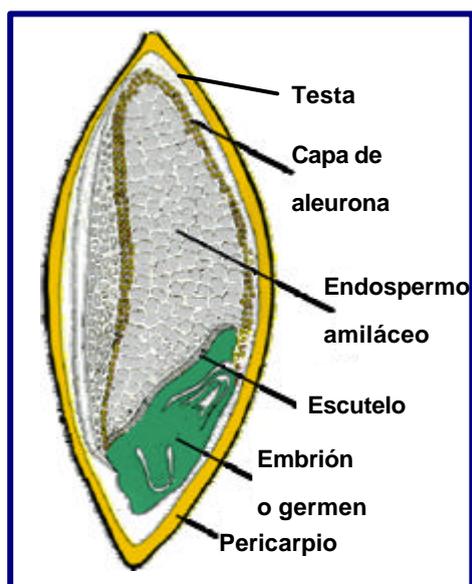


Figura 4. Sección esquemática de los principales compartimentos del grano de cebada (corte lateral) (http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm)

En general, la cebada presenta la composición química media mostrada en la tabla 1; los nutrientes mostrados se encuentran expresados en base seca, por lo tanto el contenido de humedad de la cebada es próximo al 14% (Callejo, 2002).

Tabla 1. Composición química media de la materia seca del grano de cebada (Callejo, 2002)

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

2.2.1 Contenido de carbohidratos amiláceos y no amiláceos

Los carbohidratos constituyen alrededor del 80% del grano de cebada, el almidón es el componente más importante, ocupando hasta un 65% del total, no obstante,

las paredes celulares de la cebada contienen matrices de microfibrillas compuestas por polisacáridos tales como celulosas y hemicelulosas (que a su vez están conformadas por arabinoxilanos y (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4) β -D-glucanos), mientras que el contenido de azúcares sencillos es mínimo, aumentando después de los procesos de malteado como resultado de la degradación enzimática del almidón y de los otros polisacáridos (MacGregor *et Batty*, 1996).

a) Polisacáridos amiláceos

Almidón: Se encuentra en el endospermo de la cebada en forma de gránulos específicos que miden entre 20-25 μ m de diámetro (grandes) y 1-5 μ m de diámetro (pequeños). Todos los gránulos de almidón se encuentran envueltos dentro de una matriz proteica.

Durante la germinación, solamente un 15% del total de almidón es hidrolizado para ser consumido por el embrión en su respiración, por lo que la ruptura total del almidón se completa en la maceración del mosto cervecero gracias a la actividad de α y β -amilasas; enzimas inducidas durante la germinación (Callejo, 2002). El almidón está compuesto por unidades de amilosa y amilopectina.

Amilopectina: Se trata de un polímero ramificado compuesto por unidades de D-glucosa, unidas por enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$ en la cadena lineal y con ramificaciones unidas por enlaces $\alpha(1\rightarrow6)$ (Figura 5).

La amilopectina supone el 75-80% del almidón de cebada.

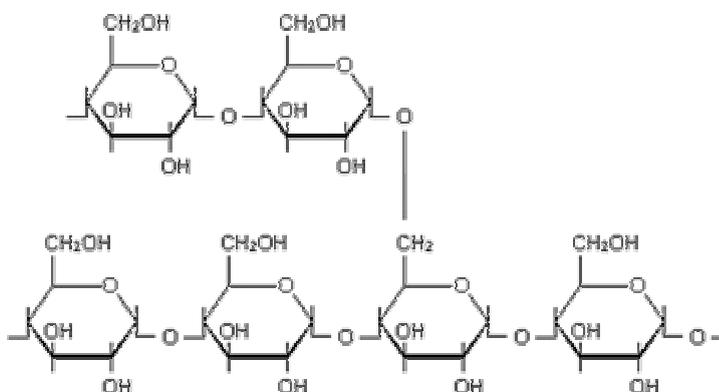


Figura 5. Estructura química de la amilopectina (http://msdlocal.ebi.ac.uk/docs/chem_comp/gif/raffinose)

Amilosa: Es un polímero de cadena recta formado por unidades de D-glucosa que se unen mediante enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$, (Figura 6).

La amilosa ocupa de 20-25% del almidón total. La amilosa puede ser hidrolizada completamente a maltosa por la acción combinada de β -amilasa y otras enzimas denominadas isoamilasas (Banks *et Greenwood*, 1973).

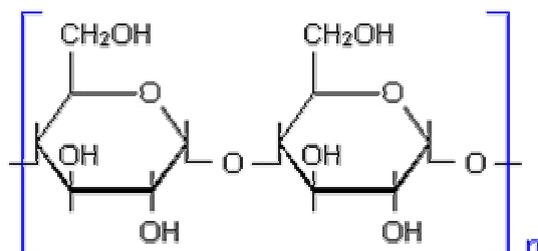


Figura 6. Estructura química de la amilosa (http://msdlocal.ebi.ac.uk/docs/chem_comp/gif/raffinose)

b) Polisacáridos no amiláceos

Celulosa: Se localiza exclusivamente en las cubiertas de las paredes celulares, actuando como sustancia estructural, este polisacárido es insoluble y no hidrolizable por las enzimas generadas durante el malteado, sin embargo, carece de influencia en la calidad de la malta.

Azúcares: La sacarosa y la rafinosa son los azúcares principales que se encuentran en el grano de cebada (figura 7), se ubican en la capa de aleurona y en el embrión, el contenido de azúcares en el grano de cebada incrementa considerablemente después del malteado generándose maltosa como principal producto.

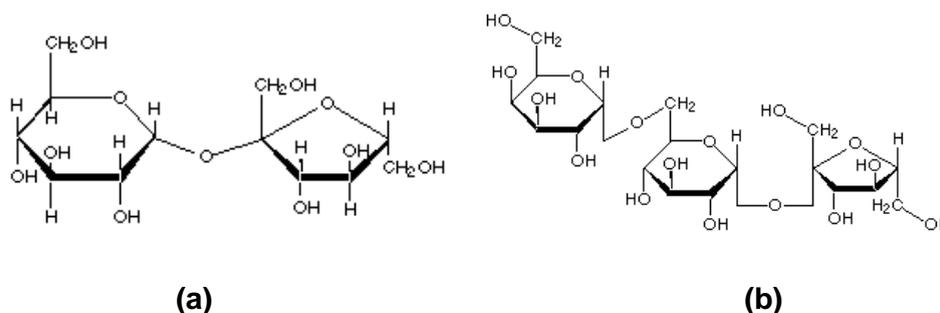


Figura 7. Principales azúcares presentes en la cebada; (a) Sacarosa, (b) Rafinosa. (<http://www.telecable.es/quimica/industria/sacarosa>)

Gomas: Se trata de los β -glucanos y pentosanos o arabinoxilanos que son solubles en agua caliente.

Hemicelulosas: Esta fracción se refiere al porcentaje de β -glucanos (80-90%) y pentosanos (10-20%) que son insolubles en agua caliente.

Pentosanos o arabinoxilanos: Son polímeros de xilosa unidos por enlaces β (1 \rightarrow 4) y cadenas laterales de arabinosa unidos por enlaces β (1 \rightarrow 3) (Figura 8) que suelen ser parcialmente hidrolizados durante la germinación; estos componentes carecen de importancia en la calidad de la malta cervecera en comparación con los β -glucanos.

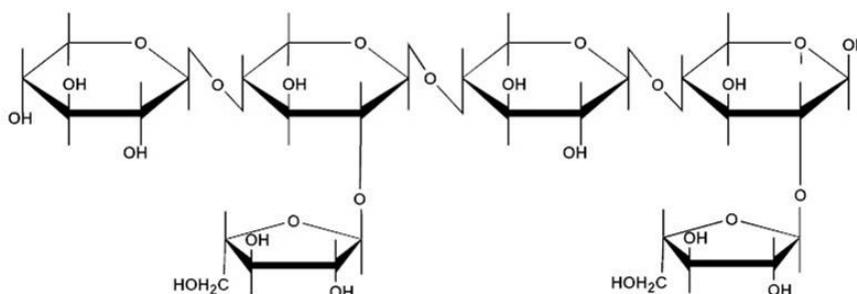


Figura 8. Estructura química de los pentosanos (<http://www.sbu.ac.uk/water/images/hyglu.gif>)

β -D-glucanos: Son polímeros lineales de glucosa, unidos mediante enlaces β -(1 \rightarrow 3) (70%) y (1 \rightarrow 4) (30%), (Figura 9) que se encuentran en las paredes celulares del endospermo hasta 70-95% junto con otros pentosanos, otra pequeña cantidad procede de la cascarilla (MacGregor *et* Batty, 1996; Hornsey, 1999).

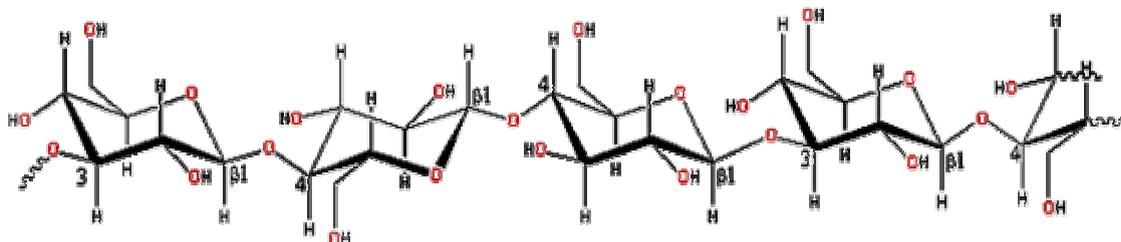


Figura 9. Estructura química de los β -glucanos (<http://www.sbu.ac.uk/water/images/hyglu.gif>)

Los β -glucanos se encuentran estrechamente unidos a las proteínas (mediante enlaces puentes de hidrógeno) en las paredes celulares del endospermo. En la figura 10 se representa esquemáticamente una célula de endospermo, mostrando

gránulos de almidón (grandes y pequeños) embebidos de una matriz proteica formada por el complejo proteína- β -glucano y rodeados por la pared celular (Lewis *et al.*, 1995).

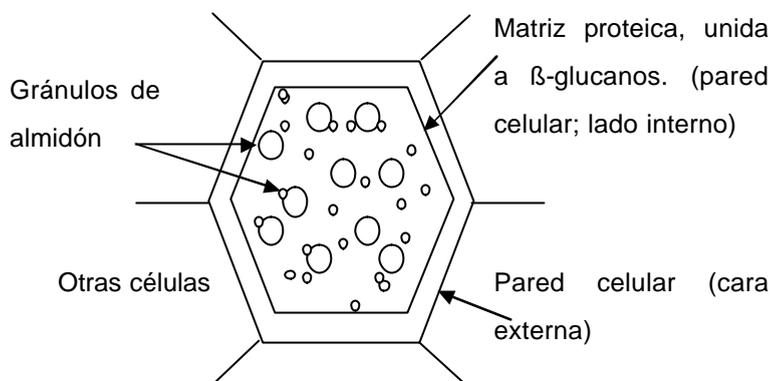


Figura10. Célula de endospermo del grano de cebada (Lewis *et al.*, 1995)

2.2.2 Importancia de los β -glucanos en cebada

En la industria de la malta y cerveza altas cantidades de β -glucanos se asocian directamente con problemas, principalmente la formación de “haze” (precipitados insolubles de β -glucanos en producto terminado) (Bamforth, 1982).

Los β -glucanos también suelen enlazarse a otros componentes como los polifenoles, proteínas y otros polisacáridos que formarán precipitados turbios durante el almacenamiento de la cerveza, conocidos como “chill haze” (Yamashita, *et al.*, 1989); también pueden formar geles, con complicaciones adversas sobre la filtración del mosto (Callejo, 2002); tales como disminución del volumen final de la cerveza y un incremento de tiempo para el filtrado (Bathgate, 1983), además se les ha identificado como las principales barreras para la penetración del agua al interior del grano durante la fase del remojo (Ellis *et al.*, 1997).

Altas concentraciones de β -glucanos afectan el extracto, debido a que las cebadas con cantidades elevadas de estos componentes suelen mostrar producciones pobres de β -glucanasa; enzima encargada de la despolimerización de los β -glucanos (Etokapkan, 1993). La degradación del almidón de la cebada está determinada principalmente por el contenido de β -glucanos en la pared celular y en especial en la capacidad de la cebada para desarrollar altos niveles

de β -glucanasa (Henry, 1989), debido a que una deficiente β -glucanasa en la muestra trae como consecuencia una degradación más lenta de β -glucanos (Masak *et Basarova*, 1991; Stuart *et al* 1988).

Finalmente, los β -glucanos incrementan la viscosidad del mosto, por lo que deben estar presentes en mínimas cantidades en el grano de cebada (generalmente se han reportado concentraciones de 3-6% como límite máximo en variedades de cebada empleadas en Europa (MacGregor *et Batty*, 1996).

El contenido de β -glucanos ha sido uno de los principales parámetros para la evaluación de la calidad de cebada, malta y cerveza (Ingversen *et al*, 1989), se han empleado diversos métodos para dicho análisis (precipitación con sulfato de amonio, hidrólisis de β -glucanos con ácido o álcali), sin embargo los métodos más específicos están basados en la hidrólisis de dichos polisacáridos con enzimas endohidrolasas definidas, es decir β -(1 \rightarrow 3), β -(1 \rightarrow 4) D-glucanasas.

Existen algunas alternativas para disminuir los problemas causados por concentraciones elevadas de β -glucanos en maltas cerveceras; la primera de ellas consiste en seleccionar variedades de cebada que produzcan altas cantidades de β -glucanasa.

Otro método para controlar los niveles de β -glucanos consiste en establecer métodos de secado y macerado de maltas que no afecten o destruyan la actividad de la β -glucanasa por el uso de altas temperaturas (Loi *et al*, 1997).

Últimos estudios sobre modificación genética han demostrado que se incrementa considerablemente la producción de β -glucanasas en cebada mediante la inserción de genes de bacterias (Olsen *et al*, 1991), hongos (Mannonen *et al*, 1993) o genes de la misma cebada (Fincher, 1994), bajo estas investigaciones se han obtenido β -glucanasas estables al calor, con lo cual se ha reducido la cantidad de β -glucanos en maltas así como la disminución de la viscosidad de mostos durante experimentos de maceración (Mannonen, 1993; Aspergen *et al*, 1995).

2.2.3 Contenido de nitrógeno y proteínas

La evaluación del contenido de nitrógeno en la cebada es una medida indirecta de la cantidad de proteínas presentes en dicho cultivo. La mayor parte de nitrógeno de la cebada está localizado en el endospermo como proteína de reserva y proteína enzimática. Además de las proteínas, existen diversos compuestos que contienen nitrógeno en pequeñas cantidades, entre ellos figuran los ácidos nucleicos, aminos, amidas y aminoácidos libres (Hornsey, 1999).

Las proteínas son compuestos nitrogenados de alto peso molecular y ocupan de 8 a 15% de la materia seca total del grano de cebada; existen cuatro fracciones proteicas principales:

Hordeína. Alcanza hasta un 36% de la proteína total y es soluble en etanol al 70%. Debido a que es deficiente en lisina y treonina; dos aminoácidos esenciales, no presenta un efecto de gran importancia en alimentos elaborados a partir de cebada.

Globulina. Constituye alrededor de un 31% de la proteína total y es soluble en cloruro de sodio diluido.

Glutelina. Es soluble en una solución de hidróxido de sodio y constituye alrededor de un 29% de la proteína total.

Albúmina. Es una proteína soluble en agua caliente y en soluciones salinas diluidas supone alrededor del 4% del contenido total de proteína.

Todas las fracciones proteicas se encuentran almacenadas en el endospermo del grano de cebada y pueden ser degradadas para proporcionar nutrientes durante la germinación. La hordeína y la glutelina son proteínas estructurales y ambas sufren una mayor degradación durante el malteado, mientras que la albúmina y la globulina del grano de cebada representan las fuentes potenciales de β -amilasa y proteasas (MacGregor *et Batty*, 1996).

Altas cantidades de proteínas disminuyen el extracto potencial y provocan largos tiempos de germinación en la malta, además de aportar turbidez en cerveza terminada debida principalmente a péptidos no degradados durante la malta que se unen a los componentes que confieren amargor a la cerveza tales como los iso-a-ácidos; (Callejo, 2002; Huges, 1999; Huges *et Wilde*, 1997).

Bajas cantidades de proteínas causan fermentaciones lentas, así como deficiencia de aminoácidos disponibles para la levadura durante la fase de fermentación y en cerveza terminada originan inestabilidad en la espuma. El contenido de proteína en cebada es de un 9.05 a 10.9% (Analytica EBC, 2003).

2.2.3.1 Enzimas implicadas en el proceso de malteado

La degradación de compuestos como almidón, proteínas y otros polímeros para su conversión en nutrientes sencillos y necesarios para la germinación se lleva a cabo mediante reacciones enzimáticas específicas que implican principalmente la actividad de enzimas α y β -amilasas, dextrinasas, proteasas y β -glucanasa (Hornsey, 1999).

Amilasas: Se trata de enzimas α y β -amilasas encargadas de la degradación del almidón a dextrinas (sustancias químicamente intermedias entre el almidón y monosacáridos) y azúcares sencillos, la actividad combinada de estas enzimas es conocida como poder diastásico (PD). En los procesos de elaboración de cerveza se requieren altos niveles de PD para obtener una conversión adecuada del almidón (Evans *et al*, 1996).

La cebada sin maltear contiene cantidades considerables de β -amilasa latente, en forma soluble como insoluble, esta enzima se solubiliza completamente durante el malteado; mientras que la α -amilasa esta ausente en la cebada y se desarrolla en las primeras fases de malteado (remojo y germinación).

La β -amilasa tiene una actividad dextrinógena, es decir genera más cantidades de dextrinas, en tanto que la α -amilasa tiene una acción sacarogénica; es decir completa la degradación del almidón hasta azúcares. Las temperaturas bajo las cuales estas enzimas son viables son entre 62 y 75°C; (Wolfgang, 1999).

Proteasas, pentosanasas y dextrinasas límite. Son enzimas encargadas de acelerar la degradación de proteínas y pentosanos respectivamente, estas enzimas al igual que la α -amilasa también se generan durante el malteado gracias a la actividad del ácido giberélico, una hormona vegetal natural.

β -D-glucanasa (β -glucanasa). Se trata de una enzima con peso molecular cercano a 20 000 unidades (Yin *et MacGregor*, 1989), se activa durante el malteado después de la formación de la α -amilasa en el embrión de cebada (específicamente en la aleurona y el escutelo) y está implicada en la degradación de β -glucanos (Etokapkan, 1993; Hornsey, 1999; Ellis *et al*, 1997; Knuckles *et Chiu*, 1999). La presencia de esta enzima en concentraciones elevadas se traduce directamente a una mejor calidad de la malta.

La cantidad y la capacidad enzimática de la de β -glucanasa presente en la cebada dependen principalmente de las propiedades genéticas de la variedad utilizada (Narasinhalu *et al*, 1994; Zhang *et al*, 2001). La β -glucanasa muestra su mayor actividad en los días finales de malteado (Swanston *et al*, 1994), posteriormente, durante la maceración, dicha enzima se vuelve a activar para desdoblar restos de β -glucanos, inactivándose a temperaturas por encima de los 45°C (Muller, 1995).

Lipasa. También conocida como triacilglicerol hidrolasa; se encarga de promover la ruptura de lípidos, específicamente triacilgliceroles para convertirlos en ácidos grasos. La lipasa se activa durante la germinación, siendo 37°C su temperatura óptima de actividad, se encuentra principalmente en el embrión y la aleurona, aunque existen cantidades considerables de esta enzima en el endospermo amiláceo y en la cascarilla de la cebada (Gaillard *et Bowler*, 1987).

Además de la lipasa, en la cebada existen pequeñas cantidades de fosfolipasas responsables de la ruptura de lípidos polares como los fosfolípidos, glicerofosfolípidos y esteroides (MacGregor *et Batty*, 1996).

2.2.4 Presencia de lípidos en cebada

Constituyen alrededor del 3-4% de la masa total de la cebada, se trata principalmente de triacilgliceroles y ácidos grasos libres (básicamente ácidos palmítico, oléico y linoléico), que conforman el 27% al 30% del total de las grasas y se encuentran en el embrión y en la capa de aleurona, la cebada también posee lípidos polares en proporciones menores (14 a 19% del total) como esteroides y fosfolípidos.

Durante la elaboración de cerveza, la levadura empleada para la fermentación requiere de la presencia de lípidos para su crecimiento sin embargo, altas cantidades de lípidos en malta aportan turbidez en cerveza, incrementando el “haze” causado por uniones de β -glucanos con lípidos que forman geles los cuales impiden una filtración adecuada de la cerveza (Meshehdani *et al*, 1990).

Otros efectos indeseables provocados por elevadas concentraciones de lípidos son la presencia de sabores “rancios” en malta, mosto y cerveza provocados por la oxidación de lípidos, así como la desestabilización de la espuma de la cerveza, provocada por residuos de lípidos polares tales como los fosfolípidos (Holleman *et al*, 1991).

2.2.5 Otros constituyentes del grano de cebada

Monofenoles y polifenoles. Se encuentran en pequeñas cantidades en la cáscara, pericarpio y la capa de aleurona.

Vitaminas y Minerales: En la capa de aleurona también se encuentran ciertos minerales tales como K^+ , PO_4^{3-} , Mg^{2+} , Na^+ y Cl^- , la cebada también posee vitaminas del grupo B; elementos vitales para la fermentación, las vitaminas se distribuyen en el embrión y la capa de aleurona (Hornsey, 1999).

2.3 Bioquímica del proceso de malteado

El endospermo amiláceo de la cebada se encuentra formado por células incapaces de sintetizar enzimas. Tales células consisten en una pared de proteínas que envuelve a gránulos de almidón (pequeños y grandes). Durante el proceso de malteado, en el embrión se desencadena un potente sistema enzimático que se transporta al endospermo y que es capaz de hidrolizar el almidón presente, la degradación del almidón se ve facilitada por la solubilización parcial de las proteínas, así como la degradación de β -glucanos.

Los procesos bioquímicos durante el malteado incluyen reacciones que implican citólisis, proteólisis y amilólisis; tales reacciones se describen a continuación (Callejo, 2002; Bamforth, 2000; Hornsey, 1999):

1. Durante el remojo, comienza la entrada de agua hacia el interior del grano (en general por la parte donde comienza el embrión).
2. El grano de cebada contiene cantidades de β -amilasa latente en formas solubles e insolubles; durante el malteado, la β -amilasa se solubiliza por completo.
3. En el embrión ocurre una producción de ácido giberélico (AG) y giberelinas que se difunden hacia el endospermo. Una vez en el endospermo, el AG se propaga hacia el escútelo y la capa de aleurona; la producción de enzimas inicia en el escútelo y posteriormente continúa en el resto de la capa de aleurona (Ranki, 1990); ulterior a la activación enzimática se forman enzimas: α -amilasa, endo β -glucanasas, pentosanasas, endoproteasas y dextrinasas.

Después de 2 días de germinación, finaliza la producción de giberelinas, precisamente la capacidad de las cebadas para producir enzimas hidrolíticas depende de la cantidad y la viabilidad de las giberelinas generadas (Kusaba *et al*, 1991). Los granos que presenten daños en la parte del embrión son incapaces de producir giberelinas, por lo que se debe omitir su uso para la elaboración de maltas. (MacGregor *et* Batty, 1996).

4. A continuación se hidroliza aproximadamente un 10% de almidón y el contenido de amilosa se eleva desde un 22% (cebada) hasta 26% (malta) aproximadamente.
5. Después se comienzan a degradar los β -glucanos y arabinosilanos que se encuentran en la pared celular del endospermo, con ello se consigue la exposición de las partes proteicas que protegen a los gránulos de almidón.
6. Las proteínas son degradadas parcialmente por las proteasas y peptidasas, liberando nitrógeno amino libre (FAN: Free Amino Nitrogen). La proteolisis de los granos es de gran importancia debido al FAN liberado, pues no sólo es necesario para el crecimiento del embrión sino que asegura la producción eficiente de enzimas durante todo el proceso de germinación (Palmer, 1989). Los péptidos y el FAN obtenidos con la proteolisis también son requeridos para el crecimiento de las levaduras durante la fermentación, por ello, una insuficiente degradación de proteínas provoca extractos pobres de malta (Taylor, 1991).
7. Finalmente el resto de almidón es degradado hasta la obtención de azúcares principalmente maltosa y glucosa, nutriendo el embrión para la posterior formación de raicillas en el grano.
8. Después de la hidrólisis del almidón ocurre un metabolismo denominado extracto en agua fría, el cual consiste en la formación de aminoácidos y azúcares durante la respiración, los cuales se manifiestan con la formación de raicillas y acrospira.

2.4 Elaboración de la malta

2.4.1 Selección y limpieza del grano

Es una actividad cualitativa que se realiza en base a propiedades organolépticas de la cebada y consiste en comprobar si el grano posee un tamaño uniforme, si se encuentra libre de materias extrañas tales como otras semillas, si contiene granos rotos, heces de roedores, piedras, etc.

La limpieza de la cebada consiste en eliminar cualquier sustancia ajena a la misma, así como los granos dañados, vanos, inmaduros, chupados o verdes que pudiesen existir (NMX-FF-043-SCFI-2003). Otros parámetros de gran importancia son el tamaño, el olor y el color del grano; la cebada con carga microbiana muy alta emite un olor característico que se detecta con facilidad.

Posteriormente se efectúan pruebas de laboratorio entre ellas la determinación de humedad, la viabilidad de germinación y el contenido proximal de la cebada (Callejo, 2002).

2.4.1.1 Parámetros de calidad de cebada maltera

En México, los parámetros de calidad para la cebada maltera se encuentran establecidos en la NMX-FF-043-SCFI-2003, en dicha norma se hace referencia a propiedades fisicoquímicas de la cebada, las cuales se describen en la tabla 2.

Anderson et al, 2000; Callejo, 2002; Hornsey, 1999 indican que el uso de granos de calidad adecuada son de gran importancia durante el malteado (tabla 3).

Tabla 2. Parámetros y especificaciones de calidad maltera en cebada (NMX-FF-043-SCFI-2003).

Parámetro	Especificaciones
Humedad	Entre 11.5 y 13.5%
Grano de tamaño para uso maltero	Contenido mínimo de 85% del total de la muestra
Granos quebrados	Máximo 5.0%
Impurezas	Máximo 2.0%
Granos dañados	Máximo 10%
Germinación mínima	Mínimo 85%
Mezcla de otras variedades	Máximo 10%
Peso hectolítrico	56 Kg/L (cebadas de dos hileras) 58 Kg/L (cebadas de seis hileras)
Olor	Característico del grano, sin olores extraños
Residuos tóxicos	Sin residuos
Contaminantes o toxinas	Sin contaminación evidente

Además de las propiedades fisicoquímicas, la cebada considerada como maltera debe cumplir con otros parámetros específicos de calidad; tales como nitrógeno (1.5 a 2.1%), proteínas (8.3 a 12.3%) y β -glucanos (31%) establecidos en métodos de Analytica EBC, 2003.

Se requiere además que las cebadas destinadas al malteado no posean altas cantidades de lípidos, (normalmente el contenido de grasa en cebada es de 3-4% del peso seco del total del grano) debido a consecuencias como la oxidación de grasas y turbidez en cerveza y mosto (Narzis *et Skein*, 1986). Finalmente, la cantidad de carbohidratos (principalmente azúcares y almidón) debe ser alta para asegurar fermentaciones eficientes durante la elaboración de cerveza (Hornsey, 1999); cabe resaltar que no existen valores específicos en normas en cuanto al contenido de lípidos y carbohidratos en cebadas y maltas.

Tabla 3. Características de calidad maltera en cebada (Anderson *et al*, 2000; Callejo, 2002; Hornsey, 1999).

Característica	Beneficios a la malta
1. Granos gordos, de superficie lisa y sin partir, con cascarilla fina y de color amarillo claro.	1. Asegura un malteado homogéneo.
2. Granos sanos (sin daños físicos, con contaminaciones mínimas causadas por mohos, ausencia de cebadas pre-germinadas y libres de material extraño como insectos y piedras).	2. Evita problemas durante la elaboración de la malta y maximiza el rendimiento del grano de cebada.
3. El endospermo del grano debe ser blanco y harinoso con un aspecto brillante.	3. Habrá un mayor rendimiento de la malta.
4. Granos de cebada con adecuada capacidad de hidratación.	4. Acelera el proceso de malteado.
5. Capacidad de desarrollar los complejos enzimáticos requeridos.	5. Las enzimas son necesarias para el malteado.

2.4.2 Remojo

Es una fase crítica del malteado debido a que del remojo depende en gran medida la capacidad de germinación del grano (French *et* McRuer, 1990), el cual consiste en suministrar agua al interior del grano con el objetivo primordial de incrementar su humedad hasta 40-45% (Analytica EBC, 2003).

Durante el remojo, la absorción de agua al interior del grano es rápida, aunque después desciende gradualmente; el embrión toma rápidamente agua, en cambio el endospermo sufre una hidratación más lenta (Anderson *et al*, 2000). En cuanto a los gránulos de almidón, los pequeños tienen una mayor capacidad de absorción de agua (alrededor de un 33%) mientras que la penetración de agua en los gránulos de mayor tamaño es más lenta (Bathgate, 1989). La capacidad de hidratación de la cebada depende de la variedad, del tamaño del grano, de la cantidad de la muestra a remojar, de la temperatura y tiempo de remojo, entre otros factores (Briggs, 1998).

Conforme avanza el tiempo de remojo, la semilla de cebada incrementa su tamaño hasta un 25% y ocurre un ablandamiento de las células, así como la activación de enzimas presentes en la cebada para iniciar el proceso de germinación.

El remojo consta de dos fases importantes: los períodos de inmersión (suministro constante de agua) y los períodos de oxigenación (suministro de oxígeno). El oxígeno es necesario porque la respiración del embrión aumenta significativamente lo que crea una demanda importante de este gas en el agua de remojo (French *et* McRuer, 1990), además es promotor de la formación de amilasa; en ausencia de oxígeno, el embrión puede metabolizar anaeróbicamente las reservas, pero de un modo energéticamente poco eficaz, convirtiéndolas en dióxido de carbono y alcohol y a medida que el alcohol incrementa su concentración, se vuelve tóxico para el grano, mientras que un exceso de dióxido de carbono inhibe la formación de enzimas (Wheith *et* Klaushofer, 1993).

Después del remojo, el agua empleada sufre una coloración debido a que la cebada puede contener materiales solubles y microorganismos que alteran el

proceso de malteado, por ello es de gran importancia cambiar el agua de remojo por lo menos una vez durante todo el malteado (Anderson *et al*, 2000).

Al final de la fase de remojo, el agua utilizada se elimina y se continúa con la germinación; esta etapa puede realizarse en el mismo recipiente donde es realizado el remojo o puede utilizarse material distinto.

Normalmente se recomienda realizar el remojo a temperaturas próximas a 16°C (Briggs, 1998), con una duración total de 2 a 3 días (Wolfgang, 1999); el tiempo anterior debe distribuirse de tal manera que cada 6 ó 8 h los períodos de remojo sean sustituidos por períodos de oxigenación conocidos como descansos de aire.

Tradicionalmente, el remojo de la cebada se realiza por inmersión del grano en el agua con descansos de aire o suministros de oxígeno, aunque también existen otros tipos de remojo tales como remojo por dispersión de agua (spray); remojo en agua fluida y remojo en agua caliente (MacGregor *et Batty*, 1996).

2.4.3 Germinación

La germinación es un proceso controlado cuyo objetivo es generar nutrientes, principalmente azúcares y aminoácidos mediante la modificación del endospermo, la cual ocurre por el desarrollo, distribución y acción de enzimas (α y β -amilasas, proteasas, arabinosidas y β -glucanasas). Los compuestos obtenidos en la germinación serán utilizados por la levadura durante la elaboración de cerveza.

La transformación de la cebada depende de factores como la cantidad y forma de distribución del agua dentro del endospermo amiláceo, la cantidad y capacidad de las enzimas hidrolíticas y las características estructurales del almidón a la degradación debido a la protección que le confieren β -glucanos y proteínas.

La germinación del grano es controlada mediante la estabilización de la humedad de la muestra (la cual debe mantenerse alrededor de 42%), con suministro de oxígeno, la eliminación del dióxido de carbono y la eliminación del exceso de calor generado por la respiración de la semilla .

La actividad enzimática se manifiesta por la aparición externa de raicillas en un extremo y el avance por debajo de la cáscara de la acrospira o cotiledón, (Castañe *et Damm*, 1997); el crecimiento del cotiledón y de raicillas de la cebada es conocido como desagregación, de acuerdo con el grado alcanzado en el proceso de transformación, se dice que las maltas son más o menos desagregadas, de esta forma, las maltas menos desagregadas, es decir con tamaños de raicillas menores se emplean para la elaboración de cervezas claras (raicillas con 1.5 veces la longitud del grano), mientras que las maltas con grados mayores de desagregación son utilizadas para fabricar cervezas de color oscuro; se aceptan raicillas con tamaños de hasta 2 veces la longitud del grano según Callejo (2002), mientras que la acrospira debe alcanzar $\frac{2}{3}$ de la longitud del grano (Figura 11).

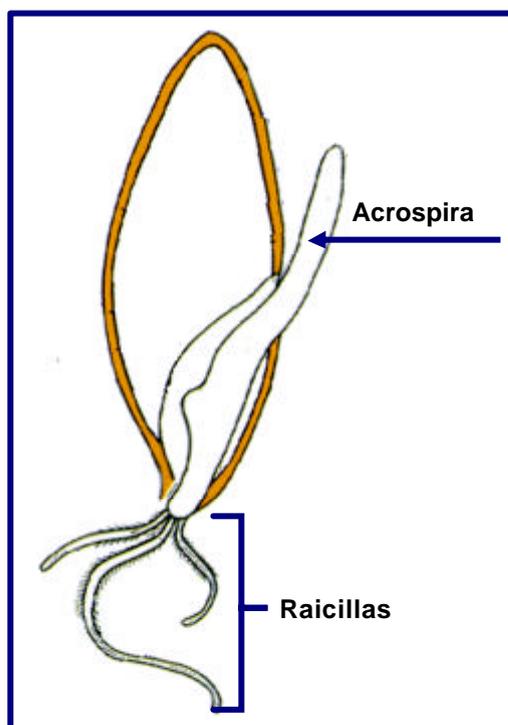


Figura 11. Esquema de raicillas y acrospira durante la germinación de cebada (Callejo, 2002)

Una vez que finaliza la germinación, el producto obtenido, conocido como “*malta verde*”, se puede someter a una corriente de aire estéril a 25°C para disminuir la humedad de la muestra y con ello reducir el riesgo de desarrollo de microorganismos (Galán *et al*, 2004) debido a que un inadecuado control durante la germinación puede reducir la calidad de la malta, sobre todo cuando se desarrolla contaminación por mohos o insectos (HGCA, 2002).

Tradicionalmente, la germinación se lleva a cabo a temperaturas entre 16 y 20 °C, bajo este rango se obtiene un crecimiento eficiente en las raicillas de la cebada (MacGregor *et* Batty; 1996, Bamforth, 2000). Existen dos sistemas de germinación para maltas cerveceras (Callejo, 2002):

Germinación tradicional. Este sistema de germinación consiste en extender los granos remojados de cebada en el “suelo de malteado” en una capa uniforme de 25cm de profundidad. El material del recubrimiento del suelo debe ser impermeable y las pérdidas de humedad se compensan mediante duchas de agua hacia el grano de cebada. Se requiere del volteo con palas para eliminar dióxido de carbono y evitar entrecruzamientos de raicillas, este proceso necesita tiempos largos de germinación; entre 8 y 10 días (MacGregor *et* Batty, 1996).

Sistemas neumáticos. En este tipo de germinación el contenido de agua, la humedad y la temperatura son controladas mediante la inyección de aire húmedo templado al lecho de cebada, por lo que necesitan una caja de germinación y una planta de acondicionamiento para mantener las condiciones de humedad y temperatura constantes. Se han desarrollado 2 tipos de sistemas neumáticos de germinación.

1. Germinación en tambores. Consiste en colocar la cebada en cilindros perforados y se le suministra aire por la parte inferior del tambor; así mismo, estos recipientes están provistos por una especie de tornillo en la parte superior, el cual gira removiendo la cebada, eliminando así el dióxido de carbono y evitando sobrecalentamientos.

2. Germinación en cajas. Este es el sistema de germinación más empleado en la actualidad, la germinación de la muestra se realiza en recipientes amplios de base plana; las semillas se distribuyen formando una capa de 0.7 a 1.5cm; los granos de cebada son removidos para evitar entrecruzamientos entre las raicillas conforme incrementa el tamaño de las mismas, debido a que si las raíces se enredan entre sí, dificultan la penetración de oxígeno a las semillas que se encuentran en la parte interior de la caja (MacGregor *et* Batty, 1996).

2.4.4 Secado

Consiste en la aplicación de calor a la cebada después de que ha culminado la fase de germinación con el objetivo de detener la degradación del almidón y reducir la humedad hasta 2-5%, con ello se logra mantener la estabilidad de la malta durante el período de almacenamiento. Con el secado de la malta también se pretende detener la actividad enzimática desencadenada durante la germinación sin destruir las enzimas e introducir las características finales de color y sabor (MacGregor *et Batty*, 1996).

El secado se caracteriza por manejar temperaturas que no impliquen la destrucción de las enzimas desarrolladas durante la germinación (α y β -amilasas, β -glucanasas, proteasas y dextrinasas), debido a que estas enzimas son muy sensibles a altas temperaturas.

El secado es un proceso que requiere un riguroso control y comúnmente, se inicia a bajas temperaturas (35-50°C), las cuales se van incrementando hasta llegar a temperaturas próximas a 75°C para la elaboración de maltas claras y temperaturas próximas a 100°C para obtener maltas oscuras; sin embargo también existen procedimientos de secado a temperatura constante, como es el caso de la malta caramelo, la cual se trata a la temperatura más baja posible sin aumento de calor; bajo el tratamiento anterior se produce una acentuación considerable de sabor (Meilgaard, 1993).

Las condiciones de secado son muy variadas y estas dependen de las características finales que se les quiere dar a la malta (Anderson *et al*, 1999). El uso de temperaturas próximas a los 100°C se conoce como “*curado*” y se aplica a maltas oscuras destinadas para la elaboración de cervezas tipo *ale*. Al final de la fase del secado las enzimas termolábiles como las proteasas y β -glucanasas se encuentran desnaturalizadas y el resto las enzimas remanentes se encuentran coaguladas. La coagulación de las enzimas es de gran importancia para obtener cervezas no turbias. El secado puede durar entre 16 y 60 horas, dependiendo del tipo de malta a producir (Hornsey, 1999).

El principal cambio que se manifiesta durante el secado es el oscurecimiento de la malta debido a reacciones de Maillard. La reacción entre los aminoácidos y azúcares puede seguir otras rutas químicas originando compuestos como las pirazinas, tiofenoles, pirroles y furanos que confieren características especiales a las maltas, como sabores típicos a tostado, café o caramelo. Las reacciones de Maillard se favorecen a temperaturas por encima de 80°C. En maltas oscuras se debe inducir la formación de estos compuestos, mientras que en las maltas claras las condiciones de tostado han de ser más suaves para evitar su síntesis.

Durante el secado, también se debe evitar que la malta se someta a muy altas temperaturas, debido a la producción de N-nitrosoaminas, las cuales pueden resultar carcinogénicas, por lo cual debe disminuirse y/o evitarse su formación (Wainwriht, 1986).

El secado de la malta se divide en tres etapas principales:

- 1. Eliminación del agua libre.** La humedad de la muestra disminuye aproximadamente desde 42% hasta 23%, el agua se elimina con facilidad
- 2. Estado Intermedio.** La humedad se reduce hasta 12%. Después de esta etapa, se ha minimizado la actividad enzimática; la temperatura de secado hasta la fase intermedia no debe superar los 50°C y normalmente ocurre entre las 12 y 24h de tratamiento (Callejo, 2002).
- 3. Eliminación de agua ligada.** Ocurre una disminución de humedad desde 12 hasta 6%.
- 4. Curado de la malta o golpe de fuego.** Reducción de humedad hasta 2-5%, con el curado se eliminan sabores a malta verde. Después de estas dos últimas etapas, la temperatura del aire se encuentra 50 y 90°C.

El secado de la malta suele llevarse a cabo en contenedores verticales con calentamiento indirecto y condiciones de recirculación de aire. Industrialmente se realiza en un secadero con control de humedad y temperatura; mientras que a

nivel experimental puede realizarse en hornos de secado con recirculación de aire caliente y control de temperatura. Al final del secado, la malta debe ser almacenada a temperaturas bajas (4-5°C) para mantener constante la humedad obtenida, además de evitar contaminación de la misma, sobre todo de tipo microbiológica (Callejo, 2002).

2.4.5 Molienda y eliminación de raicillas

Consiste en desechar la mayor parte de raicillas formadas durante el malteado ya que no tienen una función importante en procesos posteriores; el peso de las raicillas supone de 3 a 5% del peso total de la malta y se eliminan por abrasión de la muestra, por agitación y por métodos de tamizado (Pelembé *et al*, 2002).

Después de la eliminación de las raicillas la malta es molida para que se someta al macerado, la molienda se realiza con el fin de conseguir una extracción adecuada de materias útiles, así como la producción de partículas de un tamaño, que sea rápidamente atacado por las enzimas y posteriormente favorecer la filtración del mosto (Castañe *et Damm*, 1997). Las partículas no deben ser muy pequeñas (aunque no existe un tamaño específico para este parámetro), debido a que estas pueden causar problemas de drenado del mosto, en tanto que las partículas excesivamente grandes pueden afectar la enzimólisis de la malta, obteniendo velocidades de conversión lentas e incompletas (Hornsey, 1999).

Para la molienda de la malta suelen emplearse molinos de uno o varios cilindros, provistos de tamices, de esta forma se obtiene una separación de cáscaras, sémolas gruesas y finas y harina, existen dos tipos de molienda, la molienda seca y la molienda húmeda. La molienda seca se prefiere para maltas bien desagregadas, normalmente destinadas a la elaboración de cervezas *lager*.

En la molienda húmeda, los granos se remojan con agua hasta que el contenido de humedad alcanza un 30%, con lo que se mejora el extracto potencial y las características de drenado o filtrado del mosto de la malta macerada debido a que en la molienda húmeda, la cáscara del grano se mantiene intacta.

2.4.6 Pérdidas por malteado

Durante la elaboración de la malta existe una pérdida de peso que normalmente oscila entre el 7-10%. Las pérdidas se deben principalmente a tres razones:

1. Pérdidas respiratorias: Representan hasta un 4-5%, se trata de las pérdidas de material que ocurren durante la germinación.

2. Pérdida de peso de las raicillas: Aproximadamente un 3-4%.

3. Pérdidas durante el remojo: Pueden ser desde 1% hasta un 1.5%.

Las pérdidas por malteado, no deben sobrepasar el 20-25% del total de la materia.

2.5 Calidad microbiológica de la malta

Desde el momento de la formación de la espiga, hasta la llegada al proceso, los granos de los cereales son contaminados naturalmente por numerosos microorganismos, esta flora microbiana es diversa y está compuesta por bacterias, levaduras y hongos. Además de la microflora aportada en el campo, las operaciones de manipulación y eventualmente las condiciones de secado originan contaminaciones secundarias incrementando la contaminación del grano.

En la mayoría de los casos la microflora presente en los cereales representa un riesgo potencial; hongos y bacterias se desarrollan a expensas del grano, y producen agua debido a su actividad metabólica, además incrementan la temperatura de la muestra originando la presencia de olores y sabores desagradables y en el caso de algunos hongos pueden producir micotoxinas que tienen efectos patológicos en el hombre y animales (Callejo, 2002).

Las micotoxinas formadas pueden ser termostables y tolerantes a fenómenos de oxidación, por lo que representan un gran problema en el campo de la alimentación debido a que su periodo de vida en el alimento es más amplio que el del hongo sintetizador. De forma general, la síntesis de micotoxinas en la cebada

suele ocurrir cuando las condiciones de hidratación son adecuadas para el crecimiento fúngico, además todas las micotoxinas suelen encontrarse en semillas obviamente alteradas (de color oscuro, enmohecidas, con fragmentos rotos, etc.). Los granos que están dañados mecánicamente se encuentran mucho más sujetos a alteraciones microbianas, sobre todo aquellos que presentan rupturas en la zona del germen, debido a que los mohos crecen favorablemente en dicha sección.

Los hongos son la microflora abundante en cereales y se desarrollan con humedades relativas muy inferiores a las necesarias para otros microorganismos.

Antes de la cosecha, los granos de los cereales son contaminados significativamente por las especies de mohos siguientes: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Helmitosporium* (ICMSF, 1998). Mientras que durante el almacenamiento, los grupos originarios de la contaminación son *Aspergillus* y *Penicillium*, se trata de especies que a menudo provienen de contaminaciones secundarias causadas por la manipulación de los granos. Estas especies de mohos tienen la capacidad de crecer en semillas con contenidos de humedad entre 15 y 16% y pueden sintetizar micotoxinas.

Las principales consecuencias de la contaminación microbiológica en cereales son la pérdida de la capacidad germinativa y el aumento la acidez de semillas causado por las lipasas producidas por hongos de campo o durante el almacenamiento principalmente las provenientes del género *Penicillium*, así como la producción de olores indeseables “a moho” que pueden persistir en los productos ya cocidos.

En cebada y malta, suele haber altas concentraciones de los géneros *Alternaria* y *Fusarium*, los cuales provocan pérdidas en el rendimiento y calidad de la malta (Vinko *et al*, 2005). Durante la elaboración de la malta, se favorecen las condiciones (alta humedad, temperatura adecuada y la misma germinación de la semilla) para el crecimiento microbiano, en este caso, los principales contaminantes son hongos provenientes del género *Fusarium*, los cuales disminuyen la calidad del mosto y la malta debido a la producción de altas

cantidades de nitrógeno (resultado de la degradación causada por los microorganismos), así como problemas de viscosidad y decoloración en el mosto mientras que en la cerveza provocan sabores indeseables (Schwarz *et al*, 2001).

Los hongos del género *Fusarium* generan la formación de desoxinilvalenol (DON) así como otras micotoxinas tales como trichothecina, zearelenona, fumonisina moniliforme, etc. (Schwarz *et al*, 1995; Munar *et al*, 1997), las cuales pueden afectar la salud del ser humano y de los animales (Hussein *et al*, 2001; Logrieco *et al*, 2003).

El DON es un componente hidrofóbico que se elimina en la fase de remojo de la cebada, pero cuando la cebada se encuentra contaminada excesivamente, no se elimina durante el resto del proceso de elaboración de cerveza. El DON es responsable de la formación del *gushing* de la cerveza (Haikara, A.; 2001; Kleemola *et al*, 2001), dicho fenómeno consiste en un levantamiento inestable de la espuma que se presenta rápidamente al abrir la tapa de las latas o botellas (Schwarz *et al*, 1995; Scott, 1996). Las variedades *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum* y *Fusarium poae* son potenciales inductores del *gushing* (Niessen *et al*, 1992; Vaag *et al*, 1993; Schwarz *et al*, 1996; Munar *et al*, 1997).

Otro problema causado por los mohos es el incremento en la degradación de las células del grano de cebada debido a reacciones de proteólisis y amilólisis provocadas por enzimas fúngicas (Schwarz *et al*, 2001).

En general, la presencia de *Fusarium* en la cebada y malta representa pérdidas importantes, debido a la disminución de la calidad de la malta y a la presencia de toxinas (Mesterházy *et al*, 2003; Scott, 1996), como consecuencia directa, disminuye el valor económico de estos productos (Schaafsma, 2002).

Una alternativa para combatir la contaminación por *Fusarium* es el empleo de cultivos *starter*, se trata de cultivos de tipo ácido lácticos que producen compuestos tóxicos para los mohos, sin afectar la calidad de la malta (Boivin *et al*, 1993; Haikara *et al*, 1995).

Se ha demostrado que *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus pentosaceus* son eficientes para inhibir el desarrollo de hongos cuando se adicionan a la cebada durante el remojo en concentraciones cercanas a 10^7 células/g (Boivin *et Malanda*, 1997; Haikara *et al*, 1993). Los cultivos ácido lácticos también restringen el crecimiento de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, las cuales compiten con los granos de cebada por la utilización del oxígeno presente en la muestra (Doran *et Briggs*, 1993).

La contaminación de los granos no se puede evitar debido a la exposición de los cereales a diversos factores de manipulación y conservación, sin embargo, el desarrollo se puede controlar mediante métodos adecuados de almacenamiento. Por ejemplo, la refrigeración (temperaturas próximas a 5°C) permite la estabilidad del grano sin daño durante periodos prolongados.

Un método más eficiente para disminuir el desarrollo de mohos es desecar los cereales a humedades inferiores a 15%, esta actividad suele realizarse mediante la exposición al sol y al viento, el secado le confiere protección al grano y disminuye considerablemente la población microbiana. Aunque la contaminación por mohos en los cereales no puede llevarse a cero, debe insistirse en la importancia de limitarla en magnitud, las acciones procedentes son la destrucción de esporas en alguna etapa clave, la inhibición de su desarrollo y la destrucción de las toxinas ya formadas (Fernández, 2000).

2.6 Usos de la malta

2.6.1 Producción de cerveza

La producción de cerveza es un proceso complejo que se lleva a cabo mediante los siguientes pasos principales (Linko *et al*, 1998):

Integración de la malta. La malta es una materia prima fundamental en el proceso de cervecería, ya que es la fuente de sustratos necesarios para la fermentación, ésta se adiciona molida y se mezcla con agua para producir mosto.

Maceración. Consiste en mezclar uno o varios tipos de malta con agua, con el objetivo principal de solubilizar la mayor cantidad de materias hidrosolubles de la malta y granos crudos que serán el sustrato de la levadura, esta extracción se logra mediante hidrólisis enzimática. La actividad enzimática que se detuvo en la fase de secado de la malta se activa de nueva cuenta en esta etapa mediante condiciones específicas de tiempo y temperatura.

El rendimiento del macerado está determinado por los siguientes factores: Calidad de la malta utilizada, composición del agua utilizada, proporción agua/molienda, pH del macerado, temperaturas de maceración (61-72°C).

La maceración finaliza con una separación por filtración de los compuestos sólidos y se recupera la fase líquida.

Ebullición o cocción del mosto. Consiste en llevar a ebullición el extracto obtenido durante la maceración junto con el lúpulo durante un lapso de tiempo que oscila entre 30 y 60min.

Los objetivos principales de la cocción son la estabilización del mosto (la cual incluye la inactivación de enzimas, la esterilización del mosto y la coagulación de compuestos proteicos), la concentración del mosto, la modificación del sabor y desarrollo del color. El desarrollo del color y sabor del mosto ocurre gracias a la destilación de productos volátiles, extracción de sustancias amargas del lúpulo y la producción de color por caramelización de azúcares así como la formación de otros productos como las melanoidinas.

Durante esta etapa se deben controlar aspectos como la agitación, el tiempo, presión, pH y la temperatura de cocción.

Después de la cocción, el producto obtenido se denomina "*turbio caliente*" y es sometido a una segunda filtración para separar los sólidos formados, de nueva cuenta, se aprovecha la parte líquida para continuar con el proceso de cervecería.

Enfriamiento del mosto. Después de la cocción del mosto, este se lleva a la temperatura de siembra de las levaduras. A medida que la temperatura desciende por debajo de 60°C, el mosto previamente clarificado empieza a enturbiarse debido a la formación de turbio frío (se trata de materia desintegrada en pequeñas partículas que precipitan con gran dificultad), el cual puede disminuir la capacidad de fermentación de las levaduras a causa de que estas partículas pueden adherirse a burbujas de aire o incluso a las mismas levaduras. La materia del turbio frío se puede separar mediante centrifugación, logrando eliminar hasta 60% del turbio total. Después del enfriamiento, es necesario airear el mosto para facilitar el crecimiento de las levaduras, el oxígeno es requerido por las levaduras para sintetizar ácidos grasos de las paredes celulares.

Fermentación: Se trata de la transformación del mosto en cerveza mediante la conversión de los azúcares hasta compuestos como etanol y dióxido de carbono por las enzimas de la levadura. La fermentación se divide en dos etapas:

Fermentación primaria. En esta fase, la cerveza adquiere textura y sabor; esta parte está determinada por la dosis de levadura adicionada al mosto, la viabilidad de la levadura, la aireación del mosto y la presión que se encuentra dentro del tanque de fermentación.

Fermentación secundaria. También es conocida como maduración o guarda, se entiende por guarda a las transformaciones que tienen lugar entre el final de la fermentación primaria y la ulterior filtración de la cerveza previa al envasado. Con la maduración se consigue la clarificación de la cerveza que se realiza por decantación de materias como complejos tanino-proteínas y levaduras muertas. También ocurre la formación de diversos compuestos responsables del sabor y aroma típicos de la cerveza.

Operaciones finales: Se trata de operaciones como la filtración, el embotellado y la pasteurización de la cerveza.

Durante la filtración se eliminan todos los microorganismos y partículas coloidales que se encuentran en la cerveza al finalizar la guarda.

Con la pasteurización se detienen todos los procesos enzimáticos de la cerveza, así también se produce la muerte de levaduras que no fueron retenidas durante el filtrado.

2.6.2 Otros usos de la malta

Además del uso como materia prima para la elaboración de cerveza, la malta también puede ser destinada para la elaboración de otras bebidas tales como el whisky y vodka, los cuales se elaboran a partir de mezclas de malta junto con otros cereales como el maíz, sorgo, arroz y trigo. La malta también puede ser destinada para la elaboración de vinagre (producto que surge a partir de la oxidación bacteriana del alcohol). Este tipo de malta debe poseer alto poder diastásico para asegurar la conversión de los azúcares hasta ácido acético mediante la actividad de la bacteria ácido acética *Acetobacter aceti* (MacGregor et Batty, 1996).

Otras aplicaciones que se les puede dar a las maltas oscuras es para la extracción de componentes que se emplean como adjuntos para el café y en algunos casos para la elaboración de pan (MacGregor et Batty, 1996).

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Establecer las condiciones óptimas para la elaboración de malta con diversas variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) producidas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala; evaluar la calidad de las maltas obtenidas y seleccionar las de mejor calidad.

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad de las cebadas de estudio para conocer si éstas poseen propiedades de cebadas malteras de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003.
- Establecer y evaluar diversos tratamientos de remojo, germinación y secado para analizar el comportamiento de las cebadas estudiadas ante el proceso de malteado.
- Evaluar la calidad de las maltas elaboradas mediante análisis de viabilidad de germinación, humedad, pérdidas por malteado, β -glucanos, poder diastásico y proteínas teniendo en cuenta los valores establecidos por organismos oficiales.
- Seleccionar las condiciones de malteado ideales para las cebadas analizadas así como aquellas maltas de mejor calidad.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materia prima

En este trabajo de investigación se elaboraron diversos tipos de malta con 7 variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) producidas en regiones de los Estados de Hidalgo y Tlaxcala; las cuales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Variedades de cebada sometidas a procesos de malteado

Clave	Variedad	Región	Año de cosecha
Esm1-H	Esmeralda 1	Ápan, Hidalgo	Septiembre 2003
Esm2-H	Esmeralda 2	Emiliano Zapata, Hidalgo	Octubre 2003
PO-H	Pastor Ortiz	Almoloya de Juárez, Hidalgo	Septiembre 2003
M16-H	M16	Ápan, Hidalgo	Octubre 2003
Forr-T	Forrajera	Calpulalpan, Tlaxcala	Octubre 2003
M16-T	M16	Zacatenco, Tlaxcala	Octubre 2003
Esm1-T	Esmeralda 1	Calpulalpan, Tlaxcala	Octubre 2003

También se utilizaron dos maltas comerciales de grado nacional (Esmeralda T y Esperanza R; producción 2005) proporcionadas por la maltera de Calpulalpan, Tlaxcala.

4.2 Muestreo y tamaño de la muestra

Debido a que la actual investigación formó parte del proyecto: “Caracterización de maltas y productos derivados, elaborados con variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) producidas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala”, se partió de una población conocida (50.00Kg) de cada una de las variedades de cebada. En la población conocida se realizó un muestreo aleatorio simple.

Se determinó con un 95% de confiabilidad el tamaño de muestra representativa de granos de cebada para la producción de malta. La probabilidad de que las variedades de cebada pudiesen ser utilizadas para la elaboración de malta fue de un 50% (Münch *et* Ángeles, 1997).

$$\text{Tamaño de la muestra} = n = \frac{(Z^2 p \cdot q \cdot N)}{(Ne^2 + Z^2 p \cdot q)}$$

Donde:

N = Población conocida (50.00 Kg de granos de cebada = 5000.00 g)

Z = Factor estadístico (1.96 para un 95% de confiabilidad)

*p = q = 0.50

e = Grado de error (0.05)

*“p” representa la probabilidad de que las variedades de cebada puedan ser empleadas para elaborar malta; la probabilidad de que las muestras analizadas no sean viables para el malteado está representado por “q”

Cálculos:

$$n = \frac{[1.96^2 \cdot 0.50 \cdot 0.50 \cdot 5000.00 \text{ g}]}{[(5000.00 \text{ g} \cdot 0.05^2) + (1.96^2 \cdot 0.50 \cdot 0.50)]}$$

$$n = 356.75 \text{ g}$$

La cantidad de muestra necesaria para la elaboración de malta fue de aproximadamente de 357.00g. Dicha muestra es representativa de la población de 50.00 Kg.

Durante la investigación, todos los experimentos se realizaron por triplicado.

4.3 Evaluación de calidad maltera en cebadas

4.3.1 Viabilidad de germinación (Porcentaje de germinación)

Este análisis consistió en determinar la cantidad de granos de cebada en condiciones de germinar y que por lo tanto son aptos para el malteado (Método 6.11.2.3; NMX-FF-043-SCFI-2003). Se contaron 100 granos de muestra representativa en un matraz de 125 ml. Se adicionaron 100 ml de agua destilada y 2 ml de peróxido de hidrógeno al 30%; inmediatamente los matraces se taparon con papel parafilm®. Después de dos días se cuantificaron los granos germinados y se determinó el porcentaje de germinación en las muestras analizadas.

En este caso, el porcentaje de germinación es igual al número de granos germinados. La NMX-FF-043-SCFI-2003 establece que las muestras que presenten porcentajes de germinación mayores que 85% son aptas para el malteado.

Expresión de Resultados.

$$\text{Porcentaje de germinación (\%)} = (\text{Granos totales} - \text{Granos no germinados}) \cdot 100$$

4.3.1.1 Tamaño de raicillas

Se trata de un análisis complementario al porcentaje de germinación, consistió en medir el tamaño de la raíz alcanzada durante la germinación. Cuando el tamaño de raíz alcanza $\frac{3}{4}$ a 1.5 veces el tamaño del grano (ó 75 a 150%), la absorción de agua ha sido eficiente y el poder enzimático de la cebada es adecuado para la conversión de carbohidratos en azúcares fermentables (Figuroa, 1985).

Para medir el tamaño de raicillas, se seleccionaron al azar 10 granos germinados de las muestras del porcentaje de germinación, luego se midió el tamaño de la raíz en cada grano.

Expresión de Resultados.

$$\text{Tamaño de raicillas (\%)}^a = ((T1 - T2)/T1) * 100$$

Donde:

^a Con respecto al tamaño del grano

T1 = Tamaño del grano (cm)

T2 = Tamaño de la raicillas (cm)

4.3.2 Determinación de β -glucanos en cebada

Las muestras se trituraron en un molino MICROMILL (SCIENCEWARE[®]) durante 4min. Para determinar β -glucanos se utilizó un Test kit " β -glucans of Megazyme internacional" establecido por los Métodos enzimáticos 3.10.1 y 4.16.1 de la Analytica EBC, 2003. El método consistió en hidrolizar los β -glucanos con la actividad de diversas enzimas:

1. Se tomaron 0.5 g de muestra de harina fina de cebada y se dispersaron mediante la adición de etanol acuoso 50% v/v. Posteriormente, la muestra se ajustó a pH= 6.5 con buffer de fosfato de sodio. Se adicionaron 0.2 μ l de enzima endo-(1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4)- β -D-glucanasa (liquenasa) para convertir los β -glucanos en tri y tetrasacáridos. La reacción se llevó a cabo a 40°C durante 1h; posteriormente la muestra se centrifugó en una centrífuga (HERMLE Z323K) a 3500 rpm durante 15 min.

2. Los oligosacáridos formados, se transformaron a glucosa con la actividad de la enzima β -glucosidasa, para ello, se distribuyeron dos alícuotas de la siguiente manera:

Alícuota 1 (Muestra): 0.1 μ l de muestra centrifugada + 0.1 μ l de β -glucosidasa (el pH se ajustó a 4.0 con buffer de acetato de sodio).

Alícuota 2 (Blanco): 0.1 μ l muestra centrifugada + 0.1 μ l de buffer de acetato de sodio pH= 4.0.

Las muestras se incubaron durante 15 min. a 40°C.

3. La glucosa obtenida en la reacción anterior se cuantificó mediante la actividad del complejo glucosa oxidasa/peroxidasa (agente GOPOD), en presencia de 4-Aminoantipirina y Ácido p-hidroxibenzóico. En esta reacción ocurrió una degradación de glucosa hasta obtener quinoniemina (compuesto colorido en tonos rosas). Para llevar a cabo esta reacción se adicionaron 3ml del agente GOPOD a todas las muestras, a los blancos y a los estándares de glucosa; las muestras se mantuvieron a 40°C durante 20 min.

4. Finalmente se leyó la absorbancia de las muestras, blancos y glucosa estándar a 510 nm (\pm 20 nm) en celdas de vidrio de 1 cm en un espectrofotómetro ultravioleta GENESIS (TERMOELECTRON®).

Expresión de Resultados.

$$BS = ?E * (F/W) * 27$$

Donde:

BS = β -glucanos en % en muestra seca

?E = Absorbancia de la reacción - absorbancia del blanco

27 = Factor de ajuste para determinación de β -glucanos.

W = Peso de la muestra seca en mg

F = 100 μ g de glucosa/ absorbancia de 100 mg de glucosa

1g= 1000 mg = $1 \cdot 10^6$ μ g

4.3.3 Determinación de humedad

Se trata de la determinación de agua contenida en el grano mediante la pérdida de masa que se logra al aplicar un secado bajo condiciones específicas de tiempo y temperatura, este análisis se realizó en base a la determinación de humedad especificada en los métodos: 4.2; Analytica EBC, 2003 y 6.4; AOAC, 1990. Se determinaron dos tipos de humedades a las muestras analizadas.

a) Humedad alcanzada después del remojo

Se pesaron 3g de cebada remojada en charolas de aluminio previamente taradas, posteriormente se colocaron en una estufa para secado con recirculación de aire (FISHER SCIENTIFIC®). Las muestras se secaron durante 24h a una temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$. Después, las muestras se colocaron en un desecador a temperatura ambiente, una vez que alcanzaron peso constante, se pesaron para el cálculo de la pérdida de masa por eliminación de agua. La humedad ideal para la germinación es de 40-45%.

b) Humedad de secado

Después del secado, se molieron 20g de malta en un molino Micromill (SCIENCEWARE®) durante 1min, hasta obtener partículas finas (grits), posteriormente se pesaron 3g en una cápsula de aluminio previamente puestas a peso constante. Posteriormente la muestra se sometió a las mismas condiciones de determinación de humedad de remojo, la humedad óptima de secado debe ser de 3.8-7.3%.

Expresión de Resultados.

$$\text{Humedad (\%)} = (W1 - W2) / W3 * 100$$

Donde:

W1 = Masa de la cápsula seca + masa de la muestra húmeda

W2 = Masa de la muestra después del secado

W3 = Masa de la muestra húmeda.

4.4 Pruebas preliminares de remojo, germinación y secado

Se realizaron algunos experimentos con el fin de establecer diversos parámetros de tiempo y temperatura para el diseño de experimentos del malteado (remojo, germinación y secado).

4.4.1 Experimentos de remojo

Estos experimentos se realizaron para establecer las condiciones de tiempo y temperatura de la fase de remojo.

a) Remojo a temperatura ambiente (19-22°C)

A manera de ejemplo, aleatoriamente se sometieron a remojo tres variedades de cebada (PO-H, M16-H y Esm1-T) a temperatura ambiente (19-22°C). Se colocaron 400g de cada muestra con 1200 ml de agua desinfectada con cloro (Hipoclorito de Sodio, 0.3mg/L) en recipientes con capacidad de 4 L cerrados. Cada 24h los recipientes se agitaron una vez manualmente de forma vertical (aproximadamente 100 agitaciones del recipiente) para proveer de oxígeno a la muestra.

En este experimento la fase de remojo duró 7 días y las muestras alcanzaron una humedad ideal de 40-45% (Analytica EBC, 2003; AOAC, 1990). Para analizar el incremento de humedad, se tomaron muestras a diferentes intervalos de tiempo.

b) Remojo a 4°C

Durante el remojo realizado a temperatura ambiente las muestras presentaron desarrollo de mohos y levaduras; debido a ello se planteó un segundo experimento de remojo a 4°C con la finalidad de reducir el desarrollo microbiano (Fernández, 2000), procurando alterar al mínimo la actividad metabólica del grano. Se seleccionaron dos muestras de cebada al azar (PO-H y Esm1-H) y se sometieron a remojo a 4°C durante 10 días (tiempo en que alcanzaron humedades próximas al 45%). Las cantidades de muestra y agua fueron las mismas que para el experimento anterior; también se realizó cambio de agua y agitación manual de forma vertical cada 24h.

En este experimento, las muestras de cebada se lavaron con agua antes de iniciar el remojo con el fin de arrastrar los microorganismos y esporas de mohos que pudiesen estar presentes en la superficie del grano de cebada. El remojo a 4°C se llevó a cabo en una cámara de germinación con recirculación de aire y refrigeración AMB-HI-LO (Lab-Line®). Se determinó humedad a los 4, 6 y 10 días de remojo.

c) Remojo a 10°C

Con base a los resultados obtenidos se estableció un tercer experimento de remojo a temperatura intermedia de 10°C (Temperatura reportada en pruebas similares realizados por Vis *et al*, 1998; Yang *et al*, 1998), aunado a ello; Figueroa (1985) indica que cuando el remojo se mantiene a temperaturas mayores que 10° C se corre el riesgo de que el oxígeno existente sea eliminado, por lo que se ve afectada la respiración de los granos. Se sometieron a remojo las variedades Esm1-H, PO-H y M16-H, las condiciones de remojo fueron similares a las del tratamiento a 4°C, a excepción de la temperatura. Este experimento duró 4 días y se determinó humedad cada 24h.

4.4.2 Condiciones de germinación

Esta prueba se realizó con el objetivo de establecer tiempos y temperaturas de germinación. A manera de ejemplo, las muestras de humedad conocida (aproximadamente 50%) obtenidas en el remojo a 4°C (PO-H y Esm1-H), se sometieron a germinación a 19-22°C (Pelembé *et al*, 2002), durante 4 días (Vis *et al*, 1998).

Se colocaron 100 granos de cebada remojada sobre papel filtro N° 40; posteriormente se mantuvieron a las temperaturas indicadas dentro de cajas petri selladas (Para evitar pérdidas de humedad). Las muestras se sometieron a germinación en la misma cámara donde se llevó a cabo el remojo a 4°C. Se evaluó la viabilidad de germinación al finalizar esta fase (análisis descrito en el apartado 4.3.1).

4.4.3 Condiciones de secado

Se determinó la cinética de secado en cebadas germinadas a 4°C con porcentajes de humedad próximos al 45%; con ello se obtuvieron las condiciones de tiempo y temperatura para secar la malta sin destruir las enzimas desarrolladas durante la germinación.

Las variedades PO-H y Esm1-H se colocaron en charolas de papel aluminio y se sometieron a secado a 55°C en una estufa para secado (FISHER SCIENTIFIC®) con recirculación de aire; las muestras se mantuvieron bajo las condiciones

anteriores hasta obtener una humedad de 3.8 a 7.3% (Analítica EBC; 2003). Se determinó la humedad de las muestras antes de someterlas a secado y posteriormente cada 6h.

4.5 Diseño de experimentos

En base a las pruebas preeliminarias, se realizó un diseño de experimentos (tabla 5) con las condiciones más importantes de malteado; además se complementó con referencias de investigaciones similares reportadas en la bibliografía (Yang *et al*, 1998; Hornsey, 1999; Jesper *et al*, 2003).

Tabla 5. Factores y niveles para el malteado de 7 variedades de cebada

Etapa de malteado	Temperatura	Tiempo
1. Remojo	10 °C	2 y 4 días
2. Germinación	16 y 20 °C	2 y 4 días
3. Secado	55°C	58h

El diseño planteado fue de tipo factorial (2^{4-1}); este diseño de experimentos se realizó con el programa estadístico Statgraphics plus, versión 4.0; en la tabla 6 se muestran detalladamente los tipos de malteado, los cuales se realizaron por triplicado.

Tabla 6. Matriz del diseño de experimentos del proceso de malteado

Corridas	Tiempo Remojo (días)	Tiempo Germ. (días)	Temperatura Germ. (°C)	Temperatura Secado (°C)	Tiempo Secado (h)
1	2	2	16	55	58
2	2	2	20	55	58
3	2	4	16	55	58
4	2	4	20	55	58
5	4	2	16	55	58
6	4	2	20	55	58
7	4	4	16	55	58
8	4	4	20	55	58

4.6 Malteado de cebada

4.6.1 Selección y limpieza

Se realizó una inspección visual para evaluar el color y olor de la muestra, posteriormente, cada una de las variedades se hizo pasar por tamices de número 6 y 8 (W. S. Tyler[®], RO-TAP) y se limpiaron en un agitador para tamices (W. S. Tyler[®], RX-29) durante 5min, con ello se eliminaron las impurezas presentes en la cebada (semillas ajenas, piedras, hojas y tierra) y granos dañados (Callejo, 2002). Finalmente se realizó una selección manual para eliminar restos de impurezas y granos quebrados y se obtuvieron granos de tamaño uniforme (desde 0.6 cm hasta 1.0 cm), esta actividad se realizó hasta completar 1000 g de cada variedad.

4.6.2 Remojo

Se lavó una muestra de 1000 g de cebada con agua potable, posteriormente se colocó en recipientes herméticos de dos litros; en base a experimentos reportados por Dewar *et al* (1997). La muestra de cebada se mezcló con 1.5 L de agua desinfectada y se selló con papel parafilm[®]. Las condiciones de agitación y cambio de agua fueron similares a las reportadas para el experimento previo de remojo a 10°C (*ver apartado* 4.4.1). Las muestras se mantuvieron a 10°C durante 2 ó 4 días (según en tratamiento de remojo) en una cámara de germinación con recirculación de aire y refrigeración AMBIHI-LO (Lab-Line[®]). Al finalizar el tiempo de remojo, se determinó la humedad de la muestra.

4.6.3 Germinación

Una vez finalizada la fase de remojo, se eliminó el agua de las muestras; las cebadas remojadas se colocaron en recipientes herméticos de 2L, posteriormente se sellaron con papel parafilm[®] para evitar la pérdida de humedad.

Se aplicaron dos o tres volteos manualmente para evitar entrecruzamientos de raicillas, Dewar *et al* (1997), durante la etapa de germinación las condiciones fueron: 2 ó 4 días a 16 ó 20°C (Jesper *et Lars*, 2003; Yang *et al*, 1998; Pelembe *et al*, 2002; Vis *et Lorenz*, 1998; Bamforth, 2000).

La germinación se realizó en dos incubadoras: para muestras tratadas a 16°C se empleó la cámara de germinación con recirculación de aire y refrigeración AMBI-HI-LO (Lab-Line®) y para las muestras germinadas a 20°C se utilizó una estufa de secado IMPERIAL V (Lab-Line®). Al finalizar la germinación se realizaron análisis de viabilidad de germinación.

4.6.4 Secado

Las muestras se colocaron en charolas de aluminio (aproximadamente 500 g en cada charola), posteriormente se sometieron a 55°C durante 58h en una estufa para secado con recirculación de aire (FISHER SCIENTIFIC®). Se determinó humedad después del secado y las maltas se almacenaron a 5°C en bolsas de plástico con cierre hermético para evitar contaminaciones posteriores causadas principalmente por microorganismos.

4.6.5 Molienda y eliminación de raicillas

Las raíces originadas durante la germinación se eliminaron por abrasión de las maltas (Pelembé *et al*, 2002); aunque no se cuantificó el peso de raicillas eliminadas. Se realizó una molienda seca a las maltas; las muestras se trituraron durante 1 min. en la picadora manual (MOULINEX PLUS®) de manera que no hubiese una fragmentación excesiva del endospermo del grano. (Figueroa, 1985).

4.7 Análisis de calidad de maltas terminadas

La evaluación de las maltas se realizó mediante análisis de pérdidas por malteado, β -glucanos, poder diastásico, nitrógeno y proteínas.

4.7.1 Pérdidas por malteado

El objetivo de este análisis fue determinar el rendimiento de la cebada ante el proceso de malteado y consiste en calcular las pérdidas de materia prima después de haber elaborado la malta (Pelembé *et al*, 2002; Gomez *et al*, 1997). Antes de comenzar el malteado, se obtuvo el peso inicial de cada una de las muestras de cebada y después de la fase de secado, se pesaron de nueva cuenta las maltas para obtener las pérdidas por diferencia de peso. Mayores pérdidas de

malta se relacionan con crecimientos excesivos de raicillas o con altos porcentajes de germinación (Figuroa, 1985). Las pérdidas por malteado no deben ser mayores que 20 ó 25% pues si estas exceden, el rendimiento de la malta se considera como deficiente.

Expresión de Resultados.

$$\text{Pérdida por malteado (\%)} = ((W1 - W2) / W1) * 100.$$

Donde:

W1 = Peso de la cebada antes del malteado (g)

W2 = Peso de la malta después del secado (g)

4.7.2 β -glucanos en malta

Este análisis se realizó en malta terminada, para ello las muestras (1g) se lavaron con 5 ml de etanol acuoso (50% v/v) y se incubaron en agua hirviendo, posteriormente, se lavaron otras dos veces con la misma solución de etanol; las actividades anteriores se realizaron para remover la glucosa y otros oligosacáridos de bajo peso molecular que pudiesen estar presentes en las muestras de malta. Después se procedió como el método descrito en el apartado 4.3.2.

4.7.3 Determinación del poder diastásico de malta

Esta determinación consistió en extraer las enzimas α y β -amilasas de la malta con agua a 40°C, posteriormente una solución estándar de almidón fue hidrolizada por estas enzimas y finalmente se estimó por un método yodométrico la cantidad de azúcares reductores formados por la acción amilolítica. La determinación del poder diastásico se realizó en base al método 4.12 de Analytica EBC, 2003.

1. Extracción enzimática. Se sometieron 2g de malta molida con 48ml de agua a 40°C y agitación durante una hora. Terminada la extracción de enzimas se enfrió a temperatura ambiente y se filtró con papel filtro # 40.

2. Hidrólisis enzimática del almidón. Se adicionaron 0.5ml del extracto enzimático a 10ml de una solución de almidón (20 g/L) a pH 4.3 (ajustado con buffer de acetato de sodio), la hidrólisis se llevó a cabo a 20°C durante 30min. La

reacción anterior se detuvo con la adición 0.4ml de NaOH (1.0 M), la alcalinidad de la muestra se comprobó con la adición de timoftaleína (color azul claro). Se preparó un “blanco” por cada muestra con las mismas condiciones pero sin muestra de enzimas.

3. Determinación de azúcares reductores. Se adicionaron 2.5 ml de yodo (0.1 M) y 0.3 ml de NaOH a una alícuota de 0.5 ml de la muestra y al blanco.; la mezcla se mantuvo durante 15min. Cuando la reacción finalizó se adicionaron 0.45 ml de ácido sulfúrico (0.5 M) (las muestras cambiaron a color azul opaco). Posteriormente, las muestras se titularon con una solución de tiosulfato de sodio (0.1 M) hasta desaparecer el color azul, el cual formó complejos con el yodo que no reaccionó con el ácido sulfúrico.

Expresión de Resultados.

$$DP_1 = F (V_B - V_T)$$

$$DP_2 = (DP_1 * 100) / 100 - M$$

Donde:

DP₁ = Poder Diastásico en la muestra (Unidades de Windish Kolbalch; UWK)

DP₂ = Poder diastásico en maltas secas (UWK)

V_B = Valor de titulación del yodo que no reaccionó en el blanco (ml)

V_T = Valor de titulación de yodo que no reaccionó en la muestra (ml)

F = Factor de corrección (resultados por cada 100g de malta usados para la extracción.

M = Humedad en malta (%)

4.7.4 Nitrógeno total en malta y determinación de proteínas

Se trata del proceso de determinación de proteínas Kjeldahl-Gunning (Métodos 3.3.1 y 4.3.1 Analytica EBC, 2003 y Método 46-12, AACC, 2001), el cual se llevó a cabo mediante tres pasos básicos:

1. Digestión. Se tomaron 3g de malta seca, se adicionaron 20ml de ácido sulfúrico concentrado y una mezcla catalizadora formada por sulfato de cobre (0.3g) y sulfato de potasio (5g). Posteriormente la muestra se sometió a 450°C, durante 4h en un equipo de digestión (ESEVE). Durante la digestión, el nitrógeno proteico y el no proteico se combinan a altas temperaturas con iones de hidrógeno formando amoníaco, este último vuelve a reaccionar con hidrógeno, ácido sulfúrico y oxígeno para formar sulfato de amonio, se libera dióxido de carbono y agua como

productos de la digestión. Cuando las muestras tenían un color transparente, se sacaron y se les adicionó 70ml de agua destilada para evitar precipitación del catalizador.

2. Las muestras se destilaron en un equipo de destilación automático Gerhardt (Vapodest[®]). A cada muestra se le adicionaron 80ml de hidróxido de sodio al 30% con ello el sulfato de amonio se descompuso en hidróxido de amonio que se desprendió como destilado. La muestra se recibió en 50ml de ácido bórico con indicador.

3. Titulación. El destilado se tituló con ácido sulfúrico 0.1N.

Expresión de Resultados.

$$N_2 (\%) = \{(A * B) / W\} * 1.4$$

$$\text{Proteínas (\%)} = \%N_2 * 5.8$$

Donde:

A = ml de H₂SO₄ 0.1N gastados durante la titulación

B = normalidad de H₂SO₄, esta debe ser próxima a 0.1N

W = Peso de la muestra (g)

1.4 = Factor de Nitrógeno

5.8 = Factor de Conversión para las proteínas en cebada (Callejo, 2002)

4.8 Análisis en maltas seleccionadas

Se realizó el análisis de extracto de malta a las maltas seleccionadas. Las propiedades de calidad de estas muestras se evaluaron mediante un método comparativo con dos testigos de calidad maltera aceptable; maltas comerciales de grado Nacional Esperanza R y Esmeralda T.

4.8.1 Extracto de malta

Se realizaron pruebas preliminares de maceración con las maltas seleccionadas (Analytica EBC, 2003, Método mediante macerado en agua caliente; 4.5.1) de la manera siguiente:

A 12.5g de malta molida, se adicionaron 90ml de agua a 65°C ± 0.5°C, la muestra

se mantuvo bajo la temperatura anterior durante 1h. Posteriormente, se elevó la temperatura a $70^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y se adicionaron 100ml de agua.

A continuación se determinó el peso específico del macerado a 20°C . Para esta determinación se lavó y se calibró minuciosamente un picnómetro (capacidad de 10ml). Ya calibrado se adicionó muestra macerada para lavarlo y se llenó hasta la marca de calibración, se colocó en un baño de agua a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante 25min. A continuación se ajustó nuevamente a la marca de calibración, se secó y se pesó.

Por separado, después de la maceración, la temperatura se redujo a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante 20min. y se ajustó el peso de la muestra a 112.5g con agua destilada, agitando la muestra fuertemente. Finalmente se filtró el mosto obtenido con papel filtro # 40. Para el cálculo del extracto se midió el peso específico después de 30 min.

Junto con el extracto de malta, se expresó organolépticamente el olor de la muestra, el cual se reportó como *normal* debido a que las muestras presentaron olores característicos de mosto.

Expresión de Resultados.

- a) (Peso específico) $d_{20/20} = m3 - m1 / m2 - m1$
- b) $G (\text{ }^{\circ}\text{Sscch.}) = 1000 (\text{SG}-1)$
- c) $\text{HWE (litle degrees/kg)} = G * 2.279 / \text{SG}$
- d) $\text{Extracto (seco)} = (\text{HWE} * 100) / 100 - \text{M}$

Donde:

$m1$ = masa en g del picnómetro vacío

$m2$ = masa en g del picnómetro con agua

$m3$ = masa en g del picnómetro con muestra

G = Cálculo del exceso de gravedad del filtrado a 20°C

SG = Gravedad específica del filtrado a 20°C

1000 = Constante para el cálculo de extracto de malta.

HWE = Cálculo del extracto "Como es" en agua caliente de 450g de macerado.

2.279 = Constante para el macerado en agua caliente.

M = % de humedad de la muestra

4.9 Análisis estadísticos

En los análisis empleados para evaluar la calidad en cebada se realizó un ANOVA de una vía acoplado a la prueba de Duncan mediante el software STATGRAPHICS plus versión 4.0.

Las pruebas preeliminarias de remojo, germinación y secado, así como los análisis de calidad de malta terminada se analizaron estadísticamente con ANOVA multifactorial mediante la prueba de de Duncan (Software STATGRAPHICS plus versión 4.0).

La optimización del proceso de malteado, así como la selección de maltas se analizó con programas SAS y STATGRAPHICS plus versión 4.0; para ello se emplearon las pruebas de análisis por componentes principales (CP), análisis por distancias euclidianas (DE) y análisis de correlación.

Finalmente, las características de calidad de las maltas seleccionadas se compararon con las maltas estándares (Esperanza R y Esmeralda T) y se evaluaron mediante ANOVA multifactorial.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Evaluación de calidad maltera en cebadas

Las variedades analizadas durante este trabajo fueron de composición física y proximal conocida, determinaciones realizadas por López (2005), se partió de los análisis anteriores para evaluar la calidad maltera de los 7 tipos de cebada.

La evaluación física consistió en aplicar análisis sensoriales (olor y color), de impurezas, sanidad, y análisis selectivos; así mismo se determinó el contenido de carbohidratos, grasa humedad y proteínas (análisis sugeridos en investigaciones similares para evaluar la calidad de las cebadas (Williams, 1985; Czuchajowska *et al*, 1992; Kaukovitra-Norja *et al*, 1997). La valoración de la calidad de las cebadas se completó con pruebas de viabilidad de germinación y β -glucanos (Allison *et al*, 1988).

Los resultados promedio de las pruebas físicas y selectivas se muestran en la tabla 7, valores reportados en base a las especificaciones de la NMX-FF-043-SCFI-2003.

Tabla 7. Análisis físico y selectivo de cebada (López, 2005)

Var.	Olor	Color	Impurezas*	Insectos Vivos	Granos Dañados*	Granos Quebrados*
Esm1-H	Normal	Típico	2.1	Ninguno	2.6	0.4
Esm2-H	Normal	Típico	3.8	Ninguno	0.8	1.5
PO-H	Normal	Típico	0.7	Ninguno	0.5	0.4
M16-H	Normal	Típico	2.4	Ninguno	2.6	0.7
Forr-T	Normal	Típico	3.3	Ninguno	1.1	0.2
M16-T	Humedad	Típico	13.7	Ninguno	1.2	0.9
Esm1-T	Normal	Típico	3.1	uno	0.3	0.2

* Valores expresados en porcentaje (%)

Sensorialmente, la mayoría de las variedades de cebada presentaron un olor y color característico del grano sano y seco, a excepción de la variedad M16-T que presentó olor a humedad, por lo que se deduce que el grano no completó su maduración, posteriormente se almacenó bajo condiciones adecuadas hasta

presentar el olor normal. La ausencia de alteraciones de olor y color de los granos es señal de que las muestras analizadas no mostraron contaminación evidente causada principalmente por insectos u hongos (Dendy *et* Dobraszczuk, 2004).

De acuerdo al contenido de impurezas, la variedad PO-H (0.7%) se encuentra dentro del límite establecido por la norma (2%), mientras que el resto de las variedades no cumplieron con este parámetro, por lo que su limpieza previa al malteado implicó un tiempo mayor.

Se encontró un insecto barrenador vivo en la muestra de Esm1-T; factor que afectó el rendimiento de esta variedad durante la fase de malteado.

La presencia de granos dañados podría representar un menor rendimiento durante el proceso de molienda y elaboración de malta (Serna, 2001). En la norma NMX-FF-043-SCFI-2003, se establece un 10% como máximo de granos dañados, las 7 variedades de cebada cumplen con el valor establecido, siendo Esm1-T (0.3%) la variedad con más bajo contenido de granos dañados; Esm1-H y M16-H (2.6%) mostraron el mayor porcentaje de granos dañados. Los granos dañados, pueden ser resultado de la falta de condiciones adecuadas durante la maduración de la espiga, falta de agua o nutrientes, estrés térmico, etc. (Serna, 2001).

El porcentaje de granos quebrados, no sobrepasó un 5% para todas las variedades (valor máximo establecido en norma). Esm1-T y Forr-T (0.2%) presentaron el menor porcentaje de granos quebrados, mientras que Esm2-H presentó 1.5% de granos quebrados; sin embargo este valor es muy bajo comparado con el permitido en la norma.

Los resultados obtenidos durante el análisis físico indicaron que todas las variedades de cebada se encuentran en condiciones adecuadas para la elaboración de malta cervecera, a excepción de la variedad Esm1-T que presentó altas cantidades de impurezas, debido a inadecuadas prácticas durante la cosecha. Esta variedad se sometió al resto de las pruebas de malteado, para ello se realizó un minucioso proceso de limpieza.

En cuanto al análisis proximal (tabla 8), los resultados muestran que las siete variedades de cebada cumplen con los requerimientos de humedad (13.5% como máximo) y proteínas (8.3-12.3%); en general, el contenido de carbohidratos es elevado (próximo al 80%) y la cantidad de grasas no excede el 3%. Los resultados obtenidos son similares a los encontrados en estudios de 8 variedades de cebadas malteras realizados por Anderson *et al* (1999), quienes reportaron promedios de carbohidratos superiores a 60%, mientras que la proteína de las muestras estuvo entre 8.7 y 13.1% y el promedio del contenido de gasa se mantuvo entre 2.2 y 6.2%.

Tabla 8. Parámetros de evaluación de calidad maltera en cebada (desviación estándar)

Var.	Análisis realizados por López (2005)				PG (%)	β-glucanos (%)
	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Carbohid. (%)		
Esm1-H	10.8 (0.1) ^c	8.4 (0.7) ^a	2.2 (0.1) ^b	81 (0.5) ^c	84.3 (1.5) ^c	32 (1.5) ^b
Esm2-H	10.1 (0.1) ^a	12.2 (0.2) ^d	3.0 (0.02) ^d	76 (0.5) ^a	88.7 (0.6) ^d	29 (0.9) ^a
PO-H	10.7 (0.1) ^b	11.7 (0.6) ^d	2.2 (0.1) ^b	76 (0.9) ^a	86.0 (2.0) ^d	30 (1.5) ^{ab}
M16-H	10.6 (0.1) ^b	11.1 (0.8) ^c	1.6 (0.1) ^a	80 (0.8) ^c	86.3 (1.2) ^d	36 (1.1) ^c
Forr-T	12.1 (0.2) ^d	10.4 (0.1) ^b	2.1 (0.1) ^b	79 (0.2) ^b	61.0 (3.0) ^a	44 (2.0) ^d
M16-T	12.4(0.1) ^e	11.6 (0.1) ^d	2.3 (0.1) ^c	79 (1.0) ^b	81.3 (0.6) ^b	44 (1.0) ^d
Esm1-T	10.5(0.1) ^b	10.9 (0.1) ^c	1.5 (0.04) ^a	80 (0.2) ^c	60.7 (2.1) ^a	43 (2.1) ^d

* Letras distintas en la columna, indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Los análisis de β-glucanos y viabilidad de germinación también se muestran en la tabla 8. Con estos análisis se completó la caracterización de las propiedades de calidad maltera de las cebadas analizadas.

El porcentaje de germinación se relaciona directamente con la viabilidad de germinación del grano de cebada y de acuerdo a la NMX-FF-043-SCFI-2003 las muestras con un 85% de germinación son ideales para la elaboración de malta cervecera, en este caso; Esm2-H (88.7%), M16-H (86.3%) y PO-H (86%) presentan porcentajes de germinación que cumplen con el valor requerido. La variedad Esm1-H se encuentra próxima al límite mínimo con un 84.3% de germinación.

Las muestras M16-T (81.3%), Forr-T (61.0%) y Esm1-T (60.7%) no cumplieron con la norma. La viabilidad de germinación de estas muestras pudo haberse alterado debido a almacenamientos inadecuados, o a la exposición de los granos a cambios bruscos de temperatura (MacGregor *et* Batty, 1996).

Para el análisis de β -glucanos las muestras se compararon con una cebada estándar (incluida en el equipo de determinación de β -glucanos); la cual presentó un contenido de β -glucanos de 31% en muestra seca (valor que se tomó como límite máximo, Analytica EBC, 2003).

En general las variedades de Hidalgo mostraron un menor contenido de β -glucanos en comparación con las muestras de Tlaxcala. Esm2-H (29%) y PO-H (30%); se encuentran dentro del valor señalado en la norma, mientras que la variedad Esm1-H (32%) posee un porcentaje superior. Cabe resaltar que esta última no presenta diferencia significativa con la variedad PO-H (30%); por lo tanto se incluye dentro de este grupo.

M16-H (36%), M16-T (44%), Forr-T (44%) y Esm1-T (43%) se encuentran por encima del límite máximo.

En base a los resultados anteriores, las muestras que cumplieron con todos los parámetros evaluados son Esm1-H, Esm2-H y PO-H, por lo que se les clasificó como cebadas de calidad maltera.

En experimentos posteriores se continuó trabajando con todas las variedades cebada con el objetivo de evaluar la conversión de bs componentes durante los experimentos de malteado.

5.2 Pruebas preliminares de remojo, germinación y secado

Los resultados obtenidos en las pruebas de remojo y germinación fueron utilizados para establecer el diseño de experimentos.

a) Tiempo y temperatura de remojo

Con el fin de establecer el tiempo y temperatura más adecuados de la fase de remojo; las variedades de cebada se sometieron a tres tratamientos distintos: remojo a temperatura ambiente (19-22°C) durante 7 días, remojo a 4°C durante 10 días y remojo a 10°C durante 4 días. Los promedios de humedad para dichos tratamientos se muestran en el *anexo 1*.

La humedad ideal del grano de cebada después de la fase de remojo debe ser de 40-45% (Analytica EBC, 2003); una humedad deficiente en el grano de cebada no es conveniente ya que se relacionaron inadecuadas conversiones enzimáticas; mientras que porcentajes por encima de 45% favorecen el crecimiento excesivo de raicillas e incluso puede propiciar el desarrollo microbiológico (Figuroa, 1985).

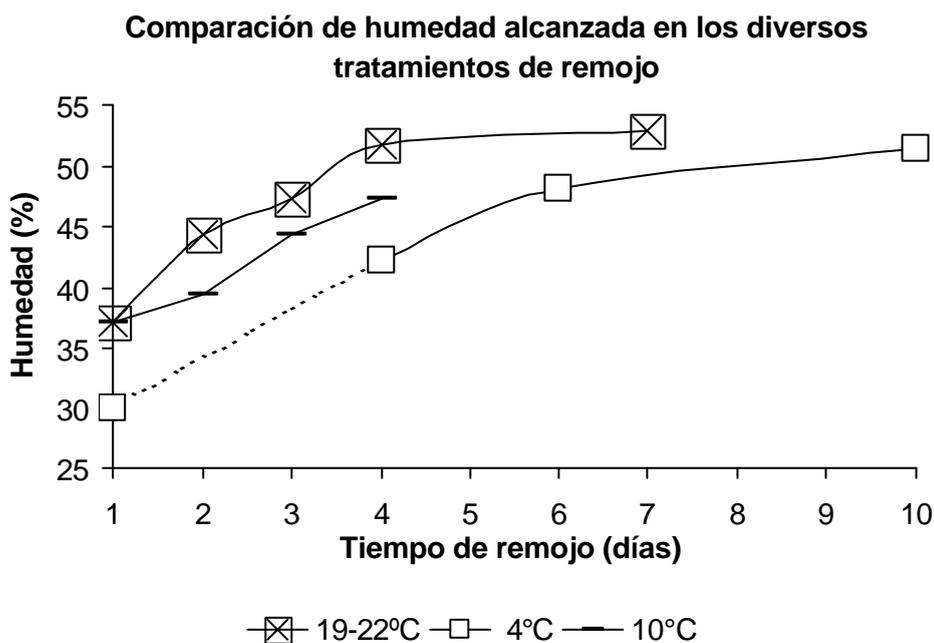


Figura 12. Comparación de la eficiencia de los métodos preeliminares de remojo

La figura 12 muestra la comparación de los promedios de humedad de todas las variedades para los experimentos preeliminares de remojo. Como se observa en el gráfico anterior; para el remojo a temperatura ambiente se obtuvo una humedad próxima a la deseada (40-45%) entre 2 y 3 días, cuando el remojo se prolongó a más de 3 días, la humedad resultó excesiva (53%) y favoreció la presencia y desarrollo de microorganismos contaminantes; principalmente hongos. La

temperatura es otro factor de gran importancia pues precisamente el desarrollo de microorganismos contaminantes se presentó cuando las muestras se sometieron a remojo a 19-22°C. Dewar *et al* (1997) reportaron que la temperatura de remojo tiene un gran efecto en la calidad de la malta, pues cuando realizaron pruebas de remojo a 20°C con variedades de cebada y sorgo; los extractos cerveceros de las muestras disminuyeron considerablemente, por lo que los autores anteriores recomiendan llevar a cabo el remojo a temperaturas menores.

Duijnhouwer *et al* (1993) demostraron que es de gran importancia controlar la incidencia de microorganismos contaminantes debido que estos disminuyen la calidad de la malta a causa de la pérdida de endospermo, lo que se traduce en importantes pérdidas de almidón y proteínas.

A 4°C el incremento de humedad fue constante; sin embargo para obtener un porcentaje de humedad de 40-45% fue necesario remojar las muestras durante 4-5 días (tiempo mayor que el requerido a 19-22°C). Cabe resaltar que no hubo desarrollo de microorganismos en las muestras tratadas a 4°C.

A 10°C, el incremento de humedad fue favorable, se obtuvieron humedades entre 40-45% durante 2 y 4 días y no hubo desarrollo microbiano en la muestra, por lo que este método resulto el más eficiente para remojo, puesto que a temperaturas entre 19 y 22°C, hubo desarrollo de microorganismos indeseables en cebada, mientras que a 4°C, este problema se resolvió pero a costa de un metabolismo muy lento del grano.

Con los resultados obtenidos se establecieron dos tiempos de remojo (2 y 4 días) además en investigaciones reportadas por Junmei *et al* (2003); Bamforth (2000) y Dewar *et al* (1997) se obtuvieron humedades adecuadas durante 2 y 4 días de remojo.

b) Tiempo y temperatura de germinación

Durante este tratamiento, se eligieron aleatoriamente muestras de cebada PO-H y M16-H y se germinaron a temperatura ambiente (19-22°C) durante 4 días. La viabilidad de germinación de las muestras se evaluó mediante análisis de

porcentaje de germinación y tamaño de raicillas, tales resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Promedios de viabilidad de germinación (desviación estándar)

Variedad	PG (%)	TR (%)
Esm1-H	80.5 (0.6) ^a	98 (4.1) ^a
PO-H	70.3 (1.0) ^b	98 (3.5) ^a

PG =Porcentaje de Germinación; TR= Tamaño de Raicillas.

*Letras distintas en la columna, indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

El porcentaje de germinación en ambas muestras fue menor a 85% (valor mínimo establecido por la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003); Esm1-H presentó 80.6% de germinación y PO-H sólo alcanzó el 71.3%, hubo desarrollo de mohos en la muestra PO-H.

El tamaño de las raíces fue aceptable para ambas muestras (98%) en base a los parámetros establecidos por Figueroa (1985); de $\frac{3}{4}$ a 1.5 veces el tamaño del grano; equivalente a 75 a 150% con respecto al tamaño de grano.

Con los resultados anteriores se establecieron dos temperaturas de germinación (16 y 20°C), este intervalo de temperatura favorece la formación de las enzimas necesarias para la germinación, si la malta se germina a temperaturas mayores que 20°C la formación y capacidad enzimática es menor (Anderson *et al*, 2000; Figueroa, 1985). Agus *et Palmer* (1996) reportan que temperaturas próximas a los 17 y 20°C son óptimas para la germinación de cebadas cerveceras.

Se eligió la temperatura de 20°C por el adecuado crecimiento de raicillas que se obtuvo bajo este tratamiento al igual que en experimentos similares, tales como los reportados por Pelembe *et al* (2002) quienes obtuvieron maltas con actividad enzimática deseable cuando dichas muestras se germinaron a 20°C.

La temperatura de 16°C se tomó en cuenta para evitar el desarrollo de hongos, además cuando las muestras se germinan a 16°C se produce una adecuada modificación del grano. Bamforth (2000).

Con los resultados obtenidos se estableció un tiempo de germinación de 4 días, con el objetivo de evaluar el efecto de dicho tiempo de germinación sobre la conversión de nutrientes con el resto de las variedades de cebada, además se realizaron pruebas con 2 días de germinación, tiempo utilizado en pruebas de remojo realizadas por Anderson *et al* (2000); Bamforth (2000).

c) Condiciones de secado

La cinética de secado a 55°C de dos cebadas germinadas y seleccionadas al azar (figura 13) muestran que hubo un decrecimiento constante de humedad en ambas variedades; inicialmente, las dos muestras contaban con una humedad próxima a 45%. La variedad PO-H alcanzó una humedad de 3% durante 58h de secado, en tanto que la variedad Esm1-H (5.5%) eliminó alrededor de 40% de humedad en el mismo tiempo.

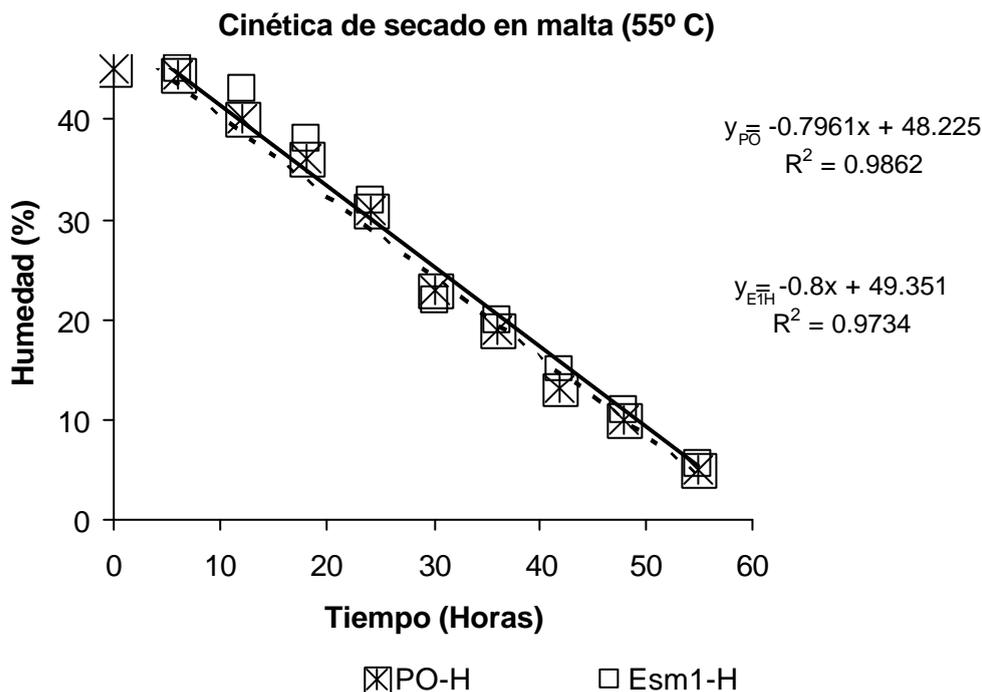


Figura 13. Humedad obtenida después del tratamiento preliminar de secado

Las humedades obtenidas después del secado se encuentran dentro de los límites establecidos por la Analytica EBC, 2003 (3.8-7.3%); por lo tanto, el método de secado seleccionado fue adecuado para eliminar humedad suficiente sin destruir las enzimas presentes en la malta debido a que no se manejaron altas

temperaturas que pudiesen afectar la capacidad enzimática, con el tratamiento de secado también se evitó la contaminación de las muestras causada principalmente por mohos.

La velocidad de secado (y) para Esm1-H y POH está representada en las ecuaciones del gráfico 13, éstas son de orden lineal y muestran que ambas variedades tuvieron una velocidad de secado similar, por lo que el tratamiento elegido para el secado tuvo un efecto uniforme en ambas muestras.

5.3 Evaluación de las fases de malteado

5.3.1 Remojo

Se determinó humedad al finalizar la fase de remojo para evaluar la eficiencia de los tratamientos de 2 y 4 días a 10°C. Los porcentajes de humedad obtenidos en la fase de remojo se muestran a en la tabla 10, mientras que las condiciones de remojo de esta investigación se aprecian en la figura 14.



Figura 14. Fase de remojo

En los resultados obtenidos se observa que las muestras alcanzaron un mayor porcentaje de humedad durante 4 días, siendo M16-H (50.7%), PO-H (50.9%) y Esm2-H (51.4%) las variedades que presentan los valores más bajos; M16-T (56.2%) y Esm1-T (56.9%) poseen los porcentajes de humedad más altos para este tratamiento, todas las variedades sometidas a estas condiciones de remojo exceden el límite máximo de humedad (40-45%).

Tabla 10. Humedades de remojo (%) durante 2 y 4 días (desviación estándar)

Variedad	Remojo a 10°C	
	2 días	4 días
Esm1-H	43.8(1.0) ^{ab}	53.5 (0.5) ^b
Esm2- H	44.6(0.9) ^{bc}	51.4 (0.5) ^a
PO-H	41.7 (0.3) ^a	50.9 (1.6) ^a
M16-H	41.8 (0.2) ^a	50.7 (0.3) ^a
Forr-T	45.3 (3.3) ^{bcd}	55.1(0.3) ^c
M16-T	46.9 (0.9) ^{cd}	56.2 (0.9) ^d
Esm1-H	47.4 (1.7) ^d	56.9 (0.1) ^d

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05)

En cuanto a las muestras sometidas a 2 días de remojo a 10°C, PO-H (41.7%), M16-H (41.8%) y Esm1-H (43.8%) mostraron los porcentajes de humedad más altos (40-45%), mientras que Esm2-H (44.6%) y Forr-T (45.3%) presentaron humedades próximas a un 45%, todas las variedades anteriores se encuentran cumplen con los valores específicos de humedad. Finalmente, M16-T (46.9%) y Esm1-T (47.4%) exceden el límite ideal de humedad, sin embargo; no presentan diferencias significativas con las variedades Esm2- H y Forr-T, por lo que se les puede incluir dentro de este grupo.

Algunos de los resultados obtenidos con 2 días de remojo a 10°C coinciden con los obtenidos por Agus *et Palmer* (1996) quienes reportan porcentajes de humedad entre 46-47% los cuales resultaron de remojar muestras de cebada durante 48h a 16°C, mientras que Ogushi *et al* (2002) reportan humedades cercaanas a 43% obtenidas con tratamientos de remojo a 12°C, temperatura próxima a la empleada durante esta investigación.

Los resultados obtenidos muestran que se alcanzan porcentajes de humedad adecuados durante 2 días de germinación y debido a que las muestras sometidas a remojo durante 4 días mostraron porcentajes de humedad excesivos, no se continuó con las siguientes fases de malteado para las cebadas remojadas bajo este tratamiento; el resto de los experimentos se centraron en los tratamientos con 2 días de remojo. Otra ventaja que presenta el remojo durante 2 días es el ahorro de tiempo y de energía para control de temperatura.

Dewar *et al*, 1997 y obtuvieron porcentajes de humedad cercanos a 45% en muestras de sorgo destinadas a la elaboración de malta y remojadas durante 40-48h por lo cual no fue necesario emplear lapsos mayores de tiempo para alcanzar la humedad ideal de la muestra.

5.3.2 Germinación

La producción y actividad enzimática del grano de cebada se manifestó con la germinación del grano, lo cual implica un crecimiento de raicillas mostrado en la figura 15.



Figura 15. Germinación de cebada

Durante la germinación a 2 y 4 días, tanto a 16 como a 20°C, se evaluó la viabilidad de germinación de las muestras, parte de este análisis se aprecia en la figura 16.



Figura 16. Evaluación de la viabilidad de la cebada (Conteo de granos germinados y medida del grano y tamaño de raicillas)

a) Porcentaje de germinación (tabla 11)

Con respecto a las muestras germinadas durante 2 días; las variedades sometidas a 16°C presentaron porcentajes de germinación menor a 85% que es el valor establecido en la norma, en este tratamiento, las variedades PO-H (63%), M16-T (61%), M16-H (59%) y Esm2-H (49%) fueron las variedades con porcentajes de germinación más altos.

De las cebadas germinadas a 20°C durante 2 días, Esm2-H (86%) cumplió con el valor señalado en la norma mexicana. PO-H (84%), M16-H (83%) y M16-T (81%) no presentaron diferencias significativas con Esm2-H, por lo que se les agrupó como “variedades que cumplen con el valor mínimo de germinación (85%)”.

Tabla 11. Porcentaje de germinación para muestras de cebada sometidas a diversos tratamientos de germinación (desviación estándar)

Variedad	Germinación: 2 Días		Germinación: 4 días	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	26 (2.6) ^a	72 (2.6) ^c	74 (2.2) ^b	79 (1.7) ^b
Esm2-H	49 (3.1) ^c	86 (1.4) ^e	90 (1.6) ^{cd}	94 (2.2) ^d
PO-H	63 (1.6) ^d	84 (2.0) ^{de}	90 (1.3) ^{cd}	93 (1.1) ^d
M16-H	59 (4.7) ^d	83 (2.7) ^{de}	92 (2.1) ^d	96 (1.6) ^d
Forr-T	36 (0.7) ^b	64 (0.4) ^b	64 (1.3) ^a	76 (0.7) ^b
M16-T	61 (5.1) ^d	81 (2.1) ^d	86 (2.0) ^c	88 (1.3) ^c
Esm1-T	40 (2.3) ^b	31 (1.7) ^a	60 (1.9) ^a	57 (1.0) ^a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Durante 4 días de germinación a 16°C, Esm2-H (90%), PO-H (90%), M16-H (92%) y M16-T (86%) cumplen con el requerimiento de la norma mexicana, mientras que Esm1-H (74%), Forr-T (64%) y Esm1-T (60%) no alcanzaron este parámetro.

Durante la germinación a 20°C, las variedades de cebada mostraron la misma tendencia de germinación que en el tratamiento a 16°C; las muestras Esm2-H (94%), PO-H (93%), M16-H (96%) y M16-T (88%) obtuvieron altos porcentajes de germinación, mientras que las variedades Esm1-H (79%), Forr-T (76%) y Esm1-T (57%) no consiguieron el valor mínimo.

En base al porcentaje de germinación, las variedades más viables para el malteado fueron E2-H, PO-H, M16-H y M16-T, debido a que estas muestras presentaron altos porcentajes de germinación en la mayoría de los tratamientos.

b) Tamaño de raicillas

El tamaño de raicillas se realizó en base a los diversos tamaños de grano encontrados en las muestras de cebada (granos desde 0.6cm hasta 1.0cm); debido a la clasificación de las semillas germinadas se obtuvo como resultado que el tamaño del grano no influyó de manera trascendental en el crecimiento de raicillas; es decir que granos de 0.6cm alcanzaron longitudes de raicillas similares a las semillas con un mayor tamaño; los factores que tuvieron mayor efecto sobre el crecimiento de raíces fueron las condiciones de tiempo y temperatura de germinación. Los resultados de tamaño de raicillas para muestras con 2 días de germinación se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Tamaño de Raicillas para las variedades de cebada analizadas (desviación estándar)

Variedad	Germinación: 2 Días		Germinación: 4 días	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	16.6 (1.29) ^a	89.0 (3.54) ^b	19.6 (2.06) ^a	242.2 (9.67) ^c
Esm2-H	22.4 (2.08) ^a	162.1 (4.75) ^c	133.7 (6.35) ^b	278.1 (6.96) ^d
PO-H	30.8 (3.32) ^a	50.1 (3.77) ^b	84.2 (4.97) ^c	159.8 (6.05) ^d
M16-H	15.4 (1.29) ^a	67.2 (6.45) ^b	88.4 (5.80) ^c	159.8 (5.40) ^d
Forr-T	52.0 (4.03) ^a	111.8 (4.55) ^b	91.8 (8.66) ^c	200.9 (6.60) ^d
M16-T	32.2 (3.77) ^a	92.3 (4.58) ^b	172.3 (5.85) ^c	219.5 (5.90) ^d
Esm1-T	25.7 (1.29) ^a	33.5 (3.11) ^a	88.8 (6.55) ^b	171.3 (7.25) ^c

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

En general, el tamaño de raicillas incrementó conforme al tiempo de remojo y la temperatura de germinación, es decir se obtuvieron porcentajes de germinación mayores durante 4 días.

La combinación de 20°C y 4 días de germinación fue el tratamiento que favoreció el crecimiento adecuado de raicillas, bajo este procedimiento, las variedades Esm2-H (278.1%), Esm1-H (242.2%) y M16 (159.8%) mostraron un mejor

rendimiento ya que poseen los tamaños más largos y aunque estos resultados se encuentran por encima del valor máximo; 150% con respecto al tamaño del grano, según Figueroa (1985), no afectan la calidad de las maltas pues las muestras germinadas durante 4 días a 20°C también mostraron un eficiente poder diastásico (*ver apartado 5.4.3*).

5.3.3 Secado

Después de la fase de germinación, todas las muestras se sometieron a un secado (55°C, durante 58h) con el fin de inactivar las enzimas, eliminar la humedad de las cebadas germinadas y definir las características finales de color y sabor. Sensorialmente, con el tratamiento de secado se acentuaron colores más oscuros en la malta, así también hubo un cambio de olor notable y las raicillas perdieron humedad, lo que facilitó su eliminación; parte de estos cambios se observan en la figura 17.



Figura 17. Secado de la cebada germinada

Bajo las condiciones anteriores se favoreció la eliminación de agua y la humedad alcanzada fue aproximadamente de 2 a 5% para todas las muestras. Los porcentajes de humedad de todas las cebadas (tabla 13) se encuentran dentro de los límites establecidos por la Analytica EBC, 2003 (3.8 a 7.3%) con ello se aseguró que las maltas obtenidas después del secado no sufrirían desarrollo posterior de microorganismos.

Tabla 13. Humedades de secado (%) (desviación estándar)

Variedad	2 Días Germinación		4 Días Germinación	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	2.2 (0.1) ^a	2.5 (0.2) ^a	4.8 (0.1) ^d	5.1 (0.2) ^e
Esm2-H	2.1 (0.6) ^a	3.3 (0.3) ^b	5.1 (0.8) ^d	5.3 (0.1) ^e
PO-H	4.0 (0.3) ^d	4.7 (0.8) ^e	3.9 (0.4) ^b	4.8 (0.4) ^{cd}
M16-H	4.7 (0.2) ^e	5.0 (0.1) ^f	3.4 (0.3) ^a	4.3 (0.6) ^b
Forr-T	3.9 (0.1) ^{cd}	3.8 (0.2) ^c	4.2 (0.4) ^c	4.5 (0.4) ^{bc}
M16-T	3.6 (0.4) ^{bc}	3.9 (0.2) ^c	5.4 (0.5) ^e	5.1 (0.2) ^{de}
Esm1-T	3.3 (0.3) ^b	4.4 (1.7) ^d	3.8 (0.3) ^b	3.8 (0.1) ^a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas ($P < 0.05$).

Los resultados obtenidos, también permitieron comprobar que el tratamiento de secado establecido fue adecuado para las siete variedades de cebada analizadas, las condiciones de secado permitieron obtener maltas claras y se supone las maltas generadas deben poseer una eficiente capacidad enzimática, ya que no se manejaron altas temperaturas de secado.

Con la etapa de secado, se concluyó el proceso de malteado, posteriormente las maltas obtenidas se almacenaron a 4°C (Bamforth, 2000) para evitar desarrollo posterior de mohos o levaduras, así mismo se mantuvieron estables parámetros como la humedad, el color y el olor de la malta.

5.4 Optimización del proceso de malteado y selección de maltas de mejor calidad

5.4.1 Pérdidas por malteado

Las pérdidas causadas por el proceso de malteado se deben en su mayoría al peso de raicillas eliminadas; una parte menor se relaciona con mermas de grano por oxigenación, por lo tanto, estas pérdidas suelen ser mayores conforme aumenta la viabilidad de germinación. Las pérdidas por malteado no deben superar el 25% (Pelembé *et al*, 2002; Figueroa, 1985). Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 14.

Las pérdidas por malteado de todas las maltas se encuentran dentro del límite establecido (Menores que 25%). En la germinación durante 2 días (a 16 y 20°C), Esm1-H (14%) presentó el valor más alto en cuanto a este análisis, mientras que Esm1-T (8%) obtuvo pocas pérdidas debido a que esta variedad tuvo una germinación deficiente.

Tabla 14. Pérdidas por malteado (%) para las diversas maltas obtenidas (desviación estándar)

Variedad	2 Días Germinación		4 Días Germinación	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	14 (0.1) ^e	14 (0.2) ^d	14 (0.7) ^d	13 (0.3) ^c
Esm2-H	10 (0.5) ^b	12 (2.3) ^e	14 (0.9) ^d	14 (1.0) ^d
PO-H	12 (0.1) ^d	12 (0.4) ^c	12 (0.2) ^c	10 (0.5) ^b
M16-H	10 (1.0) ^{bc}	11 (0.7) ^b	10 (0.7) ^{ab}	14 (2.6) ^d
Forr-T	11 (0.4) ^c	12 (0.6) ^{bc}	9 (0.5) ^a	13 (0.8) ^c
M16-T	10 (0.5) ^{bc}	11 (0.9) ^{bc}	11 (0.3) ^{bc}	13 (2.2) ^c
Esm1-T	8 (0.6) ^a	8 (0.3) ^a	8 (1.1) ^a	6 (1.9) ^a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

En las maltas germinadas durante 4 días a 16°C, Esm1-H y Esm2-H tuvieron un 14% de pérdidas debidas al malteado, de nueva cuenta Esm1-T presentó el valor más bajo (8%) con respecto a esta evaluación.

Las pérdidas por malteado de las maltas germinadas durante 4 días a 20°C, fueron las más elevadas; lo cual se relaciona con cebadas con viabilidad de germinación adecuada, por lo que se deduce que hubo una eficiente capacidad enzimática; Esm2-H y M16-H alcanzaron 14% de pérdidas, mientras que Esm1-H, Forr-T y M16-T se mantuvieron en 13%. PO-H (10%) y Esm1-T (6%) tuvieron mínimas pérdidas por malteado.

En investigaciones similares realizadas por Pelembe *et al* (2002), se demostró que las pérdidas por malteado son afectadas significativamente por el tiempo y la temperatura de germinación; siendo mayores conforme aumentan tanto tiempo y temperatura, de esta manera las pérdidas por malteado son adecuadas cuando las condiciones de germinación se encuentran entre 20-25°C por un tiempo

máximo de 5 días. Dewar *et al* (1996); Malleshi *et Desikachar* (1986) reportaron experimentos de malteado con variedades de cebada y sorgo; en ambos trabajos de investigación, los autores coincidieron que las pérdidas por malteado aumentan conforme a la temperatura de germinación.

5.4.2 Contenido de β -glucanos en malta

El porcentaje de β glucanos en malta, no debe ser superior a 5.5% (Analytica EBC, 2003) debido a que contenidos excesivos de β -glucanos provocan incrementos indeseables en la viscosidad de los mostos cerveceros. Parte del análisis de β -glucanos se muestra en la figura 18.



Figura 18. Determinación de β -glucanos en malta

En la tabla 15 se muestran los porcentajes de β -glucanos obtenidos en las maltas analizadas.

Tabla 15. β -glucanos en malta (%) (desviación estándar)

Variedad	2 Días Germinación		4 Días Germinación	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	22 (1.9) ^e	14 (0.9) ^d	7 (0.7) ^c	4 (0.2) ^b
Esm2-H	11 (0.9) ^b	10 (0.5) ^c	5 (0.3) ^a	2 (0.1) ^a
PO-H	8 (0.5) ^a	7 (0.5) ^b	6 (0.5) ^b	5 (0.3) ^c
M16-H	19 (1.3) ^c	18 (0.6) ^f	8 (0.7) ^d	5 (0.4) ^c
Forr-T	8 (0.5) ^a	6 (0.5) ^a	5 (0.4) ^a	4 (0.3) ^b
M16-T	19 (1.0) ^c	7 (0.2) ^b	6 (0.3) ^b	4 (0.4) ^b
Esm1-T	20 (1.6) ^d	16 (1.4) ^e	14 (0.5) ^e	13 (0.3) ^d

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Para la germinación durante 2 días tanto a 16 como a 20°C, todas las muestras obtuvieron altos porcentajes de β -glucanos, estos resultados indican que los tratamientos con 2 días de germinación no fueron eficientes para la conversión de β -glucanos a carbohidratos sencillos, es decir ocurrieron degradaciones incompletas de las paredes celulares del endospermo, así como una ineficiente conversión del almidón y es posible que las muestras posean cantidades considerables de proteínas, esta situación afecta directamente al extracto maltero y disminuye la disponibilidad de nutrientes destinados para la levadura durante la fermentación; principalmente aminoácidos y proteínas (Bamforth *et* Barclay, 1993).

Hubo una disminución notable en el contenido de β -glucanos de las muestras germinadas durante 4 días a 16°C en comparación con las muestras con 2 días de germinación. Esm2-H y Forr-T (ambas con 5%) se mantuvieron en dentro del límite permitido de β -glucanos, mientras que el resto de las variedades se encuentran por encima de este valor. Los porcentajes de β -glucanos de las maltas sometidas a este tratamiento coinciden con los hallados por Vis *et* Lorenz (1998) en maltas con porcentajes de β -glucanos entre 6 y 7%, las cuales mostraron problemas de enturbiamiento y viscosidad cuando se elaboraron mostos cerveceros.

Las muestras germinadas a 20°C durante 4 días de germinación cumplieron con la norma en cuanto al contenido de β -glucanos; Esm2-H (2%) presentó el porcentaje más bajo, Esm1-H, M16-H y Forr-T mantuvieron un 4% y las variedades PO-H y M16-H se mantuvieron en 5%, los resultados de β -glucanos en estas muestras se relacionan directamente con un incremento de β -glucanasa (enzima encargada de degradar los β -glucanos contenidos en la malta); es conveniente que en las muestras de malta exista una capacidad suficiente de β -glucanasa, de esta manera se obtienen mostos y cervezas sin problemas de viscosidad (Junmei *et al*, 2003). Ellis *et al* (1997) reportaron que las muestras con bajo contenido de β -glucanos (3.0–5.0%) son las de mejor calidad para la elaboración de cerveza debido a la alta cantidad de β -glucanasa desarrollada; además la conversión de β -glucanos en cebada debe ser mínimo de un 50% después del malteado.

En esta investigación, los resultados para el tratamiento de 4 días de germinación a 20°C coinciden con los obtenidos por Ellis *et al* (1997) ya que el contenido de β -glucanos presentó una disminución entre 80 y 90% del porcentaje total existente en cebada para todas las variedades a excepción de Esm1-T.

Los resultados obtenidos en este análisis indican que 4 días de germinación a 20°C, son las condiciones ideales para la conversión de β -glucanos en azúcares sencillos. Cabe resaltar que Esm1-T, presentó altos porcentajes de β -glucanos en todos los tratamientos, esta situación también fue consecuencia de la contaminación de la muestra por insectos barrenadores.

5.4.3 Poder diastásico en malta

El poder diastásico representa la capacidad enzimática de las α y β -amilasas (enzimas encargadas de la degradación del almidón), por ello es conveniente que las maltas posean un alto poder diastásico (200 a 600 Unidades Windischkolbach; Analytica EBC, 2003), de esta forma se asegura la obtención de una cantidad adecuada de azúcares necesarios para la fermentación durante la elaboración de cerveza. En la tabla 16 se muestran los resultados de poder diastásico de las maltas obtenidas, mientras en que la figura 19 se aprecia parte del análisis de poder diastásico realizado durante esta investigación.



Figura 19. Determinación de poder diastásico en maltas

Para el tratamiento de 2 días de germinación a 16°C; M16-T (311UWK), Esm2-H (309UWK), Esm1-T (227UWK) y PO-H (201UWK), mostraron adecuados valores de poder diastásico, en tanto que las variedades Esm1-H (110UWK), M16-H (194UWK) y Forr-T (130 UWK) presentaron deficiente poder diastásico, por lo

tanto, se deduce que el tratamiento con 2 días de germinación a 16°C, no resultó adecuado para ser aplicado a todas las variedades de cebada.

Tabla 16. Poder Diastásico en malta (Unidades Windisch Kolbalch) (desviación estándar)

Variedad	2 Días Germinación		4 Días Germinación	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	110 (21.3) ^a	457 (37.1) ^c	255 (32.8) ^a	420 (19.4) ^{bcd}
Esm2-H	309 (13.6) ^c	422 (42.7) ^c	337 (25.0) ^b	442 (39.6) ^{cd}
PO-H	201 (28.1) ^b	177 (42.3) ^a	355 (28.8) ^b	375 (39.0) ^{ab}
M16-H	194 (9.7) ^b	260 (36.6) ^b	252 (28.0) ^a	420 (17.4) ^{bcd}
Forr-T	130 (16.6) ^a	254 (38.8) ^b	378 (30.3) ^b	433 (19.8) ^{bcd}
M16-T	311 (14.2) ^c	269 (25.8) ^b	407 (42.8) ^b	366 (22.3) ^a
Esm1-T	227 (22.0) ^b	295 (37.0) ^b	378 (30.3) ^b	335 (22.8) ^a

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

La actividad de las enzimas α y β -amilasas se favoreció con el tratamiento de 2 días de germinación a 20°C, pues todas las maltas se ubican dentro de los límites establecidos a excepción de la variedad PO-H (177 UWK), la cual presentó muy bajo poder diastásico.

Las muestras germinadas durante 4 días tanto a 16 como a 20°C obtuvieron altos valores de poder diastásico, agrupándose así dentro del rango deseable. Para las muestras germinadas a 16°C, las variedades con mayor poder diastásico fueron M16-T (407UWK), Esm1-T y Forr-T (ambas con 378UWK), Esm2-H (337UWK) y PO-H (355UWK), mientras que las variedades Esm1-H (255UWK) y M16-H (252UWK) presentaron menor actividad diastásica. Un comportamiento similar al obtenido con este tratamiento es mostrado por Ogushi *et al* (2002), quienes obtuvieron adecuados valores de poder diastásico (259 -211 UWK) en tres de cuatro variedades de cebada cuando se germinaron entre 15 y 16°C.

El tratamiento de germinación que generó mejor capacidad enzimática fue el de 4 días a 20°C, Esm2-H (442 UWK), Esm1-H (420 UWK), Forr-T (433 UWK) y M16-H (420 UWK) se caracterizaron por presentar los valores más altos en cuanto a poder diastásico; todas las muestras de este tratamiento se ubican dentro del parámetro establecido en norma para poder diastásico.

De nueva cuenta, el tratamiento que propició un rendimiento adecuado en las cebadas fue el de 4 días de germinación a 20°C. Los valores de poder diastásico obtenidos son comparables con los obtenidos por Pelembe *et al* (2002); en donde el poder diastásico se encuentra fuertemente influenciado por la temperatura de germinación e incrementa conforme al aumento de temperatura. Agus *et Palmer* (1996) demostraron que la capacidad de la enzima β -amilasa también se favorece cuando muestras de cebada y sorgo se germinaron a 20°C durante 5 días. Dewar *et al* (1996) obtuvieron incrementos significativos de poder diastásico en muestras de malta conforme aumento el tiempo de germinación (hasta 4 días).

5.4.4 Nitrógeno y proteínas

En la elaboración de malta cervecera, es de gran importancia conocer el porcentaje de proteínas debido a que estas se relacionan con problemas de desestabilización de la espuma durante la producción de cerveza, de esta forma provocan la disminución de la calidad del extracto cervecero.

Los valores de proteína establecidos por Analytica EBC, 2003 se encuentran entre 9.05 a 10.9%. En la tabla 17 se muestran los porcentajes de proteínas hallados en las maltas analizadas. (El contenido de nitrógeno se muestra en el *anexo 2*).

Tabla 17. Contenido de proteínas en malta (%) (desviación estándar)

Variedad	2 Días Germinación		4 Días Germinación	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	8.5 (0.01) ^a	8.7 (0.07) ^a	8.5 (0.10) ^a	9.2 (0.07) ^b
Esm2-H	9.2 (0.08) ^c	9.1 (0.06) ^b	8.9 (0.10) ^c	9.5 (0.06) ^c
PO-H	9.4 (0.01) ^c	9.5 (0.08) ^c	9.5 (0.09) ^d	8.7 (0.09) ^a
M16-H	8.8 (0.02) ^b	8.6 (0.06) ^a	8.5 (0.11) ^a	8.8 (0.06) ^a
Forr-T	8.8 (0.08) ^b	9.2 (0.06) ^b	8.7 (0.10) ^{ab}	8.9 (0.07) ^a
M16-T	9.3 (0.10) ^c	9.2 (0.06) ^b	8.6 (0.10) ^a	9.1 (0.06) ^b
Esm1-T	11.5 (0.02) ^d	10.9 (0.06) ^d	11.4 (0.10) ^e	11.5 (0.06) ^d

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

El porcentaje de proteínas para todas las maltas se ubicó dentro del rango aceptable, a excepción de las maltas elaboradas con la variedad Esm1-T que

presentó porcentajes de proteína por encima de 10.9% durante todos los tratamientos.

En el caso del contenido de proteínas, no existió diferencia significativa entre los tipos de malteado analizados, por lo tanto, cualquier método resulta eficiente para proporcionar maltas de buena calidad en cuanto a ese parámetro se refiere. Pelembe *et al* (2002), demostraron que el contenido de proteínas varía entre las muestras de malta a causa de la capacidad enzimática de cada una de las variedades, mientras Agus *et Palmer* (1996), indicaron que el tiempo y la temperatura de germinación también tienen una fuerte influencia sobre este parámetro, de tal manera, que el contenido proteico disminuye conforme incrementan ambos factores.

5.4.5 Comparación múltiple de la eficiencia de los tratamientos de malteado mediante el Análisis de Distancias Euclidianas

En esta investigación se plantearon diversos tratamientos de malteado (descritos en la tabla 18), con el objetivo de seleccionar las muestras de malta de mejor calidad; estos procedimientos se analizaron estadísticamente mediante el método de calificación por distancias euclidianas; este análisis disminuyó la subjetividad que pudiese existir entre los resultados y facilitó la selección de los tratamientos. La calificación por distancias euclidianas consistió en fijar valores óptimos de calidad para las variables establecidos en normas oficiales y valores de muestras testigo de calidad aceptable y compararlos con los resultados obtenidos durante los diversos tratamientos de malteado planteados durante esta investigación.

La calidad de la malta está determinada por diversos factores, entre los más importantes se encuentran las condiciones de tiempo y temperatura de remojo, germinación y secado a los cuales fue sometida la muestra durante el proceso de malteado.

Actualmente; uno de los principales organismos que regula la calidad maltera a nivel internacional es la European Brewery Convention (Analytica EBC, 2003) según Aastrup *et al* (1991); entre los principales análisis de malta se encuentran: Humedad (de remojo y de secado), contenido de nitrógeno y proteínas, capacidad

de germinación, poder diastásico y β -glucanos. La determinación de nitrógeno y proteínas en cereales también se encuentra establecida en los métodos de la American Association of Cereal Chemist, (AACC, 2001), así como en los métodos de la Association of Official Analytical Chemists. (AOAC, 1990) los cuales se pueden aplicar a la malta cervecera.

Tabla 18. Tratamientos de malteado, 2 dos días de remojo a 10°C

Tratamientos	Germinación		Secado
	Tiempo	Temperatura	
A	2 Días	16°C	58h, 55°C
B	2 Días	20°C	
C	4 Días	16°C	
D	4 Días	20°C	

En México, en 1985, el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) creó una serie de métodos para evaluar la calidad maltera en cebada (Figuerola, 1985) en los cuales, además de los análisis anteriores se encuentran: la determinación de pérdidas por malteado y la medida del tamaño de raicillas después de la germinación. Actualmente, la única norma que regula la calidad de la cebada maltera en nuestro país es la NMX-FF-043-SCFI-2003; en esta norma se describen principalmente análisis físicos aplicados al grano de cebada como la determinación humedad y viabilidad de germinación del grano.

De acuerdo a los métodos anteriores, se requieren maltas con humedades de remojo suficientes para lograr una eficiente germinación y tamaños de raicillas adecuados, con ello se obtienen pocas pérdidas por malteado, la humedad de secado debe impedir el desarrollo microbiológico. Otras características de gran importancia son elevado poder diastásico y una cantidad mínima de β -glucanos y proteínas; los valores específicos de calidad se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Parámetros de calidad de malta

Etapas de malteado	Parámetros	Calidad Requerida
Remojo	Humedad de remojo (HR)	40-45 (%)
Germinación	Tamaño de raíz (TR)	De 75 a 150% (¾ a 1.5 veces el tamaño del grano)
	Porcentaje de germinación (PG)	Mínimo 85%
Secado	Humedad de secado (HS)	De 3.8 a 7.3%
	Pérdida por malteado (PM)	20 a 25%
Malta seca	Nitrógeno (N)	De 1.56 a 1.87%
	Proteínas (Prot.)	De 9.05 a 10.9%
	Poder diastásico (PD)	200 a 600 Unidades Windisch-kolbach

Los resultados de los análisis aplicados a los tratamientos de malteado se compararon con requerimientos establecidos por organismos oficiales; en base a ello las muestras que presentaron una calidad óptima de calidad son los que se presentan en la tabla 20 (Ver resultados completos en el anexo 3).

Tabla 20. Maltas apropiadas para la elaboración de cerveza.

Trat.	HR	HS	PG	PM	Tamaño de Raicillas				PD	βGM	N	Prot.	CAL
					6-7	8	9	10					
E2H(D)	45	5.3	93.6	14.9	354	289	291	0.0*	442	2.2	1.5	8.7	22.5
E1H(D)	44	5.1	78.9	13.2	238	256	252	237	420	3.9	1.5	8.5	24.5
MT(C)	47	5.4	85.7	11.3	179	173	156	148	407	5.6	1.5	8.6	26.5
MT(D)	47	5.1	88.4	13.1	221	218	220	196	366	4.2	1.5	8.9	29.1
E2H(C)	45	4.8	90.1	14.1	128	197	139	0.0*	337	4.6	1.5	8.9	29.2

* Indica que no hubo granos de 1.0 cm en la muestra.

Donde: HR: Humedad de remojo, HS: Humedad de secado, PG: Porcentaje de Germinación, PM: Pérdidas por malteado, TR6-7, TR8, TR9, TR10: Tamaño de raicillas (granos de 0.6cm y 0.7cm, 0.8cm, 0.9cm, 1.0cm), PD: Poder Diastásico, βGM: β-glucanos en malta, N: Nitrógeno, Prot.: Proteínas, CAL: Calificación otorgada en base a Distancias Euclidianas.

La mayor parte de las muestras de malta seleccionadas pertenecen al tratamiento D de malteado (2 días de remojo; 10°C, Germinación 20°C; 4 días). Las condiciones del tratamiento D resultaron eficientes para todas las variedades de cebada a excepción de Esm1-T, la cual presentó contaminación por insectos barrenadores de cereales; no obstante se proponen experimentos posteriores de malteado para evaluar la capacidad y calidad de malteado de esta variedad.

También se seleccionaron las variedades Esm2-H y M16-T sometidas al tratamiento C de malteado (2 días de remojo; 10°C, Germinación 20°C; 2 días); sin embargo, este tratamiento no fue eficiente para el resto de las variedades (Es1-H, M16-H, PO-H, Forr-T y Esm1-T), Estos resultados se corroboran con el Análisis de Componentes Principales, descrito en el apartado 5.4.7.

Las variedades de cebada que ofrecieron una mejor calidad maltera fueron Esm2-H, Esm1-H y M16-T debido a que poseen parámetros de calidad ideales de malteado en comparación con métodos oficiales. Cabe resaltar que las variedades Esm2-H y M16-T mostraron maltas de calidad óptima tanto en el tratamiento C, como en el tratamiento D, con lo cual reciben un valor agregado.

5.4.6 Correlación entre parámetros de calidad de maltas

En la tabla 21 se presentan los coeficientes de correlación producto-momento (Pearson), de los análisis aplicados a las diversas maltas elaboradas. En la tabla 21 se observa que los análisis de porcentaje de germinación, tamaño de raicillas (para granos desde 0.6 hasta 1.0cm), humedad de secado y poder diastásico muestran coeficientes lineales positivos entre sí, es decir que la viabilidad de germinación de las cebadas depende de manera significativa del poder diastásico debido a la correlación lineal positiva que muestran estos análisis; esto es a mayor poder diastásico, mayor capacidad de germinación del grano de cebada; así mismo, el crecimiento de raicillas y la germinación se detienen con tratamientos adecuados de secado ya que existe una correlación lineal positiva entre estos tratamientos, así se podrá predecir el comportamiento de las cebadas durante el malteado mediante análisis de poder diastásico en cebada y análisis de humedad después de la fase de secado.

Tabla 21. Correlación entre parámetros de calidad en maltas

	HR	HS	PG	PM	TR6-10	PD	βGM	N	P.
HR	1								
HS	-0.0023	1							
PG	-0.1454	0.5513**	1						
PM	0.0847	-0.0326	0.1191	1					
TR ₆₋₁₀	0.2208	0.5028**	0.6006**	0.2972	1				
PD	0.1490	0.2367	0.5458**	0.1855	0.6547**	1			
βGM	-0.1084	-0.4636*	-0.5639**	-0.0039	-0.6528**	-0.3977	1		
N	0.3044	-0.1936	-0.0864	-0.1667	-0.2321	-0.0704	0.2661	1	
Prot.	0.3001	-0.1918	-0.0858	-0.1641	-0.2330	-0.0686	0.2647	0.9997**	1

Donde: HR: Humedad de remojo, HS: Humedad de secado, PG: Porcentaje de Germinación, PM: Pérdidas por malteado, TR: Tamaño de raicillas (granos de 0.6cm hasta 1.0cm), PD: Poder Diastásico, βGM: β-glucanos en malta, N: Nitrógeno, Prot.: Proteínas.

* Correlación entre los análisis. ($\alpha = 0.05$ Para un 95% de confiabilidad)

** Análisis altamente correlacionados ($\alpha = 0.001$ Para un 99.9% de confiabilidad)

El porcentaje de β-glucanos presentó una correlación lineal significativamente negativa hacia el poder diastásico, y hacia los análisis que se correlacionan positivamente con el poder diastásico. Altos valores de poder diastásico y porcentajes de germinación superiores a 85%, en cebada indican que ha habido un desarrollo adecuado de enzimas junto con una eficiente degradación de los β-glucanos. Finalmente, el contenido de proteínas esta directamente correlacionado con el contenido de nitrógeno en la muestra.

5.4.7 Análisis de Componentes Principales

Se utilizaron cuatro variables en el análisis de Componentes Principales (CP); las cuales se clasificaron como variables de calidad de maltas. Los vectores característicos para el primer grupo se presentan en la tabla 22. Con las variables analizadas se explica el 77.96% de la variabilidad total en los dos primeros componentes principales proporcionando la mayor parte del porcentaje acumulado.

Tabla 22. Vectores característicos para las variables de cebada maltera.

Variables	CP1	CP2
HR	0.1340	0.76134*
βG	-0.6547*	-0.03383
N	-0.3491	0.63076*
TR	0.6569*	0.14615

CP	Proporción	Acumulación
1	1.8190	45.48
2	1.2994	77.96

* Proporcionan la mayor parte del porcentaje acumulado.

La variable con mayor influencia (de manera positiva) sobre el CP1 es el tamaño de raicillas (para granos desde 0.6 hasta 1.0cm de largo) mientras que el contenido de β-glucanos influyó de manera negativa. Para el CP2, el porcentaje de humedad de remojo y el contenido de nitrógeno tuvieron mayor influencia y de manera positiva.

Los análisis que contribuyen a esta distribución, son los parámetros de mayor trascendencia para definir y seleccionar los tratamientos de malteado y las variedades de cebada que proporcionan maltas de calidad adecuada. En la figura 20 se presenta la distribución de las muestras entre CP1 y CP2, la cual se da entre las variedades de cebada que presentan diferentes valores en los análisis de porcentaje de germinación, tamaño de raicillas, poder diastásico y β-glucanos. En este gráfico se obtuvo la separación de dos grupos entre los tratamientos de malteado.

El primer grupo es (encerrado en el círculo de la figura 20) se denominó como “maltas cerveceras” y está conformado por las maltas que cumplen con altos porcentajes de germinación, tamaños de raicillas entre 75 y 100%, altos valores de poder diastásico y una cantidad mínima de β-glucanos (máximo 5.5%).

Las muestras seleccionadas son las variedades de cebada sometidas al tratamiento D de germinación (2 días de remojo, 10°C y 4 días de germinación a 20°C) sin incluir la variedad Esm-T. A este grupo se integran otras muestras de malta (Esm2-H y M16-T) del tratamiento C (2 días de remojo, 10°C, 4 días de germinación a 16°C), por lo tanto, este último tratamiento de malteado resulta eficiente sólo para algunas variedades de cebada.

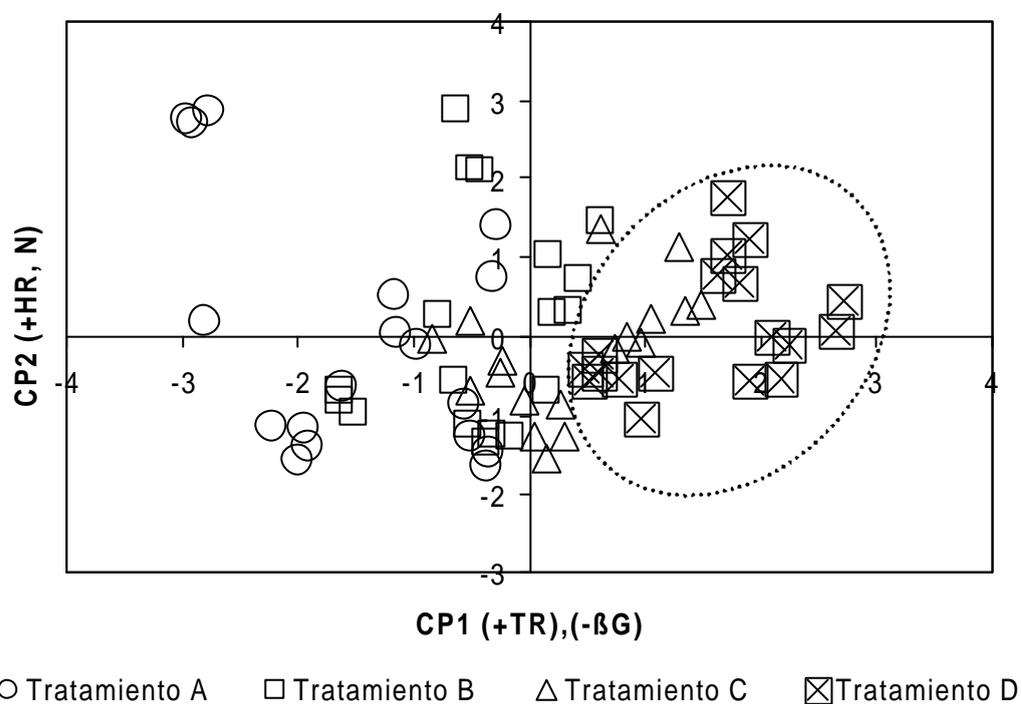


Figura 20 Distribución de componentes principales, tomando en cuenta los análisis de calidad en malta

En el segundo se denominó con el nombre de “Otras maltas”, dicho grupo incluye aquellas muestras que no cumplieron con los parámetros de calidad mínimos para las maltas (Maltas procedentes de los tratamientos A y B de germinación y las maltas restantes del tratamiento C).

5.5 Evaluación de calidad de maltas seleccionadas

5.5.1 Comparación con testigos de calidad maltera aceptable (Figueroa, 1985)

Una vez seleccionadas las muestras del tratamiento D (2 Días de remojo a 10°C, 4 días de germinación a 20°C), se compararon con dos maltas comerciales “control” (Esmeralda T y Esperanza R) de grado Nacional; a las maltas control también se les determinó el porcentaje de β -glucanos, poder diastásico y el porcentaje proteínas.

Finalmente se realizó el análisis de extracto de malta a todas las muestras; de esta forma se evaluó la capacidad de las maltas para producir mostos solubles, es decir ricos en azúcares fermentables. El extracto de malta es una evaluación del potencial de la malta para producir mostos de calidad aceptable; es una medida indirecta de la concentración de azúcares fermentables presentes en la malta. Los resultados de comparación de calidad se muestran en la tabla 23.

En cuanto al análisis de poder diastásico, las maltas que presentaron valores mayores fueron Esm2-H (442 UWK), Esm1-H, M16-H (ambas con 420 UWK), Forr-T (433 UWK) y la malta estándar Esmeralda T (400 UWK). El poder diastásico de las variedades PO-H (375 UWK), M16-T (366 UWK), así como el estándar Esperanza R (350 UWK) fue menor, no obstante, todas las maltas se encuentran dentro de los parámetros de calidad para poder diastásico, por lo tanto poseen suficiente capacidad enzimática (específicamente a y β -amilasas).

Con respecto al contenido de β -glucanos, Esm2-H (2%), Esm1-H, M16-T y Forr-T (las tres maltas con 4%), obtuvieron porcentajes mínimos de β -glucanos; por lo tanto estas maltas no afectarán la viscosidad del mosto y cerveza (atributo indeseable relacionado con altas cantidades de β -glucanos).

Las maltas elaboradas con PO-H, M16-H y la malta estándar Esmeralda-T tuvieron 5%, mientras que el contenido de β -glucanos de la malta estándar Esperanza R (6%) fue el más alto y excedió el límite máximo permitido por la Analytica EBC, 2003 (5.5%).

Tabla 23. Evaluación de calidad de maltas seleccionadas para la elaboración de cerveza (desviación estándar).

Variedad	PD**. (UWK)	β-Gluc. (%)	Proteínas (%)	Ext. Malta (%)
Esm1-H	420 (19.4) ^{bcd}	4 (0.2) ^b	9.2 (0.07) ^d	32.2 (1.3) ^f
Esm2-H	442 (39.6) ^{cd}	2 (0.1) ^a	9.5 (0.06) ^e	31.8 (1.0) ^e
PO-H	375 (39.0) ^{ab}	5 (0.3) ^c	8.7 (0.09) ^c	27.9 (0.9) ^d
M16-H	420 (17.4) ^{bcd}	5 (0.4) ^c	8.8 (0.06) ^c	27.4 (0.8) ^c
Forr-T	433 (19.8) ^{bcd}	4 (0.3) ^b	8.9 (0.07) ^c	23.8 (1.2) ^a
M16-T	366 (22.3) ^a	4 (0.4) ^b	9.1 (0.06) ^d	27.9 (0.6) ^d
Esperanza R	350 (20.2) ^a	6 (0.4) ^f	8.6 (0.04) ^b	24.0 (1.2) ^b
Esmeralda T	400 (20.6) ^b	5 (0.4) ^c	7.5 (0.05) ^a	28.0 (0.5) ^d
Calidad requerida	200-600	Máx. 5.5	9.05 a 10.9	Mín.24

** Poder Diastásico en unidades Windisch Kolbalch

*Valores Expresados en %

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

El porcentaje de proteínas fue otro factor de gran importancia para evaluar la calidad final de las maltas. Las variedades que se encuentran dentro del rango aceptable de proteínas son Esm2-H (9.5%), Esm1-H (9.2%) y M16-T (9.1%), por ello, estas maltas poseen aminoácidos suficientes como nutrientes para la levadura durante la fermentación sin afectar la estabilidad final de la espuma ni el extracto cervecero.

Finalmente, las maltas que rindieron mayor extracto cervecero fueron aquellas que se elaboraron con las variedades Esm1-H (32.2%), Esm2-H (31.8%), M16-T, PO-H (ambas con 27.9%), así como la malta estándar Esmeralda T (28%) aunque todas las maltas se ubican dentro del límite mínimo de extracto a excepción de la malta de Forr-T, la cual se encuentra por debajo del límite mínimo con respecto a este parámetro.

Aunque la detección de “aroma” en las muestras maceradas no se reporta junto con los resultados de la tabla 23, es importante mencionar que todas las muestras presentaron aroma *Normal*, con ello se asegura que las maltas no han sufrido alteraciones por enzimas o microorganismos causantes de otros aromas, por ejemplo aroma a “fermentado” o aromas “acidificados”.

VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

6.1 Conclusiones

Las condiciones óptimas de malteado para variedades de cebada que se cultivan en los estados de Hidalgo y Tlaxcala son 2 días de remojo a 10°C, cambio de agua cada 24 horas, 4 días de germinación a 20°C y 58h de secado a 55°C.

Las maltas elaboradas con las variedades Esmeralda2-Hidalgo, Esmeralda1-Hidalgo y M16-Tlaxcala fueron las maltas de mejor calidad, no obstante, todas las maltas poseen características de calidad similares a las maltas estándares por lo que se les podría clasificar como maltas comerciales, a excepción de Esmeralda1-Tlaxcala que sufrió contaminación por insectos barrenadores, por lo que su calidad se vio afectada.

En un inicio las variedades de cebada Esmeralda2, Esmeralda1-Hidalgo y Pastor Ortiz mostraron características deseables para la elaboración de malta, debido a que cumplieron con los parámetros de calidad establecidos en la NMX-FF-043-SCFI-2003; sin embargo, después de los experimentos de malteado, la conversión de nutrientes no fue adecuada para Pastor Ortiz por lo que se descartó de dicha clasificación.

La cinética de secado planteada durante esta investigación permite mantener la estabilidad de la humedad de las maltas y así evitar la incidencia de microorganismos contaminantes, además bajo este tratamiento se obtuvieron "*maltas claras*", las cuales pueden ser utilizadas como materia prima para la elaboración de cervezas claras.

La tabla del análisis de correlaciones indica que hay una relación positiva entre los análisis de porcentaje de germinación, tamaño de raicillas y poder diastásico, por lo cual en investigaciones próximas ya no es necesario aplicar los análisis que se realizan durante la germinación, debido que el poder diastásico será suficiente para indicar la capacidad de germinado de la cebada a maltear

La variedad Esmeralda1-Tlaxcala no se clasificó como cebada maltera, sin embargo la viabilidad de esta muestra de cebada fue afectada por contaminación causada por insectos barrenadores, por lo que se propone evaluar la calidad maltera de esta variedad en muestras que no estén contaminadas.

6.2 Perspectivas

Se recomienda realizar el malteado de las cebadas seleccionadas a una escala mayor, con ello se dará un aprovechamiento más adecuado a la cebada que se produce en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala.

Así mismo, se propone extender esta investigación y analizar el comportamiento de las maltas seleccionadas en la elaboración de cerveza.

En investigaciones posteriores, es posible modificar las condiciones de secado con la finalidad de obtener diversos tipos de maltas (claras, oscuras, acarameladas, etc.) y en consecuencia ampliar las aplicaciones en la elaboración de diversos tipos de cerveza.

Se propone realizar análisis microbiológicos a la cebada para analizar la procedencia y comportamiento de los microorganismos contaminantes de cebada, en consecuencia saber si se trata de especies productoras de metabolitos tóxicos (toxinas), los cuales pueden afectar considerablemente la calidad de las maltas.

Las variedades Pastor Ortiz, M16-Hidalgo y Forrajera de Tlaxcala pueden ser destinadas para la elaboración de otros alimentos como las pastas, panes y alimentos para animales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. AACC (2001). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10th Edition. Vol II. St. Paul, Minnesota, USA. Method 46-12.
2. Aastrup, S., Brandt, J. *et* Rijs, P. (1991). Malt specifications and analyses (sense and no sense. Louvain Brew. Lett. Vol. 4. Pp. 16-40.
3. Agus, R. C. *et* Palmer, G. H. (1996). The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting. Process Biochemistry. Vol. 32, No. 6. Pp. 501-507.
4. Allison, M. J., Cowe, I. A. *et* McHale, R. (1988) The use of infrared reflectance for the rapid estimation of the soluble β -glucan content of barley. Journal of Institute of Brewing. Vol. 84. Pp. 153-155.
5. Analytica EBC. European Brewery Convention. (2003). Published by Fachverlag Hans Carl Nürnberg. Germany.
6. Anderson Annica, Elfverson Cajsa, Andersson Roger, Regnér Sigurd *et* Per Åman. (1999) Chemical and Physical characteristics of different barley samples. Society of Chemical Industry. Journal of Science of Food and Agriculture. Vol. 79. Pp. 979-986.
7. Anderson, Marchington, Zymoscience *et* Uttoxeter. (2000). Current practice in malting, brewing and distilling. Woodhead Publishing. Vol. 9.
8. AOAC (1990). Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Vol. II Edited by Kennet Helrich Pp. 708-729.
9. Aspergen, K., Mannonen, L., Ritala, A., Puupponen-Pimiä, R., Kurtén, U., Salmenkallio-Martilla, M., Kauppinen, V. *et* Teeri, T. H. (1995). Scretion of a heat -stable fungal β -glucanase from transgenic, suspension cultured barley cells. Mol. Breeding. Vol. 1. Pp.91-95.
10. Bamforth, C. W. (2000). Brewing and brewing research: past, present and future. Journal of the Science of Food and Agriculture. Vol. 80. Pp. 1371-1378.
11. Bamforth, A. W. *et* Barclay, A. H. P. (1993). Malting Technology and the uses of malt. Barley: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists. St. Paul Minnesota. Pp. 297-354.
12. Bamforth, C. W.; (1982). Barley β -glucans. Their role in malting and brewing. Brewers Digest. Vol. 35. Pp. 22-27.
13. Banks, W. *et* Greenwood, C. T. (1973). Studies on the bio-synthesis of starch granules. Part 5. Properties of the starch components of normal barley and barley with starch of high amylose. Staerke. Vol. 25. Pp. 225-230.

14. Bathgate, G. N. (1989). Cereals in Scotch whisky production. *Cereal Science and Technology*. G. H. Palmer, Ed. Aberdeen University Press, Aberdeen. Pp 243-278.
15. Bathgate, G. N.; (1983). The relationship between malt "friability" and Wort viscosity. *Journal Institute of Brewing*. Vol. 89. Pp. 416-419.
16. Boivin, B. *et* Malanda, M. (1997). Improvement of malt quality and safety by adding the starter culture during the malt process. *Technology and Chemist of Master Brewers Association of America*. Vol. 34. Pp. 358-363.
17. Boivin, B. *et* Malanda, M. (1993). Influence of starter cultures in malting on the microflora development and malt quality. 24th Congress of European Brewery Convention. Osb. IRL Press, Oxford. Pp. 95-102.
18. Briggs, D. E. (1998). *Malts and Malting*. London, Blackie. *Technology and Chemist of Master Brewers Association of America*. Vol. 35.
19. Callejo, Gonzáles M. J. (2002). *Industria de cereales y derivados. Colección tecnología de alimentos*. AMV Ediciones. 1^a edición. Zaragoza España. Pp. 169-185.
20. Castañe, F. Xavier *et* Damm, S. A. (1997). *La cerveza: Historia, fabricación y propiedades*. Alimentación (Equipo y Tecnología). España. Nº 04. Pp. 41-48.
21. Czuchajowska, Z., Szczodrak, J. *et* Pomeranz, Y. (1992). Characterization and estimation of barley polysaccharides by near-infrared spectroscopy. I. Barleys, starches and β -D-glucans. *Cereal Chemistry*. Vol. 69. Pp. 413-418.
22. Dendy, D. A. V. *et* Dobraszczyk, B. J. (2004). *Cereales y productos derivados, Química y Tecnología*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 403-421.
23. Dewar, J., Taylor, J. R. N. *et* Berjak, P. (1997). Determination of Improved Steeping Conditions for Sorghum Malting. *Journal of Cereal Science*. Vol. 26. Pp. 129-136.
24. Dewar, J., Taylor, J. R. N. *et* Berjak, P. (1996). *Journal of the Institute of Brewing*, Vol. 103, Pp. 171.
25. Doran, P. J. *et* Briggs, D. E. (1993). Microbes and grain germination. *Journal of the Institute of Brewing*. Vol. 99 Pp. 165-170.
26. Duijnhouwer, I. D. C., Grasshoff, C. *et* Angelino, S. A. G. F. (1993). Kernel filling and malting barley quality. In: *European Brewery Convention: Proceedings of the 24th Congress, Oslo, Norway*. Pp. 121–128.
27. Ellis, R. P., Swanston, J. S., Rubio, A., Perez-Vendrell, A. M., Romagosa, I. *et* Molina-Cano, J. L. (1997). The Development of β - Glucanase and Degradation of β - Glucan in Barley Grown in Scotland and Spain. *Journal of Cereal Science*. Vol. 26. Pp. 75-82.

28. Etokapkan, O. U. (1993). Enzymatic degradation and nature of endosperm cell-walls of germinating sorghums and barley. *Journal of Science, Food and Agriculture*. Vol. 61. Pp. 389-393.
29. Evans, D. E., MacLead, L. C., Eglinton, J. K., Gibson, C. E., Zhang, X., Wallace, W., Sherrit, J. H. *et* Lance, R. C. M. (1996). Measurement of Beta-amylase in malting barley (*Hordeum vulgare L.*). I. Development of a Quantitative ELISA for beta-amylase. *Journal of Cereal Science*. Vol. 26. Pp. 229-239.
30. Fernández, Escartín E. (2000). *Microbiología e Inocuidad de los Alimentos*. Universidad Autónoma de Querétaro. México Pp. 295-296.
31. Figueroa, Cárdenas Juan de Dios. (1985). Métodos de Para evaluar la calidad maltera en cebada. Secretaría de Ganadería y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México D. F. Pp. 30-67.
32. Fincher, G. B. (1994). Potential for the improvement of malting quality of barley by genetic engineering. In: Henry R. J., Ronalds R. A., (Eds.), *Improvement of Cereal Quality by Genetic Engineering*. Plenum, New York, London. Pp. 135-138.
33. French, B. J. *et* McRuer, G. R. (1990). Malt quality is affected by various steep aeration regimes, M. B. A. A. *Technical Quarterly*. Vol. 27 Pp. 10-14.
34. Gaillard, T. *et* Bowler, P. (1987). Morphology and composition of starch. Chicester UK. PP.55-78.
35. Galán, García D., Oliver, Pujol R. *et* Estrany, Coda F. (2004). La cerveza. *Alimentación (Equipos y Tecnología)*. España. Nº 190. Pp. 2-121.
36. Gomez, M. I., Obilliana, A. B., Martin, D. F., Madzvamuse, M. *et* Monyo, E. S. (1997). *Manual of Laboratory Procedures for Quality Evaluation of Sorghum and Pearl Millet*. ICRISAT.
37. Haikara, A. (2001). Malt and beer from barley artificially contaminated with *Fusarium* in the field. In: *European Brewery Convention: Proceedings of the 19th Congress*, London, UK, Pp. 401–408.
38. Haikara, A. *et* Laitila, A. (1995). Influence of lactic acid starter cultures on the quality of malt and beer. 25th Congress of European Brewery Convention. Brussels. IRL. Press, Oxford. Pp. 249-256.
39. Haikara, A., Uljas, H., Suurnâkki, A. (1993). Lactic starter cultures in malting, a novel solution to gushing problems. 24th Congress of European Brewery Convention. Oslo. IRL Press. Oxford Pp.163-172.
40. HGCA (Home Grown Cereal Authority). 2002. Ensuring good germination in malting barley. London. Topic sheet Nº 60.

41. Henry, R. J. (1989). Factors influencing the rate of modification of barleys during malting. *Journal of Cereal Science*. Vol. 10. Pp. 51-59.
42. Hollemans, M. Torries, T. R. J. M., Bisperink, C. G. J. *et* Ronteltap, A. D. (1991). The role of the malt lipids in beer foam. *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* Vol. 28 Pp. 168-173.
43. Hornsey, S. Ian. (1999). *Elaboración de cerveza (Microbiología, Bioquímica y tecnología)*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. Pp. 15-29.
44. Huges, P. (1999). Hydrophobic interactions and their significance for beer foam quality. *Proc. European Brewery Convention Beer Symposium. Foam Qual.* Pp. 158-163.
45. Huges, P. S. *et* Wilde, P. J. (1997). New techniques for evaluation of interactions in beer foams. *European. Brewery. Convention. Congress. Maastricht.* Pp. 525-534.
46. Hussein, H. S., Brasel, J. M. (2001). Toxicity, metabolism and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology* 167, 101-134.
47. International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (1998). *Microorganisms in foods. 6. Microbial Ecology of Foods Commodities.* Blackie Acad. y Profess Press. London.
48. Ingversen, J., Englyst, A. *et* Jørgensen, K. G. (1989). Evaluation of malting quality in barley breeding programme. Use of α -amylase and β -glucan levels in malts as preselection tools. *Journal of the Institute of Brewing*. Vol. 95. Pp. 99-103.
49. Jesper, Pram Nielsen *et* Lars, Munk. (2003). Evaluation of malting barley quality using exploratory data analysis. Extraction of information from micro-malting data of spring and winter barley. *Journal of Cereal Science*. Volume 38. Pp. 173-180.
50. Junmei, W., Guoping, Z., Jinxin Ch. *et* Feibo W. (2003). The changes of β -glucan content and β -glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities. *Food Chemistry*. Vol. 86. Pp 223-228.
51. Kaukovitra-Norja, A., Reinikainen, P., Olkku, J. *et* Laakso, S. (1997). Starch Lipids of barley and malt. *American Association of Cereal Chemists*. Vol. 74, N° 6. Pp. 733-738.
52. Kleemola, T., Nakari-Setälä, T., Linder, M., Penttilä, M., Kotaviita, E., Olkku, J. *et* Haikara, A. (2001). Characterization and detection of the gushing factors produced by fungi. In: *European Brewery Convention: Proceedings of the 28th Congress, Budapest, Hungary*, Pp. 129–138.

53. Knuckles, B. E.; et Chiu, M. C. M. (1999). β -Glucanase activity and molecular weight of β -Glucans in barley after various treatments. *Cereal Chemistry*. Vol. 76. Pp. 92-95.
54. Kusaba, M., Kobayashi, O., Yamaguchi, I., Tkahashi, N., et Takeda, C. (1991). Effects of giberellin on genetic variations in α -amylase production in germinating barley seeds. *Journal of Cereal Science*. Vol. 14. Pp. 151-160.
55. Lewis, M. J. et Young, T. W. (1995). *Brewing*. Chapman and Hall. London.
56. Linko, M., Haikara, A. et Ritala, A. (1998). Recent advances in the malting and brewing industry. *Journal of Biotechnology*. Vol. 65. Pp. 85-97.
57. Logrieco, A., Bottalico, A., Mule', G., Moretti, A., Perrone, G. (2003). Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. *Eur. J. Plant Pathol.* Vol. 109. Pp. 645–667.
58. Loi, L., Barton. P. A. et Fincher, G. B. (1997). Survival of barley (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4) β -glucanase isoenzymes during Kilning and mashing. *Journal of Cereal Science*. Vol. 5. Pp. 45-50.
59. López Perea Patricia. (2005). Evaluación de la calidad de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca Hidalgo, México. Pp. 35-88.
60. MacGregor, Alexander W et Batty, Rattan S. (1996). *Barley. Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemist, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
61. Malleshi, N. G. et Desikachar, H. S. R. (1986). *Journal of Food Science and Technology-India* Vol. 92 Pp. 81.
62. Mannonen, L. (1993). Barley cell culture as a producer of heterologous protein. VTT. Publications 138, Espoo Finland, Vol. 72.
63. Mannonen, L., Kurtén, U., Ritala, A., Salmenkallio, M., Hannus, R., Aspegren, K., Teeri, T. H. et Kauppinen, V. (1993). *Biotechnology for the improvement of malting barley*. European Brewery Convention. Oslo IRL. Press, Oxford. Pp. 85-93.
64. Masak J et Basarova G. (1991). Endosperm cell wall degradation during the malting and brewing of feed barleys. *Monatsschr. Brauwiss.* Vol. 44 Pp.262-267.
65. Meilgaard, M. (1993). Efectos en el flavor de las innovaciones en los equipos cervecedores y en el proceso (I). *Alimentación (Equipos y Tecnología)*. España.

66. Meshehdani, T., Pokorny, J., Davíek, J., et Pánek, J. (1990). Interactions of oxidized lipids with proteins. (Effect of the protein on the decomposition of products of the lipoxygenase- catalized oxidation in oilseeds. *Die Nahrung*. Vol. 34. Pp. 915-925.
67. Mesterházy, A., Bartok, T. et Lamper, C. (2003). Influence of wheat cultivar, species of *Fusarium*, and isolate aggressiveness on the efficacy of fungicides for control of *Fusarium* head blight. *Plant Dis*. Vol. 87. Pp. 1107–1115.
68. Muller, R. (1995). Factors influencing the stability of barley malt. β -glucanase during mashing. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. Vol. 53, N° 3. Pp. 136-140.
69. Munar, J. M. et Sebree, B. (1997). gushing –a malster’s view. *Journal of American Brewing and Chemists*. Vol. 55. Pp. 119-122.
70. Münch, L. Ángeles, E. (1997). *Métodos y Técnicas de Investigación*. Segunda Edición. Editorial Trillas. México. Pp. 99-114.
71. Narasimhalu, P., Kong, D., Choo, T. D., Ferguson, T., Therrien, M. C, Ho, K. M., May, K. W., et Juli, P. I. (1994). Effects on environment and cultivar on total mixed-linkage β -glucan content in eastern and western Canadian barleys (*Hordeum vulgare* L.). *Canadian Journal of Plant Science*. Vol. 75. Pp. 371-376.
72. Narzis, L. et Skein, Y. (1986). The influence of long-chain free fatty acids on the flavor stability of beer. *Monatsschr. Brau*. Pp. 39, 230-296.
73. Niessen, L., Donhauser, S., Weideneder, A., Geiger, E., Vogel, H. (1992). gushing des Bieres. *Brauwelt*. Vol.. 32. Pp. 702-714.
74. NMX-FF-043-SCFI-2003. Norma Mexicana. Productos Alimenticios no Industrializados para consumo humano- cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* y *Hordeum distichum*). Especificaciones y métodos de prueba.
75. Ogushi, K., Barr, A. R., Takahashi, S., Asakura, T., Takoi, K. et Ito, K. (2002). Lofty Nijo: A high Quality Malting Barley Variety released from an Australian Japanese collaboration. *Journal of Institute of Brewing*. Vol. 108 N°. 1. Pp. 13-18.
76. Olsen, O., Borris, R., Simon, O. et Thomsen, K. K. (1991). Hibrid *Bacillus* (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4) β -glucanases: engineering thermostable enzymes by construction of lbrid genes. *Mol. Gen. Genet*. Vol. 225. Pp. 177-185.
77. Palmer, G. H. (1989). Cereals in malting and brewing. In *Cereal Science and Technology*. Ed. G. H. Palmer. Aberdeen University Press. Aberdeen, Scotland. Pp. 61-242.

78. Pelembe, L. A. M., Dewar, J. et Taylor, J. N. R. (2002). Effect on malting conditions on pearl millet malt quality. *Journal of the Institute of Brewing*. Vol. 108, N° 1. Pp.13-18.
79. Ranki, H. (1990). Secretion of α -amylase by the epithelium of barley scutellum. *Journal of Institute of Brewing*. Vol. 96. Pp. 307-309.
80. SAGARPA (2005). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación Hidalgo.
81. Schaafsma, A. W. (2002). Economic changes imposed by mycotoxins in food grains: case study of deoxynivalenol in winter wheat and Food Safety. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 271–276.
82. Schildbach, R. (1999). Malting Barley Worldwide. European Brewery Convention. Oxford IRL Press; Proc 27th. Pp. 299-312.
83. Schwarz, P. B., Schwarz, J. G., Zhou, A., Prom, L. K. et Steffenson, B. J. (2001). Effect of *Fusarium graminearum* and *Fusarium. poe* infection on barley and malt quality. *Monatsschr. Brauwiss.* Vol. 54 Pp.55–63.
84. Schwarz, P. B., Casper, H. et Beattie S. (1996) Relationship between *Fusarium* infestation on barley and the gushing potential of malt. *Journal Institute of Brewing*. Vol. 102. Pp. 93-96.
85. Schwarz, P. B., Casper, H. et Beattie S. (1995). Fate and development of naturally occurring *Fusarium* micotoxins during malting and brewing. *Journal of American Society of Brewing and Chemists*. Vol. 53 N° 3. Pp. 121-127.
86. Scott, P.M. (1996). Mycotoxins transmitted into beer from contaminated grains during brewing. *J. AOAC Int.* Vol. 79, 875–882.
87. Serna (2001). Química e Industrialización de los Cereales. AGT Editor. México, Editor. México D. F. Pp. 47- 73 y 79-89.
88. Stuart, I. M., Loi, L. et Fincher, G. B. (1988). Varietal and environmental in (1→3), (1→4) β -glucan levels and (1→3), (1→4) β -glucanase potential in barley: relationships to malting quality. *Journal of Cereal Science*. Vol. 7. Pp. 371-376.
89. Swanston, J. S., Ellis, R. P., Rubio, A., Perez Vendrell, A. et Molina Cano, J. L. (1994). Differences in malting performances between barleys grown in Spain and Scotland. *Jouranl of Institute of Brewing*. Vol. 101. Pp. 261-265.
90. Taylor J. R. N. (1991). Proteolysis in sorghum malting. In proceedings of the third Scientific and Technical Convention. The institute of brewing central and Southern African Section, Johannesburg. Pp. 87-90.

91. Vaag, P. Preben, R., Knudsen, A. D., Pedersen, S., Meiling, E. (1993). A simple and rapid test for gushing tendency in brewing materials. 24th Congress of European Brewery Convention. Oslo. IRL Press, Oxford. Pp. 155-162.
92. Vinko, K., Tomislav K., Natalija V. et Zlata M (2005) Contamination of malt barley by *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* from the crop years 2001-2003 in eastern Croatia. Microbiological Research. Vol. 3. Pp. 1-7.
93. Vis, R. B. et Lorenz, K. (1998). Malting and Brewing a High β -glucan Barley. Lebens-Wiss u. Technologic. Vol. 31. Pp. 20-26.
94. Wainwright, T. (1986). Nitrosamines in malt and beer. Journal of Institute of Brewing. Vol. 92. Pp. 73-80.
95. Wheith, L. et Klaushofer, H. (1993). Studies on malting technology: Aeration and enzyme activity. Wallestein Laboratory Communications. Vol. 26. Pp. 59.
96. Williams, P. C. (1985). Application of near infrared reflectance spectroscopy to analysis of cereals grains and oil seeds. Cereal Chemistry. Vol. 52. Pp. 561.
97. Wolfgang, Voguel. (1999). Elaboración casera de cerveza, Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España. Pp. 21 -80.
98. Yamashita, H. Fujino, S., Aoyagui, S., Tsumura, Y., Hayase, F., et Kato, H. (1989). Characterization and mechanisms of formation of frozen beer precipitates. Journal of American Society of Brewing Chemists. Vol. 47. Pp. 77-81.
99. Yang, K., Kwang Ok Kim. et Young Choon Lee. (1998). Optimum roasting and extraction conditions and flavour characteristics of roasted malt extract. Cereal Chemistry. Vol. 75, N°3. Pp. 282-288.
100. Yin, X. S. et MacGregor, A. W. (1989). Substrate specificity and nature of barley β -glucan solubilase. Journal of the Institute of Brewing. Vol. 95. Pp. 105-109.
101. Zhang, G., Chen, J., Wang, J., et Ding, S. (2001) Cultivar and environmental effects on (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4) -D- β - glucan and protein content in malting barley. Journal of Cereal Science. Vol. 34. Pp. 295-301.

Páginas de Internet consultadas en el presente proyecto

http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm (Sept.-2005)

<http://www.html.rincondelvago.com/files.jpg> (Sept.-2005)

<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/7522/maltade.htm> (Sept.-2005)

<http://www.telecable.es/quimica/industria/sacarosa> (Nov.-2005)

<http://www.sbu.ac.uk/water/images/hyglu.gif> (Nov.-2005)

http://msdlocal.ebi.ac.uk/docs/chem_comp/gif/raffinose (Nov.-2005)

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Experimentos Preeliminares de humedad

Tabla 24 Humedad alcanzada (%) durante el remojo a 19-22°C (desviación estándar)

Variedad	Días de Remojo				
	1 ^A	2 ^B	3 ^C	4 ^D	7 ^E
Esm1- T	36.0 (0.12) ^a	44.1 (0.38) ^a	47.4 (0.13) ^a	51.8 (0.35) ^b	53.4 (1.44) ^a
PO-H	36.5 (0.51) ^a	44.1 (0.39) ^a	47.1 (0.40) ^a	51.0 (0.11) ^a	52.7 (0.37) ^a
M16-H	38.9 (0.22) ^b	44.2 (0.43) ^a	47.4 (0.18) ^a	52.6 (0.45) ^c	52.8 (0.99) ^a

*Letras distintas en la columna, indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Tabla 25. Humedad alcanzada (%) durante el remojo a 4°C (desviación estándar)

Variedad	Días de Remojo		
	4 ^A	6 ^B	10 ^C
Esm1-H	41.1 (1.9) ^a	48.3 (1.7) ^a	51.6 (1.7) ^a
PO- H	43.3 (0.0) ^a	47.8 (1.9) ^a	51.1 (1.2) ^a

*Letras distintas en la columna, indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Tabla 26. Humedad alcanzada (%) durante el remojo a 10°C (desviación estándar)

Variedad	Días de Remojo			
	1 ^A	2 ^B	3 ^C	4 ^D
Esm1-H	36.0 (0.12) ^a	39.9 (0.33) ^a	44.1 (1.38) ^b	44.7 (0.28) ^a
PO-H	36.6 (0.51) ^a	39.6 (0.50) ^{ab}	44.6 (0.39) ^{ab}	47.4 (0.26) ^a
M16-H	38.9 (1.22) ^b	38.7 (0.6) ^a	44.2 (0.43) ^a	46.9 (1.15) ^a

*Letras distintas en la columna, indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Tabla 27. Tamaño de Raicillas (TR); 2 días de germinación a 16°C (desviación estándar)

Variedad	TR (% con respecto al tamaño del grano de cebada)			
	0.6-0.7 cm	0.8 cm	0.9 cm	1.0 cm
Esm1-H	11 (1.8) ^a	14 (2.8) ^a	20 (1.9) ^b	16 (2.2) ^a
Esm2-H	24 (2.2) ^{bc}	23 (1.1) ^b	20 (1.8) ^b	-----
PO-H	35 (2.2) ^d	30 (2.1) ^{cd}	27 (2.2) ^c	21 (1.7) ^b
M16-H	21 (1.6) ^b	15 (1.3) ^a	14 (2.9) ^a	17 (2.6) ^{ab}
Forr-T	51 (3.5) ^e	24 (2.8) ^b	57 (2.3) ^e	48 (1.6) ^e
M16-T	48 (3.1) ^e	28 (2.5) ^{bc}	33 (0.6) ^d	36 (1.3) ^d
Esm1-T	27 (2.1) ^c	33 (5.8) ^d	25 (2.9) ^{bc}	26 (1.3) ^c

---- Indica que no hubo granos de cebada con ese tamaño.

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Tabla 28. Tamaño de Raicillas (TR); 2 días de germinación a 20°C (desviación estándar)

Variedad	TR (% con respecto al tamaño del grano de cebada)			
	0.6-0.7 cm	0.8 cm	0.9 cm	1.0 cm
Esm1-H	83 (1.5) ^d	100 (1.8) ^c	112 (1.9) ^d	84 (1.3) ^d
Esm2-H	171 (0.0) ^g	156 (2.1) ^e	159 (1.6) ^e	-----
PO-H	43 (1.6) ^b	58 (1.8) ^b	65 (1.7) ^c	49 (2.8) ^b
M16-H	65 (1.5) ^c	61 (1.6) ^b	46 (1.5) ^b	76 (1.3) ^c
Forr-T	106 (2.5) ^f	118 (3.9) ^d	111 (1.6) ^d	93 (2.6) ^e
M16-T	91 (2.4) ^e	112 (1.8) ^d	114 (1.6) ^d	83 (2.6) ^d
Esm1-T	33 (1.1) ^a	35 (1.4) ^a	26 (1.5) ^a	23 (2.6) ^a

----Indica que no hubo granos de cebada con ese tamaño.

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Tabla 29. Tamaño de Raicillas (TR); 4 días de germinación a 16°C (desviación estándar)

Variedad	TR (% con respecto al tamaño del grano de cebada)			
	0.6-0.7 cm	0.8 cm	0.9 cm	1.0 cm
Esm1-H	18 (2.8) ^a	24 (2.1) ^a	22 (1.8) ^a	19 (2.2) ^a
Esm2-H	128 (2.3) ^d	197 (1.6) ^e	139 (0.1) ^d	-----
PO-H	92 (2.5) ^b	87 (3.8) ^c	85 (5.4) ^{bc}	80 (2.7) ^c
M16-H	115 (0.1) ^c	72 (1.4) ^b	96 (5.8) ^c	87 (2.9) ^c
Forr-T	94 (2.5) ^b	92 (3.7) ^c	90 (3.3) ^c	109 (1.5) ^d
M16-T	179 (3.2) ^e	173 (1.3) ^d	156 (1.6) ^e	148 (3.8) ^e
Esm1-T	94 (2.1) ^b	87 (1.9) ^c	75 (5.8) ^b	63 (1.8) ^b

---- Indica que no hubo granos de cebada con ese tamaño.

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Tabla 30. Tamaño de Raicillas (TR); 4 días de germinación a 20°C (desviación estándar)

Variedad	TR (% con respecto al tamaño del grano de cebada)			
	0.6-0.7 cm	0.8 cm	0.9 cm	1.0 cm
Esm1-H	238 (2.1) ^f	256 (2.7) ^e	252 (2.2) ^d	237 (3.2) ^d
Esm2-H	354 (2.3) ^g	289 (2.1) ^f	291 (2.8) ^e	-----
PO-H	181 (2.0) ^d	168 (4.1) ^c	158 (1.1) ^a	143 (3.2) ^b
M16-H	161 (2.9) ^c	146 (2.3) ^b	167 (2.4) ^a	147 (3.7) ^b
Forr-T	122 (3.5) ^a	106 (2.1) ^a	215 (3.6) ^c	196 (2.3) ^c
M16-T	221 (2.5) ^e	218 (1.7) ^d	220 (3.1) ^c	196 (1.3) ^c
Esm1-T	149 (2.5) ^b	174 (1.2) ^c	184 (1.8) ^b	131 (4.5) ^a

---- Indica que no hubo granos de cebada con ese tamaño.

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

ANEXO 2. Análisis de calidad de maltas

Tabla 31. Humedades (en %) alcanzadas durante los tratamientos de remojo (desviación estándar)

Variedad	2 Días, 10°C		4 Días, 10°C	
	Humedad	Promedio	Humedad	Promedio
Esm1-H	44.9		53.1	
	43.6	43.8(1.0) ^{ab}	53.5	53.5 (0.5) ^b
	42.9		54.0	
Esm2-H	43.8		51.0	
	45.7	44.6(0.9) ^{bc}	52.0	51.4 (0.5) ^a
	44.4		51.2	
PO-H	41.5		52.0	
	41.6	41.7 (0.3) ^a	49.1	50.9 (1.6) ^a
	42.0		51.5	
M16-H	41.9		51.0	
	41.9	41.8 (0.2) ^a	50.5	50.7 (0.3) ^a
	41.6		50.6	
Forr-T	41.7		54.8	
	48.1	45.3 (3.3) ^{bcd}	55.2	55.1(0.3) ^c
	46.3		55.4	
M16-T	46.7		56.4	
	46.1	46.9 (0.9) ^{cd}	57.0	56.2 (0.9) ^d
	47.9		55.3	
Esm1-T	49.2		57.0	
	46.1	47.4 (1.7) ^d	56.8	56.9 (0.1) ^d
	46.8		57.0	

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas (P<0.05).

Tabla 32 Contenido de nitrógeno en malta (%) (desviación estándar)

Variedad	2 Días Germinación		4 Días Germinación	
	16°C	20°C	16°C	20°C
Esm1-H	1.5 (0.01) ^a	1.5 (0.02) ^a	1.5 (0.01) ^a	1.5 (0.01) ^a
Esm2-H	1.6 (0.01) ^c	1.6 (0.02) ^b	1.5 (0.02) ^c	1.6 (0.02) ^b
PO-H	1.6 (0.01) ^c	1.6 (0.01) ^c	1.6 (0.01) ^d	1.6 (0.01) ^c
M16-H	1.5 (0.01) ^b	1.5 (0.02) ^a	1.5 (0.01) ^a	1.5 (0.01) ^a
Forr-T	1.5 (0.01) ^b	1.6 (0.03) ^b	1.5 (0.02) ^{ab}	1.5 (0.01) ^a
M16-T	1.6 (0.01) ^c	1.6 (0.02) ^b	1.5 (0.01) ^a	1.5 (0.02) ^a
Esm1-T	2.0 (0.01) ^d	1.9 (0.01) ^d	2.0 (0.01) ^e	2.0 (0.01) ^d

*Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas estadísticas ($P < 0.05$).

ANEXO 3. Análisis estadísticos (Distancias Euclidianas)

Tabla 33. Comparación múltiple de tratamientos de malteado mediante distancias euclidianas

Obs.	Tratamiento	HR	HS	PG	PM	TR6-7	TR8	TR9	TR10	PD	β GM	N	Prot.	CAL
1	Esm2H-D	44.6	5.3	93.6	14.9	354.1	288.9	291.4	0.0*	441.6	2.2	1.5	8.7	22.5
2	Esm1H-D	43.8	5.1	78.9	13.2	238.1	255.6	251.9	236.7	419.6	3.9	1.5	8.5	24.5
3	M16T-C	46.9	5.4	85.7	11.3	179.1	173.0	155.6	147.8	407.2	5.6	1.5	8.6	26.5
4	M16T-D	46.7	5.1	88.4	13.1	220.6	218.1	219.8	195.6	366.2	4.2	1.5	8.9	29.1
5	Esm2H-C	44.6	4.8	90.1	14.1	127.8	196.8	139.2	0.0*	336.5	4.6	1.5	8.9	29.2
6	ForrT-C	45.3	4.3	64.2	9.3	93.7	91.7	90.1	108.9	377.6	4.7	1.5	8.8	35.1
7	Esm1H-B	43.8	2.5	72.0	14.5	82.5	100.0	112.1	84.4	457.2	4.3	1.5	8.8	35.3
8	M16H-D	41.8	4.3	95.5	11.0	160.5	145.6	166.7	146.7	419.7	6.1	1.6	9.1	35.9
9	ForrT-D	45.3	4.4	75.6	12.5	122.2	105.6	214.8	195.6	432.5	3.7	1.6	9.2	36.4
10	Esm2H-B	44.6	3.2	85.7	18.0	171.4	155.6	159.3	0.0*	421.5	9.9	1.6	9.5	38.2
11	M16T-C	41.8	3.3	91.9	10.0	114.6	72.2	96.3	86.8	252.1	7.6	1.5	8.5	42.5
12	POH-C	41.7	3.8	89.8	11.9	92.1	87.5	85.2	80.0	354.7	5.9	1.6	9.5	43.8
13	POH-D	41.7	4.8	93.1	10.1	181.0	168.1	158.0	143.3	375.2	4.7	1.6	9.5	43.9
14	Esm1H-C	43.8	4.8	73.8	14.3	18.3	24.3	21.6	18.9	255.4	7.1	1.6	9.3	46.5

Donde: Obs. # de Observación, HR: Humedad de remojo, HS: Humedad de secado, PG: Porcentaje de germinación, PM: Pérdidas por malteado, TR6-7, TR8, TR9, TR10: Tamaño de raicillas (granos de 0.6cm y 0.7cm, 0.8cm, 0.9cm, 1.0cm), PD: Poder Diastásico, β GM: β -glucanos en malta, N: Nitrógeno, Prot.: Proteínas, CAL: Calificación asignada estadísticamente). * Indica que no hubo granos de ese tamaño. Tratamientos de germinación (Todos con 2 días de remojo a 10°C): A) 2 días, 16°C; B) 2 días, 20°C; C) 4 días, 16°C; D) 4 días 20°C.

Continuación Análisis estadísticos (Distancias Euclidianas)

Obs.	Tratamiento	HR	HS	PG	PM	TR6-7	TR8	TR9	TR10	PD	βGM	N	Prot.	CAL
15	ForrT-B	45.3	3.8	64.0	11.6	106.4	118.1	111.1	92.8	254.1	6.2	1.6	9.2	45.0
16	Esm2H-A	44.6	2.0	48.6	10.0	24.0	22.9	20.4	0.0*	308.8	11.5	1.6	9.3	51.0
17	POH-A	41.7	4.0	62.8	11.7	35.6	29.7	27.2	20.6	200.7	7.8	1.5	8.6	51.4
18	Esm1T-B	47.4	4.9	30.9	8.3	33.3	34.7	25.9	22.8	295.0	15.5	1.5	8.8	53.1
19	POH-B	41.7	4.7	84.1	12.2	43.1	58.3	65.4	48.9	177.1	7.5	1.5	8.7	55.0
20	M16H-B	41.8	5.0	83.2	10.8	65.1	61.1	45.6	75.6	259.6	17.8	1.6	9.2	55.4
21	M16H-A	41.8	4.7	58.6	10.5	20.9	15.3	13.6	17.2	194.1	19.1	1.5	8.7	62.3
22	EsmT-A	47.4	3.3	39.9	7.7	27.0	33.3	24.7	25.6	226.8	19.9	1.5	8.7	63.7
23	ForrT-A	45.3	3.8	35.8	10.8	50.8	23.6	56.8	48.5	130.0	8.2	1.6	9.3	73.8
24	M16T-B	46.9	3.9	80.9	11.3	90.5	112.5	103.7	82.8	269.3	6.7	1.9	10.9	78.6
25	Esm1H-A	43.8	2.2	26.1	14.1	11.1	13.9	19.8	16.1	118.5	21.6	1.5	8.9	81.1
26	EsmT-D	47.4	3.8	56.9	16.0	149.2	173.6	184.3	131.4	335.5	3.0	2.0	11.4	88.6
27	EsmT-C	47.4	3.8	60.3	8.2	93.7	87.5	75.3	63.3	377.6	13.9	2.0	11.4	90.8
28	M16T-A	46.9	3.6	61.1	10.3	47.6	27.8	33.3	35.6	310.5	19.4	2.0	11.6	98.5

GLOSARIO

Adjuntos de malta o adjuntos cerveceros. Se trata de materias amiláceas distintas a la malta de cebada, generalmente se refiere a cereales sin maltear para la elaboración de cerveza tales como maíz, trigo, avena, arroz y sorgo.

Ale. Cervezas que se realizan a partir de fermentaciones altas, generalmente son oscuras y suelen presentar sabores amargos fuertes, poseen de 3 a 5% de alcohol.

Amilólisis. Hidrólisis o despolimerización del almidón causada por medios enzimáticos o mediante la aplicación de ácidos y calor.

Citólisis. Ruptura o degradación de las células de algún organismo o tejido, provocada por agentes químicos o enzimáticos.

Extracto cervecero. Se trata de las materias hidrosolubles provenientes de la malta (maltosa, maltotriosa y glucosa), representa la cantidad en equivalentes de sacarosa y se expresa como: 1g de sacarosa/100g de líquido = 1° Plato.

Gushing. Inestabilidad de la espuma de la cerveza que se presenta rápidamente al abrir la tapa de las latas o botellas y es causada por el desoxinilvalenol; producto derivado de la contaminación por micotoxinas.

Haze. Es el término designado a los precipitados insolubles formados por la unión de β -glucanos, proteínas y lípidos en cerveza.

Lager. Cervezas que sufren fermentaciones bajas durante su elaboración, son de colores claros, sabores suaves y porcentajes de alcohol entre 3.5-5.5%.

Lúpulo. *Humulus lupulus*; es una planta aromática cuya flor se utiliza para la industria cervecera, su función principal es aportar sabor amargo a la cerveza, lo cual realiza gracias a que posee resinas y aceites esenciales.

Malta. Es la cebada parcialmente germinada y secada o tostada que contiene sustratos apropiados para la elaboración de cerveza tales como aminoácidos y azúcares.

Malta verde. Grano de cebada germinado pero sin secar, es rica en enzimas y se emplea con otros cereales crudos en la elaboración de cerveza.

Micotoxinas. Metabolitos secundarios de los hongos que aparentemente ya no tienen un papel importante en el metabolismo de estos microorganismos y pueden ser patógenas para el ser humano y animales.

Pilsner o Pilsener. Se trata de cervezas claras originarias de Checoslovaquia, son muy amargas y se caracterizan por poseer un contenido de alcohol 4 y 5.5%.

Proteolisis. Ruptura o hidrólisis de las proteínas causada por agentes como la temperatura, el calor, disolventes orgánicos y enzimas.

Sémola. Del latín *similla* (flor de harina), es una mezcla de fragmentos de endospermo de mayor tamaño que las harinas.

Stout. Es cerveza oscura elaborada con maltas muy tostadas, en ocasiones presenta sabor dulce, pero normalmente es amarga.

Taninos. Compuestos fenólicos de estructuras diversas que se combinan con otros compuestos como las proteínas y polisacáridos, contribuyen a la astringencia de los alimentos y poseen colores que van del blanco hasta el amarillo.

Vienna. Se trata de maltas oscuras destinadas a la elaboración de cervezas de tipo *Vienna*, las cuales se caracterizan por poseer sabores dulces.

Viscosidad. Es una propiedad de los fluidos que se define como la resistencia que ofrece un líquido a fluir. La viscosidad del mosto cervecero suele ser determinada al medir el tiempo tomado para fluir por un viscosímetro a una temperatura de 20°C.