



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE HIDALGO



INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

“Calidad de la cebada maltera de los municipios del Estado de Hidalgo con  
alto índice de especialización en este cultivo”

Tesis

Para Obtener el Título de  
**Ingeniero Agroindustrial**

Presenta

**DIEGO MORENO GÓMEZ**

Directoras:

Dra. Irma Morales Rodríguez

Dra. Lucila Del Carmen Hernández Cortes

Tulancingo de Bravo Hidalgo, Abril, 2014



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dr. Otilio A. Acevedo Sandoval

Director ICAP

PRESENTE

Sirva la presenta para informar a usted, que después de haber revisado la versión final del Trabado de Investigación intitulado “**Calidad de la cebada maltera de los municipios del Estado de Hidalgo con alto índice de especialización en este cultivo**” presentado por el pasante de Ingeniería Agroindustrial **Diego Moreno Gómez**, No. Cuenta 118011, consideramos que cumple con los elementos suficientes de contenido y forma para su réplica oral en el Examen Recepcional correspondiente, como requisito parcial para obtener el título de INGENIERO AGROINDUSTRIAL. Por lo que otorgamos nuestra aprobación para la impresión del trabajo.

H. Comité Revisor

Dra. Irma Morales Rodríguez

\_\_\_\_\_

Dra. Lucila del Carmen Hernández Cortes

\_\_\_\_\_

Dr. René Gómez Mercado

\_\_\_\_\_

M. en C. Rodolfo Gómez Ramírez

\_\_\_\_\_

Dr. Gabriel Aguirre Álvarez

\_\_\_\_\_

Abril del 2014

El presente trabajo se realizó en los laboratorios Postcosecha y Multidisciplinario del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo la dirección de las profesoras Dra. Irma Morales Rodríguez y Dra. Lucila del Carmen Hernández Cortés con apoyo otorgado para la formación de Recursos Humanos, financiado por el Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP) mediante el proyecto “Red Nacional de Productividad y Calidad de Alimentos Agrícolas”, del año 2009.

.

## Agradecimientos

A mis padres por la paciencia y el apoyo que siempre me brindaron lo que me permitió llegar a culminar esta etapa importante de mi vida.

A Andrea mi hermana y a mis sobrinos Renata y Ulises por todo el cariño y apoyo siempre.

A mis abuelos y a mis tíos y primos que me apoyaron en todo momento.

A Yolanda que estuvo conmigo en esta etapa de mi vida, por su apoyo moral.

Y todos ellos que son parte importante en mi vida muchas gracias.

A las Dras. Irma y Lucy por la paciencia apoyo, brindarme sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A la M. en C. Violeta De La Huerta, al Dr. René Gómez y Rodolfo Gómez por el tiempo y observaciones brindadas en este trabajo.

Al Dr. Gabriel Aguirre y Marcial Ortiz por la ayuda brindada en este trabajo.

A mis compañeros y amigos del Centro Impulsor y Zoofitec por el apoyo en la culminación de este proyecto.

A mis mejores amigos Ricardo y Luis que han sido parte importante en mi vida.

A mis compañeros de grupo.

Y a todas las personas que no menciono, pero que en algún momento de mi vida me brindaron su apoyo y amistad.

# *Dedicatoria*

*Este trabajo se lo dedico con todo mi amor y cariño:*

*A mis papas, a mi hermana y sobrinos.*

*A mis abuelitos y mis tíos.*

*Y a Yolanda.*

*Que estuvieron conmigo en todo momento*

*brindándome su apoyo y cariño.*

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	iv

## Índice General

Índice General .....	i
<b>Resumen</b> .....	<b>v</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vii</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>ix</b>
<b>Objetivo General</b> .....	<b>xi</b>
<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>xii</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>xii</b>
<b>Revisión de Literatura</b> .....	<b>1</b>
1.1 Origen del Cultivo de la Cebada .....	1
1.2 Taxonomía de la Cebada.....	2
1.3 Morfología de la Cebada.....	2
1.4 Fenología del Cultivo .....	3
1.5 Importancia de la Cebada en el mundo .....	3
1.6 El cultivo de la Cebada en México .....	4
1.7 Municipios Productores de Cebada Maltera en el Estado .....	6
1.8 Importancia Social y Económica del Cultivo de la Cebada Maltera en el Estado de Hidalgo .....	8
1.9 Índice de Especialización Agrícola en el cultivo de cebada del Estado de Hidalgo.....	9
1.10 Calidad de la cebada maltera en México y Europa.....	111

1.10.1	Parámetros que considera la NMX-FF-043-SCFI-2003.....	112
1.10.2	Parámetros de calidad a considerar según la European Brewery Convention.....	14
1.11	Elaboración de Malta y Cerveza .....	17
1.12	Importancia de la Cerveza .....	23
1.13	Origen de la Cerveza .....	23
1.14	Clasificación de la Cerveza.....	26
1.15	Consumo de Cerveza .....	27
1.16	Producción de cerveza en el mundo.....	27
1.17	Principales Cerveceras en México.....	28
1.18	Importaciones y Exportaciones de la cerveza en México .....	29
	<b>Materiales y Métodos .....</b>	<b>31</b>
2.1	Cálculo del índice de especialización .....	31
2.2	Colecta de muestras.....	31
2.3	Análisis físicos .....	32
2.4	Análisis Fisiológico .....	34
2.5	Análisis Químicos al Grano.....	34
2.6	Análisis Químicos a la Malta y Mosto para determinación de Índice Q.....	34
2.7	Determinación del Índice Q.....	36
2.7	Elaboración de Malta y Cerveza .....	37
2.8	Análisis de Resultados.....	38
	<b>Resultados y Discusión .....</b>	<b>40</b>
3.1	Índice de especialización agrícola .....	40
3.2	Análisis físicos, fisiológicos y químicos.....	41
3.3	Análisis Químicos a la Malta y Mosto .....	49

3.4 Índice Q .....	53
<b>Conclusiones .....</b>	<b>56</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>57</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>58</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>59</b>

### Índice de Figuras

Figura 1.- Etapas Fenológicas del Cultivo de Cebada .....	3
Figura 2.- Distritos de Desarrollo Rural (DDR) donde se siembra cebada maltera	11
Figura 3.- Tabla de deducciones y bonificaciones de la NNX-FF-043-SCFI-2003	13
Figura 4.- Fermentación Alcohólica.....	22
Figura 5.- Proceso de Elaboración de la Cerveza .....	22
Figura 6.- Localización de las principales malteras y cerveceras en México. ....	29
Figura 7.- Municipios donde se colectaron las muestras de cebada .....	32
Figura 8.- Diagrama de Flujo del Trabajo.....	40
Figura 9.- Mapa de temperaturas alcanzadas en la etapa de llenado del grano de cebada .....	¡Error! Marcador no definido.59

### Índice de Tablas

Tabla 1.- Municipios productores de cebada maltera pertenecientes a los DDR del Estado de Hidalgo y superficie sembrada y cosechada .....	8
Tabla 2.-Caracteres utilizados para determinar el índice Q con sus coeficientes de ponderación.....	36



Tabla 3.- Índice de Especialización (I.E) agrícola de los 27 municipios donde se cultiva cebada en el Estado de Hidalgo.....	41
Tabla 4.-Porcentaje de impurezas y humedad en las muestras de cebada maltera de los municipios seleccionados en el estado de Hidalgo.....	434
Tabla 5.-Porcentajes de proteína, germinación y peso hectolítrico de muestras obtenidas de 10 municipios con alto índice de especialización en el estado de Hidalgo .....	50
Tabla 6.- Caracteres utilizados para determinar el índice Q con sus coeficientes de ponderación. ....	53
Tabla 7.- Valores de los parámetros utilizados para la determinación del Índice Q.....	555
Tabla 8.- Índice Q de muestras obtenidas de 10 municipios con alto Índice de Especialización en el estado de Hidalgo. ....	56
Tabla 9.- Resultados de los análisis realizados para la determinación del índice Q .....	59

## Índice de Graficas

Grafica 1.- Contenido de impurezas (%) presente en muestras de grano de cebada ( <i>Hordeumvulgare L.</i> ) .....	42
Grafica 2.- Contenido de humedad (%) en el grano de cebada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> ).....	44
Grafica 3.- Representación gráfica del valor de peso hectolítrico (kg/hl) en el grano de cebada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> ).....	46
Grafica 4.- Representación gráfica del valor de germinación (%) en el grano de cebada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> ) .....	47
Grafica 5.- Representación gráfica del valor de las proteínas (%) en el grano de cebada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> ).....	49
Grafica 6.- Valores de Indice Q de los municipios evaluados . ....	46

## Resumen

En el presente trabajo, se evaluó la calidad de la cebada maltera variedad Esmeralda en los municipios del Estado de Hidalgo con alto índice de especialización agrícola, basando dicha investigación en la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-043-SCFI-2003) y el Índice Q establecido por la Convención Cervecera Europea (EBC) por sus siglas en inglés, utilizado en países europeos.

Se identificaron los municipios en los que el cultivo de cebada maltera presenta gran importancia agronómica con base al Índice de Especialización, de esta manera, se seleccionaron 10 municipios para la obtención de las muestras del estudio que son: Almoloya, Apan, Cuauhtepac, Emiliano Zapata, Epazoyucan, Pachuca, Singuilucan, Tepeapulco, Villa de Tezontepec y Zempoala. Se hizo la prueba fisiológica de germinación, posteriormente se realizaron evaluaciones de calidad física al grano tales como peso hectolítrico, contenido de humedad e impurezas. También se llevó a cabo el proceso de elaboración de cerveza desde el malteo, para efectuar los análisis físico-químicos durante el proceso, donde se determinó el rendimiento en extracto, viscosidad, poder diastásico, proteína, Índice de Kolbach y se midió densidad para obtener la atenuación límite.

Con respecto a la calidad física y fisiológica se encontraron algunas diferencias estadísticas entre los municipios estudiados; se obtuvo que en el porcentaje promedio de germinación cumplen tanto con la normatividad nacional como Europea ( $\geq 85\%$ ), todos los municipios, aunque se encontraron por encima de este valor los granos de Tepeapulco (99.7%), Emiliano Zapata (98.7%), Singuilucan (96%), Zempoala (95%) y Pachuca de Soto (92%), en cuanto al peso hectolítrico ( $\geq 56$  kg/hL), cumplen los siguientes: Emiliano Zapata (60.12), Tepeapulco (59.57), y Villa de Tezontepec (57.72), no la cumplen los demás; en el contenido de humedad (11.5 - 13.5%), en este rango están Apan (11.6), Pachuca (13.4) y Singuilucan (13.5) el resto no la cumplen; en lo que se refiere al contenido de impurezas ( $\leq 2\%$ ) cumplen únicamente E. Zapata (0.07%) y Almoloya (1.68%), mientras que los otros no la cumplen. Para el índice Q, todas las muestras de los municipios estudiados, se encuentran por encima de 7; la cebada de Cuauhtepac

(7.4) con el más bajo y la que mayor valor presentó fue la de Villa de Tezontepec (8.8). No obstante de no cumplirse con la norma mexicana en algunos casos, los análisis químicos para determinar el Índice Q, indican que la cebada maltera variedad Esmeralda del Estado de Hidalgo pertenece a cebada de elevada calidad, ya que la cebada con un Índice Q entre 7 y 9, según la EBC, se considera cebada maltera de alta calidad cervecera.

Palabras Clave: Cebada maltera, calidad física, calidad fisiológica, Índice Q.

## Abstract

In this paper, the quality of malting barley variety Esmeralda municipalities of Hidalgo high agricultural specialization index was evaluated basing this investigation on Official Mexican Standard (NMX-FF-043-SCFI-2003) and the Q index established by the European Brewery Convention (EBC) for its acronym in English, used in European countries.

Municipalities in which the cultivation of malting barley has great agronomic importance based on the Specialization Index, thus identified 10 municipalities to obtain study samples that are selected: Almoloya, Apan, Cuautepec, Emiliano Zapata, Epazoyucan, Pachuca, Singuilucan, Tepeapulco, Villa Tezontepec and Zempoala. Germination physiological test was made subsequently physical quality assessments such as grain hectoliter weight test, moisture content and impurities were performed. It also carried out the brewing from malting to the physical-chemical analysis during the process, where performance is determined in extract yield, viscosity, diastatic power, protein, index Kolbach and density was measured for the limit attenuation.

With respect to the physical and physiological quality some statistical differences between the municipalities studied were found; was obtained that the average germination percentage all municipalities are within the national and European regulations ( $> 85\%$ ), Thus, although found above this value Tepeapulco (99.7%) Emiliano Zapata (98.7%), Singuilucan (96%), Zempoala (95%) and Pachuca of Soto (92%), in terms of hectoliter weight test ( $\geq 56$  kg / hl), satisfy the following: Emiliano Zapata (60.12), Tepeapulco (59.57) and Villa Tezontepec (57.72), the other not are within the standard; in the moisture content (11.5 - 13.5 %) in this range are Apan (11.6), Pachuca (13.4) and Singuilucan (13.5) the remainder not met; in regard to the contents of impurities ( $\leq 2\%$ ) are within the standard only E. Zapata (0.07%) and Almoloya (1.68%), while the others do not are within the standard. For the Q index, all samples of the municipalities studied are above 7;

Cuautepec (7.4) with the lowest and highest value that was provided for Villa Tezontepec (8.8). However not met with the Mexican standard in some cases, chemical analyzes to determine the Q index indicate that malting barley variety Esmeralda Hidalgo State belongs to high quality barley, as the barley with Q Index from 7 and 9, according to EBC, it is considered high quality brewing malting barley.

Keywords: Malting Barley, physical quality, physiological quality, Q index.

## Introducción

En el mundo, el cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) presenta gran importancia socioeconómica, debido a que su producción se destina principalmente para elaborar malta, materia prima primordial para producir cerveza, bebida alcohólica más popular en el mundo, con un consumo *per cápita* anual de 95.8 litros. Actualmente, la producción mundial de cerveza es de 168 millones de toneladas, de éstas México aporta cerca de 8 millones, y se ubica en el sexto lugar en producción mundial y en el tercero en el continente americano, solo detrás de Estados Unidos y Brasil (FAO, 2012). En el período 2000-2001 México obtuvo un volumen de producción por arriba de un millón de litros y se colocó en el primer lugar de los países exportadores de cerveza. Así la industria cervecera en nuestro país, actualmente ocupa un lugar sobresaliente en el Producto Interno Bruto y en el gusto del resto del mundo.

En cuanto al cultivo de cebada maltera, uno de los cereales más cultivados en el mundo, con un volumen de producción de 134 millones de toneladas; los principales países productores son Alemania, Francia y Ucrania. México participa en esta producción aportando aproximadamente el 0.36% (FAO, 2012) con una producción de 500 mil toneladas. Los principales estados productores Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Puebla y el Estado de México donde la variedad Esmeralda se cultiva bajo régimen de temporal, agricultura propia de un sistema de producción poco tecnificado y dependiente de las condiciones ambientales. Dicha producción no es suficiente para cubrir la demanda de la industria cervecera mexicana (1.2 millones de toneladas), presentando un déficit de 700,000 toneladas por lo que México cada año importa grano maltero lo que significa que la cerveza “mexicana” se produce cada vez menos con cebada cultivada en nuestro país y problemas de comercialización de este cereal representa el ingreso de miles de familias de las zonas productoras de los Valles Altos de la Mesa Central, sobre todo en las zonas del altiplano hidalguense que posee condiciones necesarias para la producción de este cultivo y donde las cosechas son altamente apreciadas debido a la precocidad del cultivo y destino de la producción trayendo con ello una gran

importancia social y económica y que Hidalgo sea el estado con mayor producción de cebada maltera en el país.

Dentro de los principales factores que reducen el rendimiento y calidad del cultivo en nuestro país se encuentran la incidencia de insectos y de enfermedades, el escaso uso de insumos, la siembra en condiciones ambientales no favorables que ocasionan bajos rendimientos, con respecto al potencial genético del cultivo bajo condiciones de temporal que es en promedio de 3.5 toneladas por hectárea. A pesar que los productores cuentan con un paquete tecnológico definido por criterios agroecológicos, no todos logran comercializar sus cosechas, lo que sugiere diferente grado de especialización en el manejo del cultivo. Debido a lo anterior es difícil competir en el mercado particularmente por no contar con la calidad industrial requerida por la industria cervecera (NMX-FF-043-SCFI-2003) y que los productores desconocen hasta que la tratan de comercializar, principalmente el peso volumétrico y porcentaje de germinación del grano, además de los altos contenidos de humedad que les ocasiona deducciones en el precio en contraste con los países Europeos donde la Convención Europea de Cerveceros, para establecer que las cosechas cumplen con la calidad apta para elaborar cerveza, además de considerar la calidad del grano, también se evalúan propiedades fisicoquímicas de la malta, mosto y cerveza que los resumen en el índice Q (Molina, 1989).

Debido a lo anterior este trabajo tiene como objetivo, caracterizar la calidad de la cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) producida en algunos municipios del estado de Hidalgo, con alto índice de especialización agrícola en el manejo del cultivo, considerando la Normatividad Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 como la Europa establecida por la EBC para evaluar calidad cervecera.

## **Objetivo General**

1. Determinar la calidad de la cebada maltera producida en municipios con mayor índice de especialización del Estado de Hidalgo, considerando la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-043-SCFI-2003) y estándares europeos (índice Q).

## **Objetivos específicos**

1. Analizar la calidad de la cebada maltera producida en diez municipios del estado de Hidalgo, con alto índice de especialización agrícola, para este cultivo, considerando los indicadores establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-043-SCFI-2003).
2. Analizar la calidad de la cebada maltera producida en diez municipios del estado de Hidalgo con alto índice de especialización agrícola para este cultivo, mediante la determinación del índice Q

## **Hipótesis**

1. La calidad de la cebada maltera obtenida en los municipios con alto índice de especialización agrícola en el manejo del cultivo, cumple con la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-043-SCFI-2003), y normatividad europea al presentar valores de Índice Q que la clasifican como grano maltero con calidad apta para elaborar cerveza.



## Revisión de Literatura

### 1.1 Origen del Cultivo de la Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) descende de la cebada silvestre, la cual crece en el Oriente Medio, junto con el trigo, cereales que eran sembrados en la rivera del Nilo en Egipto (Hockett, 1991, Dendy y Dobrasczyk, 2001).

Se considera que la cebada no tiene un centro de origen único, sino un conjunto de ellos, ya que se han encontrado poblaciones de plantas silvestres en diversas regiones como en los valles de los ríos Éufrates y Tigris en Mesopotamia, región conocida como la Creciente Fértil, sin embargo, se han descrito dos centros de origen de la cebada: uno que comprende Etiopía y África del Norte, del que proceden muchas de las variedades del grano cubierto con aristas largas, y otro centro en China, Japón y el Tíbet (Hockett, 1991, Dendy y Dobrasczyk, 2001).

Para el desarrollo del antiguo Egipto, el cultivo de la cebada representó gran importancia. Dicho cereal, conocido por los griegos y los romanos, quienes lo utilizaban para elaborar pan y que era la base de alimentación para los gladiadores romanos. En Suiza se han encontrado restos calcinados de tortas elaboradas con granos de cebada y trigo toscamente molidos que datan de la Edad de Piedra (Dendy y Dobrasczyk, 2001).

## 1.2 Taxonomía de la Cebada (Molina Cano, et al. 1989)

**Dominio:** Eucaria

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Liliopsida

**Grupo:** Glumiflora

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Género:** *Hordeum*

**Especie:** *H. vulgare* L. (seis hileras) y *H. distichum* L. (dos hileras).

## 1.3 Morfología de la Cebada

La cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro, con un sistema radicular fasciculado, fibroso que alcanza poca profundidad, el tallo es erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos. La altura de los tallos depende de la variedad y oscila desde 0.50 cm a un metro, las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas éstas abren después de haberse realizado la autofecundación, lo que tiene importancia para la conservación de los caracteres de una variedad determinada (Molina-Cano, et al. 1989).

El grano es fusiforme influenciado por el ambiente y sus dimensiones varían en longitud de 9.5 mm y 6.0 mm; de ancho mide entre 1.5 y 4.0 mm cuando el grano en formación, aun en la espiga, ha terminado la acumulación de materia seca, es decir, se ha “llenado” del todo, el ovario hinchado ha ocupado ya todo el espacio disponible situado entre la lemma y la pálea. Una vez seco el grano, las paredes

exteriores del ovario se fusionan íntimamente con las glumillas (grano vestido), el fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas (Molina-Cano, *et al.* 1989).

El grano contiene una elevada proporción de hidratos de carbono, especialmente almidones y celulosa 67% y proteínas 12.8%, precursoras de las enzimas que se formaran durante la germinación. La composición del grano de cebada puede variar incluso para la misma cosecha dependiendo de la iluminación del terreno, la exposición al viento, a la humedad en el suelo y el ambiente (Castillo, 2002). El grano de cebada tiene un contenido bajo en azúcares fermentables, que incrementan considerablemente durante el malteo, debido al aumento en el contenido de enzimas amilolíticas, las cuales durante el proceso de elaboración de cerveza van a degradar el almidón presente en el mosto generando así azúcares disponibles para la fermentación (García, *et al.* 2005).

#### 1.4 Fenología del Cultivo

Las etapas fenológicas que describe el ciclo biológico de la cebada se muestran a continuación (figura 1).



**Figura 1.-** Etapas Fenológicas del Cultivo de Cebada (Gráfica proporcionada por el Dr. Marcial Ortiz Valdez, junio 2013).

Los meses de siembra de la cebada maltera en el estado de Hidalgo son Mayo y Junio para el ciclo agrícola Primavera-Verano.

#### 1.5 Importancia de la Cebada en el mundo

La cebada es uno de los cereales más cultivados en el mundo, en el 2011 la producción mundial de dicho cereal superó los 134 millones de toneladas, de las cuales los principales países productores fueron, Alemania con el 8.43%, Francia 8.18%, Ucrania 6.87%, Canadá 6.15%, y Austria 5.90%. México aportó

el 0.36% de dicha producción, la restante la aportan los demás países productores (FAO, 2012). El cultivo de cebada maltera tiene una gran importancia socioeconómica debido a que el principal destino de la producción mundial es para la elaboración de malta, materia prima primordial en la elaboración de cerveza, una de las bebidas alcohólicas más populares en el mundo. En el año 2010 se produjeron en el mundo más de 168 millones de toneladas (FAO, 2011). La República Checa es el país que mayormente consume cerveza, con un consumo anual per cápita de 161 litros, seguido de los alemanes con 109 litros y los rumanos con 97 litros. En Latino América el consumo anual por persona, oscila entre los 14 y 80 litros al año, México ocupa el 11º lugar entre las 18 naciones latinoamericanas según la asociación de cerveceros latinoamericanos, y Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012).

En México la producción de cebada en el 2011 fue de aproximadamente 500 mil toneladas siendo Guanajuato el principal productor el cual aportó el 62% de la producción, seguido por Hidalgo (12%), Querétaro (7.6%), Puebla (6.4%), Estado de México (4.2%) y el 7.8% restante lo aportan otros estados (SIAP, 2012). El estado de Guanajuato es el mayor productor de semilla certificada para siembra, mientras que Hidalgo es el principal productor de grano para malta (Gámez *et al.*, 2006).

## **1.6 El cultivo de la Cebada en México**

La cebada maltera es un cultivo de climas cálidos, semicálidos, templados y semifríos, regiones subtropicales con invierno definido, o áridas y semiáridas. Se puede cultivar en diferentes altitudes que van de los 0 hasta 3 500 msnm. (Ruiz *et al.*, 1999).

La temperatura óptima depende de la etapa de desarrollo y de la variedad; para la siembra la óptima es de 20 a 28°C, un período de vernalización de 2°C, acelera la emergencia de las plántulas

Durante el desarrollo del cultivo, la temperatura media es de 15 a 25°C en el período de junio a octubre. Durante la maduración del grano, las heladas o temperaturas inferiores a 0°C dañan tanto la calidad física como la industrial. Durante la etapa de llenado de grano, la temperatura es de 22°C. La mínima y máxima umbrales para crecimiento son 5°C y 30°C, respectivamente, con un óptimo de 18°C. Se adapta a amplios rangos de fotoperiodo, se puede cultivar tanto en períodos de días cortos como de días largos. Requiere una atmósfera relativamente seca, ya que ambientes húmedos propician la presencia de enfermedades fungosas. Otro requerimiento climático es la precipitación, crece bien en zonas con promedio anual entre 800 y 1 250 mm. El ciclo vegetativo de este cultivo es de 3 a 4.3 meses (Ruiz, 1999).

En nuestro país este cultivo está sujeto a múltiples factores, entre ellos resaltan la disponibilidad que el agricultor tenga de los recursos productivos, como la disponibilidad de agua. Ya sea bajo el sistema de riego o de temporal, la mayor producción de cebada grano, se produce bajo el régimen de temporal. La agricultura de riego consiste en el suministro de importantes cantidades de agua a los cultivos a través de diversos métodos artificiales de riego. Este tipo de agricultura asegura óptimos rendimientos y características de calidad en las cosechas, no obstante, requiere de una adecuada infraestructura hídrica (canales, acequias, aspersores, albercas, etc.), en otras palabras requiere un desarrollo técnico avanzado, trayendo consigo grandes inversiones económicas, en el estado de Guanajuato, primer productor de semilla de cebada del país se produce mayormente bajo condiciones de riego (Gámez *et al.*, 2006).

La agricultura de temporal, es propia de sistemas de producción poco tecnificados, y de Valles Altos, donde el rendimiento del cultivo depende de una buena planeación y sobre todo de la precipitación pluvial (temporada de lluvias), (Jones, 2012). No obstante, las lluvias entre otros factores bióticos son incontrolables, por lo que resultan determinantes en el rendimiento y calidad de grano maltero (Gómez, *et al.* 2001). Por lo que es difícil competir en el mercado. No obstante, gracias a la tecnología de producción desarrollada por el Instituto Nacional de

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se ha logrado elevar a través del tiempo el rendimiento del cultivo en 166% en los Valles Altos del Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, y en 266% en el Bajío y áreas similares (Gamez *et al.*, 2005). No obstante, nuestro país no es autosuficiente en producción de cebada maltera, lo que hace necesaria la importación de hasta de 500 mil toneladas (Neria, 2012).

El estado de Hidalgo, cuenta con una extensión territorial de 2 098 700 ha, de estas 30% están dedicadas a la agricultura, 38% para el uso pecuario, 22% son áreas forestales, el 9% tiene otros usos (zonas urbanas, caminos, instalaciones, etc.), y sólo el 1% es utilizado para cuerpos de agua. Del total de la extensión territorial dedicada a la agricultura, del estado, el 17.76% es utilizada para sembrar cebada, La región agrícola del estado de Hidalgo agrupada en regiones agrícolas representadas por seis Distritos de Desarrollo Rural (DDR) que según la ley de Desarrollo Rural Sustentable, éstos constituyen la base territorial para diseñar y operar los planes y proyectos de desarrollo de la administración pública federal, entidades federativas, municipios y organizaciones de productores que participan en el Programa Especial concurrente y los programas sectoriales que de él derivan. De este modo la recomendación del paquete tecnológico de la cebada está elaborada para cada uno de los DDR de Hidalgo (DOF, 2001).

Los DDR del estado de Hidalgo lo integran, Huichapan con 12 municipios, mientras que el de Tulancingo consta de 11, Pachuca con 19, Mixquiahuala con 22, Zacualtipán con 12 y Huejutla con 8 (SAGARPA, 2013).

### **1.7 Municipios Productores de Cebada Maltera en el Estado**

El estado de Hidalgo, es el principal productor de cebada maltera a nivel nacional y representa el segundo cultivo en importancia económica después del maíz (Gómez, 2010). La producción de dicho cereal es de temporal (García *et al.*, 2006) con un rendimiento promedio de 3.5 toneladas por hectárea (t/ha), no obstante entre 2008 y 2011, el promedio anual cosechado fue de 1.4 t/ha.

La superficie destinada al cultivo de cebada maltera es de aproximadamente 110,447 ha, dicha superficie la integran 27 municipios del estado, de estos, siete pertenecen al DDR de Tulancingo, dieciocho al DDR Pachuca y dos al DDR Huichapan (SAGARPA, 2013). (Tabla 1), estos DDR están ubicados en la zona del altiplano del estado, en la faja climática comprendida entre los 2 300 y 2 800 msnm (Ruiz, 1999). Los municipios con mayor producción son: Almoloya, Apan, Cuautepéc, Emiliano Zapata, Epazoyucan, Pachuca, Singuilucan, Tepeapulco, Villa de Tezontepec y Zempoala, estos municipios aportan más del 80% de la producción estatal (SIAP, 2011), con un rendimiento promedio por hectárea en 2011 de 0.8 t/ha. La variedad Esmeralda es la más cultivada debido a que presenta resistencia a la roya lineal amarilla, enfermedad devastadora del campo cebadero de México.

**Tabla 1.- Municipios productores de cebada maltera pertenecientes a los DDR del Estado de Hidalgo y superficie sembrada y cosechada**

DDR	Municipio	Superficie Sembrada (Total de Cultivos)	Superficie Sembrada con Cebada
Pachuca	Almoleya	12,976.50	9,258.50
	Apan	26,390.00	19,908.00
	Atotonilco el Grande	7,362	22
	Emiliano Zapata	1,999.00	780
	Epazoyucan	10,017.00	6,320.00
	Huasca de Ocampo	6,883.50	50
	Mineral de la Reforma	4,270.00	3,035.00
	Mineral del Chico	1,997.00	45
	Omitlán de Juárez	1,613.50	10
	Pachuca de Soto	3,912.00	2,980.00
	San Agustín Tlaxiaca	6,800.00	970
	Tepeapulco	9,289.40	7,563.79
	Tlanalapa	4,474.00	1,932.00
	Tolcayuca	5,270.65	3,795.00
	Villa de Tezontepec	3,136.00	2,200.00
	Zapotlán de Juárez	6,522.00	5,584.00
	Zempoala	18,171.50	13,888.00
	Tulancingo	Acatlán	9,200.50
Acaxochitlán		8,482.00	205
Cuautepec de Hinojosa		18,647.00	8,734.00
Metepec		7,417.00	2,170.00
Santiago Tulantepec		3,528.00	310
Singuilucan		14,784.00	12,027.00
Tizayuca		5,350.00	4,495.00
Tulancingo de Bravo	10,409.50	2,880.00	
Huichapan	Huichapan	15,127.00	345
	Nopala de Villagrán	8,494.00	120
		<b>462,781.30</b>	<b>110,447.29</b>

Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2011)

### 1.8 Importancia Social y Económica del Cultivo de la Cebada Maltera en el Estado de Hidalgo

Actualmente el cultivo de la cebada maltera tiene gran importancia socioeconómica en México debido a que representa el ingreso de miles de familias que habitan en las zonas productoras de los Valles Altos de la Mesa Central, así como por su utilización como materia prima para la industria



cervecera, forrajera y en menor proporción como alimento humano (Consejo Mexicano de la Cebada Maltera, 2012).

El estado de Hidalgo ocupa el primer lugar nacional en producción de cebada maltera, que se produce particularmente en la región del altiplano hidalguense que posee las condiciones necesarias para la producción de este cultivo, no obstante, dicha producción se obtiene bajo el régimen de temporal, lo que condiciona la calidad del cultivo, ya que depende de las condiciones climáticas, entre ellas la precipitación pluvial, y debido a esto el INIFAP crea paquetes tecnológicos definidos por criterios agroecológicos y no por límites estatales que integra recomendaciones para cada DDR donde se siembra dicho cereal, dicho paquete cuenta con un modelo de recomendaciones generales que supone que las condiciones agroecológicas de las regiones y la forma de manejar los cultivos son razonablemente parecidas. Además la cosecha, es altamente apreciada debido a la precocidad del cultivo y destino de la producción lo cual significa gran importancia social y económica (Gómez, 2013).

No obstante, algunos productores logran buenos rendimientos y calidad del cultivo, mientras que otros en entrevista directa con el Dr. Gómez, (2013), manifiestan que no siempre logran comercializar el grano cosechado debido a baja calidad que no cumple con la normatividad nacional, (NMX-FF-043-SCFI-2003) establecida para la comercialización de dicho cereal. La industria de la elaboración de malta requiere índices de calidad (física, fisiológica, genética y fitosanitaria) que son determinados por las cualidades genéticas, manejo del cultivo, tipo de suelo y cantidad y distribución de la precipitación. Al respecto del manejo del cultivo, existen factores que los productores controlan y así tener diferente especialización agrícola (Neria, 2012).

### **1.9 Índice de Especialización Agrícola en el cultivo de cebada del Estado de Hidalgo**

En el manejo de un cultivo, interactúan factores múltiples, como el que los agricultores cuentan con diferente disponibilidad de los recursos productivos que, a su vez, depende de su capacidad de compra. Por tal motivo, lo lógico es que en

cualquier región agroecológica existan distintos tipos de productores, mayor o menormente especializados en el manejo de determinado cultivo, los cuales usen la tecnología generada de forma diferente. Huato *et al.*, (2008), utilizan el concepto de Apropiación de Tecnología Agrícola por lo que consideran que es posible que entre productores de diferente DDR exista una apropiación tecnológica reducida, diferenciada e inadecuada.

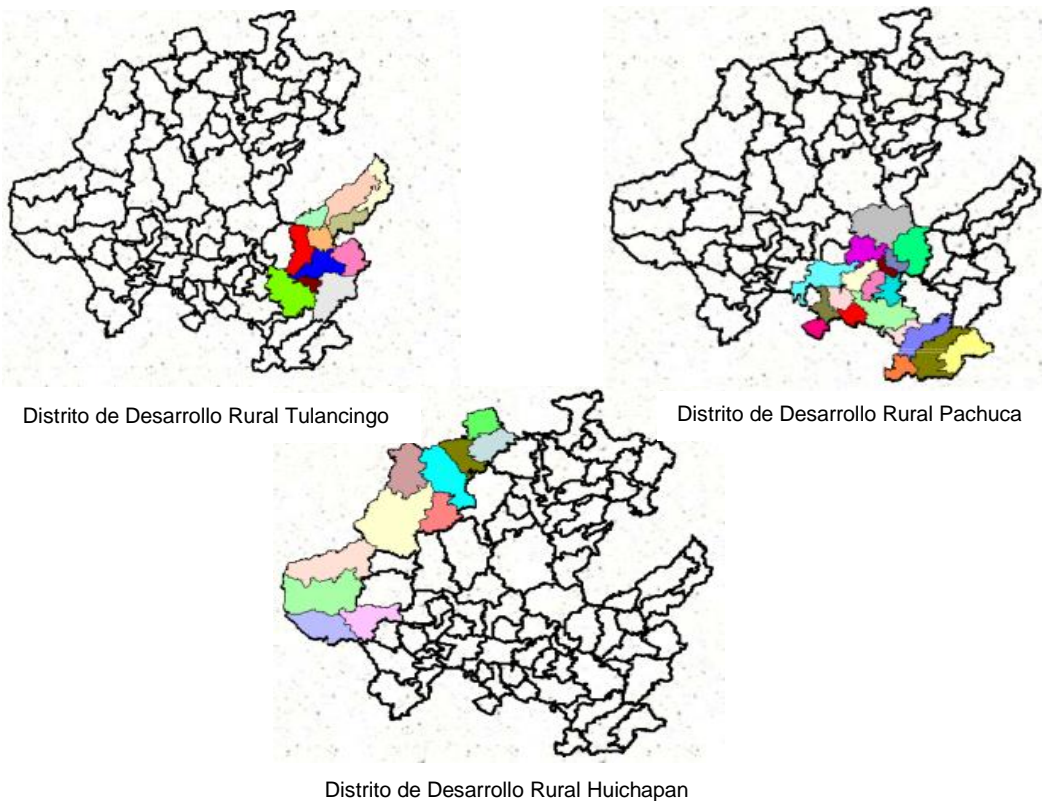
Según Boisier, (1977), la especialización agrícola distrital sintetiza las condiciones generales de producción de una región, el cálculo de ésta ha ayudado a entender la importancia de los cultivos en la estructura agrícola. Para medir la especialización agrícola del cultivo de maíz en el estado de Tlaxcala, Huato y su grupo de investigación en (2008), incluyeron el cálculo del coeficiente de localización (C.L.) o Índice de Especialización (I.E) para comparar la importancia relativa del cultivo de maíz en cada distrito con la que tiene dicho estado. Hay valores y rangos importantes de recorrido del I.E y se deben reconocer: a) si  $I.E = 1$ , indica que la importancia relativa del cultivo *i* es idéntica tanto en el distrito *j* como en el ámbito estatal; b) si  $I.E < 1$ , muestra que en el distrito *j*, la importancia relativa del cultivo *i* es menor que en el estado. Si se diera este caso o el anterior, no habría especialización agrícola del distrito en el cultivo *i*; si  $I.E > 1$ , la conclusión será que en el distrito *j* el cultivo *i* tiene mayor importancia que en el ámbito estatal; por lo tanto, todos los  $I.E > 1$  indican que el distrito *j* está especializado en la producción del cultivo *i*.

Varios autores sostienen que el reto esencial de los sistemas de investigación, para facilitar la transferencia de tecnología, es asegurarse que sean adecuados a las condiciones y circunstancias en que los productores manejan el cultivo (De la Fuente, 1990; Escobar, 1990). Para el caso del cultivo de cebada en el estado de Hidalgo, es posible que los productores de los diferentes DDR presenten diferente especialización agrícola distrital y por ende, diferente rendimiento y calidad del grano maltero.

### 1.10 Calidad de la cebada maltera en México y Europa

Para poder comercializar la cebada dentro de la industria cervecera ésta debe de tener condiciones y características de calidad que aseguren el proceso durante la elaboración de cerveza, en México se establecen en la (NMX-FF-043-SCFI-2003), mientras que en Europa utilizan un parámetro denominado índice Q.

La Norma Mexicana (NMX-FF-043-SCFI-2003), establece los parámetros ideales que un lote de grano maltero debe poseer, como porcentaje de humedad entre 11.5 y 13.5%, contenido máximo de impurezas de 2%, una germinación mínima de 85%, peso hectolítrico mínimo de 56 kg/hl para cebada de 6 hileras y 58 kg/hl para cebada de 2 hileras, (ver Figura 3). Según las condiciones del grano, esta norma establece la comercialización como, Grado México o Grado México no clasificado, siendo la primera, aquella que cumple con las condiciones establecidas por la norma, mientras que la segunda es considerada para forraje.



**Figura 2.-** Distritos de Desarrollo Rural (DDR) del Estado de Hidalgo donde se cultiva cebada maltera (SAGARPA, 2013)

### **1.10.1 Parámetros que considera la NMX-FF-043-SCFI-2003**

**Porcentaje de Impurezas:** Que es todo material ajeno al grano de cebada (Secretaría de Agricultura, 1985).

**Porcentaje de Humedad:** Que es la cantidad de agua presente en el grano, el agua en las semillas se clasifica en tres categorías: a) agua de absorción, que se encuentre en los espacios intracelulares y en los poros del tejido mantenida por fuerzas capilares; b) agua de absorción, que se encuentra ligada a la materia por atracción molecular y por lo tanto más estrechamente unida que el agua de absorción, y c) el agua de composición, que esta químicamente unida a los elementos constitutivos de las semillas. Es importante reducirla por debajo del 13% antes de almacenarla y así evitar el desarrollo de insectos y microorganismos como hongos, así como su efecto sobre los procesos fisiológicos de los granos y semillas, que puedan ocasionar pérdidas de vigor y viabilidad. (Moreno, 1984).

**Peso Hectolítrico:** Es la relación entre la masa y el volumen total de producto incluyendo los espacios intersticiales que dejan los granos entre sí. Este parámetro va a depender de la variedad, forma del grano y acumulación de nutrientes y se expresa en kilogramos por hectolitro (kg/hl).

**Porcentaje de Germinación:** Considerando a la germinación como un proceso fisiológico durante el cual el embrión se desarrolla sus estructuras esenciales que forman una plántula normal. Durante este proceso, los nutrientes almacenados en el endospermo se consumen gradualmente, la cual se puede controlar. El objetivo de la germinación controlada es producir una malta verde, sin llegar a desarrollar una nueva planta (NMX-FF-043-SCFI-2003).

**Peso de mil Semillas:** Está en función del tamaño, densidad y uniformidad del grano, y varía en razón de la densidad de la espiga, del clima del lugar y de la fertilidad del suelo donde se realizó el cultivo.

**HUMEDAD**

Entre 11.5 y 13.5

Es el agua que contiene el grano

Del 6.0% al 11.0% ---5.0 kg./ton de bonificación

Del 11.5% al 13.5%--No tiene bonificaciones

Ni deducciones

Del 14.0% al 16.5%--5.0 Kg./ton de deducción

**PESO HECTOLITRICO**

Es el peso de un hectolitro de grano expresado en kilogramos, de la muestra original libre de impurezas.

Grano de cebadas de ----- 56.0 kg/hectolitro

Seis hileras

Grano de cebadas de ----- 58.0 kg/hectolitro

Dos hileras

**IMPUREZAS**

**2.0 %**

Cualquier cuerpo o material extraño distinto al grano de cebada.

Bonificaciones		Deducciones	
%	Kg/Ton	%	Kg/Ton
0.0	20	2.5	5
0.5	15	3.0	10
1.0	10	3.5	15
1.5	5	4.0	20
2.0	0	4.5	25
		5.0	30
		5.5	35
		6.0	40

**GERMINACION**

Mínima 85.0 %

Es la aptitud del grano para iniciar el desarrollo de su embrión

**Figura 3.-** Tabla de deducciones y bonificaciones según la NMX-FF-043-SCFI-2003

Los parámetros de calidad en la comunidad europea, son establecidos por la Convención Cervecera Europea (EBC), por sus siglas en inglés (European Brewery Convention), que es la organización que representa los intereses técnicos y científicos de la industria cervecera en el viejo mundo, quien además de considerar la calidad del grano, también considera la calidad de la malta, el mosto y la cerveza, para ello se realizan una serie de análisis, como el Índice de Kolbach, Atenuación Limite, Poder Diastásico, Rendimiento en Extracto y Viscosidad, todas estas pruebas se engloban en un índice de calidad llamado índice Q. Este índice toma valores desde 1 al 9, los valores menores a 5 corresponden a cebadas de forraje, las de 5 a 7 a cebadas de calidad moderada, y de 7 a 9 para cebadas de alta calidad, el índice Q nos permite tener una idea global de la aptitud de una cebada para este mercado (Molina, 1989).

#### **1.10.2 Parámetros de calidad a considerar según la European Brewery Convention**

La convención Cervecera Europea (EBC), considera los siguientes parámetros químicos

**Porcentaje de Proteína:** Es el índice más importante para predecir la calidad de la malta y es generalmente un factor que varía ampliamente con las condiciones ecológicas y edafológicas del lugar donde se cultiva la cebada. En zonas donde se registran temperaturas elevadas, se acelera la madurez de la cebada ocasionando desequilibrio en la proporción del almidón en el endospermo y aumento en los niveles de proteína, ya que éstas son las primeras sustancias en sintetizarse.

El mosto deberá tener cantidades de proteína, entre 10.5 a 13.5%, pues cantidades menores de 10.5% no proporcionan alimento suficiente para que las levaduras se desarrollen de manera normal, propiciando déficit en la fermentación alcohólica, sin embargo, contenidos superiores al 13.5% de proteína ocasiona turbidez en los mostos (Martínez, 1996).

**Viscosidad:** La viscosidad en el mosto es causada por la presencia de beta-glucanos y pentosanos, formados por la acción de la  $\beta$ -glucanasa sobre las paredes de las células endospermicas. Dichos compuestos se disuelven o quedan suspendidos en el mosto, debido a la acción modificadora de la beta-glucanasa cuya temperatura optima es de 35°C y con un pH optimo 4.5; esta enzima, a los 60°C se inactiva, La actividad de esta enzima provoca que aumente la viscosidad, causando problemas en el almacenamiento de la cerveza por el mal aspecto que presenta el sedimento que forman los beta-glucanos y pentosanos. (Bamforth, 1982)

**Índice de Kolbach:** Es la relación entre la proteína soluble y la proteína total, indica el grado de transformación del grano desde el punto de vista proteolítico. El grado de proteína soluble sobre la total, señalan lo amplio de la proteólisis que ocurre durante el malteo y macerado, al mismo tiempo se considera como una forma de medir el grado de modificación de cebada a malta (Martínez, 1996). Entre mayor sea la relación, mayor será la disponibilidad de los sustratos proteínicos, y por consiguiente, mayor la actividad proteolítica (Secretaria de Agricultura, 1985).

Un índice de Kolbach de 40 indica un malteo adecuado y uno de 35 indica malteo deficiente, o bajo poder péptico de la malta en el macerado, lo que se traduce en turbidez del mosto, y con deficiencias en la fermentación alcohólica por la poca cantidad de proteína modificada a aminoácidos que son el alimento de la levadura, responsable de la fermentación (Secretaria de Agricultura, 1985).

**Proteína soluble.** Es el contenido de proteína del mosto que usualmente representa cerca del 5% del total de los sólidos de malta, los cuales comprende aminoácidos y pequeños péptidos.

**Proteína total.** Indica el porcentaje total en peso del nitrógeno. Un aumento en el nivel de proteína está asociado a una menor calidad y alta diferencia de extractos así como problemas de turbidez (Martínez, 1996).

**Atenuación Limite:** Representa la fermentabilidad del mosto por la levadura (Urbano, 1996). Se calcula a partir de los pesos específicos del mosto antes y después de la fermentación, expresándose los resultados en porcentaje (Bishop, 1943). La atenuación está determinada por la composición de la cerveza verde y la cepa de levadura usada. Cada cepa de levadura, fermenta diferentes azúcares en diferentes proporciones, resultando en densidades finales de mayor o menor valor. Esto afectará el dulzor y cuerpo de la cerveza obtenida. Una buena malta muestra una atenuación mayor a 80% (Munzert y Baumer, 2009).

**Poder Diastásico:** Es la habilidad que tiene el grano malteado de transformar los almidones en azúcares reductores. Esta habilidad se estima con la velocidad de reacción de las enzimas que producen ciertas cantidades de azúcares por unidad de tiempo. La unidad de medida es el grado Lintner, la cual podemos transformar en equivalentes de maltosa.

El poder diastásico se refiere a la actividad en conjunto de las enzimas amilolíticas, las cuales son la  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa, glucosidasa,  $\beta$ -glucanasa, citinas, entre otras (Secretaría de Agricultura, 1985).

**Rendimiento en Extracto:** El extracto representa la cantidad de sólidos que pasan del grano malteado al líquido de cocimiento. Es el factor de mayor importancia en el rendimiento industrial; por ello, el objetivo del mejoramiento genético de la cebada, es aumentar los porcentajes de extracción sin alterar los niveles de las actividades diastásicas.

Para el estudio del extracto es necesario considerar las condiciones de maceración que afectan las transformaciones fisicoquímicas del almidón contenido en el endospermo como son: el grado de molienda, dilución en la muestra, relación temperatura-tiempo y pH. Estas condiciones deben ajustarse para obtener actividades óptimas de las enzimas durante todo el proceso de maceración (Secretaría de Agricultura, 1985).



### 1.11 Elaboración de Malta y Cerveza

Las características de la cebada están involucradas en la calidad de la malta, cuyo contenido de proteína es el más importante, ya que se ha observado estar relacionada con cualidades de malta, como el extracto y poder diastásico (Weston, 1993; Eagles, 1995).

La cebada adecuada para cerveza debe tener un bajo contenido de proteína del grano, el alto contenido de proteína no sólo reduce el extracto de malta, sino que también deteriora la calidad final de la cerveza. Por otro lado, el contenido de proteína se ha observado que se correlaciona con el poder diastásico. (Eagles, 1995; Molina-Cano, 1997). Esto significa que el contenido de proteína tiene efectos duales para la malta, por un lado, un efecto negativo de calidad, por disminución de extracto de malta e Índice de Kolbach, y por el otro, el efecto positivo al aumentar el poder diastásico. El poder diastásico está estrechamente correlacionado con la actividad de la  $\beta$ -amilasa. Para un cultivo dado, el contenido de proteínas se correlaciona positivamente con la actividad de  $\beta$ -amilasa (Yin, 2002). Sin embargo, no se ha encontrado correlación estadística significativa entre la actividad de la beta-amilasa y el contenido de proteína entre los diferentes cultivos de cebada sembrados en el mismo entorno (Qi *et al.*, 2005).

**Malteo:** El proceso de elaboración de la cerveza inicia con el malteo, es un proceso físico-químico controlado, durante el cual los granos desarrollan y activan sus sistemas enzimáticos y modifican suficientemente sus reservas alimenticias. Dicho proceso tiene la finalidad de obtener malta. Esto se puede realizar a partir de cualquier grano que se someta a una germinación controlada, la cual se suspende en una etapa adecuada de secado (Secretaría de Agricultura, 1985).

Durante el proceso de malteo se solubiliza el almidón, proteínas, productos de degradación enzimáticos, vitaminas, minerales, componentes responsables del color, aroma y enzimas; la calidad de la malta será adecuada si presenta: (1) bajo contenido en proteína, de 10.5 a 13.5 (2) buena modificación del endospermo, (3) poder enzimático, (4) buena extractibilidad y (5) alto contenido en sustancias reductoras. Bellmer (1975).

Durante el desarrollo del grano de cebada se sintetiza la enzima  $\beta$ -amilasa y se almacena en los granos maduros. Dicha enzima, desempeña un papel importante en la determinación de la calidad de un buen malteado (Ziegler, 1999; Evans *et al.*, 2003). Georg-Kraemer, *et al.*, (2001) encontraron que la  $\beta$ -amilasa es el mejor indicativo del poder diastásico (DP) de  $\alpha$ -amilasas en granos de cebada, ya que esta enzima aumenta considerablemente durante la germinación. Así niveles altos de DP son necesarios en los procesos de la industria cervecera (Evans *et al.*, 1995, citado por Chen *et al.*, 2006).

**Secado de la malta:** Esta etapa tiene por objeto detener la germinación así como la de provocar reacciones de oscurecimiento por las temperaturas utilizadas, que conllevan a la formación de sustancias oscuras, productos de reacciones de Maillard y de sabores característicos importantes para las cualidades de la cerveza; el horneado se efectúa a diferentes tiempos y temperaturas dependiendo las características que se desean obtener de la malta (Hernández, 2003).

El secado estabiliza la malta verde (permitiendo su almacenamiento hasta su uso en la fabricación de cerveza) debido a la desnaturalización de las proteínas y disminución considerable de la actividad enzimática, debido a la pérdida de humedad (Bemmet, 1985, citado por Llorca, 1995).

**Tostado:** El gusto que la malta confiere a la cerveza proviene de una serie de reacciones que tienen lugar entre los componentes de la malta a temperaturas altas durante el tostado, y sobre todo los productos de desdoblamiento. Llorca, (1995), cita a Palmer, (1989), mencionando que la principal reacción es la de Maillard, o formación de melanoidinas por combinación de azúcares reductores con aminoácidos. Las melanoidinas son coloides de alto poder reductor, de color rojo-marrón, que comunican un aroma típico. La estructura del pigmento marrón formado por la reacción de Maillard no se conoce exactamente, pero es probablemente un polímero de alto peso molecular, insoluble en agua y soluble en la mayoría de disolventes orgánicos. En esta reacción también se forman aldehídos muy importantes en el aroma final de la cerveza, como el

isobutilaldehído. Otras reacciones complementarias relacionadas con el aroma, tienen lugar junto con la formación de melanoidina. Así, para conseguir una malta pálida, se aconseja secar rápidamente a temperatura baja, con grandes volúmenes de aire, antes del tostado final, también a temperatura baja (80°C) Para obtener una malta oscura, es necesario una desagregación profunda en la malta, a fin de tener gran cantidad de aminoácidos y azúcares preformados, para la formación de melanoidinas y temperaturas cercanas a los 100°C, con un tiempo mayor de horneado, dependiendo de la naturaleza de la malta y de la cantidad de ésta, la experiencia es básica para lograr una malta tostada con las características deseadas (Palmer y Bathgate, 1976; Palmer, 1989, citados por Llorca, 1995).

**Molido:** Es la operación de reducción de tamaño de la malta tostada, utilizando algún tipo de molino. Este proceso se realiza para facilitar el contacto entre las enzimas y el sustrato presente (Hernández, 2003). La finalidad de la molienda de la malta, es la producción de partículas a modo que se encuentren disponibles para que las enzimas actúen sobre ellas, durante la maceración, Hornsey, (1999) menciona que las partículas no deben ser muy grandes, porque la acción de las enzimas resulta afectada, por lo tanto, las velocidades de conversión (para obtener azúcares) pueden resultar lentas e incompletas.

**Macerado:** Es un proceso en el que la malta molida o sémola se mezcla con agua agitando lentamente, para producir un extracto fermentable que permita el crecimiento de la levadura con la consiguiente producción de cerveza. Durante este proceso las enzimas (formadas en el malteo), degradan los constituyentes de la malta (carbohidratos y proteínas), a formas solubles, lo que origina el mosto Hornsey, (1999).

Durante la maceración, las cuatro enzimas más importantes que hidrolizan almidón en malta de cebada, es decir,  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa, dextrinasa límite y  $\alpha$ -glucosidasa, realizan una completa degradación de almidón a carbohidratos disponibles para las levaduras, lo cual requiere la acción de estas enzimas (Evans *et al*, 2003; Mac Gregor *et al*, 1999; 2002). La  $\alpha$ -amilasa hidroliza rápidamente

almidón de una manera aleatoria, a una mezcla de dextrinas lineales y ramificadas. Las dextrinas lineales, a su vez, son hidrolizadas aún más por  $\beta$ -amilasa a maltosa, y con  $\alpha$ -glucosidasa que es también una exo-enzima que principalmente escinde enlaces  $\alpha$ -1-4 para producir glucosa. Sin embargo, las dextrinas ramificadas son hidrolizadas incompletamente porque ni la  $\alpha$  ni la  $\beta$ -amilasa pueden hidrolizar los enlaces  $\alpha$ -1,6 procedentes de la amilopectina componente del almidón (Mac Gregor y Dushnicky, 1989). Así la dextrinasa límite se requiere para escindir estos enlaces y dar lugar a que las dextrinas ramificadas ahora queden susceptibles a hidrólisis adicional por  $\beta$ -amilasa (Enevoldsen y Schmidt, 1973, citado por Wang *et al.*, 2006).

En seguida se describen los efectos bioquímicos que se buscan en este proceso, donde la temperatura juega un papel importante en la actividad enzimática, funcionando por etapas y en el siguiente orden:

a) Degradación del almidón: éste se hidroliza por acción de las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$  amilasa la  $\alpha$  lo degrada a dextrinas, sustancias que contribuyen al cuerpo y la estabilidad de la espuma. La  $\beta$  amilasa degrada el almidón a azúcares simples fermentables (maltosa), que la levadura degrada en alcohol, por lo que primero actúa la  $\beta$  y después la  $\alpha$  amilasa.

b) La degradación de las proteínas: las proteasas hidrolizan las proteínas en péptidos y aminoácidos libres valiosos para la levadura frente a la fermentación, además disminuye la posibilidad de que las proteínas precipiten y enturbien el producto final.

c) Degradación de los  $\beta$ -glucanos: hidrolizan los glucanos (gomas), presentes y así disminuye la viscosidad lo que facilita las operaciones de bombeo y filtración (Hernández, 2003).

**Fermentación:** La fermentación alcohólica es una de las etapas principales que transforma el mosto o zumo azucarado, en un líquido con un determinada contenido de alcohol etílico. Dura aproximadamente una semana, a una temperatura de 20 °C (Vincent y Alvarez, 2006). La fermentación es la operación

por medio de la cual, se obtiene la cerveza, ésta ocurre como parte del metabolismo de la levadura: el microorganismo utiliza los constituyentes del mosto para reproducirse.. Las levaduras más utilizadas en la elaboración de la cerveza son la *Saccharomyces carlsbergensis* y *Saccharomyces cerevisiae* (Garcia y Quintero, 2004).

Durante la fermentación, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* produce una amplia gama de sustancias aromáticas activas, que son vitales para el complejo sabor de las bebidas fermentadas, como la cerveza y el vino. En particular, compuestos orgánicos como ésteres volátiles son de gran interés industrial debido a la presencia de éstos que determinan el aroma afrutado de la cerveza y el vino (Peddie, 1990, Cristiani y Monnet, 2001, Saerens *et. al.* 2008).

Los dos principales tipos de cerveza lager y ale se fermentan con cepas de *Saccharomyces uvarum (carlsbergensis)* y *Saccharomyces cerevisiae*, respectivamente. Tradicionalmente, las cepas de levadura lager al final de una fermentación floculan y se acumulan en el fondo del fermentador. Levaduras Ale tienden a ser grupos menos floculantes, son células dispersas en la superficie del mosto en fermentación, generándose burbujas de dióxido de carbono. Por consiguiente, las levaduras son recogidas para su reutilización desde la superficie del mosto de fermentación (un proceso llamado skimming), mientras que las levaduras de fondo son recogidas (o cultivadas) desde el fondo del fermentador (Stewart y Russel, 1986). La Figura 4 contiene una ilustración de los pasos de la fermentación, donde la glucosa se transforma en alcohol y gas CO<sub>2</sub>; en la Figura 5, se observa el diagrama de flujo del proceso industrial de la elaboración de cerveza.

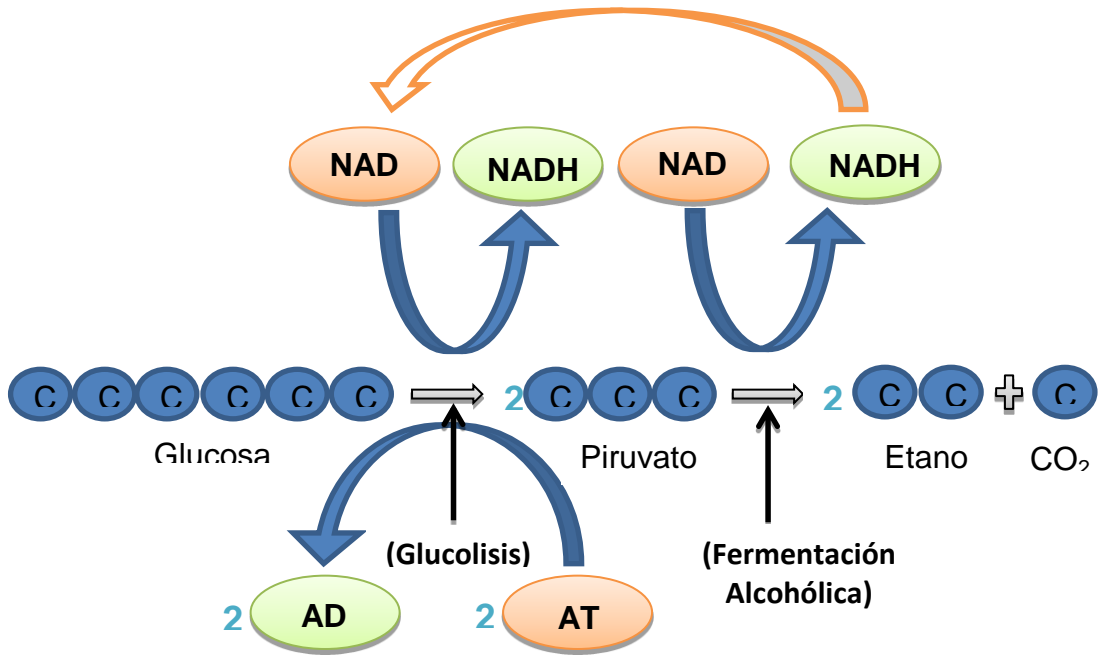


Figura 4.- Fermentación Alcohólica

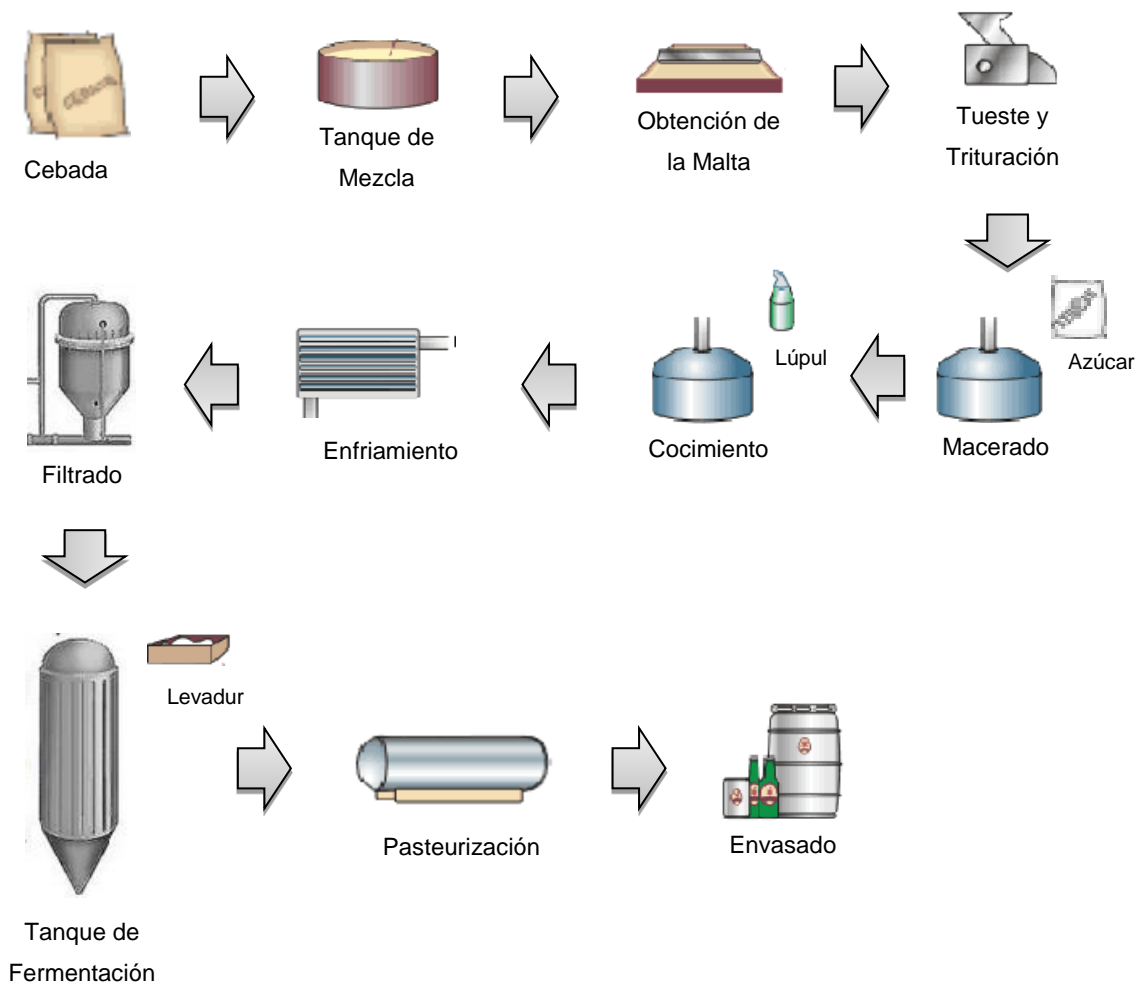


Figura 5.- Proceso de Elaboración de la Cerveza

### **1.12 Importancia de la Cerveza**

Hoy día se entiende comúnmente por cerveza toda bebida fermentada que tiene como principales ingredientes cebada malteada, lúpulo, levadura y agua. Ciertamente se reconoce la posibilidad de la utilización de otros ingredientes, como trigo, maíz, arroz y sorgo, entre otros. Estos pueden utilizarse como fuente principal del producto o como materiales adjuntos a la malta, con capacidad de proveer una fuente adicional de almidones para la fermentación. Sin embargo, en principio, modernamente el término cerveza alude a la bebida fermentada básicamente de la malta de cebada, con un agregado de lúpulo para el aroma característico y los sabores amargos y eventuales, otros ingredientes, como azúcar y sal (Linko *et al.*, 1998).

En Latinoamérica, la cerveza es una bebida enraizada en las costumbres asociadas con el sano esparcimiento, el compartir en familia y entre amigos. Ya sea como una bebida refrescante o para complementar el gran abanico culinario de la región, la cerveza es una referencia natural del paladar (Cerveceros Latinoamericanos, 2012).

### **1.13 Origen de la Cerveza**

Los Cerveceros de España en su Libro Blanco de la Cerveza (2001), se menciona que en Sumer y Mesopotamia, tabletas de arcilla, que datan aproximadamente del 4000 a. C., testifican que, ya entonces, se fabricaba el Sikaru a partir del pan de cebada fermentada. El célebre código de Hammourabi, del 2000 a. C. ya somete su fabricación a un reglamento. En Asia, allá por el 2000 a. C., hacían una especie de cerveza, tsiou, a partir del mijo (Cerveceros de España, 2010).

En el siglo II a. C., el emperador de China producía cerveza a partir del mijo y arroz; en Japón, por aquella época, sólo se fabricaba cerveza sacada del arroz, llamada saké. El egipcio, Herodoto -siglo V a. C.- dice en el libro II de sus Historias: "El vino que beben de ordinario es una especie de vino hecho de cebada, pues ellos no tienen viñas en su país". Parece ser que en Egipto haya sido en donde, por primera vez, fue adoptada esta bebida procedente de cereales fermentados. Esto se confirmaría por el análisis de restos de líquidos encontrados

al pie de tumbas egipcias. Mientras que el armenio, Jenofonte, en el libro IV de Anábasis, dice que tienen vino de cebada, bebida muy fuerte si no se mezcla con agua (Cerveceros de España, 2010).

En Dinamarca se encontraron restos de cerveza que datan de la Edad del Bronce, hacia el 1500 a. C. Los celtas y los germanos, hacia el 300 a. C. bebían vino de cebada. Ateneo de Naucratis, escritor del siglo II a. C. escribe a propósito de los celtas de la Galia: "Los ricos importan el vino de Italia o de Marsella y lo beben puro y, a veces, mezclado con un poco de agua. Los pobres hacen el zythum de fermento al que añaden miel pero la mayoría de las veces lo beben tal cual" (Cerveceros de España, 2010).

En America, el maíz fue la base material de la mayoría de las civilizaciones de Mesoamérica, por lo que para muchas culturas este cereal tomo la connotación de planta de contenido religioso, asociado a mitos relativos a la acción de héroes y divinidades. De esta función se derivó la confección de una bebida ampliamente extendida, en el imperio inca se hizo un tipo de cerveza llamada "aca", utilizada para el consumo del emperador, la nobleza y el sacerdocio. La cerveza aca se preparaba mediante la masticación de una pasta hecha a partir del maíz. La saliva constituía el principal agente de fermentación de esta bebida, después los conquistadores españoles denominaron a todas las variedades de la cerveza de maíz como chicha. (Cerveceros latinoamericanos, 2013).

En Europa la cerveza actual tuvo por principal antecedente la confeccionada por las tribus germánicas. Al menos se considera que desde mil años a. C. ya la cerveza estaba suficientemente consolidada entre los germanos, la fabricación de la cerveza constituía una extensión del oficio de la guerra, ya que se utilizaba como símbolo de heroísmo y de la acción de los jefes tribales, así como en la ofrendas de los guerreros muertos en combate. Por las crónicas de los viajeros y militares romanos se tienen detalles acerca de las características de la cerveza original germánica. Se elaboraba con rebanadas de pan poco cocido, tanto de trigo como de cebada. La característica de este pan era que surtía un efecto equivalente del malteado actual, con el fin de activar las enzimas. Se obtenía un



brebaje turbio y ácido, lleno de sustancias sólidas, que recibía el término genérico de öl, de lo cual se deriva el término de ale, a su vez sinónimo tradicional de cerveza en Inglaterra. En los monasterios germanos fue donde se llevaron a cabo los primeros procesos de importancia que permitieron que la cerveza evolucionase desde el nivel doméstico al de la elaboración artesanal especializada. Algunos de estos centros religiosos encontraron en la fabricación de cerveza su principal medio de sustentación (Hough, 1990)

En Baviera, a lo largo de los siglos XIV y XV, a medida que esta zona se convertía en el epicentro de la producción cervecera europea y de las innovaciones que llevarían a la concepción de la moderna cerveza. A mediados del siglo XV se dictaminó la exclusión de todos aquellos ingredientes que no fuesen cebada, lúpulo y agua. Décadas después, en 1516, el duque de Baviera emitió una ordenanza tendente a garantizar la observancia de un conjunto de requisitos en la elaboración. Se trató de la célebre Reinheitsgebot, que primero tuvo vigencia en ese estado y luego fue adoptada por los restantes principados alemanes (Moir, 2000).

Hasta el siglo XV toda la cerveza que se fabricaba en Europa correspondía a lo que en Alemania se denomina alt y en Inglaterra ale. Se trataba de cervezas de fermentación alta y aunque el estudio científico de la levadura solo se pudo alcanzar en el siglo XIX, desde el siglo XV se introdujo la distinción del uso de levaduras de fermentación baja (Libkind, 2011).

Conocida la fermentación en frío, terminó siendo impuesta como obligatoria por medio de las regulaciones adoptadas en Baviera. Uno de los mecanismos para implantar la norma consistió en la prohibición de los cocimientos durante el verano. De tal manera, aunque originalmente no se pretendía adoptar un tipo diferenciado de cerveza, la regulación del fermentado en frío condujo a la creación de la lager, tipo de cerveza que está en el origen de los criterios que hoy tipifican la industria cervecera a escala internacional (Libkind, 2011).

Más adelante, el químico alemán Theodoro Schwann descubrió que la levadura es un microorganismo viviente, el cual genera fermentación. Terminó por establecerse que la levadura convierte los azúcares en dióxido de carbono y alcohol, con lo cual el mosto se transforma en cerveza. Este conocimiento abrió la fase de los controles de temperatura que accionan distintos tipos de levaduras. Fue el científico danés Emil Hansen quien logró separar, en 1881, la levadura de fermentación alta de la de fermentación baja, la primera denominada *Saccharomyces cerevisiae* y la segunda *Saccharomyces uvarum* o *Saccharomyces carlsbergensis* (Martini and Kurtzman, 1985; Hornsey, 1999).

A finales del siglo XVIII, fue cuando se crearon las primeras cerveceras a gran escala, pero fue en Irlanda a finales del siglo XIX cuando la empresa Guinness creó la cervecería más grande del mundo, después en Dinamarca surgió Carlsberg y en Holanda la empresa Heineken (Cerveceros latinoamericanos, 2013).

La producción de cerveza en México se remonta hasta los primeros años de la colonización española, pero el inicio de la industria cervecera a gran escala lo marca la fundación de la Cervecería Cuauhtémoc, en Monterrey, Nuevo León, en el año de 1890; en 1894 surge la Cervecería Moctezuma, en Orizaba, Veracruz y en 1925 se instala la primera planta del Grupo Modelo (en el Distrito Federal). A partir de 1930 se crean varias cervecerías en el país, pero las tres mayores, Cuauhtémoc, Moctezuma (fusionadas desde 1985) y Modelo, han dominado el mercado nacional (Aguilar, 2004).

#### **1.14 Clasificación de la Cerveza**

La clasificación de cerveza más común está dada por el tipo de levadura que se utiliza para su fermentación de la cual se dividen en:

- Lager: Se fabrica con levaduras que tienen fermentación baja (*Saccharomyces carlsbergensis*), con temperatura entre 8 y 11 °C, la cerveza rubia de origen alemán (lager significa almacén), la cual tiene un sabor suave con contenido medio en alcohol, de una gran aceptación y

consumo. Hay varios tipos de cerveza lager, entre las que destacan pilsener, dortmund y munich.

- Ale: de color pálido, obtenida de la fermentación alta (*Saccharomyces cerevisiae*), a temperaturas cercanas a las del ambiente, de contenido alcohólico alto, bastante fuerte y consumida sobre todo en Gran Bretaña. De esta existen a su vez dos tipos: pale ale (de sabor amargo más fuerte) y mild ale (de sabor más suave) esta cerveza es el producto de la fermentación de cepas de superficie (Brown *et al*, 1989)

### **1.15 Consumo de Cerveza**

La cerveza es la bebida alcohólica más popular en el mundo seguida por el vino y el vodka (Carrasco, 2010).

En general, Latinoamérica es una de las regiones del mundo con menor consumo de alcohol, al ser superada por Europa, Asia y América del Norte. En cuanto a la cerveza, específicamente, el consumo per cápita en Latinoamérica oscila entre los 14 y los 80 litros al año, con Venezuela (89.5 litros) en primer lugar y El Salvador en el último (10.6 litros).

México, donde la industria cervecera es una de las más fuertes y modernas del mundo, el consumo promedio es de 54.8 litros, lo que lo ubica en el segundo lugar de consumo en Latinoamérica, de acuerdo con los datos de la Asociación de Cerveceros Latinoamericanos, (2012).

Con 4.62 litros en promedio, México ocupa el onceavo lugar en el consumo de litros de alcohol puro entre las 18 naciones latinoamericanas contempladas en las cifras proporcionadas por la asociación (OMS, 2012).

### **1.16 Producción de cerveza en el mundo**

A nivel mundial se elaboraron en el 2010, 168 millones de toneladas de cerveza, de los cuales, el continente Americano es el principal productor con el 32.25%, seguido de Europa con el 31.08%, Asia 29.68%, África 5.72% y Oceanía con el 1.24% (FAO, 2012).

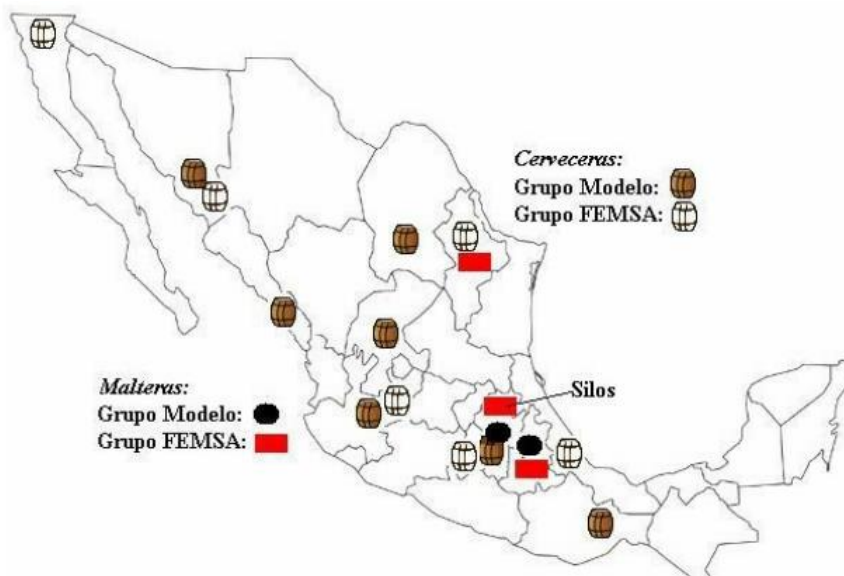
México ocupa el tercer lugar en producción en el continente con aproximadamente 8 millones de toneladas solo detrás de Estados Unidos y Brasil respectivamente y el sexto a nivel mundial (FAO, 2012).

El aumento de la demanda de cebada cervecera está directamente relacionado con el aumento de la producción mundial de cerveza que se ha incrementado un 40% en los últimos 10 años con una proyección de crecimiento que pronostica superar los 2 000 millones de hectolitros dentro de los próximos 10 años (Miralles *et al.*, 2011).

### **1.17 Principales Cerveceras en México**

En México las empresas, Grupo Modelo y Cuauhtémoc Moctezuma la cual pertenecía a Fomento Económico Mexicano S.A (FEMSA), son los que dominan el mercado nacional y las principales en la elaboración de este producto en nuestro país. Según Ugarte (2012), estas empresas tienen una participación en el mercado del 57 y 42%, respectivamente, mientras que la cerveza importada ocupa el 1 % restante en el consumo nacional. La Figura 6 indica las principales malterías y cerveceras en el país.

En el 2010, Heineken compró la cervecera Cuauhtémoc Moctezuma por el 20% de las acciones de la empresa holandesa, mientras que en el 2012 la empresa Anheuser Busch InBev (AB InBev), una empresa belga-brasileña adquirió la totalidad de las acciones del Grupo Modelo por la cantidad de 20 mil 100 millones de dólares (Maldonado, 2012).



**Figura 6.-** Localización de las principales malterías y cerveceras en México (Ávila y Schwentesius, 2004).

### 1.18 Importaciones y Exportaciones de la cerveza en México

Según la revista 2000 Agro, (2012) México exporta un total de 13.05 millones de hectolitros, de los cuales 11.1 millones fueron distribuidos por Grupo Modelo y 1.95 millones por FEMSA, alcanzando una participación de 84.5 y 15.5%, respectivamente. Las exportaciones totales de cerveza para el periodo 1994-2002 mantienen una tasa de crecimiento promedio anual de 12.7%. El máximo nivel alcanzado fue en el periodo 2000-2001, cuando el volumen estuvo por arriba de un millón de litros, lo cual colocó a México como el primer país exportador de cerveza en el mundo, con una participación de 17%. Estados Unidos es el principal importador de cerveza mexicana, ya que absorbe 86% del total de las exportaciones mexicanas de cerveza, y Grupo Modelo es el encargado de proveer 85%. El resto de las exportaciones totales de cerveza mexicana se distribuye en Canadá, Bélgica y España con una participación de 4, 2 y 1%, respectivamente. En cuanto a las importaciones el 96% de estas proviene de Estados Unidos, y se destina principalmente al sector hotelero y de restaurantes de lujo. Así el consumo de cerveza en México se basa en el producto nacional, ya que las importaciones representan menos de 1 % de la demanda. (SAGARPA, 2005).

El 12% de las divisas generadas del país son obtenidas por el sector cervecero a través de las ventas de cerveza al exterior (Rindermann, 2004).

En la cadena agroalimentaria de la cebada maltera participan 55 mil productores de cebada, dos grupos fabricantes de cerveza y diez compañías procesadoras de malta. La demanda mundial de cebada maltera se estima en 20 millones de toneladas por año. Por otro lado, la cerveza “mexicana” se produce cada vez menos con materias primas de México. En 1998 se llegó a importar más de 50% del consumo aparente nacional de los insumos equivalentes a la cebada, principal materia prima para la cerveza (SAGARPA, 2005).

## **Materiales y Métodos**

### **2.1 Cálculo del índice de especialización**

Con la finalidad de elegir los municipios a muestrear, se calculó el Índice de Especialización. Para esto, se utilizó el promedio de tres años (2008, 2009 y 2010), dichos datos fueron consultados en la página del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), para lo cual, se utilizó una adaptación de la ecuación del índice de especialización (I.E) propuesta por Boisier, (1977).

La ecuación utilizada fue:

$$IE = \frac{SSCm}{SSTm} + \frac{SSCe}{SSTe}$$

Dónde:

IE= Índice de Especialización

SSCm = Superficie Sembrada con Cebada en el Municipio

SSTm = Superficie Sembrada en el Municipio (todos los cultivos)

SSCe = Superficie Sembrada con Cebada en el Estado

SSTe = Superficie Sembrada en el Estado (todos los cultivos)

### **2.2 Colecta de muestras**

Con base a los datos de índice de especialización obtenidos por DDR, se colectaron muestras de dicho cereal de diez municipios considerando además, del índice de especialización mayor que 1, también la disponibilidad de los productores para proporcionar muestras de cebada maltera variedad Esmeralda cosechadas en el ciclo primavera-verano 2011.

Del DDR Pachuca se consideraron ocho municipios, Almoloya, Apan, Emiliano Zapata, Epazoyucan, Pachuca de Soto, Tepeapulco, Villa de Tezontepec y Zempoala y dos del DDR Tulancingo, Cuautepec de Hinojosa y Singuilucan.

Las muestras colectadas, se colocaron en bolsas de papel debidamente etiquetadas y llevaron al Laboratorio Multidisciplinario del Instituto de Ciencias Agropecuarias, y se almacenaron en botes de plástico con tapa, debidamente etiquetados con el nombre del municipio de procedencia.



**Figura 7.-** Municipios donde se colectaron las muestras de cebada

Una vez envasadas las muestras se procedió a realizar los análisis físicos, fisiológicos y químicos, considerando como físicos aquellos en los cuales no se modificaron las propiedades del grano; como análisis fisiológicos las características propias del grano y los análisis químicos en los que si se modifican las características. Los análisis físicos fueron: Impurezas, Humedad y Peso Hectolítrico; mientras que el análisis fisiológico fue Germinación y los químicos, Proteína, Densidad, Viscosidad, Índice de Kolbach, Atenuación Limite, Poder Diastático y Rendimiento en Extracto. Lo anterior con base a la metodología recomendada por la NMX-FF-043-SCFI-2003 y a la considerada por la EBC, (1989).

### 2.3 Análisis físicos

**Análisis de Impurezas:** Se realizaron los análisis siguiendo la metodología propuesta por la NMX-FF-043-SCFI-2003, utilizando un kilogramo de cebada la



cual se pasó a través de una criba de orificios oblongos con dimensiones de 1.79 mm por 13 mm (4.5 / 64 in por 12 in).

Posteriormente se procedió a realizar una inspección visual, en la que se separó toda la materia extraña al grano de cebada que se detectó, después todo material que paso a través de la criba, así como el que fue separado posteriormente, se pesó en una balanza analítica marca Lab-Tech modelo 22 ADAM, y para obtener el porcentaje de impurezas se utilizó la formula siguiente: (NMX-FF-043-SCFI-2003; ISTA, 2004).

$$\% \text{ impurezas} = \frac{\text{Pesode las Impurezas(gr)} * 100}{\text{Cantidadde Cebadacon Impurezas}}$$

Una vez limpia la cebada (semilla pura), se le realizaron los siguientes análisis.

**Determinación de Humedad:** Se determinó la humedad del grano según el método de la estufa 925.10 (AOAC, 1995).

**Determinación de Peso Hectolítrico:** Para la determinación del peso hectolitrico se utilizó una balanza Seedburo 151 Filling Hopper, en la cual se vació un kilogramo de cebada limpia sobre la tolva, posteriormente se dejó caer el grano para llenar el recipiente de la balanza, con una tabla de madera se quitó el exceso de semilla pasando la tabla por el borde de forma uniforme, posteriormente se pesó el recipiente con la cebada y se pesa en una báscula analítica marca Lab-Tech modelo 22 ADAM, descontando el peso del recipiente, y se calcula en kg/hl haciendo la conversión correspondiente.

**Peso de Mil Semillas:** Se contaron 8 repeticiones al azar de 100 semillas puras, las 8 repeticiones se pesan de manera individual. El peso de mil semillas se calcula así:

$$\text{Varianza} = \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}$$

Dónde:

X= peso de cada repetición en gramos  
n= Numero de repeticiones  
Σ= Sumatoria de

Desviación estándar (s) = varianza

$$\text{Coeficiente de Variación} = \frac{s \times 100}{\text{prom}}$$

Dónde:

prom. = promedio del peso de 100 semillas.

Se consideró que si el coeficiente de variación excede 4, la prueba se debe repetir y determinar la desviación estándar para las 16 repeticiones. Para calcular el peso final de 1 000 semillas, se descartan las repeticiones desviadas del promedio por más de dos veces la desviación estándar (ISTA, 1993).

## 2.4 Análisis Fisiológico

**Determinación del Porcentaje de Germinación:** Esta prueba se realizó basándose en la metodología utilizada por Moreno, (1984) con la técnica sobre papel, en la cual se colocaron sobre papel de estraza húmedo cuatro hileras de veinticinco semillas cada una, el papel se envolvió en forma de taco y se guardaron en una bolsa de plástico, las cuales se incubaron en una cámara marca Seedburo Equipment por cinco días a temperatura de 5°C para romper la latencia, después de ese tiempo se cambió la temperatura de la germinadora a 20°C y se dejó ahí por siete días más, vigilando diariamente la humedad de los mismos, pasando el tiempo se sacaron los tacos con las muestras y se contaron de manera visual las semilla que germinaron correctamente, las que presentaron anomalías y las que se encontraban muertas.

## 2.5 Análisis Químicos al Grano

**Determinación de Proteína:** Se determinó el porcentaje de proteína con el método Kjeldahl 920.87 (AOAC, 1995).

## 2.6 Análisis Químicos a la Malta y Mosto para determinación de Índice Q

**Densidad:** Se midió la densidad del mosto y la cerveza utilizando el método del picnómetro (malta y mosto) 920.50 (AOAC, 1995).

**Viscosidad:** La viscosidad del mosto se midió, en un viscosímetro Brookfield Modelo DV-I+ con una aguja para baja densidad del número cero

**Índice de Kolbach:** Para determinar el índice de Kolbach se realizaron los análisis siguientes.

Se calculó la proteína soluble con el método propuesto por la ASBC (American Society of Brewing Chemists), de 1958, ayudado con las siguientes formulas.

$$^{\circ}P(\text{grados plato}) = (\text{densidad muestra} * 244.26872) - 244.03851$$

$$\%E (\% \text{ extracto}) = \frac{^{\circ}P (800 + \text{Humedad Malta}) * 100}{(100 - ^{\circ}P) (100 - \text{Humedad Malta})}$$

$$\% PS (\text{proteína soluble}) = \frac{4 * 0.014 * N \text{ Tiosulfato} * 6.25 * \%E * (\text{mL blanco} - \text{mL de tiosulfato gastado})}{^{\circ}P * \text{densidad de la muestra}}$$

$$\text{Índice de Kolbach} = \text{Proteína Soluble} * 100 / \text{Proteína Total}$$

**Atenuación Límite:** Se calcula con la formula siguiente.

$$\text{Atenuacion Limite} = \frac{\text{Densidad de la Cerveza}}{\text{Densidad del Mosto}}$$

**Rendimiento en Extracto:** Este se calculó mediante la fórmula Bishop, utilizada por Btazewicz, (2007).

$$\text{Rendimiento en Extracto} = (84.5) - (0.75 * PG) + (0.1 * PMG)$$

Dónde:

PG = proteína del grano base seca

PMG = Peso de mil granos base seca

**Poder Diastásico:** Se utilizó el método descrito por la European Brewery Convention. Analvtica (E.B.C.), (2011)

## 2.7 Determinación del Índice Q

Así en el siguiente cuadro se encuentran los análisis realizados y su coeficiente de ponderación:

**Tabla 2.-** Caracteres utilizados para determinar el índice Q con sus coeficientes de ponderación.

<b>Carácter</b>	<b>Coeficiente de Ponderación</b>
Rendimiento en extracto	0.45
Índice de Kolbach	0.10
Atenuación límite	0.15
Viscosidad	0.25
Poder diastásico	0.05

Fuente: Urbano, 1996

Así, el resultado obtenido de cada análisis se multiplicó por el coeficiente de ponderación, los resultados se sumaron obteniéndose el valor de Índice Q, repitiéndose para cada muestra de cebada

Para determinar el índice Q se utilizó la formula.

$$\text{Índice Q} = (\text{R.E.} * 0.45) + (\text{I.K.} * 0.1) + (\text{A. L.} * 0.15) + (\text{V.} * 0.25) + (\text{P.D.} * 0.05)$$

Dónde:

R.E= Rendimiento en extracto

I.K= Índice de Kolbach

A.L= Atenuación Limite

V= Viscosidad

P.D= Poder Diastásico

## 2.7 Elaboración de Malta y Cerveza

**Malteo.-** Se pesó 500 g de cebada libre de impurezas, se lavó repetidas veces hasta eliminar los residuos de tierra, una vez que el agua de enjuagado salió limpia, se dejó en remojo por 24 horas, donde el grano absorbe humedad aumentando de volumen (aproximadamente 48%). Posteriormente se colocó en charolas formando una capa de grano de aproximadamente 2 cm para su germinación, colocando papel estroza húmedo por abajo y encima, revisando diariamente para mantener la humedad y permitir el proceso de germinación el cual se verificó en 3 días, al término de estos se eliminaron los pliegos de papel y removiendo los granos germinados (malta) para poder separar las raíces y para entonces permitir el secado a temperatura ambiente.

**Secado y Tostado.-** La malta se colocó en charolas, extendiéndose lo suficiente para cubrir con una capa de una semilla y se introdujo al horno Luckie San Juan, de fabricación nacional precalentado a 120 °C, donde permaneció por 30 minutos hasta obtener el dorado suficiente de la malta caramelo.

**Molido.-** Al salir del horno, la malta se molió en un molino para granos de fabricación nacional Molino del Rey, lo suficiente para obtener una harina gruesa, la cual se guardó en bolsa de polietileno nueva y etiquetada por municipio en lugar fresco y oscuro, hasta su utilización.

**Macerado.-** En vasos de precipitado de 2 L se agregó 250 g de harina de malta con 1500 mL de agua purificada, y un termómetro, colocados sobre parrillas de calentamiento donde se manejaron las siguientes temperaturas, la inicial de 30°C que es el descanso de hidratación, por un tiempo de 20 minutos; se aumentó la temperatura a 35°C para iniciar la activación de las fitasas y peptidasas por 20 minutos; en seguida se aumenta la temperatura a 45°C donde se inicia la actividad de la enzima  $\beta$ -glucanasa por 20 minutos; se aumenta la temperatura a 55°C para la activación de la  $\beta$ -amilasa, permaneciendo por 20 minutos, en este punto se forman azúcares; la temperatura continúa aumentando lentamente ahora a 67°C,

por 20 minutos, para la activación de la  $\alpha$ -amilasa; vuelve a incrementarse la temperatura a 72.5°C, para permitir se complete la actividad de todas las enzimas; por 20 minutos más, en seguida se sube la temperatura a 74°C, donde se liberan más azúcares desde acrodextrinas hasta azúcares libres más simples, permaneciendo por 20 minutos; la temperatura se subió entonces hasta 77°C por 10 minutos para la inactivación de todas las enzimas cuya función ha terminado.

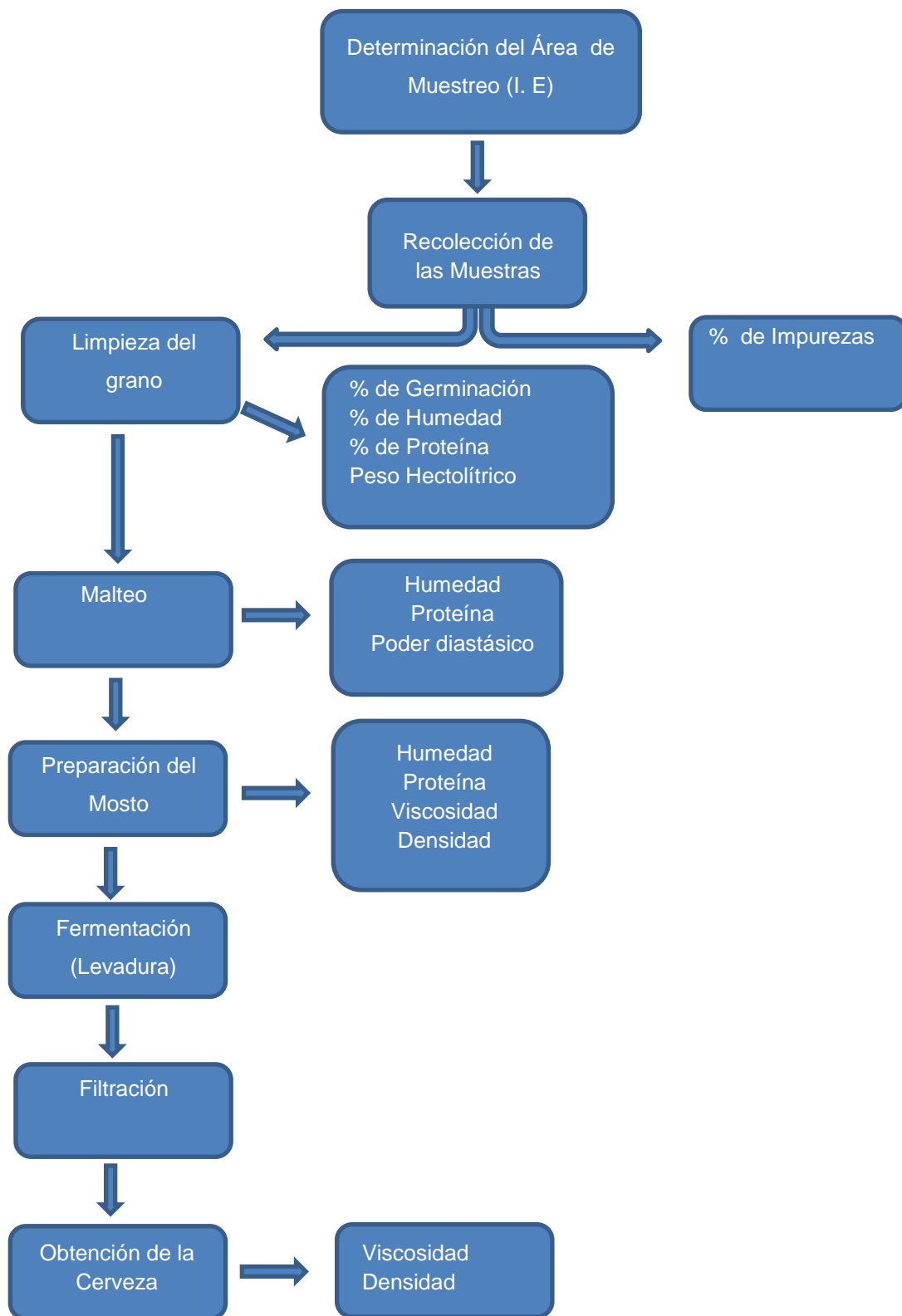
Al término, se filtró el mosto con tela, utilizando un embudo y se recibió el filtrado en otro recipiente igual.

**Cocimiento.-** Al mosto se le agregó un 1.5% de lúpulo en forma de flor seca y desbaratada, se hirvió durante 30 minutos. Al término se dejó enfriar ligeramente y se filtró a través de tela limpia.

**Fermentación.-** El mosto obtenido se colocó en frascos de cultivo de 1 L con tapa y se le agrego 0.5 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* directamente, se agitó, se colocó una manguera en la boca para conducir el CO<sub>2</sub> a otro matraz con agua destilada a fin de que burbujee el gas en el agua y así evitar una posible contaminación. Los frascos se colocaron dentro de una incubadora a 28°C por 8 días. La cerveza obtenida se utilizó para medir su densidad, dato necesario en la determinación de la atenuación límite.

## **2.8 Análisis de Resultados**

Los datos obtenidos se analizaron con el programa SAS (Statistical Analysis System) para Windows versión 9.0. El método estadístico empleado fue el Análisis de Varianza Multivariado y dependió de las diferencias significativas encontradas a un valor alfa de 0.05 se utilizó la prueba de Tuckey para determinar los municipios no centrados en la media.



**Figura 8.-** Diagrama de Flujo del Proceso de elaboración indicando los análisis hechos

## Resultados y Discusión

### 3.1 Índice de especialización agrícola

Los índices de Especialización (I.E) agrícola obtenidos para los 27 municipios productores de cebada maltera del estado de Hidalgo ubicados de los tres Distritos de Desarrollo Rural (DDR) donde se siembra este cereal, se muestran en el siguiente cuadro.

**Tabla 3.-** Índice de Especialización (I.E) agrícola de los 27 municipios donde se cultiva cebada en el Estado de Hidalgo.

DDR	Municipio	Sup. Sembrada (Total de Cultivos)	Sup. Sembrada con Cebada	Índice de Especialización
Pachuca	Almoloya	12,976.50	9,258.50	2.990
	Apan	26,390.00	19,908.00	3.161
	Atotonilco el Grande	7,362	22	0.013
	Emiliano Zapata	1,999.00	780	1.635
	Epazoyucan	10,017.00	6,320.00	2.644
	Huasca de Ocampo	6,883.50	50	0.030
	Mineral de la Reforma	4,270.00	3,035.00	2.978
	Mineral del Chico	1,997.00	45	0.094
	Omitlán de Juárez	1,613.50	10	0.026
	Pachuca de Soto	3,912.00	2,980.00	3.192
	San Agustín Tlaxiaca	6,800.00	970	0.598
	Tepeapulco	9,289.40	7,563.79	3.412
	Tlanalapa	4,474.00	1,932.00	1.809
	Tolcayuca	5,270.65	3,795.00	3.017
	Villa de Tezontepec	3,136.00	2,200.00	2.939
	Zapotlán de Juárez	6,522.00	5,584.00	3.20
	Zempoala	18,171.50	13,888.00	3.202
Tulancingo	Acatlán	9,200.50	820	0.373
	Acaxochitlán	8,482.00	205	0.101
	Cuautepec de Hinojosa	18,647.00	8,734.00	1.963
	Metepc	7,417.00	2,170.00	1.226
	Santiago Tulantepec	3,528.00	310	0.368
	Singuilucan	14,784.00	12,027.00	3.409
	Tizayuca	5,350.00	4,495.00	3.520
Tulancingo de Bravo	10,409.50	2,880.00	1.159	
Huichapan	Huichapan	15,127.00	345	0.096
	Nopala de Villagrán	8,494.00	120	0.059
		<b>462,781.30</b>	<b>110,447.29</b>	

**Fuente:** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa, 2010). Datos promedio de 2008, 2009 y 20102.



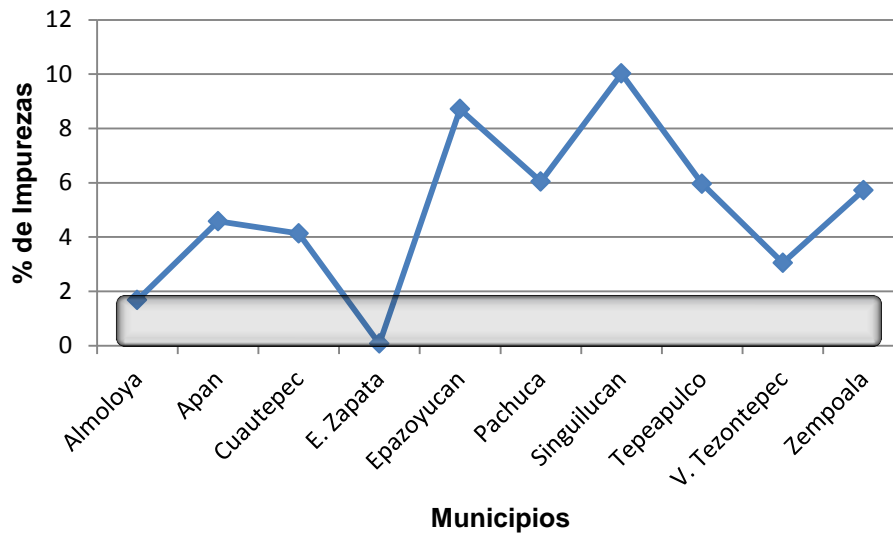
Como se puede observar, del total de los 27 municipios productores de cebada maltera en el Estado de Hidalgo; el 63% presentan Índices de especialización (I.E. > 1) lo cual según Boisier (1977) indica que estos municipios están especializados en la producción de dicho cultivo; mientras que el resto (37%) no presenta dicha especialización al mostrar valores de (I.E. < 1) (Tabla 3).

En cuanto a los municipios seleccionados y muestreados con base al Índice de Especialización (I.E.)  $\geq 1$ , se observa que el 80% pertenecen al DDR Pachuca, además de una relación directamente proporcional entre el I.E y la superficie sembrada entre 780 a 19,908.00 hectáreas. Así los municipios que cuentan con la mayor superficie sembrada en hectáreas son Apan (19,908.00), Zempoala (13,888.00), Singuilucan (12,027.00) y Almoloya (9,258.50) con valores de I.E. de 3.16, 3.5, 3.4 y 2.9 mientras que los de menor superficie sembrada son Villa de Tezontepec (2,200.00) y Emiliano Zapata (780) con valores de I. E. de 2.9 y 1.63 respectivamente.

### **3.2 Análisis físicos, fisiológicos y químicos**

**Pureza.** En cuanto al contenido de impurezas como puede apreciarse en la Gráfica 1, hubo diferencias significativas entre todos los municipios con valores de 0.07 a 10.02%, los datos se encuentran en la Tabla 4, de los cuales solo E. Zapata y Almoloya se encuentran dentro del rango que establece la NMX-FF-043-2003, especificando que el contenido de impurezas superiores al 2% genera deducciones importantes en el pago a los productores, lo anterior debido a que las malteras mediante el cribado, eliminan las impurezas hasta obtener grano puro, como se muestra en la Figura 3.

**Grafica 1.-** Contenido de impurezas (%) presente en muestras de grano de cebada (*Hordeumvulgare L.*)



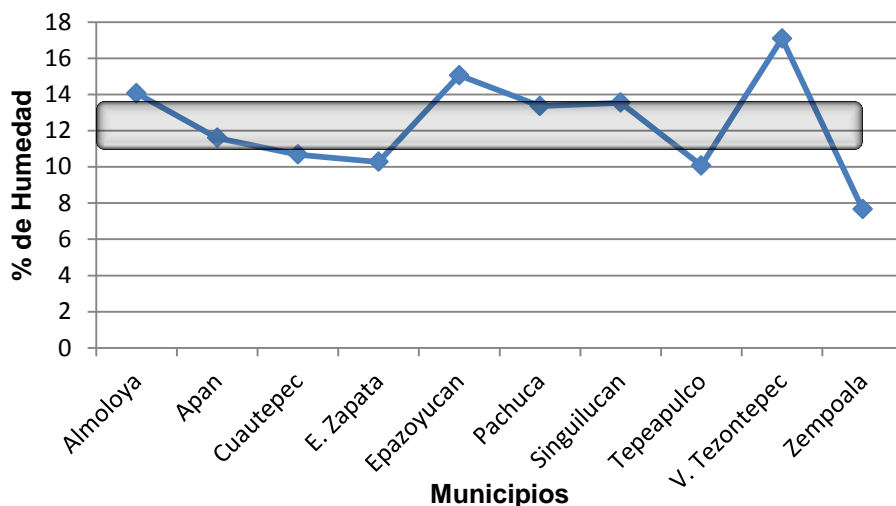
Se ilustra con una franja los valores que se encuentran dentro de los parámetros que establece la NMX-FF-043-SCFI-2003.

**Contenido de humedad del grano.** En promedio el contenido de humedad en las muestras mostró una variación entre 7.7 a 17.1% (Tabla 4, Gráfica 2). Los municipios con porcentajes de humedad dentro de los establecidos por la NMX-FF-043-2003 (11.5 - 13.5%) fueron Apan, Pachuca y Singuilucan, mientras que los que presentaron contenidos de humedad menores al 11.5% fueron Cuautepec, E. Zapata, Tepeapulco y Zempoala. Así es necesario considerar que la humedad del grano es un factor que los cebaderos pueden controlar en el manejo en almacén. No obstante, que lotes con contenidos por debajo de 11.5% son sujetos a bonificaciones, según la normatividad, la baja humedad, afecta al productor debido a pérdidas en el peso. La Convención Europea de Cerveceros (EBC por sus siglas en inglés) establece como óptimo una humedad del 12%.

El contenido de humedad es un factor de calidad importante de los granos y semillas particularmente para el almacenamiento y conservación. Una humedad alta, provoca cambios bioquímicos que modifican el estado óptimo del grano así como la alta tasa respiratoria que lleva a la oxigenación de azúcares reductores

(glucosa), desprendimiento de gas carbónico, agua y calor, lo que da lugar a alteraciones básicas de los granos almacenados como son: a) la acidificación que es un aumento progresivo del contenido en agua, b) elevación de la temperatura, y c) fermentación que se presenta cuando hay deficiencia de oxígeno (Box, 2005).

**Grafica 2.-** Contenido de humedad (%) en el grano de cebada (*Hordeum vulgare* L.).



Se ilustra con una franja los valores que se encuentran dentro de los parámetros que establece la NMX-FF-043-SCFI-2003.

**Tabla 4.-** Porcentaje de impurezas y humedad en las muestras de cebada maltera de los municipios seleccionados en el estado de Hidalgo.

Municipios	Impurezas (%)	Humedad (%)
Almoloya	1.7 ± 0.0 <sup>i</sup>	14.1 ± 2.579 <sup>abc</sup>
Apan	4.6 ± 0.0 <sup>f</sup>	11.6 ± 0.110 <sup>bcd</sup>
Cuautepiec	4.1 ± 0.0 <sup>g</sup>	10.7 ± 0.914 <sup>cd</sup>
E. Zapata	0.7 ± 0.0 <sup>j</sup>	10.3 ± 0.118 <sup>cd</sup>
Epazoyucan	8.7 ± 0.0 <sup>b</sup>	15.0 ± 1.852 <sup>ab</sup>
Tepeapulco	6.0 ± 0.0 <sup>d</sup>	10.1 ± 0.072 <sup>cd</sup>
Pachuca	6.0 ± 0.0 <sup>c</sup>	13.4 ± 2.190 <sup>abc</sup>
Singuilucan	10 ± 0.0 <sup>a</sup>	13.5 ± 1.325 <sup>abc</sup>
V. Tezontepec	3.1 ± 0.0 <sup>h</sup>	17.1 ± 0.534 <sup>a</sup>
Zempoala	5.7 ± 0.0 <sup>e</sup>	7.7 ± 2.209 <sup>d</sup>

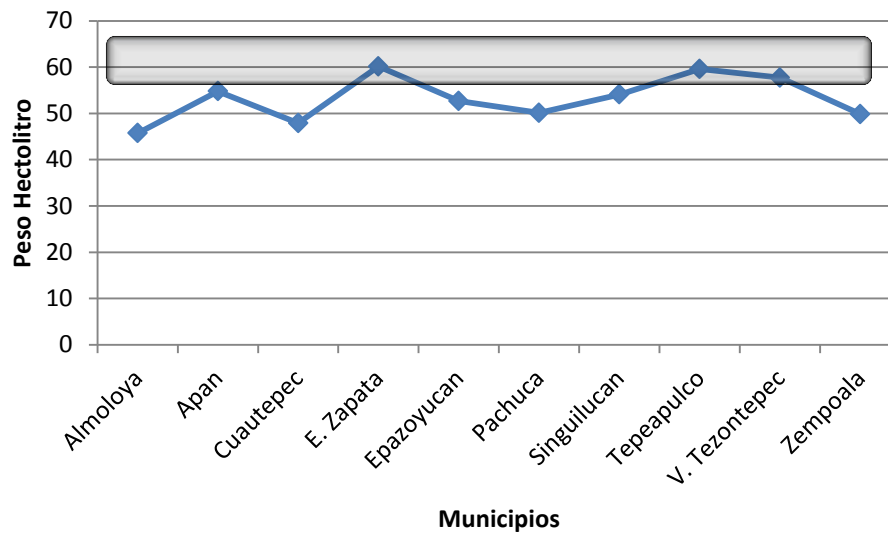
Medias con la misma letra en la misma columna son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ .

Con una DMS de 4.3528 para el porcentaje de humedad y 0.0 para el porcentaje de impurezas.

**Peso Hectolítrico.-** Para esta variable, la prueba de separación de medias Tuckey ( $P \leq 0.05$ ) mostró diferencias entre los municipios analizados, Gráfica 3, Tabla 5. Los mayores pesos kg/hL, fueron los municipios de Emiliano Zapata, Tepeapulco, y Villa de Tezontepec con 60.12, 59.57 y 57.72 kg/hL que cumplen con lo mínimo (56 kg/hL) demandado por la industria cervecera NMX-FF-043-SCFI (2003). Mientras que los siete municipios restantes mostraron valores inferiores, entre 54.7 y 45.7 kg/hL. Estos bajos pesos es posible que se deban a las heladas, condiciones climatológicas adversas, presentadas en la primera quincena de septiembre, fecha que coincide con la etapa de llenado del grano. La temperatura resalta en importancia para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos (Grass y Burris, 1995; García *et al.*, 2003). En cuanto a los daños que pueden producir las bajas temperaturas extremas, como las heladas, son bajo rendimiento y calidad de los cultivos. Franca *et al* (1993) menciona que en trigo, los cambios bruscos de temperatura pueden afectar tejidos en activo crecimiento. Aquí juega un papel importante la previa exposición a bajas temperaturas antes de la ocurrencia de una helada debido a que las condiciones ambientales prevalecientes son importantes durante la formación, desarrollo y maduración del grano (Franca *et al.*, 1993). La presencia de algún estrés ambiental disminuye considerablemente la calidad de la semilla (Egli *et al.*, 2005).

Por otro lado, altas temperaturas aceleran la tasa de crecimiento del grano y acorta su duración, disminuyendo el peso final del grano (Grass y Burris, 1995; López-Castañeda y Richards, 1998), además disminuyen el periodo de llenado de granos debido a que si bien incrementan la Tasa de llenado, aceleran la senescencia y aumentan las pérdidas de carbohidratos debido a la respiración. Es importante considerar el estado fenológico de la planta, que también tiene incidencia sobre la magnitud del daño (Fraschina, *et al* 2003).

**Grafica 3.-** Peso hectolítrico (kg/hl) en el grano de cebada (*Hordeum vulgare*L.).



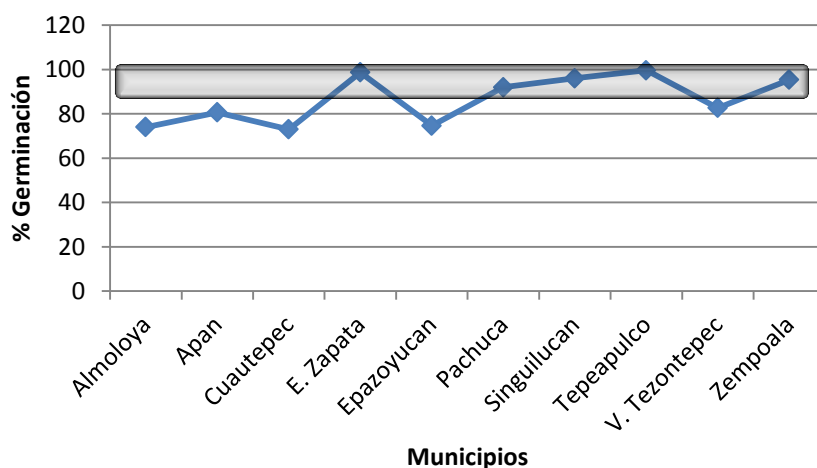
Se ilustra con una franja los valores que se encuentran dentro de los parámetros que establece la NMX-FF-043-SCFI-2003.

**Germinación.** En general el porcentaje promedio de germinación de las muestras analizadas varió entre municipios (99.7% a 73%), Gráfica 3, Tabla 5. Los municipios con mayor porcentaje de germinación fueron Tepeapulco, Emiliano Zapata, Singuilucan, Zempoala y Pachuca de Soto con 92 a 99%, en contraste con V. de Tezontepec, Apan, Epazoyucan, Almoloya y Cuauhtepec que presentaron porcentajes entre 82% a 73%. Lo anterior coincide con lo reportado por Castañeda *et al* (2004), en cuanto a que las semillas obtenidas de diferentes estaciones de crecimiento o diferentes áreas geográficas a menudo varían en cuanto a viabilidad y capacidad de germinación y que dichas variaciones pueden deberse a las condiciones ambientales prevalecientes durante la formación, desarrollo y maduración de la semilla. La presencia de diferentes tipos de estrés ambiental durante la formación de la semilla también influye en su calidad debido a que la etapa de la floración determina el peso de los granos, que para la cebada cervecera oscila entre 40 y 55 mg.

Los municipios que presentaron porcentajes de germinación entre 92 a 99% cumplen tanto con la normatividad nacional como con la europea ( $\geq 85\%$ ). Dicha normatividad está basada en que la germinación es un proceso indispensable para que la cebada sea transformada en malta (Giménez, *et al.*, 2008) y que la malta es la fuente principal de carbohidratos del mosto, por lo que durante la germinación se busca evitar que el coleoptilo crezca demasiado, para que las reservas (carbohidratos y proteínas), no se consuman y hasta que se produzcan la mayor cantidad de enzimas hidrolíticas, (pero que las amilolíticas no actúen durante el malteo). Cuando se considera que ambos fenómenos han llegado al estado deseado, la germinación es interrumpida mediante el secado.

Las reacciones bioquímicas que ocurren durante el proceso de la germinación son la síntesis de enzimas hidrolíticas controladas por hormonas amilolíticas (amilasas), citolíticas (citasas, glucanasas), proteolíticas (proteasas). Además se liberan enzimas preexistentes (amilasas) y se produce una hidrólisis parcial de carbohidratos (almidón, glucanos) y de proteínas.

**Grafica 4.-** Porcentaje de germinación en el grano de cebada (*Hordeum vulgare* L.).



Se ilustra con una franja los valores que se encuentran dentro de los parámetros que establece la NMX-FF-043-SCFI-2003.

Por otro lado los bajos porcentajes de germinación obtenidos se pueden explicar al considerar el efecto negativo que se causa a los cultivos cuando ocurren heladas, (cuando la temperatura del aire cercano a la superficie del terreno disminuye a 0°C o menos durante un tiempo mayor a cuatro horas) y se forman cristales de hielo en el interior de las células ocasionando la deshidratación del ambiente intracelular y muerte por ruptura de membranas (Levitt, 1980). Además durante la maduración del grano, las heladas o temperaturas inferiores a 0°C dañan tanto el aspecto físico como su calidad industrial. La temperatura óptima durante la etapa de llenado de grano es de alrededor de 22°C (Agronomía, 2002).

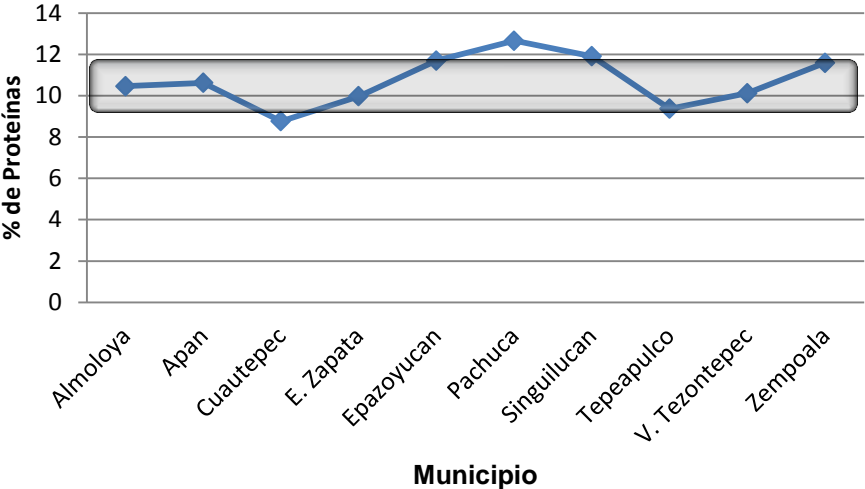
La resistencia del cultivo a la helada depende de la etapa de desarrollo; ya que el cultivo es más resistente cuando se encuentra en el periodo de germinación, mientras que en la floración y fructificación es mayor el daño físico que sufre sobre todo en los frutos pequeños. Dicho fenómeno se presentó en Mesa Central del Altiplano región que incluye al estado de Hidalgo donde según datos proporcionados por INIFAP en los meses de agosto-septiembre de 2011 se registraron extremas temperaturas (-6 y 0°C). Dichas heladas coincidieron con la etapa del llenado del grano.

Otros estudios han mostrado que la germinación de la semilla también es afectada por las lluvias durante la etapa de postmaduración precosecha, en cultivos de soya (Egliet *al.*, 2005) y trigo (Agraway Dadlani, 1984).

**Proteína en el grano.**- Los municipios analizados mostraron valores de contenido de proteína cruda total en grano entre 8.8 a 12.7%., valores que están dentro de contenido proteico que en general presenta la cebada (7.5 y 15.6%) (Hornsey, 2002). Sin embargo en la cebada maltera se busca contenido de proteína relativamente bajos, debido a que este factor es limitante en la calidad maltera, que generalmente no debe sobrepasar del 12% (Savio, 1998). Considerando este dato, a excepción del municipio de Pachuca de Soto que sobrepasa dicho valor 12.7%. Todos los municipios presentaron valores adecuados para la industria cervecera quienes para obtener maltas pálidas y de alta calidad se prefieren contenidos de proteína entre 8.7 y 10.3. Considerando que el potencial de

extracción de malta disminuye con el aumento en proteína Hornsey en el 2002 menciona como máximo 11.5%; Briggs, (2003) menciona 8.8% como óptimo. La Fundación Guanajuato Produce, 2003 entre 9 y 11.5%. De forma similar, la Convención Europea de cerveceros (EBC por sus siglas en inglés) establece contenidos de proteína entre 9.5% y 11.5%. Así, a excepción de Pachuca de Soto, todos los municipios analizados se encuentran dentro de los parámetros tanto mexicanos como europeos, Gráfica 5, Tabla 5.

**Grafica 5.-** Porcentaje de proteína el grano de cebada (*Hordeum vulgare* L.).



Se ilustra con una franja los valores que se encuentran dentro de los parámetros que establece la Fundación Guanajuato Produce (2003).

También, un tenor mínimo de proteína es necesario para asegurar la producción de espuma, adecuada actividad enzimática y cantidad de aminoácidos suficientes para el desarrollo de las levaduras en la elaboración de cerveza. (Giménez *et al.*, 2008).

Por otro lado, el contenido de proteína es importante para la industria cervecera y maltera debido a que éste se relaciona con el contenido de enzimas presentes en el grano (Figuroa, 1985). Así un alto contenido de proteína no es conveniente debido al bajo contenido de glúcidos, además las fracciones insolubles en agua (hordeína y glutelina) pueden producir turbidez en la cerveza, en contraste con las



proteínas solubles en agua (albúminas y globulinas) que son deseables debido a que éstas son utilizadas por la levadura como fuente nitrogenada.

La malta deberá poseer adecuadas características que den lugar a una buena estabilidad coloidal de la cerveza, se puede conseguir mediante una modificación óptima de la proteína y un relativamente alto contenido de compuestos tanoides en la malta, (Erber, 1980).

**Tabla 5.-** Parámetros de las muestras obtenidas de 10 municipios con alto índice de especialización en el estado de Hidalgo.

Municipios	Peso Hectolítrico (kg/hl)	Germinación (%)	Proteína (%)
Almoloya	45.73 ± 0.050 <sup>f</sup>	74 ± 3.606 <sup>c</sup>	10.5 ± 0.497 <sup>de</sup>
Apan	54.77 ± 0.303 <sup>bc</sup>	80.7 ± 2.082 <sup>bc</sup>	10.6 ± 0.198 <sup>cd</sup>
Cuautepec	47.91 ± 0.296 <sup>ef</sup>	73 ± 1.000 <sup>c</sup>	8.8 ± 0.152 <sup>de</sup>
E. Zapata	60.12 ± 0.216 <sup>a</sup>	98.7 ± 0.577 <sup>a</sup>	10 ± 0.215 <sup>de</sup>
Epazoyucan	52.68 ± 0.961 <sup>cd</sup>	74.7 ± 4.726 <sup>bc</sup>	11.7 ± 0.322 <sup>bc</sup>
Pachuca	50.11 ± 0.025 <sup>de</sup>	92 ± 3.464 <sup>a</sup>	12.7 ± 0.330 <sup>a</sup>
Singuilucan	54.09 ± 0.597 <sup>c</sup>	96 ± 1.732 <sup>a</sup>	12 ± 0.391 <sup>ab</sup>
Tepeapulco	59.57 ± 0.147 <sup>a</sup>	99.7 ± 0.577 <sup>a</sup>	9.3 ± 0.154 <sup>e</sup>
V. Tezontepec	57.72 ± 0.095 <sup>ab</sup>	82.7 ± 3.786 <sup>b</sup>	10.1 ± 0.320 <sup>e</sup>
Zempoala	49.83 ± 3.760 <sup>de</sup>	95 ± 2.887 <sup>a</sup>	11.6 ± 0.492 <sup>ab</sup>

Medias con la misma letra en la misma columna son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ .

Con una DMS de 3.620 para el peso hectolítrico, 8.126 para el porcentaje de germinación y 0.801 para el porcentaje de proteínas,

### 3.3 Análisis Químicos a la Malta y Mosto

**Viscosidad del mosto:** En cuanto a la viscosidad, los municipios que presentaron valores mayores de 2.0 centipoise (cP) fueron Villa de Tezontepec (2.37), Pachuca (2.30) y Almoloya (2.05) mientras que la mayoría de los municipios presentaron valores menores que 2.0 cP. (Tabla 7). Molina, (1987) describe que el valor de referencia de viscosidad en el mosto es de 1.6 cP.

Los valores arriba de 2.0 cP que presentaron los mostos obtenidos indican posibles dificultades en la filtración y en la presentación del producto final (cerveza), particularmente turbidez. Así, la viscosidad del mosto es un índice de la

uniformidad de destrucción de las paredes de las células endospermicas de la cebada por la acción de la  $\beta$ -glucanasa lo cual es indicado por la presencia de polisacáridos no almidonosos y a la presencia de  $\beta$ -glucanos, pentosanos y gomas. Dichos compuestos se pueden disolver o quedar suspendidos en los mostos, dependiendo de la acción modificadora de la  $\beta$ -glucanasa sobre la malta (temperatura optima 35°C y pH optimo 4.5; queda inactiva a 60 °C). En el caso que dichos compuestos queden suspendidos en el mosto, la viscosidad aumenta trayendo como consecuencia mal aspecto de la cerveza debido al sedimento formado provocando disminución en la velocidad de filtración del mosto. La viscosidad del mosto está muy relacionada con la viscosidad de la cerveza. Así la alta viscosidad del mosto afecta negativamente el proceso de producción y el almacenamiento de la cerveza.

**Atenuación Limite:** Los municipios analizados mostraron valores de atenuación límite (A.L.) entre 80 y 93%, (Tabla 7), valores que coinciden con lo mencionado por Munzert y Baumer, (2009) en cuanto a que valores mayores a 80% indican que el malteo fue eficiente. Este factor representa la fermentabilidad del mosto por la levadura (Urbano, 1996) y está determinado por la composición de la cerveza y la cepa de levadura utilizada debido a que cada cepa fermenta diferentes azúcares en diferentes proporciones, resultando en densidades finales de mayor o menor valor. Esto afectará el dulzor y cuerpo de la cerveza obtenida. El porcentaje de atenuación límite se calcula a partir de los pesos específicos del mosto antes y después de la fermentación. (Bishop, 1943).

**Índice de Kolbach.** Los municipios analizados se encontraron entre 25.1 y 38.9, como se ve en la Tabla 7. Así ninguno de los municipios muestreados logró llegar a 40 y considerando lo mencionado por la Secretaria de Agricultura (1985), un índice de Kolbach de 40 indica un malteo adecuado y uno de 35 indica un malteo deficiente o bajo poder péptico de la malta en el macerado, lo que se traduce en turbidez del mosto, y deficiencias en la fermentación alcohólica, lo anterior debido a la baja cantidad de proteína modificada a aminoácidos que son el alimento de la

levadura durante la fermentación. El Diario Oficial de la Union Europea, (2009) indica que los limites para el Indice de Kolbach se encuentran entre 37 y 41%.

La relación entre la proteína soluble y la proteína total, indica el grado de transformación del grano desde el punto de vista proteolítico. Entre mayor sea la relación, mayor será la disponibilidad de los sustratos proteínicos, y por consiguiente, mayor la actividad proteolítica (Goering y De Haas, 1974). El grado de proteína soluble sobre la total, señalan lo amplio de la proteólisis que ocurre durante el malteo y macerado, al mismo tiempo se considera como una forma de medir el grado de modificación de cebada a malta (Martínez, 1996).

Así pues existen aparentes contradicciones en los requerimientos de calidad de la malta exigidos por los fabricantes de cerveza. Por una parte se demanda una buena modificación del endospermo, mientras que por otra, se quiere poca modificación proteica. Además se exige un bajo índice de Kolbach y bajos niveles de nitrógeno soluble (Gromus, 1988).

**Rendimiento en Extracto:** Los municipios analizados mostraron valores de R.E. entre 67 y 53 %, (Tabla 7). Estos resultados son menores a los obtenidos por Blazewicz *et. al* (2007), quienes trataron de definir la influencia del tipo de cultivo, estación de crecimiento y longitud del grano de cebada en su extractibilidad utilizando la ecuación Bishop en muestras de cebada las cuales fluctuaron de 79 a 85%. El Diario Oficial de la Union Europea, (2009) indica como valor mínimo de 80% para este parámetro.

En otras palabras, el rendimiento representa la cantidad de sólidos que pasan del grano malteado al líquido de cocimiento, y es el factor que mayor importancia tiene en el rendimiento industrial; por ello, el objetivo del mejoramiento genético es aumentar los porcentajes de extracción sin alterar los niveles de actividad diastásica. La extractibilidad de la malta, es el parámetro más importante en la evaluación del malteo de cebada cervecera, su coeficiente de ponderación es el más alto, de 0.45 (ver Tabla 6), es tratado como un porcentaje de cantidad de

sustancias extraídas obtenidas de malta producida de un determinado grano bajo condiciones tecnológicas óptimas, (Kunze, 1999).

Para el estudio del extracto es necesario considerar las condiciones de maceración que afectan las transformaciones fisicoquímicas del almidón contenido en el endospermo como son: el grado de molienda, dilución en la muestra, relación temperatura-tiempo y pH. Estas condiciones deben ajustarse para obtener actividades óptimas de las enzimas durante todo el proceso de maceración (Secretaría de Agricultura, 1985).

Las muestras de los municipios de Pachuca son las que revelan el menor valor con 53.74, le siguen Singuilucan, Epazoyucan, E. Zapata y Apan con valores menores de 60.0, los siguientes, con más de 60.0, donde el municipio cuya cebada mostró el mayor rendimiento en extracto fue Cuautepec con 67.0, lo que no influyó en el Índice Q, ya que Cuautepec es el que presenta el menor valor en este índice.

**Poder Diastásico.** Los municipios analizados, (ver Tabla 7) mostraron valores de poder diastásico entre 75 y 89 °Lintner (°L). La mayoría presentan datos arriba de 80 (°L). De acuerdo al Diario Oficial de la Unión Europea, (2009) indica para el poder diastásico un valor mínimo de 67.42 °L. por lo que los resultados obtenidos en el presente trabajo se encuentran por arriba de dicho valor.

El poder diastásico se refiere al conjunto de actividad de todas las enzimas amilolíticas, como son la  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa, alfa glucosidasa y dextrinasa límite, donde las enzimas principales que contribuyen al poder diastásico son  $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa, (Briggs, 1998). Interacciones significativas en genotipo-ambiente fueron encontrados en  $\alpha$ -amilasa (Henry y Johnson, 1991), mientras que la  $\beta$ -amilasa, que pre-existe en el endospermo, (Fincher y Stone, 1993), se sabe que está influenciada por el nitrógeno contenido en los granos de cebada (Narziss, 1976), lo que implica que el entorno tiene influencia sobre el poder diastásico. Así la actividad diastásica se estima con la velocidad de reacción de las enzimas que producen ciertas cantidades de azúcares por unidad de tiempo. La unidad de

medida es el grado Lintner, la cual podemos transformar en equivalentes de maltosa.

### 3.4 Índice Q

Las muestras analizadas presentaron valores de I.Q de entre 7.4 y 8.6, como puede observarse en la Tabla 7 y Gráfica 6, dichos valores coinciden con lo establecido por la Convención Europea de Cerveceros (EBC por sus siglas en ingles), quien establece como el valor mínimo para la industria cervecera valores superiores a 5, mientras que aquellos inferiores son considerados como cebadas para forraje. La calidad moderada se encuentra entre 5 y 7. Los índices superiores a 7 caracterizan a las cebadas cerveceras de alta calidad, (Molina-Cano *et al.*, 1989, citado por Urbano, *et al* 1996). Todos los municipios a excepción de Cuauhtémoc mostraron valores de I.Q. por arriba de 8, valores que se obtuvieron de acuerdo al método de molina quien multiplica el coeficiente de ponderación por la cantidad obtenida de cada análisis que compone este Índice (Tabla 6) es importante mencionar que el municipio de Cuauhtémoc también mostro el menor porcentaje de germinación y peso hectolítrico.

**Tabla 6.-** Caracteres utilizados para determinar el índice Q con sus coeficientes de ponderación.

<b>Carácter</b>	<b>Coeficiente de Ponderación</b>
Rendimiento en extracto	0.45
Índice de Kolbach	0.10
Atenuación límite	0.15
Viscosidad	0.25
Poder diastásico	0.05

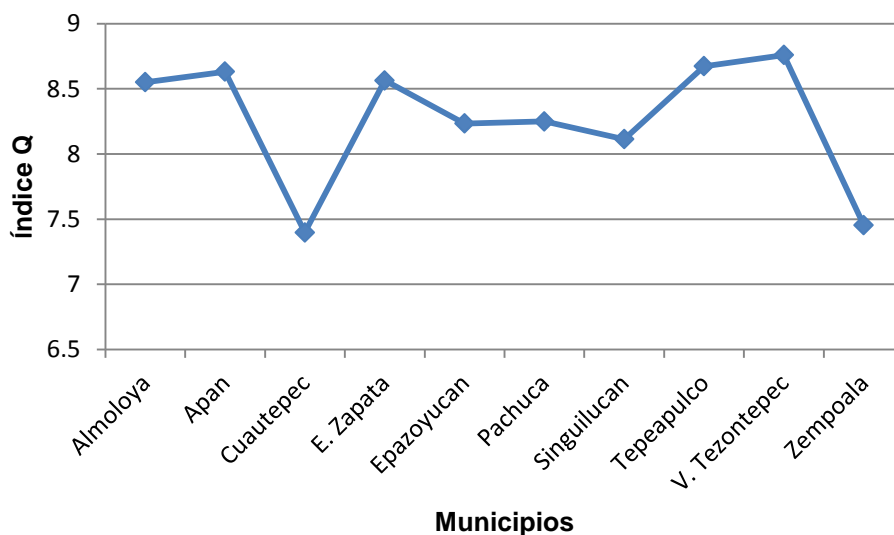
Fuente: Urbano, 1996

**Tabla 7.-** Parámetros utilizados para la determinación del Índice Q.

Municipio	Viscosidad (cP)	Atenuación Limite (%)	Índice de Kolbach	Rendimiento en Extracto (%)	Poder Diastásico(°L)
Almoloya	2.05	90	35.80	66.71	81.01
Apan	1.86	93	35.47	59.88	87.66
Cuautepec	1.79	92	26.55	67.00	77.58
E. Zapata	1.54	86	34.35	59.18	87.64
Epazoyucan	1.54	91	35.68	58.26	78.51
Pachuca	1.73	89	28.67	53.74	89.33
Singuilucan	2.30	92	29.44	54.57	88.47
Tepeapulco	1.60	80	38.52	61.54	75.25
V. Tezontepec	2.37	80	38.97	62.51	81.12
Zempoala	1.41	87	25.11	62.40	84.05

cP= Centipoise ; °L Grados Lintner

**Grafica 6.-** Índice Q de los municipios evaluados.



**Tabla 8.-** Índice Q de muestras obtenidas de 10 municipios con alto Índice de Especialización en el estado de Hidalgo.

Municipios	Índice Q
Almoloya	8.6± 0.037 <sup>a</sup>
Apan	8.6 ± 0.142 <sup>a</sup>
Cuautepec	7.4± 0.111 <sup>b</sup>
E. Zapata	8.7± 0.355 <sup>a</sup>
Epazoyucan	8.2± 0.164 <sup>a</sup>
Pachuca	8.3± 0.181 <sup>a</sup>
Singuilucan	8.1± 0.241 <sup>ab</sup>
Tepeapulco	8.7± 0.224 <sup>a</sup>
V. Tezontepec	8.8± 0.085 <sup>a</sup>
Zempoala	7.5± 0.154 <sup>b</sup>

Medias con la misma letra son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . Con una DMS de 0.7381 para el índice Q

## **Conclusiones**

- 1) Las muestras de los municipios de Emiliano Zapata y Tepeapulco, cumplen con los parámetros indispensables (Germinación y Peso Hectolítrico), por la industria cervecera establecida en la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-043-SCFI-2003).
- 2) Las muestras de los municipios evaluados, cumplieron con los valores de Índice Q requeridos para catalogarse como cebada cervecera de alta calidad.
- 3) La mala calidad (física, fisiológica y química), obtenida en las muestras de los municipios evaluados, pudo haber sido afectada por las condiciones climáticas desfavorables presentadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2011.



## **Recomendaciones**

Es recomendable contar con datos de calidad de cebada maltera cosechados en diferentes años posteriores para un mejor entendimiento de la calidad del grano en el Estado.

Se recomienda medir el rendimiento alcohólico de las cervezas producidas con cada una de las muestras de cebada estudiadas.

## Anexos

Tabla 9.- Resultados de los análisis realizados para la determinación del índice Q

Municipios	Viscosidad (cP)	Densidad	Densidad	Proteína	Proteína	humedad	Proteína	Peso de Mil
		Cerveza	Mosto	Soluble (%)	Malta (%)	Malta (%)	del Grano (%)	Granos
<b>Almoloya</b>	2.05	1.01	1.12	3.69	10.33	4.01	10.46	26.40
<b>Apan</b>	1.86	1.02	1.10	3.68	10.85	5.00	10.62	34.90
<b>Cuautepec</b>	1.79	1.02	1.10	2.44	9.22	4.11	9.57	30.90
<b>E. Zapata</b>	1.54	1.01	1.18	3.81	11.14	5.80	9.98	37.70
<b>Epazoyucan</b>	1.54	1.02	1.12	3.85	10.88	5.24	11.71	35.20
<b>Tepeapulco</b>	1.73	1.02	1.27	4.04	10.53	4.32	9.37	36.33
<b>Pachuca</b>	2.30	1.02	1.15	3.44	12.02	4.89	12.66	37.40
<b>Singuilucan</b>	1.60	1.02	1.10	3.47	11.87	5.05	11.91	38.67
<b>V. Tezontepec</b>	2.37	1.02	1.27	3.75	10.50	5.32	10.13	36.73
<b>Zempoala</b>	1.41	1.02	1.16	3.19	12.72	4.64	11.60	28.60

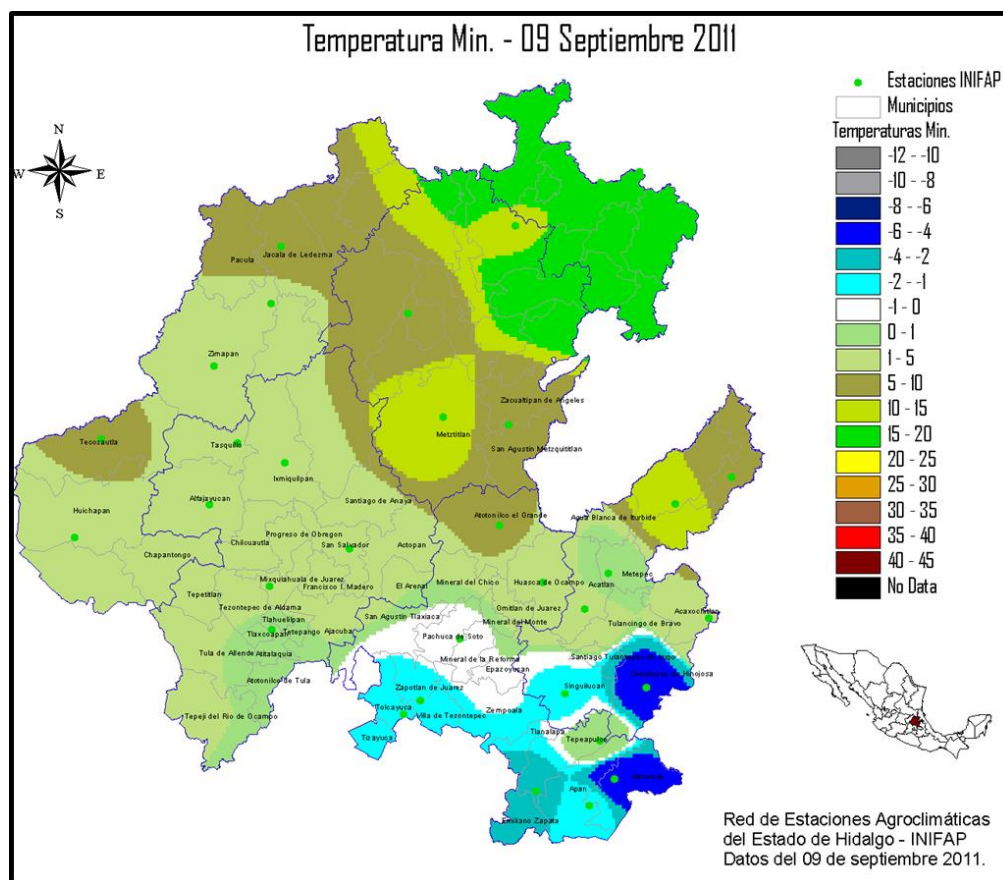


Figura 9.- Mapa de temperaturas alcanzadas en la etapa de llenado del grano de cebada (Gómez, 2013)

## Bibliografía

2000 Agro. (26 de Septiembre de 2012). *Revista Industrial del Campo*. Recuperado el 9 de Octubre de 2012, de

<http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/cerveza-mexicana-sabor-internacional/>

Aguilar Jose, S. R. (2004). *La Producción de Cebada Maltera en México*. Mexico, D.F: Universidad Autónoma de Chapingo.

Alejandra, M., *Diario Milenio*, con fecha 28 de julio de 2013

<http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/59c559aceeeedad0e4ac7dd4b45cdc8d>

AOAC. (1995). *Malt Beverages, y Brewing Materials*. En AOAC, *Official Methods of Analysis of AOAC International* (16 ed., Vol. II, pág. 1 39). Virginia, Arlinton, Estados Unidos: AOAC international

ASBC (American Society of Brewing Chemists), de 1958

Bamfort, C. W. (1982). *Barley  $\beta$ -glucans, their role in malting and brewing*. *Brewer's Digest* 57: 22 - 27

Bellmer, H. (1975). "The importance of barley and malt, used in the production of beer, according to the "German Law of Purity in the production of beer". *European Brewery Convention. Monograph-II*, 41-55.

Bemmet, D. (1985). *Special malts*. *Journal The Brewer*, 457-460.

Bishop, L. R. (1943). . *A System of wort analysis* . *Journal of the Institute of Brewing*, 219-222.

Boisier, S. (1977). *Técnicas de análisis regional con información limitada*. Mimeografiado.

Box, J. M. (2005). *Prontuario de Agricultura (Primera ed.)*. Madrid: Mundi-Prensa.

- Briggs, D. (2003). Barley. En D. Dendy (Ed.), *Cereals and Cereal Products* (págs. 403-416). Zaragoza: Acribia, S,A
- Brown, C., Campbell, I., Priest, F. (1989). Introducción a la Biotecnología. Ed. Acribia, España p. 167
- Btazewicz, J. Liszewski, M., Zembold-Gula, A. (2007). Usability of Bishop Formula in Evaluation of Maltin Quality of Barley Grain. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* Vol 57, No.4(A). pp. 37-40
- Carrasco, S. (21 de Septiembre de 2010). 10 Bebidas alcohólicas más populares del mundo. *El Universal*, págs. 24-25.
- Castillo, C. (2002). Composición de la Cebada. *Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 2-8.
- Cerveceros Latinoamericanos. (2012 y 2013).
- <http://www.cerveceroslatinoamericanos.com/index.php/es/cerveza-y-sociedad>
- <http://www.cerveceroslatinoamericanos.com/index.php/es/la-cerveza-en-america-latina>
- Chen Jin-xin, Dai Fei, Wei Kang, Zhang Guo-ping. (2006). Relationship between malt qualities and  $\beta$ -amylase activity and protein content as affected by timing of nitrogen fertilizer application *J Zhejiang Univ SCIENCE B* 7(1):79-84
- Cristiani, G. y Monnet, V. (2001). Food micro-organisms and aromatic ester synthesis. *Sci. Aliments*, 211-230.
- Consejo Mexicano de la Cebada Maltera. (2012). *El Cultivo de Cebada Maltera en México Temporal*. Mexico.
- De la Fuente, H. J. (1990). *La investigación agrícola y el Estado mexicano*. Mexico: Universidad Autónoma Chapingo.
- Dendy, D. A. V. y Dobraszczyk, B. J. (2001) *Cereales y productos derivados*. Ed.

Acribia, España. pp. 7, 403 - 421

DOF, (Diario Oficial de la Federación. (2001). *Ley de Desarrollo Rural Sustentable*.

Eagles, H. B. (1995). Cultivar and environmental effects on malting quality in barley. *Journal Agricultural Reserch*, 831- 844.

Enevoldsen, B..y Schmidt, (1973). Dextrins in brewing. II.Distribution of oligo- and megaoligosaccharides duringmashing in wort and in beer. *Proc. Congr. Eur. Brew.Conv.*, 135-148.

Erber, H. L. (1980). Malt Analysis and coloidal stability of beer. Proc European Brewery Convention Monograph-VI Helsinky 245 - 250

Escobar, G. (1990). *Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de fincas: la experiencia de Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción (RIMISP)*. Santiago: RIMISP.

European Brewery Convention. Analvtica (E.B.C.), (2011)

<http://www.europeanbreweryconvention.org/index.php>

Evans, D.E., Lance, R.C.M., Elington, J.K., Logue, S.J., Barr, A.R., (1995). The Influence of  $\beta$ -Amylase Isoform Pattern on  $\beta$ -Amylase Activity in Barley and Malt. Proc. 45th Austr. Cer. Chem. Conf., Adelaide, p.357-364

Evans, D. V. (2003). The impact of the thermostability of  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase and limit dextrinase on potential wort fermentability. *Journal of the American Society of Brewing Chemistry*, 210-218.

FAO. (21 de Agosto de 2011). *FAOSTAT*. Recuperado el 21 de Agosto de 2012, de [www.faostat.com](http://www.faostat.com)

FAO. (23 de Febrero de 2012). *FAOSTAT*. Recuperado el 15 de Agosto de 2012, de <http://faostat.fao.org>

- Figuroa, J. (1985). Metodos para Evaluar la Calidad Maltera en Cebada. En J. D. Figuroa, *Metodos para Evaluar la Calidad Maltera en Cebada* (pág. 115). Mexico D.F: INIA.
- Fincher, G. B. and Stone, B. A. (1993) Physiology And Biochemistry of Germination in Barley. In: Barley: Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists: St. Paul
- Fundacion Guanajuato Produce. (2003). Plan Estratégico de Investigación y Transferencia de Tecnología. Guanajuato.
- Gamez, García, Zamora, & Cobarrubias, S. y. (2005). *Alina Y Armida nuevas variedades de cebada maltera*. Guanajuato: INIFAP.
- Gámez, García, Gámez, Zamora, & Solano, y. C. (2006). *Calidad de semilla en cebada maltera en dos sistemas y con diferentes*. Guanajuato: INIFAP.
- Garcia, G., & Quintero Ramirez, L. M. (2004). *Biotechnología Alimentaria*. Mexico: Limusa.
- Garcia, Gámez, & Arreola. (2006). *Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento y calidad de la semilla de*. Guanajuato: INIFAP.
- Garcia, G. Quintero R. y Lopez M. (2005). *Biotechnología Alimentaria*. México : Limusa.
- Georg-Kramer, E. C., Mundstock, S., & Cavalli-Molina. (2001). Developmental Expression of Amylases During Barley Malting. *Journal of Cereal Science*, 279-288.
- Gimenez, F., Conti, V., Moreyra, F., & Tomaso, y. J. (2008). Efecto de la época de siembra sobre los caracteres económicos en genotipos de. *Instituto Nacional* , 1-5.

- Goering, K. S. and DeHass, B. (1974). A comparison of the properties of Large- and Small-Granule starch isolated from several isogenic lines of barley. American Association of Cereal Chemists (AACC). (51): 573 - 578
- Gómez, Turrent, & Peña, O. Y. (2001). *Productividad en cebada maltera. I. Uso de factoriales 2k en el estudio integrado de factores controlables e incontrolables*. Mexico.
- Gómez, M. R. (2010). *Apuntes de trabajo de campo en parcelas y con productores*. Pachuca, Hgo.: INIFAP-HIDALGO.
- Gómez, M. R. (2013). Comunicación Personal. Pachuca.
- Gromus, J. 1980. "The influence of malt quality on fermentability and head retention". Proc. European Brewery Convention. Monograph-VI. Helsinki, 193-200.
- Henry, R. J. and Johnston, R. P.(1991). Barley genetics VI, Proceedings of the International Symposium, Helsingborg. 478
- Hernández, A. (2003). *Microbiología Industrial*. San Jose, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Hockett.E.A. (1991). Barley in Hand Book of Cereal Technology Chapter 3 pp133-198  
Eds Lorenz.K.L. and Kulp.K. Marcel Dekko inc New York NY. USA.
- Huato, M. Á., Olguín, J. F., Valverde, B. R., Inzunza, F. P., Sánchez, J. A., & León, A. G. (2008). *Hombres y mujeres en la producción de maíz: un estudio comparativo en Tlaxcala*. Tlaxcala.
- Hornsey, I. S. (1999). Elaboración de cerveza . Microbiología, bioquímica y tecnología. Ed. Acribia, España pp: 29 – 31

- Hough, J. S. (1990), *Biología de la cerveza y de la malta*. Ed. Acribia España. p. 1
- Impulsora Agrícola S.A. (1983). *El cultivo de la cebada maltera de temporal* México, D.F. pp 5-43
- ISTA. (2004). *International Rules for Seed Testing*. Bassertorf, SH-Switzerland: International.
- Janda T, Szalai G, Rios-Gonzalez K, Veisz O & Paldi E. (2003). Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. *Plant Science* 164: 301-306.
- Jonez, B. (14 de Abril de 2012). *La Agricultura de Riego y Temporal*. Recuperado el 13 de Agosto de 2012, de Scribd: <http://es.scribd.com/doc/89375170/La-Agricultura-de-Riego-y-Temporal>
- E., (2005). *Metoda oceny wartości browarnej i klasyfikacja jakościowa odmian jęczmienia [Evaluation method of brewing quality and quality classification of barley cultivars]*. *Wiad. Odmianozn.* 80, COBORU Słupia Wielka [in Polish].
- Kunze, W. (1999). *Malt producción 2.8.3.2 Congress mash*. In: *Technology Brewing and malting*. Versuchs-und.Lebranstalt fürBauerei. Berlin pp. 157 - 159
- Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, Vol. I New York.
- Libkind, D. (2011). «Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast». *PNAS* 108 (35): pp. 14539-14544.
- Linko, M. Haikara, A. et Ritala, A. (1998). Recent advances in the malting and brewing industry. *Journal of Biotechnology*. Vol. 65. Pp. 85 – 97



- Llorca, M. M. (1995). Modelización de la operación de secado de malta, por aire. Pp.12 - 14. España: Universidad Lleida.
- MacGregor, A. B. (1999). Modelling the contribution of  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase and limit dextrinase to starch degradation during mashing. *J. Cereal Sci.*, 161-169.
- MacGregor, A. B. (2002). Effect of starch hydrolysis products on the determination of limit dextrinase and limit dextrinase inhibitors in barley and malt. *J. Cereal Sci.*, 17-28.
- MacGregor, A. D. y Dushnicky, L. (1989). Starch degradation in endosperms of developing barley kernels. *J. Inst. Brew*, 321-325.
- Maldonado, M. (25 de Septiembre de 2012). *milenio.com*. Recuperado el 3 de Octubre de 2012, de Consuman la venta de Modelo a cervecera belga Anheuser-Busch: <http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/>
- Martínez, P. M. (1996). *Estudio de Dos Métodos para alfa amilasa en malta*. Tesis profesional. P: 23. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Martini, A. V. y Kutzman, C. P. (1985). Deoxiribonucleic acid relatedness among Species of the genus *Saccharomyces sensu stricto*. *Int. J. Syst. Bacteriol* (35): 508 - 511
- Miralles, D. J., & Roberto L. Benech-Arnold, G. A. (2011). *Cebada Cervecera*. Argentina: Orientacion Grafica Editorial.
- Moir, M. (2000). «Hops: A millennium review». *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 58(4): pp. 131-146.
- Molina-Cano, J. L. (1987). The EEC Barley and Malt Committee Index for the evaluation of malting quality in barley and its use in breing. *Plant Breed*, 249-256.

- Molina-Cano, J. L. (1989). La cebada: morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales. pp: 199 - 216. Madrid: Mundi Prensa .
- Molina-Cano, J. L., Francesch, M. , Pérez-Vendrell, A. M., Ramo, T., Voltas, J., Brufau, J. (1997). Genetic and environmental variation in malting and feed quality of quality. *Journal Cereal Sci*, 25: 37-47.
- Moreno, M. E. (1984) Manejo y conservación de granos y semillas. Evaluación de calidad en semillas. Edit. Barrera F. C. UNAM, México pp: 13 - 20
- Munzert M. Baumer M., (2009). *Mineral Nutrients and Malt Quality of Spring Barley (Hordeum vulgare L.)*. BrewingScience. 14-24
- Narziss, L. (1976). "Die Technologie der Malz bereitung". Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, W. Germany.
- Neria, G. (5 de Noviembre de 2012). Aporta Hidalgo 9 mil mdp en Impuestos por Cebada. *El Independiente*.
- NMX-FF-043-SCFI-2003. (2003). Productos Alimenticios no Industrializados para Consumo Humano - Cereal - Cebada Maltera - (*Hordeum vulgare L.* y *Hordeum distichum*). *Secretaria de Economia*. Mexico.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), (2012)
- Ortiz, V. M, (2013). Comunicación Personal
- Palmer, G.H.; Bathgate, G.N. (1976). Malting and Brewing in Recent Advances in Cereal Science and Technology. (Ed Y Pomeranz): 237-234. American association of Cereal Chemists, St. Pauls, Minnesota, USA
- Palmer, G. (1989). Cereals in malting and brewing. In *Cereal Science and Technology*. G.H. Palmer Aberdeen University Press.
- Peddie, H. A. (1990). Ester formation in brewery fermentations. *J. Inst. Brew.*, 237-31.
- Qi, J., Chen,J., Wang, J., Wu, F., Cao, L., Zhang, G. (2005). Protein and hordein

- reaction content in barley seeds as affected by sowing date and their relations to malting quality. *Journal Zhejiang Univ SCI*, 1069-1075.
- Rindermann, R. S. (2004). La Cadena Agroindustrial de Cebada-Malta-Cerveza. En R. S. Rindermann, *¿El Campo Aguanta Mas?* (págs. 129-149). Mexico: CIESTAAM Y La jornada.
- Ruiz, C. J. (1999). *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. Mexico: INIFAP.
- Ruiz, C. J., Medina, G., Ortiz, C., Flores, H. E., & M, R. M. (1999). *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. Mexico: INIFAP.
- Saerens, S. M., Delvaux, F., Verstrepen, K. J., & Van Dijck, P. (2008). Parameters Affecting Ethyl Ester Production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 454-461.
- SAGARPA. (2005). *Plan rector del sistema producto cebada*. Guanajuato: Hidalgo Produce.
- SAGARPA. (18 de Enero de 2013).a *Distrito de Desarrollo Rural Huejutla*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural:  
[www.campohidalguense.gob.mx/documentos\\_hidalgo/fichas\\_municipales/huejutla.pdf](http://www.campohidalguense.gob.mx/documentos_hidalgo/fichas_municipales/huejutla.pdf)
- SAGARPA. (2013).b *Distrito de Desarrollo Rural Huichapan*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de  
[www.campohidalguense.gob.mx/documentos\\_hidalgo/fichas\\_municipales/huichapan.pdf](http://www.campohidalguense.gob.mx/documentos_hidalgo/fichas_municipales/huichapan.pdf)
- SAGARPA. (18 de Enero de 2013).c *Distrito de Desarrollo Rural Mixquiahuala*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural:  
[www.campohidalguense.gob.mx/documentos\\_hidalgo/fichas\\_municipales/mixquiahuala.pdf](http://www.campohidalguense.gob.mx/documentos_hidalgo/fichas_municipales/mixquiahuala.pdf)

SAGARPA. (18 de Enero de 2013).d *Distrito de Desarrollo Rural Pachuca*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural: [www.campohidalguense.gob.mx/documentos\\_hidalgo/fichas\\_municipales/pachuca.pdf](http://www.campohidalguense.gob.mx/documentos_hidalgo/fichas_municipales/pachuca.pdf)

SAGARPA. (18 de Enero de 2013).e *Distrito de Desarrollo Rural Tulancingo*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural: [www.campohidalguense.gob.mx/documentos\\_hidalgo/fichas\\_municipales/tulancingo.pdf](http://www.campohidalguense.gob.mx/documentos_hidalgo/fichas_municipales/tulancingo.pdf)

SAGARPA. (18 de Enero de 2013). *Distrito de Desarrollo Rural Zacualtipan*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural: [www.campohidalguense.gob.mx/documentos\\_hidalgo/fichas\\_municipales/zacualtipan.pdf](http://www.campohidalguense.gob.mx/documentos_hidalgo/fichas_municipales/zacualtipan.pdf)

Schwentenius, R. (2004). Impacto del TLCAN en el sector agroalimentario: Evaluación a diez años. CIESTAAM y la Jornada, México, pp: 265

Secretaria de Agricultura. (1985). *Metodos para Evaluar la Calidad Maltera en Cebada* (17 ed.). Mexico DF.

SIAP. (2007). *Portales Agricolas Cebada*. Recuperado el 07 de Agosto de 2012, de <http://w4.siap.gob.mx/sispro/portales/agricolas/cebada/descripcion3.pdf>

SIAP. (02 de Agosto de 2012). *Cierre de la Produccion Agricola*. Recuperado el 02 de Agosto de 2012, de

[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=3](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=3)  
51

Stewart, G. G., & Russel, I. (1986). One hundred years of yeast research and development in the brewing industry. *J. Inst. Brew*, 537-558.

- Ugarte, J. (25 de Septiembre de 2012). Venta de Grupo Modelo, entre las más costosas. *CNNExpansión*(1099).
- Urbano, A. B. (1996). La Calidad Cervecera de Variedades de Cebada. *Vida Rural*, 26, 44-44.
- Vincent, V. M., & Alvarez, B. S. (2006). *Quimica Industrial Organica*. Valencia: Universidad Politecnica de Valecia.
- Wang, X., Yan, J., Zhang, G. (2006). Genotypic and environmental variation in barley limit dextrinase activity and its relation to malt quality. *J Zhejiang Univ SCIENCE B* ( 7): 386-392.
- Weston, D. H. (1993). Nitrogen and planting date enviroment effects on low-protein spring barley. *Journal Agronomi*, 1170-1174.
- Yin, C. Z. (2002). Variation of beta-amylase activity in barley as affected by cultivar and environment and its relation to protein content and grain weight. *Journal Cereal Sci.*, 307-312.
- Ziegler, P. (1999). Cereal Beta-Amylases . *Journal of Cereal Science*, 195-204.