

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO



INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERIA

“ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL  
EMPLEANDO MALTA CHOCOLATE”

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN

**QUÍMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**Hernández Cervantes Nohemi**

DIRIGIDO POR:

**Dra. Alma Delia Román Gutiérrez**

PACHUCA DE SOTO, HGO 2011.



## FOROS CIENTÍFICOS

Parte de este trabajo ha sido presentado en los siguientes foros:

***XJJ Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos***

27 y 28 de Mayo de 2010.

Guanajuato, México.

***Primer foro de trabajos de investigación para la generación y  
aplicación del conocimiento.***

01 de Junio de 2010

Pachuca de Soto, Hidalgo.



## **AGRADECIMIENTOS**

A ti, que pusiste en mi tu fe y la esperanza de hacerme un ser humano de provecho, que en cada atardecer me dabas un obsequio aunque a veces no lo veía, que en cada caída me impulsabas a levantarme y que con tu paciencia me seguías y cuidabas, a ti que me diste la gran oportunidad de vivir y concluir esta etapa, a ti que nunca me has dejado sola, a ti Dios, gracias por ser mi amigo.

A mi familia que siempre han sido mi motivo y mi más grande orgullo, sin ustedes no estaría hoy en este lugar, gracias por su apoyo, amor y paciencia que realmente ha sido mucha pero sobre todo gracias por los valores que me inculcaron y por enseñarme que el caer no es el final sino el principio de un mejor destino.

A ti Beto, por compartir conmigo esta etapa tan hermosa, por iluminar mi camino con una luz tan distinta que se apreciaba desde cualquier punto de este planeta y sobre todo por darme siempre un motivo para no darme por vencida.

A la Dra. Alma por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, por creer en mí, por poner en mis manos un proyecto hermoso del que disfruté y aprendí todos los días. Y por fomentar en mí esa necesidad de siempre crecer y salir adelante.

A mi jurado de tesis, por enriquecer este trabajo, por darme el privilegio de conocerlos y de aprender de ellos durante mi etapa de estudiante. Sus comentarios no solo contribuyeron en mi aprendizaje también construyeron nuevos peldaños de mi vida haciendo de mí una mejor profesionalista.

A mis amigos Pancho, Mimi, Lupita, Judith, Zaira, Naye, Paloma y Xitlaly por hacer de mi vida algo más liviano, por todas las sonrisas, las aventuras y chismes compartidos, pero sobre todo por su apoyo, consejos y sinceridad. Dicen que los amigos se cuentan con los dedos de las manos, pero yo he contado con ustedes con mucho más que eso. Los quiero.



## **DEDICATORIAS**

¶ **ti Mami** por darme la vida desde ahí ya estoy en deuda contigo, por enseñarme que la perseverancia es el camino hacia el éxito, por secar mis lágrimas, por darme el calor de tus brazos en los momentos más fríos y por todas tus bendiciones antes de salir de casa. Tus consejos me llevaron siempre por el mejor camino y harán de mi destino un mejor vivir.

¶ **ti Papi** por darme un hogar, por darme una sonrisa antes que un golpe, por las palabras tiernas pero siempre sinceras, por enseñarme a ser fuerte ante los momentos más difíciles y por ayudarme a encontrar la solución a todos mis problemas. Y gracias por todos esos chistes compartidos.

¶ **ti Gastón** por ser mi hermano mayor, por cuidarme cuando era pequeño y ahora también, gracias por tu cariño y por defenderme siempre, tu apoyo me ayudó a salir adelante y ahora juntos también lo haremos.

¶ **ti negro** por darme la curiosa oportunidad de compartir mi etapa universitaria, por ser mi amigo y mi confidente, por darme ánimos cada que las cosas se ponían feas, por tus regaños que me hacían enderezar el rumbo y por todos los momentos compartidos, tu apoyo me llevo hasta donde estoy ahora.

¶ **ti Beito**, por apoyarme siempre en todos mis proyectos, por ser mi amigo y compañero de aventuras, por enseñarme a ver la vida de un mejor color y por regalarme tantas y tantas sonrisas. Por ser mi apoyo, mi fuerza y un buen motivo, pero sobre todo por darme todo ese amor que ha llenado de esperanza mi corazón.

¶ **ti samy**, la pequeña de la familia, aun estas muy chiquita pero me has regalado momentos muy hermosos, tu sonrisa hace que mi corazón se llene y tus travesuras alegran mis momentos cuando las recuerdo. Tu presencia es el mejor regalo que nos das a muchos. Mi niña bonita gracias por existir.

Cada uno de ustedes tiene su apartado en mi corazón y todos han hecho de mi vida lo más hermoso que puedo tener, Dios no se equivocó al ponerlos en mi camino y al hacer eso me dio el regalo más preciado... Una hermosa familia y un gran amoriiii



## INDICE GENERAL

Contenido	Página
<b>FOROS CIENTÍFICOS</b>	2
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	3
<b>DEDICATORIAS</b>	4
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	5
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	9
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	11
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	12
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	13
<b>II. ANTECEDENTES</b>	15
2.1 Cebada	16
2.1.1 Morfología del grano de cebada	17
2.1.2 Composición del grano de cebada	18
2.1.2.1 Carbohidratos	18
2.1.2.2 Proteínas	20
2.1.2.3 Lípidos	21
2.1.2.4 Minerales y vitaminas	21
2.1.3 Producción de cebada	21
2.2 La malta	22
2.2.1 Tipos de malta	24
2.3 Cerveza	26
2.3.1 Historia de la cerveza	26
2.3.2 Principales componentes	27
2.3.2.1 Malta	27
2.3.2.2 Lúpulo	28
2.3.2.3 Levadura	28
2.3.2.4 Agua	31
2.4 Proceso elaboración de cerveza	31



2.5	Tipos de Cerveza	37
2.5.1	Cerveza tipo Ale	37
2.5.2	Cervezas tipo Lager	44
2.6	Industria cervecera	47
2.6.1	Localización	49
<b>III.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	51
3.1	Objetivo general	52
3.2	Objetivos específicos	52
<b>IV.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	53
4.1	Materia prima	54
4.2	Métodos	54
4.2.1	Muestreo	54
4.2.2	Análisis de calidad maltera de cebada	55
4.2.2.1	Análisis Físico	55
4.2.2.2	Análisis proximal	55
4.2.2.3	Determinación de viabilidad	55
4.2.2.4	Tamaño de raicillas	56
4.3	Obtención de malta clara y malta chocolate	56
4.3.1	Limpieza	56
4.3.2	Remojo	56
4.3.3	Germinación	57
4.3.4	Secado	57
4.3.5	Tostado	58
4.4	Análisis de la calidad de malta	58
4.4.1	Determinación de azúcares totales	59
4.4.2	Determinación de azúcares reductores	59
4.4.3	Nitrógeno y proteína	59
4.4.4	Extracto de malta	59
4.4.5	$\beta$ -glucanos	59



4.4.6 Poder diastásico	61
4.5 Obtención de mostos	61
4.5.1 Análisis de calidad de los mostos	63
4.6 Activación e Inoculación de la Levadura	63
4.7 Cocción del mosto	65
4.8 Fermentación a nivel Matraz	66
4.8.1 Maduración y esterilización	67
4.9 Determinación de la calidad de la cerveza	68
4.9.1 pH	68
4.9.2 Color	68
4.9.3 Determinación de etanol	69
4.9.4 Determinación de azúcares reductores (AR)	70
<b>V. RESULTADOS</b>	71
5.1 Análisis de calidad maltera de la cebada	72
5.1.1 Análisis físico	72
5.1.2 Análisis proximal	73
5.1.2.1 Humedad	74
5.1.2.2 Proteína	74
5.1.2.3 Cenizas	75
5.1.2.4 Lípidos	75
5.1.2.5 Fibra	76
5.1.2.6 Carbohidratos	76
5.2 Obtención de malta clara y malta chocolate	77
5.3 Análisis de calidad de la malta	80
5.3.1 Humedad de secado (HS)	81
5.3.2 Poder diastásico (PD)	81
5.3.3 Extracto de malta	82



5.3.4 Proteína	83
5.3.5 $\beta$ -glucanos	83
5.4 Obtención de Mostos	84
5.5 Análisis de calidad de Mostos	85
5.5.1 Azúcares Totales (AT)	86
5.5.2 Azúcares Reductores (AR)	87
5.5.3 pH del mosto	89
5.5.4 Peso específico	89
5.5.5 Atenuación aparente	90
5.5.6 Proteína	90
5.5.7 $\beta$ -glucanos	90
5.5.8 Azúcares reductores y totales	91
5.6 Activación e Inoculación de la Levadura	92
5.7 Fermentación	96
5.7.1 Inoculación de la levadura	96
5.7.2 Etapa fermentativa	97
5.7.3 pH de la cerveza	100
5.7.4 Color de la cerveza	101
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>105</b>
<b>VII. PERSPECTIVAS</b>	<b>108</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>110</b>





## INDICE DE FIGURAS

<b>Número</b>	<b>Página</b>
1. Variedades de cebada de dos y seis carreras.	16
2. Morfología del grano de cebada.	17
3. Diferentes tipos de maltas claras y especiales.	26
4. Lúpulo ( <i>Humulus lupulus</i> )	28
5. Levadura cervecera	29
6. Diagrama del proceso de elaboración de Cerveza. Parte 1.	33
7. Vía que sigue la fermentación alcohólica.	35
8. Diagrama del proceso de elaboración de Cerveza. Parte 2.	36
9. Etapa de remojo.	56
10. Etapa de germinación.	57
11. Etapa de secado.	57
12. Etapa de tostado.	58
13. Elaboración de mostos.	62
14. Activación de levadura en caldo soya tripticaseína.	63
15. Mostos para llevar a cabo la cinética de crecimiento de levadura.	64
16. Esquema de inoculación de levadura a cada mosto.	64
17. Fermentación a nivel matraz.	67
18. Cerveza esterilizada.	67
19. Muestras de cerveza para la determinación de pH.	68
20. Muestras de cerveza para la determinación de color.	68
21. Escala de color del método establecido por la EBC (2003).	69
22. Germinador automático.	77
23. Germinación.	78
24. Malta clara.	79
25. Malta chocolate.	80
26. Mostos obtenidos de malta clara y malta chocolate.	85
27. Mostos De derecha a izquierda MSCh, MS3, MS2, MS1 y MSCl.	85



<b>28.</b> Proceso de incubación de mostos para realizar la cinética de crecimiento.	94
<b>29.</b> Activación de la levadura.	96
<b>30.</b> Inoculación de la levadura después de 12 h de activación.	97
<b>31.</b> Cocción de mostos.	97
<b>32.</b> Fermentación.	98
<b>33.</b> Toma de muestras cada 12 h para efectuar la cinética de obtención de etanol y consumo de AR.	98
<b>34.</b> Gama de color de las 5 cervezas elaboradas.	102
<b>35.</b> Cervezas obtenidas.	103



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Número	Página
1. Cinética de Azúcares totales en mosto claro y chocolate.	86
2. Cinética de azúcares reductores en mosto claro y chocolate	87
3. Cinética de crecimiento de la levadura en el mosto MSCl.	93
4. Cinética de crecimiento de levadura en mosto MSCh.	94
5. Cinética de crecimiento de la levadura en el mosto MS1.	95
6. Cinética de consumo de azúcares y formación de etanol en 5 distintas cervezas.	99



## INDICE DE TABLAS

<b>Número</b>	<b>Página</b>
1. Composición proximal de la cebada (%)	18
2. Composición de carbohidratos en la cebada (%).	19
3. Composición del mosto cervecero (g/100 ml de mosto).	32
4. Clasificación de las cervezas.	37
5. Participación del grupo modelo en el mercado interno.	48
6. Proporciones para las diferentes maltas.	59
7. Proporción de mosto claro: mosto chocolate.	62
8. Concentración de levadura inoculada en tres distintos mostos.	65
9. Análisis físico de la cebada variedad Gabyota 2007.	72
10. Porcentaje del análisis proximal de la cebada empleada	74
11. Análisis de la calidad de las maltas obtenidas.	81
12. Análisis de calidad de los mostos.	89
13. Porcentajes de etanol obtenidos en cada una de las cervezas elaboradas.	100
14. pH obtenido para las cinco cervezas elaboradas.	101
15. Color de cervezas analizadas.	102
16. Comparación de le cerveza chocolate contra cervezas comerciales.	104



A  
N  
T  
I  
E  
C  
E  
D  
E  
N  
T  
E  
S



## IV. ANTECEDENTES

### 4.1 Cebada

La cebada es un cereal perteneciente a la familia de las gramíneas, las cebadas cultivadas en la actualidad pertenecen al género *Hordeum vulgare* difiriendo unas de otras en el número de hileras de granos que presentan en la espiga (Osca, 2001).

Éste cereal se produce en casi todo el mundo, destinándolo principalmente a dos tipos de mercado: como alimento para ganado y para producción de malta. En México, aproximadamente el 70% de la cebada que se produce es específica para ser utilizada por la industria maltera (para la elaboración de cerveza) y el 30% restante corresponde a variedades que se utilizan fundamentalmente para alimentación de ganado (SAGARPA, 2002).



**Figura 1.** Variedades de cebada de dos y seis carreras.

Fuente: [http://www.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/cebada.htm](http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm), abril 2010.

Existen cebadas malteras que provienen de variedades de dos o seis carreras (Figura 1).

Los granos de seis carreras son usualmente de menor tamaño que las de dos carreras.



Una de las principales características que diferencian a las cebadas malteras de las forrajeras es el contenido proteico y el potencial diastásico una vez que son germinadas. Las variedades malteras presentan un contenido proteico menor (9.5-12.5%), lo que se traduce en mayor cantidad de almidón y por lo tanto de azúcares fermentables en el grano (Serna, 2009).

#### 4.1.1 Morfología del grano de cebada

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

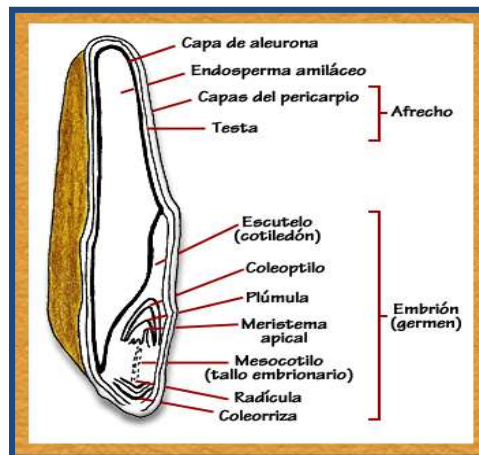


Figura 2. Morfología del grano de cebada.

Fuente: [http://www.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/cebada.htm](http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm), Abril 2010.

En el endospermo se almacena el almidón y está cubierto por la capa de la aleurona; tanto las paredes celulares del endospermo amiláceo como las que conforman la aleurona se encuentran cubiertas por polisacáridos no amiláceos tales como arabinosilanos,  $\beta$ -glucanos y en menor cantidad unidades de celulosa. El endospermo del grano de cebada también se encuentra en forma de proteína enzimática y de reserva.



El embrión es la parte de la semilla de la cebada que se desarrolla durante la germinación ya que requiere de nutrientes como el almidón y proteínas para su crecimiento; en el embrión se promueve la formación de enzimas que potencian la degradación de dichos componentes. La producción de enzimas durante la germinación inicia en el escutelo (Ruíz, 2006).

#### 4.1.2 Composición del grano de cebada

El grano maduro de los cereales está compuesto de carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y sales minerales. El genotipo y condiciones ambientales durante el crecimiento y la maduración suelen afectar la composición química de los granos (Serna, 2009). La composición química del grano de cebada se expone en la tabla 1.

Tabla 1. Composición proximal de la cebada (%)

Componente	Porcentaje
Proteínas	7.5 - 15.6
Extracto etéreo	1.8 - 2.6
Fibra cruda	5.3 - 5.9
Extracto libre de nitrógeno	72.8 - 82.8
Cenizas	2.6 - 3.1

Fuente: Serna (2009).

##### 4.1.2.1 Carbohidratos

Aproximadamente el 80% del grano está compuesto por carbohidratos, únicamente del 3 a 5% de estos carbohidratos son estructurales conformado por la fracción fibrosa. El resto es material de reserva constituido principalmente por el almidón, este se almacena en gránulos dentro del endospermo.





Las moléculas de almidón son polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos  $\alpha$  1-4 y 1-6, conformado por moléculas de amilopectina y amilosa. En la tabla 2 se muestra la composición de carbohidratos en la cebada.

La cantidad de azúcares sencillos aumenta considerablemente cuando el grano es sometido al proceso de malteado o germinado debido a la hidrólisis del almidón que produce, entre otros azúcares, maltosa y glucosa.

La fibra dietética soluble se conforma por  $\beta$ -glucanos y pentosanas; los  $\beta$ -glucanos son polímeros de glucopiranosil unido por enlaces 1-4 ó 1-3. Estos polisacáridos se encuentran principalmente en las paredes celulares. Las pentosanas tienen estructura similar a la hemicelulosa y se conforman por pentosas como la arabinosa y la xilosa. Los pentosanos y los  $\beta$ -glucanos tienen la propiedad de ligar agua (Serna, 2009).

**Tabla 2.** Composición de carbohidratos en la cebada (%).

<b>Fibra dietética total</b>	<b>12 – 18.8</b>
<b>Fibra dietética soluble</b>	<b>3.9</b>
<b>B- glucanos</b>	<b>3.7 – 8.1</b>
<b>Pentosanas</b>	<b>4.4 – 11</b>
<b>Azúcares solubles</b>	<b>2.4 – 4.7</b>
<b>Almidón</b>	<b>54- 65</b>

Fuente: Serna (2009).

La cantidad y el peso molecular de los  $\beta$ -glucanos en la malta afectan a las viscosidades del mosto y la cerveza, así como a la filtración. Los  $\beta$ -glucanos de la cebada también tienen que ver con la turbidez en cerveza, la precipitación o formación de geles de los polímeros de  $\beta$ -glucanos puede ser propiciada por la concentración de etanol y la congelación y descongelación repetidas (Jin y col., 2005).



La proporción de carbohidratos en cerveza es de 3-5%, aunque en muchas cervezas fuertes la cantidad es mayor. El 75-80% del total son dextrinas, que provienen de la degradación enzimática del almidón por acción de las enzimas de la malta. El resto de los carbohidratos son azúcares sencillos como ribosa, arabinosa, xilosa, glucosa, fructosa y galactosa; disacáridos como maltosa e isomaltosa; trisacáridos como panosa, isopanosa y maltotriosa. Además existen pequeñas cantidades de glicerol y mioinositol. También aparecen  $\beta$ -glucanos que ejercen una acción estabilizadora de la espuma. Estos compuestos proceden de la pared celular del endospermo del grano de cebada y su concentración varía entre 50 y 700 mg/L (Valls, V. y col., 2009).

#### 4.1.2.2 Proteínas

Los compuestos proteicos del grano se localizan en todos sus tejidos, pero el germen y la capa de la aleurona concentran la mayor cantidad de compuestos nitrogenados (Serna, 2009).

Las proteínas de los cereales, como la mayoría de las proteínas vegetales, son deficientes en ciertos aminoácidos, particularmente en algunos esenciales como la lisina, treonina, histidina, metionina y triptófano (Callejo, 2002).

La evaluación del contenido de nitrógeno en la cebada es una medida indirecta de la cantidad de proteínas presentes en dicho cultivo. Además de las proteínas, existen diversos compuestos que contienen nitrógeno en pequeñas cantidades, entre ellos figuran ácidos nucleicos, aminas, amidas y aminoácidos libres. Altas cantidades de proteínas disminuyen el extracto potencial y provocan largos tiempos de germinación en el grano, además aportan turbidez en la cerveza terminada debida principalmente a péptidos no degradados durante la malta que se unen a los componentes que confieren amargor a la cerveza tales como los iso- $\alpha$ -ácidos (Ruíz, 2006).



Bajas cantidades de proteínas, por el contrario causan fermentaciones lentas, así como deficiencia de aminoácidos disponibles para la levadura durante la fase de fermentación y en cerveza terminada causan inestabilidad de la espuma (EBC, 2003).

#### **4.1.2.3 Lípidos**

Los cereales tienen baja cantidad de compuestos liposolubles. Sin embargo, estos constituyentes tienen mucha importancia desde el punto de vista de estabilidad y de procesos.

Constituyen alrededor del 3-4% de la masa total de la cebada, principalmente son triacilglicerolos y ácidos grasos libres (palmítico, oléico y linoléico), se encuentran en el embrión y la capa de la aleurona (Serna, 2009).

Durante la elaboración de cerveza, la levadura empleada para la fermentación requiere de los lípidos para su crecimiento, sin embargo, altas cantidades de lípidos en malta aportan turbidez en cerveza, sabores rancios en malta, mosto y cerveza provocados por la oxidación de lípidos, así como la desestabilización de la espuma de la cerveza, provocada por residuos de lípidos tales como los fosfolípidos (Meshehdani y col, 1990).

#### **4.1.2.4 Minerales y vitaminas**

En general el pericarpio, el germen, y la capa de la aleurona son ricos en estos constituyentes. En la capa de la aleurona se encuentran ciertos minerales como  $K^+$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  y  $Cl^-$ , la cebada también posee vitaminas del grupo B (Ruiz, 2006).

#### **4.1.3 Producción de cebada**

Durante el periodo 1997-2007, en promedio en México, se sembraron 323 miles de



hectáreas de cebada en el país. En el estado de Hidalgo, se destinaron 120 mil hectáreas, seguido del principal productor de cebada, Guanajuato, con 51 mil hectáreas y el estado de Tlaxcala con 47 mil hectáreas.

En Hidalgo, en 2007, los municipios que destinaron más superficie a la siembra de cebada grano fueron: Apan (18.2%); Zempoala (12.2%); Singuilucan (10.8%); Almoloya (8.2%); Cuautepec de Hinojosa (7.44%); Tepeapulco (7.21%); Epazoyucan (6.7%); Zapotlán de Juárez (4.6%); Tolcayuca (3.5%) y Tlanalapa (3.2%), que en total representan 92.02 miles de hectáreas de las 112 miles de hectáreas que se sembraron este año.

La superficie cosechada que se tiene durante este periodo es de 293 mil hectáreas. En el estado de Hidalgo se cosechan 107 miles de hectáreas que representa el 36.63% de la superficie cosechada total, le siguen los estados de Guanajuato y Tlaxcala con 48 y 44 mil hectáreas cosechadas que representan el 16.31% y 15.18% de la superficie total cosechada respectivamente (SIAP, 2008).

#### **4.2 La malta**

Se le llama malta a los granos germinados y secados de cebada y cuya germinación ha sido detenida en su comienzo.

La elaboración de la malta es una etapa trascendental, pues precisamente en este punto se determina si la cebada posee las características ideales para ser empleada en la industria cervecera. La principal función del malteado es transformar las reservas alimenticias del grano, principalmente almidón insoluble y proteína, en un sustrato capaz de poder ser extraído por medio de agua caliente durante la etapa de maceración para producir un mosto, que no es más que una solución de carbohidratos fermentables y proteínas solubles (Hornsey, 2003).

Los cambios que ocurren durante la modificación del grano son:



- Incremento de la cantidad de enzimas hidrolíticas presentes en el grano.
- Degradación de la pared celular, proteínas y almidón.
- Reducción de la fortaleza estructural del grano (Malting Technology EBC, 2000).

La bioquímica de la modificación del malteado de la cebada es extremadamente complicada. El cambio más evidente durante esta etapa es la destrucción de la pared celular de la aleurona y el endospermo. Las enzimas y hormonas son activadas durante el proceso por la adición de agua y una temperatura controlada.

El sistema hormonal de las giberelinas es activado, posteriormente las enzimas son sintetizadas en la aleurona, ellas migran dentro del endospermo para llevar a cabo la hidrólisis de la pared celular, proteínas y almidón en otros compuestos más sencillos (Newman y Newman, 2008 y Serna, 2009).

El sistema de enzimas que está involucrado en la destrucción de la estructura de la pared celular en la capa de la aleurona y subsecuentemente la hidrólisis del endospermo y los nutrientes del embrión son la endo (1-3),(1-4)- $\beta$ -glucanasa, endo (1-3)- $\beta$ -glucanasa, endo(1-4)- $\beta$ -xylanasa, endopeptidasa, carboxypeptidasa,  $\alpha$ -amilasas,  $\beta$ -amilasa,  $\alpha$ -glucosidasa, lipasa, fosfolipasa y dextrinasas (Newman y Newman, 2008).

El proceso de malteado implica tres etapas básicas:

**1.- Remojo:** Los granos previamente limpios se hidratan y airean hasta que se alcance un porcentaje de humedad entre 41-45%, para iniciar la germinación mediante la activación del embrión.

**2.- Germinado:** El grano remojado es trasladado a una caja de germinación donde en condiciones controladas de temperatura, humedad y oxígeno se produce el desarrollo de enzimas que rompen la pared celular del endospermo.



**3.- Secado:** la malta es secada mediante un flujo controlado de aire caliente, con el fin de remover sabores indeseables, favorecer la formación de colores y la remoción de las raicillas secas (Malting Technology EBC, 2000; Serna, 2001).

Puede ser adicionada una cuarta etapa para la producción de maltas especiales, ésta es denominada etapa de tostado, cuyo objetivo es desarrollar colores más intensos y sabores que no son posibles mediante el secado convencional (Malting Technology EBC, 2000).

#### 4.2.1 Tipos de malta

Los tipos de malta que intervienen en mayor proporción en la elaboración de la cerveza son las denominadas maltas base. Estas maltas se secan a temperaturas que permiten conservar activas las enzimas (amilasas o diastasas) necesarias para transformar el almidón contenido en la malta, en azúcares fermentables (maltosa), que posteriormente la levadura podrá transformar en alcohol etílico. Por lo tanto una mayor proporción de malta base se traducirá en un mayor porcentaje de etanol en la cerveza.

Existen diversos tipos de malta que difieren entre sí por las condiciones de tiempo y temperatura a las cuales fueron sometidas durante el proceso de malteado por lo que poseen características especiales de sabor y de color (Malting Technology EBC, 2000). Estas se describen a continuación:

- a) **Malta tipo pilsener (malta de uso básico):** la temperatura de secado entre 70 y 90°C. Con estas temperaturas no se elimina el poder enzimático de la malta y no



se producen compuestos que le confieran color y sabor (melanoidinas). Es la ideal para elaborar cervezas tipo *pilsen* y *lager* de colores muy claras.

- b) **Malta tipo Viena.** El secado se realiza a temperaturas ligeramente más altas que la tipo pilsener, resultando en un poder enzimático ligeramente menor y superior contenido en melanoidinas
- c) **Malta tipo Munich.** Se seca a temperaturas todavía más altas que la tipo Viena, pero no lo suficiente como para tostar las semillas y eliminar el poder enzimático. La malta debe disponer de las suficientes enzimas para convertir, durante la maceración, todos los almidones en azúcares fermentables.

Además de estas maltas también existen aquellas cuyo secado se ha realizado bajo condiciones extremas que han producido sabores extraordinarios, y son llamadas maltas especiales (Figura 3). Dentro de las maltas especiales se conocen:

- a) **Malta caramelizada** (de mayor uso). Estas maltas, tienen un poder enzimático muy bajo, por lo cual habrán de usarse con moderación.
- b) **Malta tipo chocolate** (Usada en numerosas cervezas oscuras). Imparten sabor y color característico. Es elaborada a partir de malta clara que es sometida a intensos procesos de tostado, con temperaturas de hasta 220°C, se utiliza para obtener un marcado color oscuro en la cerveza o para intensificar levemente el color sin influenciar el cuerpo o sabor de la misma, por ejemplo, es utilizada en la elaboración de cervezas oscuras como: la cerveza Munich oscura, “Bock” oscura, la cerveza alemana Maerzen y “Alt”.



- c) **Malta negra.** Imparte sabores parecidos a los del café. También imparten un sabor ligeramente amargo al producto final por lo que hay que usarlas con mucha moderación. No tienen poder enzimático y su aportación al mosto es únicamente en cuanto a sabor y color (Linko y col., 1998; Malting Technology EBC, 2000).



**Figura 3.** Diferentes tipos de maltas claras y especiales.

Fuente: Revista Tecnología (2005).

### 4.3 Cerveza

La cerveza es una bebida de baja graduación alcohólica, que resulta de fermentar, mediante levadura seleccionada, el mosto procedente de malta de cebada, aromatizado con flores de lúpulo. Este mosto puede también mezclarse con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática o cocción (Valls y col., 2009).

#### 4.3.1 Historia de la cerveza

Hace más de seis mil años en los márgenes de los ríos Tigris y Éufrates, los sumerios elaboraban y consumían cerveza. La historia dice que los babilonios heredaron de los sumerios el arte del cultivo de la tierra y la elaboración de la cerveza.

Uno de los decretos más conocidos de la época, emitido por el Rey Hammurabi, dispuso normas sobre la fabricación de esta bebida, en las cuales se incluían el precio del producto y la concentración adecuada estableciéndose sanciones aplicables a





quienes la adulteraran. La elaboración tenía carácter religioso y era realizada por sacerdotisas.

Los griegos identificaron la cerveza con los egipcios, ya que la palabra "zythum" usada por éstos, significaba vino de cebada. Un siglo antes de Jesucristo, Diodor Sículo escribió: "Se hace en Egipto, con cebada, una bebida llamada zythum y que por lo agradable de su color y su gusto cede muy poco al vino".

En sus comienzos, los egipcios obtenían la cerveza fermentando el trigo, pero más tarde éste fue sustituido por otros cereales más idóneos, especialmente la cebada. La bebida se mezclaba con frutos, preferiblemente dátiles, se endulzaba con miel y se perfumaba con canela.

Lo interesante de esta evolución en la cerveza, es que ella en si misma ha sido el motor del desarrollo.

Durante el siglo XIX se unen dos fuerzas de cambio en la cerveza. Por un lado, los artesanos cervecedores van ganando tamaño para convertirse en industriales y por otro se desarrollan las cervezas de baja fermentación. A diferencia de otras bebidas fermentadas de frutas como el vino o la sidra, la cerveza requiere una intervención humana más completa. Partiendo del grano de cebada hay que dar varios pasos ordenados hasta llegar a la cerveza lista para ser bebida (Fumanal, 2008).

#### **4.3.2 Principales componentes**

Los constituyentes de la cerveza provienen de sus cuatro principales materias primas: malta, lúpulo, agua y levadura.



#### 4.3.2.1 Malta

Sus requerimientos son muy específicos y debe cumplir con especificaciones de color, nivel de proteínas, nivel de enzimas, variedad de cebada utilizada, por nombrar algunas de ellas (González, 2001; Tecnología, 2005).

#### 4.3.2.2 Lúpulo

EL Lúpulo (*Humulus lupulus*) una planta perenne tipo enredadera, similar a la vid, de la cual se utilizan las flores femeninas para dar amargor y aromatizar la cerveza (Figura 4). El lúpulo se añade en diferentes cuotas de manera que se potencia el amargor, el sabor o el aroma dependiendo del tiempo que esté en contacto con el mosto durante la ebullición (<http://www.cerveart.com>, Octubre 2010).



**Figura 4.** Lúpulo (*Humulus lupulus*)

Fuente: <http://www.cervezas-argentinas.com.ar/>, Noviembre 2010.

Se emplea para dar el sabor típico de la cerveza debido a su contenido de aceites esenciales y resinas amargas. Además contiene taninos y compuestos fenólicos, los cuales ayudan en el proceso de clarificación de la cerveza. Esto es debido a que los taninos tienen la propiedad de ligar a las proteínas que causan turbidez en el producto terminado. El sabor típico de la cerveza es derivado de compuestos como aldehídos, alcoholes y ácidos carboxílicos. El sabor amargo proviene de dos compuestos



clasificados como resinas: la humulona o ácidos alfa y la lupolona o ácidos beta (González, 2001 y Serna, 2009).

#### 4.3.2.3 Levadura

Los dos tipos de levadura más utilizadas para la elaboración de cerveza son *Saccharomyces carlsbergis* y *S. cerevisiae* (Figura 5). La levadura es seleccionada con base en su poder y de la clase de cerveza a elaborar (Serna, 2009).

Existen dos clasificaciones principales de levaduras, ale y lager. Las levaduras de tipo ale se denominan también levaduras de fermentación alta ya que tienen tendencia a flotar en la superficie del mosto mientras están activas. Las levaduras tipo ale fermentan en el mosto a temperaturas entre 15-25°C lo que transfiere sabores y aromas frutales a la cerveza. Las levaduras tipo lager también son conocidas como levaduras de fermentación baja, puesto que tienden a depositarse en el fondo del fermentador. Estas levaduras trabajan a temperaturas ligeramente más frías (4-13°C) por lo que producen cervezas más secas y refrescantes.



Figura 5. Levadura cervecera

Fuente: <http://www.cervezas-argentinas.com.ar/>, Noviembre 2010

Las cervezas fermentadas mediante levaduras lager suelen someterse posteriormente a un periodo de guarda (lager) a bajas temperaturas que suelen durar varios meses



durante los cuales la cerveza madura y adquiere su carácter final (<http://www.cerveart.com>, Octubre 2010).

A pesar de lo anterior la levadura más utilizada es la *Saccharomyces cerevisiae*, ya que posee un gran potencial para la producción de etanol fermentando la glucosa, soportando altas concentraciones de la misma, logrando altos niveles de producción y rendimiento.

#### **2.3.2.3.1 Morfología y reproducción**

Es un hongo unicelular levaduriforme que presenta células alargadas, globosas, elipsoidales con germinaciones o blastoconidios multilaterales de  $3-10 \times 4,5-1 \mu\text{m}$  que al microscopio se ven refringentes. Presenta ascos con hasta cuatro ascosporas esféricas o elipsoides y de pares lisa en su interior. Las colonias en agar Sabouraud son cremosas blandas de color crema o blanco con apariencia húmeda y brillante y con bordes irregulares.

Su reproducción puede ser asexual por gemación. Cuando las condiciones son adversas la mayor parte de las levaduras pueden reproducirse sexualmente generando ascosporas. Durante la gemación, la célula hija inicia el crecimiento formando una yema en la célula madre, posteriormente ocurre la división nuclear, la síntesis de la pared y finalmente la separación de las dos células.

Esta enzima tiene la capacidad de fermentar azúcares presentes en medios regulares. La sacarosa es hidrolizada primeramente por la invertasa localizada en el espacio periplásmico extracelular. Los azúcares son transportados a través de la membrana celular por transporte activo o pasivo, mediado por permeasas producidas



constitutivamente o indecibles. La maltosa y la maltotriosa son hidrolizadas intracelularmente por la  $\alpha$ -glucosidasa (Hornsey, 2003).

Los requerimientos de oxígeno para la reproducción y para la fermentación son diferentes, mientras que para la reproducción de las células hijas y para la síntesis de ácidos grasos (responsables de la resistencia de la levadura a grandes concentraciones de etanol) se necesitan grandes cantidades de oxígeno, para la fermentación este gas no es necesario ya que se lleva a cabo en condiciones anaerobias (Ward, 2007).

#### **4.3.2.4 Agua**

Aproximadamente el 95% de la cerveza es agua, la calidad de la misma afecta enormemente la calidad del producto terminado. El agua preferida tiene un pH de 6.5-7.0, no menos de 500 ppm de  $\text{CaSO}_4$  de 200 a 300 ppm de NaCl, menos de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$  y carente de hierro (Serna, 2009).

Las cervezas fabricadas con aguas ricas en calcio serán menos astringentes y más pálidas. Los iones calcio producen subida de acidez por precipitación del fosfato cálcico, muy insoluble, y los polifenoles se extraen peor con un pH bajo (González, 2001).

#### **4.4 Proceso elaboración de cerveza**

A pesar de la variedad de procedimientos que han existido en el transcurso de los tiempos, toda elaboración de cerveza responde a principios comunes, con independencia de las materias primas básicas empleadas (Figura 6 y 8).



- a) **Molienda de malta:** La malta debe ser molida antes de su uso, la cascarilla debe quedar lo más grande posible ya que esto favorecerá el complicado paso de la filtración.
- b) **Maceración:** Tiene el objetivo de hidrolizar el almidón por medio de la acción enzimática de la malta. Consiste en mezclar uno o varios tipos de malta con agua. La actividad enzimática que se detuvo en la fase de secado de la malta se activa nuevamente en esta etapa bajo condiciones específicas de tiempo y temperatura. El rendimiento del macerado está en función de la calidad de malta utilizada, del pH del macerado y las temperaturas de maceración que oscilan entre los 61-72°C (Serna, 2009 y Ruiz, 2006).
- c) **Filtración:** La mezcla debe pasar por un tanque en donde será separado el mosto de la cascarilla. La composición típica del mosto cervecero se muestra en la tabla 3.

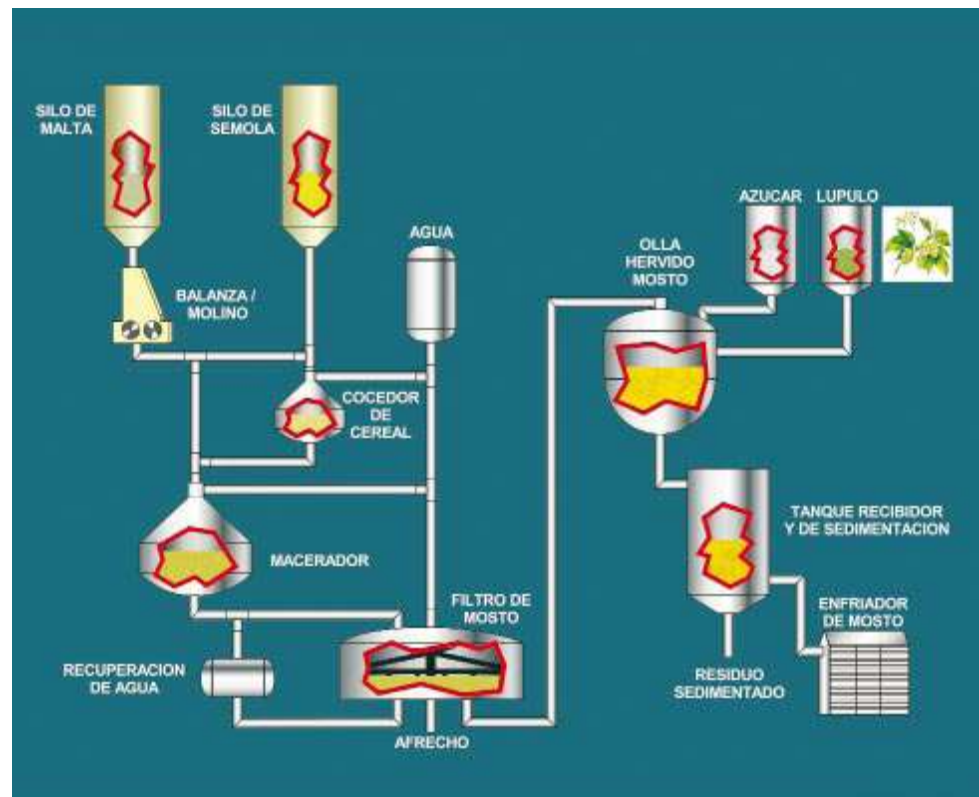
Tabla 3. Composición del mosto cervecero (g/100 ml de mosto).

<b>Azúcares fermentables totales</b>	<b>7.87</b>
Fructosa	0.21
Glucosa	0.91
Sacarosa	0.23
Maltosa	5.24
Maltotriosa	1.28
Maltotetrisa	0.26
Oligosacáridos	2.13
Dextrinas totales	2.39
Azúcares totales	10.26
Azúcares (% del extracto total)	91.10
pH del mosto = 5.4	



Fuente: Serna (2009).

- d) **Cocción del mosto:** Consiste en llevar a ebullición el extracto obtenido durante la maceración junto con el lúpulo durante un lapso de tiempo que oscila entre 30-60 min. Los objetivos principales de la cocción son la estabilización del mosto, la concentración del mosto, la modificación del sabor y desarrollo de color. Durante esta etapa se deben controlar aspectos como agitación, el tiempo, presión, pH y la temperatura de cocción.



**Figura 6.** Diagrama del proceso de elaboración de Cerveza. Parte 1.

Fuente: <http://www.glj.com.do/a/d/doc-raices.20.pdf>, Mayo 2010.

- e) **Filtración:** Después de la cocción, el producto obtenido debe someterse a una segunda filtración para separar los sólidos formados. Para lograr buena



remoción de partículas es posible agregar al mosto ciertas sustancias clarificantes como las carrageninas obtenidas a partir de extractos de algas rojas-cafés cuyo mecanismo de acción se basa en la interacción directa electrostática de las moléculas de la carragenina cargadas negativamente, con las moléculas de las proteínas cargadas positivamente; dando como resultado un mayor rendimiento del mosto (Ward, 2007).

- f) **Enfriamiento del mosto:** Después de la cocción del mosto, este se lleva a la temperatura de siembra de las levaduras. A medida que la temperatura desciende por debajo de 60°C, el mosto previamente clarificado empieza a enturbiarse y puede ocasionar que disminuya la actividad de la levadura a causa de que las partículas presentes suelen adherirse a burbujas de aire o a la misma levadura. Esta turbidez puede ser eliminada por medio de centrifugación. Después del enfriamiento es necesario airear el mosto para favorecer el desarrollo de la levadura.
- g) **Fermentación:** Tiene como objetivo transformar los azúcares fermentables presentes en el mosto, en alcohol, por medio de la acción de la levadura. El proceso de fermentación se lleva a cabo en dos etapas:
- ❖ **Fermentación primaria.-** Se efectúa en tanques cerrados a una temperatura de 7-15°C durante 8-10 días si se emplea una levadura de fermentación baja; o de 3-5 días si se emplean temperaturas mayores para la levadura de fermentación alta.
  - ❖ **Tiempo de guarda.-** Se lleva a cabo a una temperatura de 0°C en tanques cerrados durante 4-6 semanas adicionales. Aquí es donde la cerveza adquiere su aroma, principalmente debido a complejos

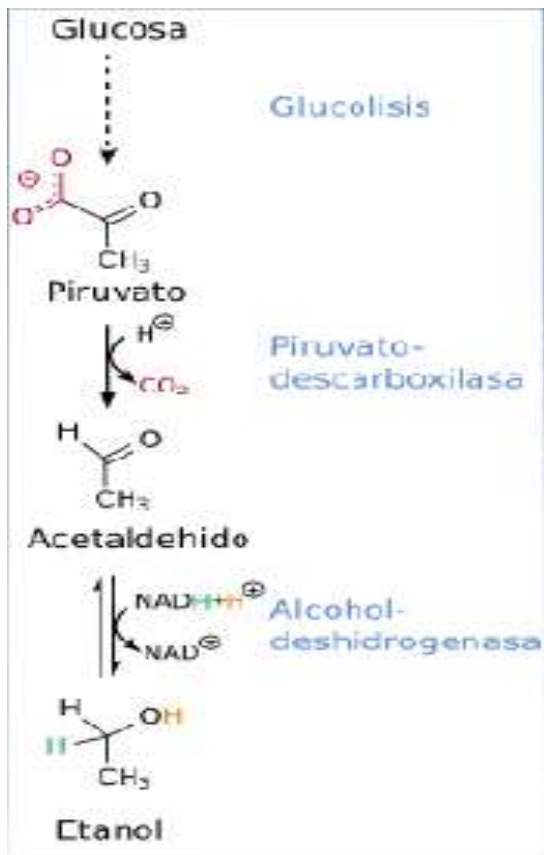




cambios químicos como son el de la generación de diacetilo, dimetilsulfuro y sulfuro de hidrógeno (Serna, 2009; Ruiz, 2006).

Durante ambas etapas de fermentación, la levadura transforma a la maltosa y maltotriosa en unidades de glucosa, las cuales a su vez son transformadas en CO<sub>2</sub>, etanol, otros metabolitos como ácidos orgánicos y volátiles y energía.

La glucosa se convierte en piruvato durante la glucólisis y el piruvato se transforma en etanol y CO<sub>2</sub> en un proceso de dos pasos (Figura 7). En el primer paso, el piruvato se descarboxila en la reacción irreversible catalizada por la piruvato descarboxilasa.



Esta reacción es una descarboxilación simple que no supone la oxidación neta del piruvato. La piruvato descarboxilasa necesita  $\text{Mg}^{2+}$  y tiene una coenzima unida muy fuertemente, la tiamina pirofosfato.

**Figura 7.** Vía que sigue la fermentación alcohólica. Fuente: Stryer, 1996.

En el segundo paso, el acetaldehído se reduce a etanol, con NADH proveniente de la deshidrogenación del gliceraldehído-3-fosfato, aportando el poder reductor a través de la acción de la

alcohol deshidrogenasa. Etanol y CO<sub>2</sub>, son así los productos finales de la fermentación alcohólica (Stryer, 1996). Su ecuación global es:



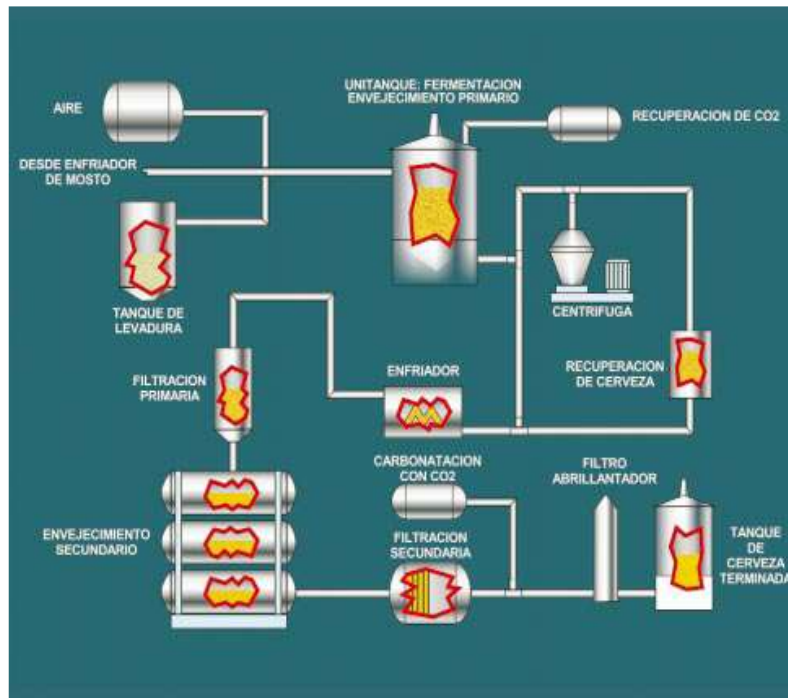


h) **Operaciones finales:** Se trata de operaciones como la carbonatación, clarificación, embotellado y pasteurización de la cerveza.

La cerveza muestra turbidez debido a factores biológicos y no biológicos, el primer paso de la clarificación es la remoción de la levadura, esto se realiza por medio de centrifugación o filtración a través de filtros de celulosa, carbón activado y/o de tierras de diatomeas.

La turbidez no biológica se le atribuye principalmente a las sales de oxalato de calcio, a la presencia de gomas o  $\beta$ - glucanos y al complejo proteína-taninos. Este tipo de compuestos son removidos mediante la aplicación de ciclos de enfriado y calentamiento que desestabilizan a estos compuestos químicos ocasionando que floculen, coagulen o sedimenten.

La cerveza es pasteurizada con la finalidad de eliminar totalmente las bacterias que pudiesen haber contaminado el producto durante el proceso de elaboración. Concluida la pasteurización, se etiquetan las botellas para de ahí pasar al embalaje y almacenado (Serna, 2009 y Ruiz, 2006).



**Figura 8.** Diagrama del proceso de elaboración de Cerveza. Parte 2.

Fuente: <http://www.glj.com.do/a/d/doc-raices.20.pdf>, Mayo 2010.

#### 4.5 Tipos de Cerveza

Existen varias clases de cervezas con diferentes propiedades fisicoquímicas, color, sabor y apariencia. La tabla 4 resume las principales variedades de cerveza elaboradas mundialmente y algunas de sus características.

**Tabla 4.** Clasificación de las cervezas.

Tipo	Características
<b>Ales</b>	Fermentadas con levadura de superficie
<b>Lager</b>	Fermentadas con levadura de fondo
<b>Pilsner</b>	Fabricadas con malta pálida, sin sabor dulce y saborizada con lúpulo



<b>Oscura</b>	Fabricadas con maltas oscuras con sabor más fuerte que las Pilsner
<b>Ligera</b>	Cervezas con bajo contenido de dextrinas debido al uso de jarabes glucosados o degradadas con amiloglicosidasa. Tienen menor cuerpo que las lager regulares.
<b>Opacas</b>	Cervezas con alta cantidad de sólidos fabricadas regularmente con sorgo o mijo malteado donde no se utiliza lúpulo. Se sirven sin clarificar y en pleno proceso fermentativo.

Fuente: Serna (2009).

#### 4.5.1 Cerveza tipo Ale

Las cervezas elaboradas con levaduras flotantes, es decir, aquellas que flotan en la superficie del mosto en fermentación reciben el nombre de tipo ale. Las cervezas de tipo ale fermentan más rápido a temperaturas entre los 15 y 25 °C. Se pueden servir a los pocos días de finalizar la fermentación. Es costumbre servir las cervezas de tipo ale más calientes entre los 12 y los 18 °C.

Entre las cervezas tipo ale se encuentran:

- ❖ **MILD:** Que significa suave o ligero en inglés, se refiere al carácter suave y poco amargo que tienen estas cervezas en contraposición al término “bitter”, amargo en inglés, que engloba a un grupo de cervezas más amargas.

Este tipo de cervezas se sirven casi exclusivamente de barril y es difícil encontrarlas embotelladas. Fue un estilo muy popular en Gran Bretaña. Hace 50 años, casi tres cuartas partes de la cerveza elaborada era de este estilo. A partir de él surgieron las populares versiones embotelladas del estilo, conocidas hoy en Gran Bretaña como brown ale. Son cervezas ligeras de cuerpo, suaves y un poco menos secas que las



bitter. La mayoría son un poco oscuras y con un contenido alcohólico moderado, entre 3 y 4%.

- ❖ **BITTER:** El nombre bitter, amargo en inglés, se utiliza en oposición a las cervezas “mild”, siendo más amargas que éstas por las propiedades amargas del lúpulo. Su carácter es muy parecido al de las pale ale, confundiendo a veces los dos términos, aunque normalmente las pale ale son embotelladas y las bitter son de barril.

En general tienen un color más pálido que las mild y su contenido alcohólico es moderado, de 3.5 a 4% de alcohol, siendo sus características más definidas su amargor y su carácter seco. Cada productor puede tener varios tipos de cerveza dentro de su gama de bitters, a la de menor densidad se le llamará “ordinary” o “basic”, a las siguientes, “special” o “best bitter” y a la de mayor densidad “extra special” (Delos, 2008; [www.cervezasmundo.com](http://www.cervezasmundo.com), Diciembre 2010).

- ❖ **PALE ALE:** En el Reino Unido, hasta antes de la Revolución Industrial, la mayoría de las cervezas eran oscuras. Cuando se introdujo un estilo de cerveza más pálido, se le llamó pale ale. Normalmente no son nada pálidas sino que tienen un color ámbar o bronce. El término se utilizó originariamente como oposición a las Porter que eran marrón oscuro y negras muy populares en esa época.

Tradicionalmente, el término “pale ale” se aplica a las cervezas de las características de las “bitter” cuando están embotelladas, aunque normalmente tienen mayor calidad, son menos amargas y un poco más densas. Su contenido alcohólico oscila entre un 4 y un 5%.



Existe un tipo especial de “pale ale” llamado “Indian Pale Ale (IPA)”. Su nombre viene de la cerveza que se enviaba en el pasado a los países del Imperio Británico, sobre todo a la India. Para que fermentara despacio durante el viaje se preparaban con más densidad; además para protegerla de posibles infecciones también tenía mucho lúpulo. Cuando llegaba a su destino, tenía un sabor especialmente fino y delicado, por lo que la fama de las IPA se extendió. Hoy se utiliza el término IPA para las pale ale más fuertes, con más carácter de lúpulo y de color pálido.

- ❖ **BROWN ALE:** Es una especialidad de los condados de Yorkshire y Durham en el nordeste de Inglaterra. El nombre viene de su color, ya que en inglés brown significa color castaño o marrón. En general son fuertes, con buen sabor a malta y con un color tostado que va de un ámbar suave a castaño fuerte; son afrutadas y secas. En otras partes de Inglaterra también se producen brown ales, pero suelen ser más oscuras, dulces y con menor contenido alcohólico. A veces se les llama mild si son de barril ([www.cervezasdelmundo.com](http://www.cervezasdelmundo.com) , Diciembre 2010).
- ❖ **OLD ALE:** El grupo de las old ale incluye una serie de cervezas con distintas características. Todas suelen tener un color oscuro, mucho cuerpo y a veces son un poco dulces. Algunas tienen un gran contenido alcohólico, pero la mayoría oscilan entre un 5.5 y 8.5%. El termino old, viejo o antiguo en inglés, se refiere al método antiguo de hacer cerveza, no a su edad, aunque muchas de ellas se envejecen en barricas, en tanques de envejecimiento o en la propia botella antes de salir al mercado.
- ❖ **BARLEY WINE:** Normalmente es la denominación que utilizan los productores en el Reino Unido para describir a la cerveza más fuerte de su gama. Suelen



tener un contenido alcohólico de 6 a 12 % y habitualmente son oscuras y con mucho cuerpo.

- ❖ **SCOTCH ALE:** Las ale escocesas son normalmente ales fuertes, parecidas a las inglesas pero hechas con maltas escocesas. Suelen tener un color tostado o marrón oscuro. Menos amargas que las inglesas, tienen más cuerpo y son más dulces. En Escocia las distintas cervezas de un productor pueden identificarse en orden ascendente de densidad y fuerza como “Light”, “Heavy” , “Export” , y “Strong” ([www.cervezasdelmundo.com](http://www.cervezasdelmundo.com) , Diciembre 2010).
  
- ❖ **ALE IRLANDESA:** Se caracterizan por su color rojizo, que es una tradición irlandesa, su afrutamiento y un definido carácter de malta. En este país apenas quedan productores de ale ya que las cervezas que más se beben son las oscuras porter y stout.
  
- ❖ **ALE BELGAS:** En Bélgica se producen en las zonas de Amberes, Brabante y Valonia y son cervezas de color ámbar rojizo o cobre, de una densidad media, contenido alcohólico alrededor del 5%, suaves y afrutadas.
  
- ❖ **ALE TOSTADA:** Su nombre deriva de su color tostado y de la mezcla de cervezas jóvenes y viejas que tradicionalmente se utilizan para su elaboración. Además, algunas de ellas mejoran después de un “envejecimiento” de uno o dos años desde que salen a la venta. Suelen tener de un 5 a un 6 % de alcohol, son de color marrón tostado y con un sabor intenso y agrídulce (Delos, 2008).
  
- ❖ **ALE ROJA:** Este estilo se elabora casi exclusivamente en el oeste de la región de Flandes, en Bélgica. Su color rojizo se debe al tipo de malta utilizado en su elaboración. Son cervezas relativamente ligeras de cuerpo y muy ácidas, lo que



las hace ser muy refrescantes. Maduran posteriormente en grandes cubas de madera durante más de año y medio.

- ❖ **ALE DORADA FUERTE:** Cuando en los años 50 y 60 se popularizaron en Bélgica las cervezas doradas tipo Pilsen, algunos productores empezaron a experimentar en la dirección del color dorado de éstas. A finales de la década de los años 60, un productor belga que en esa época hacía una cerveza ale, oscura y muy fuerte, decidió cambiarle el color y presentarla con un color dorado claro. El resultado fue una cerveza de fermentación alta, con gran contenido alcohólico y de color dorado. Suelen tener más de 8 % de alcohol, son afrutadas, con mucha espuma y secas (Delos, 2008; [www.cervezasdelmundo.com](http://www.cervezasdelmundo.com) , Diciembre 2010).
  
- ❖ **TRAPENSE:** En Europa siempre ha existido una relación entre la iglesia católica y la elaboración de bebidas alcohólicas. Sin embargo, con el paso del tiempo la mayoría de estas actividades han desaparecido excepto en Bélgica y Holanda donde todavía sobreviven seis abadías trapenses que operan como elaboradores de cerveza con fines comerciales. El término trapense se utiliza sólo para describir las cervezas hechas en uno de los seis monasterios trapenses que aún producen cerveza. Cinco de ellos están en Bélgica y uno en Holanda, donde entre todos producen unas 20 cervezas distintas bajo la supervisión directa y el trabajo de los propios monjes (Delos, 2008).

Aunque cada cerveza trapense tiene sus propias características, casi todas comparten una serie de rasgos comunes. Son de fermentación alta, con una segunda fermentación en botella, relativamente fuertes, entre 5 y 11% de alcohol y son afrutadas. En cuanto a las diferencias, hay algunas secas, pero la mayoría son dulces; unas son doradas y pálidas y otras oscuras. Algunas de ella se subtitulan con los términos “dubbel” o





“tripel”. En la mayoría de los casos, sobre todo en Bélgica, las llamadas “dubbel” representan una cerveza trapense o de abadía oscura y dulce de unos 6 ó 7 grados, mientras que una “trippel” representa a una más pálida y seca de unos 8 ó 9 grados (Delos,2008; Madrid, 1994 y [www.cervezasdelmundo.com](http://www.cervezasdelmundo.com) , Diciembre 2010).

- ❖ **DE ABADÍA:** Ya que sólo las cervezas elaboradas en los monasterios trapenses pueden denominarse “trapenses”, se aplica el término “de abadía”, a todo un grupo de cervezas inspiradas en su elaboración en las trapenses. En algunos casos estas cervezas se hacen en monasterios o abadías que en el pasado elaboraban cerveza y que ahora encargan a algún productor no vinculado a la iglesia que se la produzca.
- ❖ **ALTBIER:** La palabra alemana “alt” significa viejo y se refiere al estilo viejo o antiguo de fermentación alta. Estas cervezas fermentan en caliente, como las ale, aunque luego tienen un periodo de maduración en frío de varias semanas, como las lager. Para la elaboración de estas cervezas a veces se utiliza una pequeña parte de trigo malteado. Se caracterizan por su color ámbar oscuro o bronce, debido al tipo de malta empleado. Son suaves, con un contenido alcohólico entre 4.5 y 5% y tienen un acabado muy limpio (Delos, 2008; Madrid, 1994).
- ❖ **BIÈRE DE GARDE:** Se elaboran en el noroeste de Francia, en los alrededores de la ciudad de Lille, en pequeñas casas cerveceras de forma artesanal y se ofrecen en botellas de champagne, con el mismo tipo de corcho. Estas cervezas se pueden “envejecer” hasta un año, mejorando durante éste tiempo. Son cervezas relativamente fuertes, tienen entre 6 y 8% de alcohol, pueden tener un color pálido (blonde), dorado-ámbar (ambrée) o castaño oscuro (brune), son afrutadas y con un buen sabor a malta.



- ❖ **SAISON:** Cerveza de la Bélgica francófona. Refrescante y de alta fermentación, envasada generalmente en botella. Tiene entre un 5,5 y un 8% de alcohol.
  
- ❖ **PORTER:** En Gran Bretaña la porter es una cerveza de fermentación alta, oscura y con un sabor muy intenso. Su color, casi negro, se consigue utilizando malta muy tostada. Son secas y con un contenido alcohólico entre 4.5 y 5.5% (Madrid, 1994).
  
- ❖ **STOUT SECA:** Originalmente el término stout describía el cuerpo de éstas cervezas. Hoy en día sus características más destacadas son su color casi negro, su sabor tostado y su textura cremosa. Es un estilo tradicional de las ciudades irlandesas de Dublín y Cork, donde es costumbre tomarla con ostras, siendo la marca Guinness la que ha dado fama mundial al estilo.
  
- ❖ **STOUT DULCE:** Es una variante inglesa de las stout y normalmente tiene menos alcohol y densidad que las secas irlandesas. Son un poco dulces, suelen tener de 3 a 3.5% de alcohol y un color ámbar oscuro. A muchas de ellas se le añade lactosa por lo que eran conocidas como milk stout, stout de leche en español. Tienen fama de ser reparadoras y nutritivas por lo que a veces se añade harina de avena (oatmeal) denominándose entonces oatmeal stout ([www.cervezasdelmundo.com](http://www.cervezasdelmundo.com) , Diciembre 2010).
  
- ❖ **IMPERIAL STOUT :** En la corte imperial de los zares rusos, las porter y stout más fuertes hechas en Gran Bretaña para exportar, eran una bebida muy popular. Estas cervezas se hacían más fuertes que las porter normales, para que resistieran el viaje, eran muy oscuras y con mucho cuerpo. Han sobrevivido algunos ejemplos en Gran Bretaña, los países bálticos y Escandinavia.



- ❖ **WEISSE/WEISSBIER:** Cerveza de color pálido fabricada con trigo. De fermentación alta y un contenido de alcohol del 5% y una alta proporción de trigo (en torno al 50%). En algunos casos se acompaña del prefijo "Helfe" cuando la cerveza contiene levaduras sedimentadas.
  
- ❖ **BERLINER WEISSE - BLANCAS DE BERLÍN:** Proceden de la ciudad de Berlín, en Alemania. Para su elaboración se utiliza entre un 25 y 50% de trigo, siendo el resto cebada. En esta zona es tradicional maltear los dos cereales. Son cervezas consideradas como las más refrescantes de toda la gama de las de trigo. Además, son muy pálidas, ligeras y con un contenido alcohólico bajo, alrededor del 3%, por lo que son ideales para calmar la sed (Madrid, 1994; Varman y col, 1997 y [www.cervezasdelmundo.com](http://www.cervezasdelmundo.com) , Diciembre 2010).

#### 4.5.2 Cervezas tipo Lager

Las cervezas que se elaboran con levaduras que fermentan en el fondo de la cuba reciben el nombre de tipo lager. Las cervezas de tipo lager fermentan más lentamente entre los 5 y 9 °C. Las cervezas de tipo lager deben almacenarse a 0 °C durante periodos que oscilan entre tres semanas y tres meses y deben su nombre a este proceso: Lager significa “almacén” en alemán, y Lagerbier significaba originalmente cerveza para almacenar. Es costumbre servir las cervezas de tipo lager más frías que las de tipo ale, entre los 7 y los 10 °C (Varman y col, 1997).

Dentro de las cervezas tipo lager se encuentran:

- ❖ **Pilsen:** Es el estilo más utilizado para fabricar cerveza en todo el mundo. A veces se conocen como pilsener o pils y el nombre viene de la ciudad de Plzen, en Bohemia, hoy en la República Checa, pero que se llamaba Pilsen cuando



formaba parte de la zona germano hablante del Imperio Austrohúngaro en 1842. En esta ciudad se elaboró por primera vez un tipo de cerveza dorada y transparente, utilizando el método de fermentación baja, en contraste con las cervezas oscuras o turbias conocidas hasta esa fecha. La fábrica originaria de éste tipo de cerveza todavía funciona en lo que hoy es la República Checa y según las normas del país, el término pilsen se ha convertido en una denominación de origen por lo que sólo las cervezas elaboradas en esa ciudad pueden llamarse así; el resto de las cervezas checas, aunque sean del mismo estilo, no pueden utilizar el nombre y se les suele denominar simplemente lager.

Las auténticas pilsen son de color pálido, con un contenido alcohólico moderado, entre 4.5 y 5.5%, son secas, con un buen carácter de malta y un aroma de lúpulo muy característicos. Las clásicas pilsen están hechas sólo de cebada malteada, lúpulo, levadura y agua, y tienen un periodo de maduración mínimo de uno o dos meses. Es el estilo de cerveza más imitado en el mundo, hasta el punto de que muchas veces se denomina Pilsen a cualquier cerveza dorada y transparente, aunque no reúna las características de las auténticas pilsen (Delos, 2008).

- ❖ **Münchner Hell - lager pálidas de Baviera:** Cervezas pálidas, parecidas a las Pilsen pero un poco menos secas, con más cuerpo y menos lupulizadas. Aunque son ligeramente más oscuras, tienen el mismo contenido alcohólico, de 4.5 a 5%. Son la versión pálida (helles) de las de estilo oscuro (dunkel), conocido como estilo Munich. Es un estilo muy común en Munich y sur de Alemania y se sirve en las cervecerías cuando se pide simplemente una cerveza. En Munich y sur de Baviera se conocen con el nombre de helles o münchen hell, que significa pálida.



- ❖ **Münchner Dunkel - lager oscuras - estilo Munich:** En alemán se les conoce como dunkel o dunkles que significa oscura. Es una especialidad tradicional de Munich y de algunas partes de Franconia por lo que a veces se les conoce como estilo Munich (Münchner). Suelen tener más carácter de malta que las pálidas y existían antes que éstas. Su color varía entre el rojo amarronado y el negro carbón y suelen tener un poco más de alcohol que las pálidas, de 5 a 5.5%. En el resto del mundo, es el estilo que normalmente se sirve cuando se quiere una lager oscura (Madrid, 1994).
  
- ❖ **Märzen/Oktobertfest - estilo Viena:** Este estilo fue elaborado por primera vez en la ciudad de Viena por Anton Dreher en 1841, cuando introdujo el método de fermentación baja en su fábrica de cerveza, aunque posteriormente se desarrollaría en Munich. Hoy en día ya no se produce en Viena y sí en Munich donde viene elaborándose tradicionalmente desde finales del siglo pasado para celebrar la Fiesta de la Cerveza de Octubre. El término Märzen-Oktobertfest suele utilizarse sólo en Alemania. En otros países, se conocen como cervezas estilo Viena o simplemente amber (por su color). Son cervezas lager de color bronce o cobrizo, con mucho cuerpo y más alcohol que las lager doradas, pero menos que las bock , tienen entre un 5 y un 6% de alcohol.
  
- ❖ **Dortmunder export:** Fue uno de los cuatro grandes estilos de hacer cerveza que se desarrollaron en el siglo XIX y que tomaron el nombre de su ciudad de origen, Dortmund, Pilsen, Munich y Viena . El dortmunder viene de la ciudad de Dortmund, en el noroeste de Alemania. Las cervezas de este estilo son de color dorado pálido, semisecas, con más cuerpo que las pilsen, pero un poco menos amargas (Madrid, 1994 y [www.cervezasdelmundo.com](http://www.cervezasdelmundo.com) , Diciembre 2010).



- ❖ **Bock , Doppelbock , Weizenbock , Maibock , Eisbock:** El nombre de estas cervezas fuertes deriva de la ciudad de Einbeck en el norte de Alemania, de donde es originaria esta cerveza. La bock es una clásica cerveza lager fuerte hecha por fermentación baja, según la tradición alemana. Puede ser oscura o clara, pero siempre tiene mucho cuerpo y alta graduación alcohólica, entre 4.5 y 6.5%. Aunque la mayoría de las bock están hechas de cebada no son raras las bock que también utilizan una parte de trigo; en este caso se les conoce como weizenbock o bock de trigo (Madrid, 1997).

Otra especialidad dentro de esta categoría la forman las Maibock, que suelen tener un color dorado, son fuertes y con mucho cuerpo. Es una cerveza lo suficientemente fuerte para ayudar a soportar el frío de los últimos días de invierno, pero lo suficientemente afrutada como para anticipar el verano.

Otra estilo tradicional, dentro de la categoría, lo constituyen las Doppelbock, que son cervezas todavía más fuertes que las bock, con más de 6.5% de alcohol. Normalmente son las más fuertes que cada productor elabora y suelen llamarse con un nombre que termina con el sufijo “ator”, siguiendo a la primera que se hizo en este estilo, la Salvator.

Finalmente otra variante de bock es la llamada eisbock (eis=hielo). Son doppelbocks muy fuertes que se elaboran congelando la cerveza y quitando parte del hielo que se forma, el resultado es una concentración de la cerveza, que la hace mucho más fuerte y adulzada, pudiendo tener más de un 10% de alcohol ([www.cervezasmundo.com](http://www.cervezasmundo.com) , Diciembre 2010).

#### 4.6 Industria cervecera



En las últimas décadas los canales de distribución en México han sido controlados por las empresas productoras Grupo Modelo y FEMSA.

Grupo modelo está integrado verticalmente, en negocios estratégicos, ya que cuenta con una gran cantidad de los insumos necesarios para la elaboración de la cerveza, que son producidos por empresas subsidiarias y/o asociadas en las que tiene participación minoritaria, como las empresas malteras y las fabricantes de plastitapa, envase de vidrio, cartón y bote.

Adicionalmente, cuenta con empresas que fabrican maquinaria. Lo anterior permite al Grupo tener un buen control, tanto del abastecimiento y calidad de materiales, como en el proceso productivo y entrega del producto terminado (Mejía y col, 2005).

**Tabla 5.** Participación del grupo modelo en el mercado interno.

AÑO	PORCENTAJE DEL MERCADO
1977	38.2
1985	44.9
1990	50.2
1993	52.2
2000	55.4
2001	56.4
2002	56.9
2003	63.1

FUENTE: <http://www.gmodelo.com.mx>, Noviembre 2010.

Aun cuando los productos de ambas empresas son bien aceptados por el público consumidor, el Grupo Modelo ha detentado el liderazgo en el mercado doméstico desde 1950. En la tabla 4 se observa que su participación en el mercado pasó de 38.2% en 1977 a 63.1% en 2003, lo que evidencia un crecimiento sostenido y un bien establecido liderazgo (Fabre y col., 2002; Mejía y col., 2005).



FEMSA por su parte, es una empresa integrada verticalmente por cuatro divisiones (cerveza, refrescos, empaques y tiendas de conveniencia). FEMSA tiene canales de distribución similares a los de Grupo Modelo, a través de los cuales distribuye a todo el territorio mexicano. Cuenta además con un importante canal de distribución; a través de las tiendas “Oxxo”, propiedad de Fomento Económico Mexicano. Esta cadena de tiendas de conveniencia es la más grande del país,

También Femsac-Cerveza y John Labatt de Canadá concretaron una asociación estratégica en 1994, mediante la cual la empresa canadiense adquirió el 22 % del capital de la empresa; con esta asociación Femsac tiene el derecho a distribuir la marca “Heineken” en el territorio mexicano.

Según la Encuesta Nacional de Adicciones en la actualidad la cerveza es la bebida industrial que más se consume en México (76% del consumo per cápita de alcohol puro) con un consumo per cápita anual de 53 litros, según estudios de FEMSA cerveza (Fabre y col., 2002).

Datos de la industria señalan que en el país existen cerca de un millón de puntos de venta de cerveza: comercio tradicional, tiendas de conveniencia, tiendas de vinos y licores, supermercados, restaurantes, hoteles, bares, centros de espectáculos y mayoristas (para llegar a poblaciones lejanas), entre otros. Según datos de la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares, del INEGI, en México la población total destina el 2.5% de su ingresos para el consumo de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, sin embargo, los habitantes con menores ingresos destinan entre el 3.2% y 3.5% de sus recursos, porcentaje que contrasta con el 1.4% que desembolsa la población con mayores ingresos (Sánchez y col., 2003).

#### **4.6.1 Localización**





Desde su inicio las plantas de la industria cervecera tendieron a establecerse en lugares clave del territorio nacional debido esencialmente a la naturaleza del producto. Dado que la cerveza es un producto frágil y de transportación difícil, las plantas se instalaron en primera instancia donde existían medios de transporte adecuados para trasladar los productos a su mercado local y las materias primas desde su lugar de origen.

A inicios del Siglo XX, las tres primeras empresas cerveceras se encontraban ubicadas estratégicamente en el territorio nacional. Existía un triángulo locacional cuyos vértices eran los siguientes: al norte, la empresa de Monterrey; al Centro, la Compañía Cervecera de Toluca y México, y al Sur, la planta de Orizaba.

Actualmente las plantas de la Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma están localizadas en los siguientes lugares: Tecate, Baja California; Navojoa, Sonora; Monterrey, Nuevo León; Guadalajara, Jalisco; Toluca, Estado de México, y Orizaba, Veracruz. A su vez, las plantas del Grupo Modelo están ubicadas en: Ciudad Obregón, Sonora; Mazatlán, Sinaloa; Torreón, Coahuila; Calera, Zacatecas; Guadalajara, Jalisco; Tuxtepec, Oaxaca; Mérida, Yucatán y en el Distrito Federal (Mejía y col., 2005).



O  
B  
J  
E  
T  
I  
V  
O  
S



### III. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Evaluar la posibilidad de elaborar una cerveza artesanal a partir de malta chocolate obtenida de cebada forrajera por medio de diversos métodos estandarizados.

#### 3.2 Objetivos específicos

1.- Determinar la idoneidad de la variedad de cebada “Gabyota” para ser empleada en la obtención de malta por medio de un análisis físico, proximal y de calidad maltera.

2.- Elaborar y evaluar la calidad de las maltas chocolate y clara obtenidas por medio de métodos estandarizados establecidos por la EBC (European Brewing Convention), para establecer su influencia en la elaboración de cerveza.

3.- Elaborar y evaluar la calidad del mosto elaborado con malta chocolate, malta clara y tres combinaciones de ambas maltas, por medio de métodos estandarizados establecidos por la EBC, para determinar su posible uso en la elaboración de cerveza.

4.- Determinar el tiempo en el que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* llega a su fase exponencial a través de una cinética de crecimiento, con la finalidad de optimizar la fermentación.

5.- Determinar las características de las cervezas elaboradas, por medio de distintos análisis (azúcares reductores, porcentaje de etanol, pH y color), con el fin de identificar el tipo de cerveza obtenida.



M  
A  
T  
E  
R  
I  
A  
L  
S  
  
M  
E  
T  
H  
O  
D  
S  
  
Y



## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Materia prima

Para fines de este proyecto se empleo cebada de la variedad Gabyota 2007, originaria del municipio de Emiliano Zapata, Hidalgo, misma que se sometió a un proceso de malteado con la finalidad de obtener malta clara y chocolate. La levadura utilizada fue *Saccharomyces cerevisiae* (Nottingham®) y el lúpulo empleado pertenece a la variedad Rohhopfen Hops Hallertau Hersbruaker.

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Muestreo

Para realizar el análisis se llevó a cabo un muestreo aleatorio en el costal de cebada de 50 Kg. La muestra fue tomada de manera manual en tres puntos del saco (fondo, medio y alto), obteniendo 100 g de cada punto hasta obtener una muestra representativa de 1 Kg. Cantidad con la que se trabajó para llevar a cabo el análisis de calidad de la cebada.

Para realizar el análisis proximal y la elaboración de malta, el tamaño de muestra se determinó con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{[N^2 * e^2 + Z^2 * p * q]}$$

Donde:



$n$  = tamaño de muestra (g)

$N$  = tamaño de la población (g)

\* $p$  = 0.95

\* $q$  = 0.05

$Z$  = 1.960 valor estadístico para un 95% de confiabilidad

$e$  = 0.05 como nivel de error de estimación

\*Factores de probabilidad de la muestra representativa (Münch, 1997).

Con una población conocida de 50 Kg, el tamaño de muestra ( $n$ ) fue de 381 g para la variedad utilizada. Cabe mencionar que todas las determinaciones de este proyecto fueron realizadas al menos por triplicado.

#### **4.2.2 Análisis de calidad maltera de cebada**

##### **4.2.2.1 Análisis Físico**

Para determinar la calidad de los granos, se llevó a cabo una evaluación física en base a la NMX-FF-O43-SCFI-2003. El análisis de cebada maltera incluyó el análisis sensorial, de temperatura, impurezas, densidad, peso de mil granos, índice de flotación, dureza por abrasión y análisis selectivo.

##### **4.2.2.2 Análisis proximal**

El análisis proximal de todas las muestras se realizó en base a los métodos establecidos por la Association of Oficial Analytical Chemists (AOAC, 1999) y por la European Brewery Convention (EBC, 2003).

Humedad en base al método (925.10; AOAC), cenizas (923.03; AOAC), grasas (920.39; AOAC), fibra dietética total (962.09; AOAC) y proteínas por el método Kjeldahl (3.3.1 y



4.3.1 de la EBC). Finalmente, el contenido de hidratos de carbono se obtuvo por diferencia de porcentajes de todos los constituyentes con respecto al 100%.

#### **4.2.2.3 Determinación de viabilidad**

Esta prueba se realizó de acuerdo al apartado 6.11 de la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, método con peróxido de hidrógeno.

#### **4.2.2.4 Tamaño de raicillas**

Este análisis se llevó a cabo en base al método establecido por la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, en el apartado 6.11.

### **4.3 Obtención de malta clara y malta chocolate**

Una vez que se determinó la calidad maltera de la cebada, el grano se sometió a un proceso de malteado.

#### **4.3.1 Limpieza**

La cebada se lavó dentro de un recipiente con agua limpia con la finalidad de eliminar la tierra y pajas que contenía, de esta manera se aseguró que el proceso se llevara a cabo bajo condiciones higiénicas.

#### **4.3.2 Remojo**

Una vez limpia, la cebada se introdujo dentro de un germinador automático (figura 9) durante 24 h, manteniendo una temperatura entre 19 y 20°C. El germinador consta de un cilindro que gira cada determinado tiempo (en este caso fue cada 15 minutos) y está dentro de un recipiente cúbico que contiene el agua. De esta manera cada que gira el



cilindro permite que el grano se remoje y cuando se detiene ayuda a que el grano se oxigene para favorecer el aumento de humedad.



**Figura 9.** Etapa de remojo.

#### **4.3.3 Germinación**

Una vez que transcurrido el tiempo de remojo, se eliminó el agua del germinador y comenzó el periodo de germinación (figura 10), dejando la cebada 48 h con movimiento continuo (cada 15 minutos) para evitar el entrecruzamiento de las radículas del grano y permitir la oxigenación del grano.



**Figura 10.** Etapa de germinación

Durante este periodo la temperatura dentro del germinador se mantuvo alrededor de los 20°C agregando un poco de hielo en la base del germinador, ya que durante este proceso debido al metabolismo del grano comienza a generar calor.





#### 4.3.4 Secado

La cebada germinada se secó dentro de una estufa de secado con recirculación de aire (FISSHER SCIENTIFIC®), a una temperatura de 45 °C durante 48 h (figura 11). A la malta obtenida bajo estas condiciones se le denomina “Malta clara”.



Figura 11. Etapa de secado.

#### 4.3.5 Tostado

La malta chocolate, al ser una malta especial, requiere de condiciones de tostado muy particulares y diferentes al resto de las maltas conocidas, por tal motivo, para obtener la malta chocolate se sometió a un proceso de tostado (figura 12) a una temperatura de 230°C durante 2 h dentro de una estufa de secado con recirculación de aire (FISSHER SCIENTIFIC®).



Figura 12. Etapa de tostado.



#### 4.4 Análisis de la calidad de malta

Una vez obtenidas las maltas se evaluó su calidad maltera, por consiguiente se determinó el contenido de  $\beta$ - glucanos (3.10.1 y 4.16.1; EBC, 2003), poder diastásico (4.12; EBC, 2003), nitrógeno y proteínas (3.3.1 y 4.3.1; EBC, 2003), azúcares reductores (Miller, 1959), azúcares totales (Dubois y col., 1956) y extracto de malta (4.5.1; EBC, 2003).

Cabe mencionar que para determinar si existía una combinación de malta clara con malta chocolate, que tuviera mejores características y que por consiguiente optimizara la elaboración de cerveza, se realizaron varias combinaciones de ambas maltas (ver tabla 6), mismas que fueron sometidas a todos los análisis para determinar su idoneidad.

**Tabla 6.** Proporciones para las diferentes maltas.

Combinación	Código	Proporción de malta clara (g)	Proporción de malta chocolate (g)
Malta clara	MCl	100	----
Malta chocolate	MCh	----	100
Malta 80:20 (Cl:Ch)	MM1	80	20
Malta 50:50 (Cl: Ch)	MM2	50	50
Malta 20:80 (Cl:Ch)	MM3	20	80

##### 4.4.1 Determinación de azúcares totales

Este análisis se llevo a cabo de acuerdo al método de Fenol- Sulfúrico (Dubois, 1956). Por separado se elaboró una curva patrón en una concentración de 0 a 0.1 mg/ml.



#### **4.4.2 Determinación de azúcares reductores**

Este análisis se llevó a cabo de acuerdo al método del DNS (Miller, 1959). Por separado se elaboró una curva patrón en una concentración de 0 a 0.1 mg/ml.

#### **4.4.3 Nitrógeno y proteína**

Para esta determinación se siguieron los métodos 3.3.1 y 4.3.1 establecidos por la EBC, 2003.

#### **4.4.4 Extracto de malta**

Este análisis se llevó a cabo en base al método 4.5.1 de la EBC, 2003.

#### **4.4.5 $\beta$ -glucanos**

La determinación de  $\beta$ -glucanos se llevó a cabo mediante un método enzimático propuesto por la EBC (2003) y basado en los métodos 3.10.1 y 4.16.1, que consiste en someter a las muestras a un ataque enzimático en donde los  $\beta$ -glucanos producidos en la malta son hidrolizados con endo-(1-3) (1-4)- $\beta$ -d-glucanasa hasta convertirlos en tri y tetrasacáridos. Los oligosacáridos formados se transforman hasta glucosa gracias a la acción de  $\beta$ -glucosidasa. Finalmente la glucosa es tratada con un complejo glucosa oxidasa/peroxidasa; la cual descompone los azúcares sencillos a compuestos coloridos como el gluconato.

De manera breve a continuación se describe la forma en que se llevó a cabo el método:

- 1.- La malta se molió y se pasó por un tamiz con un tamaño de malla de 0.5 mm, posteriormente se pesaron 120 mg.
- 2.- Las muestras se colocaron dentro de tubos para centrífuga con capacidad de 12 mL, y se humedecieron con 0.2 ml de etanol al 50%.



3.- Se añadió 4 mL de amortiguador NaPO<sub>4</sub> (20 mM, pH 6.5) e inmediatamente se puso en agua a 100°C durante 60 segundos.

4.- Se agitaron en vortex para permitir su correcta homogeneización y se incubaron durante 2 min., en agua a 50°C (permitiendo que los tubos se atemperaran un poco antes de meterlos al baño de agua).

5.- Transcurrido este tiempo se sacaron del baño de agua y se les añadió 0.2 ml de liquenasa agitando vigorosamente, para posteriormente incubarlos durante 1 h a 50°C (agitando cada 15 minutos, para permitir su homogeneización).

6.- Pasado este tiempo, se añadió 5 mL de amortiguador acetato de sodio (200 mM, pH 4) y se agitó en vortex.

7.- Se dejó reposar las muestras durante 5 min., y posteriormente se centrifugaron durante 10 min., a 1000 rpm.

8.- Del sobrenadante de cada muestra se tomaron 3 alícuotas de 0.1 mL cada una y se colocaron por separado en 3 tubos de 12 mL, haciendo tres replicas.

9.- Posteriormente al tubo 1 (blanco) se añadieron 0.1 ml de amortiguador acetato de sodio (50 mM, pH 4). A los tubos 2 y 3 (muestras) se les añadieron 0.1 ml de β-glucosidasa (previamente preparada con amortiguador acetato de sodio 50 mM, pH 4).

10.- Los tubos se cerraron y se incubaron durante 10 minutos a 50°C. Transcurrido este tiempo se les agregó 3 ml del reactivo GOPOD (Glucose Oxidase/peroxidase reagent) a cada tubo.

11.- Todos los tubos se incubaron a 50°C durante 20 minutos.

12.- Finalmente se retiraron los tubos y se leyó su absorbancia a 510 nm (la lectura se realizó en un lapso no mayor de 1 h).

Los resultados se obtuvieron en base a los siguientes cálculos:

$$\text{B-glucanos (\% m/m)} = \Delta A \times F/W \times 27$$

**Donde:**

**ΔA**=absorbancia de la muestra – absorbancia del blanco

**F**=factor de conversión para los valores obtenidos en la solución estándar D-glucosa.



= 100 ( $\mu\text{g}$  de D-glucosa)/ absorbancia de 100  $\mu\text{g}$  de D- glucosa.

**W**= humedad de la muestra analizada

#### 4.4.6 Poder diastásico

Esta determinación se llevó a cabo siguiendo el método 4.12 establecido por la EBC, 2003.

#### 4.5 Obtención de mostos

Antes de elaborar los mostos, ambas maltas fueron trituradas en una licuadora (Osterizer® modelo 4107) durante algunos segundos, con la única finalidad de fragmentar el grano, teniendo sumo cuidado para no convertirlo en harina.

Posteriormente la malta molida se introdujo en un matraz erlenmeyer de 1 L y se mezcló con agua a una temperatura de 62-65°C por espacio de 4 h con agitación (300-400 rpm aproximadamente), a una proporción de 1: 5 (malta: agua) para malta clara y de 1:7 para malta chocolate (figura 13). Dichas condiciones fueron establecidas por Jaén (2010).





**Figura 13.** Elaboración de mostos

Se realizaron 5 mostos a diferentes proporciones (tabla 7), para así poder determinar qué proporción de mosto claro: mosto chocolate favorecía la elaboración de cerveza.

**Tabla 7.** Proporción de mosto claro: mosto chocolate.

Combinación	Código de identificación	Proporción de mosto claro (ml)	Proporción de mosto chocolate (ml)
Mosto clara	MSCI	200	----
Mosto chocolate	MSCh	----	200
Mosto 80:20 (Cl:Ch)	MS1	160	40
Mosto 50:50 (Cl: Ch)	MS2	100	100
Mosto 20:80 (Cl:Ch)	MS3	40	160

#### 4.5.1 Análisis de calidad de los mostos

Con la finalidad de evaluar la calidad del mosto se realizaron una serie de análisis fisicoquímicos de acuerdo a los métodos establecidos por la EBC, 2003; Miller, 1959 y Dubois, 1956. Los parámetros analizados fueron: azúcares reductores (Miller, 1959), azúcares totales (Dubois, 1956),  $\beta$ - glucanos (3.10.1 y 4.16.1, EBC), Nitrógeno y proteína (3.3.1 y 4.3.1, EBC), Fermentabilidad (4.11.1, EBC) y pH (1.5, EBC).

#### 4.6 Activación e Inoculación de la Levadura

Antes de realizar una fermentación, es necesario saber si la levadura se encuentra viable y en qué momento alcanza su fase exponencial para optimizar la etapa fermentativa. De esta manera se asegura que la fermentación se lleve a cabo adecuadamente y por consiguiente se obtenga un buen porcentaje de alcohol.



Como medio de activación se preparó caldo soya tripticaseína, la levadura se inoculo a tres distintas concentraciones (0.2, 0.1 y 0.01 g/100 mL) en tubos con 10 ml de caldo (figura 14) y se incubo a 15 °C durante 24 h.



**Figura 14.** Activación de levadura en caldo soya tripticaseína.

Por otra parte se realizaron tres mostos identificados como MSC1, MSCh y MS1 (ver tabla 7), se tomaron 100 mL de cada mosto, posteriormente se esterilizaron junto con el resto del material a utilizar, a 121°C durante 15 min, en una autoclave (figura 15).



**Figura 15.** Mostos para llevar a cabo la cinética de crecimiento de levadura.



Transcurridas las 24 horas de activación de la levadura en CST, se tomó 1 mL de cultivo y se inoculó en 100 mL de mosto (figura 16), las proporciones de inoculación se muestran en la tabla 8.



**Figura 16.** Esquema de inoculación de levadura a cada mosto.

Al mismo tiempo, también se inoculó 1 mL de levadura (0.2 g/ 100 mL) previamente hidratada en 10 ml de mosto, en 100 mL de cada mosto; esto con la finalidad de evaluar las posibles diferencias existentes en cuanto a la velocidad de crecimiento entre una levadura activada 24 h antes de su inoculación en un medio enriquecido y una levadura que únicamente se hidrata y se inocula directamente en el mosto.

Posteriormente los mostos fueron aireados con oscilación durante 15 minutos bajo la flama de un mechero para evitar contaminación y se mantuvieron en agitación a  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 42 h.

**Tabla 8.** Concentración de levadura inoculada en tres distintos mostos.

Mosto	Clave	Levadura agregada al mosto (g)	Volumen de CST (ml)
MSCI	LSC	0.2	0
	LAC 0.2	0.2	1





	LAC 0.1	0.1	1
	LAC 0.01	0.01	1
<b>MSCh</b>	LSO	0.2	0
	LAO 0.1	0.1	10
	LAO 0.02	0.02	10
<b>MS1</b>	LSM 0.2	0.2	0
<b>Mezcla 80:20 (Clara-chocolate)</b>	LAM 0.2	0.2	10
	LAM 0.1	0.1	10
	LAM 0.02	0.02	10

Una vez inoculados y frente a la llama del mechero, se tomo muestra de cada matraz por triplicado al tiempo cero (momento de la inoculación) y cada dos horas durante 42 h. Se leyó la absorbancia de las muestras a 600 nm y se determino su densidad óptica (D.O.)

Con los datos obtenidos se realizó una cinética de crecimiento de la levadura a fin de determinar su fase exponencial. De esta manera se estableció el tiempo adecuado para inocular la levadura en el mosto e iniciar la fermentación.

#### 4.7 Cocción del mosto

Antes de realizar la fermentación es necesario someter el mosto a un proceso de cocción, tanto para asegurar la disminución de carga microbiana existente en el mismo, como para otorgarle los sabores y aromas propios del lúpulo que darán características gustativas a la cerveza.

Para ello, en un matraz de 1 L se llevaron a ebullición durante 30 minutos las diferentes mezclas de los mostos y se les agregó 1.32 g/L de lúpulo. La mitad al inicio de la cocción



para permitir la liberación de los componentes del lúpulo y la otra mitad 5 min antes de finalizar la cocción; de esta manera se logró acentuar las notas de olor en el mosto.

Posteriormente los mostos fueron enfriados y filtrados para eliminar los restos de lúpulo presentes. Finalmente se esterilizaron en una autoclave para eliminar cualquier microorganismo presente en ellos y así asegurar la inocuidad del producto.

#### **4.8 Fermentación a nivel matraz**

Una vez determinado el tiempo en que la levadura alcanzó la fase exponencial, se procedió a realizar la fermentación de los 5 distintos mostos (MSCI, MSCh, MS1, MS2 Y MS3).

Se inocularon 0.2 g de levadura *S. cerevisiae* por cada 100 mL de mosto en un matraz erlenmeyer de 500 mL estéril. Se dejó que la levadura se adaptara y comenzara su etapa reproductiva hasta alcanzar la fase exponencial (a las 12 h a una temperatura de 20°C), transcurrido este tiempo se tomó el 5% del total del volumen y se inoculó en 250 mL de mosto y se fermentó dentro de una incubadora (AMBI-HI-LO® modelo 3550) durante 5 días a 15°C (figura 17).



Figura 17. Fermentación a nivel matraz.

#### 4.8.1 Maduración y esterilización

Una vez que terminó el proceso fermentativo la muestra se filtró y trasegó en botellas estériles color ámbar y verde (figura 18) con ayuda de un embudo de talle largo y cerca de la flama del mechero para evitar contaminación. Posteriormente las botellas se colocaron en un refrigerador vertical marca Nieto a 5°C durante 15 días. Después de esto, se llevó a cabo la esterilización del producto en una autoclave (121°C durante 15 min).



Figura 18. Cerveza esterilizada.



## 4.9 Determinación de la calidad de la cerveza

### 4.9.1 pH

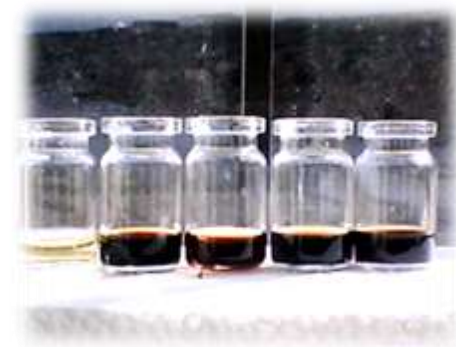
El pH se determinó para cada una de las cervezas elaboradas (Figura 19) de acuerdo al método 1.5 establecido por la EBC, 2003.



**Figura 19.** Muestras de cerveza para la determinación de pH.

### 4.9.2 Color

Una forma de determinar de manera indirecta el color en la cerveza, es medir la absorbancia de esta a 430 nm, esto de acuerdo al método 8.5 establecido por la EBC, 2003 (Figura 20).



**Figura 20.** Muestras de cerveza para la determinación de color.



Los resultados obtenidos por este método deben ser extrapolados a la figura 21.

### Color based on Standard Reference Method (SRM)

SRM/Lovibond	Example	Beer color	EBC
2	Pale lager		4
3	German Pilsener		6
4	Pilsner Urquell		8
6			12
8	Weissbier		16
10	Bass pale ale		20
13			26
17	Dark lager		33
20			39
24			47
29	Porter		57
35	Stout		69
40			79
70	Imperial stout		138

**Figura 21.** Escala de color del método establecido por la EBC (2003).

Fuente: <http://apuntesobrecerveza.blogspot.com/2009/05/color-de-la-cerveza-comprension-del-srm.html> , Noviembre 2010.

La escala de la figura ha sido establecida por la EBC, misma en la que de acuerdo al color puede determinarse de manera aproximada el tipo de cerveza analizada, sin dejar a un lado que para hacer dicha aseveración es necesario tomar en cuenta muchos otros aspectos.

#### 4.9.3 Determinación de etanol

La formación de etanol resulta del consumo de azúcares fermentables por parte de la levadura, por esta razón se decidió hacer una cinética de formación de etanol para observar el incremento en el porcentaje de etanol en función del tiempo.



Para realizar este análisis se empleó el kit de diagnóstico “Enzimatic BioAnalysis for Etanol/ Food Analysis, BOEHRINGER MANNHEIM / R-BIOPHARM, basado principalmente en el método 9.2.2 de la EBC (2003).

#### **4.9.4 Determinación de azúcares reductores (AR)**

Para determinar el consumo de azúcares durante la fermentación se llevó a cabo una cinética de AR en donde se tomó muestra cada 12 h durante los 5 días que duró la etapa fermentativa. Este análisis se hizo de acuerdo al método del DNS (Miller, 1959). Por separado se elaboró una curva patrón en una concentración de 0 a 0.1 mg/mL.



R  
E  
S  
U  
L  
T  
A  
D  
O  
S



## V. RESULTADOS

### 5.1 Análisis de calidad maltera de la cebada

Para determinar si un grano se encuentra sano y es apto para su procesamiento, es necesario llevar a cabo un análisis físico y proximal, de este modo se obtendrá mayor información respecto al grano y se evitarán mermas en el proceso.

#### 5.1.1 Análisis físico

Todo sistema de clasificación de granos se basa en pruebas rápidas y de ejecución sencilla, teniendo en cuenta que el ambiente y manejo durante el almacenamiento de la cebada juega un papel importante en las características físicas del grano. Por consiguiente, los resultados de los ensayos deben relacionarse estrechamente con la calidad y el uso potencial de la cebada (Serna, 2009).

Los resultados obtenidos en el análisis físico de la cebada (tabla 9) indicaron que posee olor y color característicos de la especie así como una temperatura de 19°C con una variación de 1 °C con respecto a la del ambiente, lo que indica que no hubo focos de infección causados por insectos o microorganismos (hongos) o indicios de un proceso germinativo.

**Tabla 9.** Análisis físico de la cebada variedad Gabyota 2007.

Parámetro	Resultado	*Referencia
Color	Característico	Característico





Olor	Característico	Característico
Temperatura	19°C	Variación < a 5°C con respecto a la del ambiente
Peso de 1000 granos	42.8 g	**17 – 57 g
Granos dañados	10.5%	< 10%

\*De acuerdo con la NMX-043-SCFI-2003; \*\* De acuerdo a Serna (2009).

El peso de 1000 granos, de acuerdo a Serna (2009) está relacionado con la densidad del grano y por consiguiente con la textura del endospermo y el contenido de proteína. El peso de 1000 granos de la cebada analizada reportó un de 42.8 g, este peso cumple con el rango mencionado por Serna (2009), esto significa que el grano posee mayor resistencia al ataque de insectos barrenadores ya que al tener mayor densidad existen menos poros en el endospermo y por consiguiente se hace más resistente al ataque de insectos.

Con respecto al porcentaje de granos dañados esta variedad tuvo un 10.5% que sobrepasa en un 0.5% al límite permitido por la NMX-043-SCFI-2003. Esta situación puede deberse a un manejo poco cuidadoso del grano durante su almacenamiento y transporte e inclusive por daños ambientales como las heladas, suelen presentarse granos deshidratados, quemados, germinados y/o barrenados. De acuerdo a Serna (2009) el almacenamiento adecuado de la cebada se traduce en un mayor rendimiento de esta, sin embargo bajo estas condiciones es posible que el grano pueda ser empleado en la elaboración de productos alimenticios posterior a una adecuada limpieza y selección.

Para que la cebada pueda ser empleada en la elaboración de malta, debe tener un porcentaje de viabilidad (germinación) mínimo de 85%. Durante la germinación se lleva a cabo la activación de las enzimas presentes en el grano, las cuales participarán en la degradación del almidón en azúcares más sencillos que posteriormente serán consumidos por la levadura durante la fermentación (NMX-FF-043-SCFI-2003). La



variedad gabyota 2007, tuvo un porcentaje de germinación de 93.3%, un nivel bastante aceptable para una cebada forrajera comparada con una cebada maltera.

### 5.1.2 Análisis proximal

El análisis proximal de un alimento o materia prima es principalmente empleado para obtener información que sirva para describir los componentes químicos mayoritarios que lo componen (Matissek y col, 1998). Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10.** Porcentaje del análisis proximal de la cebada empleada.

Análisis	Resultado	*Referencia
<b>Humedad</b>	9.3 (0.5)	10-14
<b>Proteína</b>	11.8 (0.5)	7.5-15.6
<b>Cenizas</b>	2.7 (0.0)	2.6- 3.1
<b>Grasa</b>	0.9 (0.0)	1.1- 3.1
<b>Fibra</b>	1.7 (0.0)	3-5.9
<b>Hidratos de carbono</b>	75.1	70-85

( )= Desviación estándar. \* De acuerdo a Serna, 2009.

#### 5.1.2.1 Humedad

La humedad es uno de los principales criterios para determinar la calidad del grano en cuestión. Este parámetro da una idea del contenido de materia seca y dicta las condiciones bajo las cuales debe manejarse el grano durante su almacenamiento (Serna, 2009). López y col. (2007) reportan porcentajes de humedad para 7 distintas variedades de cebada que van en un rango de 10.1 a 12.4%, son valores aceptables y como mencionan, un porcentaje adecuado de humedad reduce gastos y retrasa el deterioro del grano. La cebada analizada mostró un 9.3%, este porcentaje está por



debajo del rango permitido que va de 10 hasta 14%, lo que puede indicar que durante su almacenamiento este cereal ha sido sometido a temperaturas poco adecuadas que han ocasionado su deshidratación.

#### **5.1.2.2 Proteína**

Las proteínas presentes en la cebada son responsables de las funciones estructurales, la actividad metabólica y proveen el nitrógeno necesario para el desarrollo embrionario durante la germinación (Newman y Newman, 2008). Una de las principales características que diferencian a las cebadas malteras de las forrajeras es el contenido proteico. Las variedades malteras tienen un contenido proteico menor, lo que se traduce en una mayor cantidad de carbohidratos fermentables en el grano (Serna, 2009). Sin embargo, como mencionan Newman y Newman (2008), el contenido proteico de la cebada suele variar entre una variedad y otra, debido a condiciones climáticas y genéticas, en este caso la cebada analizada presentó un porcentaje de proteína que de acuerdo a la NMX-043 es un porcentaje aceptable, que más adelante favorecerá el proceso de malteado.

#### **5.1.2.3 Cenizas**

Por otra parte el contenido de cenizas hace referencia al contenido de minerales del grano, esto puede verse influenciado por la composición del suelo en el cual fue cultivado el cereal, los fertilizantes utilizados y otros factores ambientales. De acuerdo a Newman y Newman (2008) el contenido típico de cenizas en la cebada va de 2 a 3%, mientras que Serna (2009) reporta porcentajes entre 2.6 y 3.1%, por lo que la cebada analizada se encuentra dentro del rango de referencia. López y col. (2007) para una cebada forrajera reportaron un 2.2% de cenizas y para 6 variedades malteras porcentajes de 2.1 a 2.6 %. A pesar de que todas las variedades poseen un porcentaje de cenizas dentro del rango permitido, las variaciones entre ellas pueden deberse, como



se mencionó anteriormente, a las condiciones ambientales a las que estuvieron expuestas las distintas variedades.

#### **5.1.2.4 Lípidos**

En general los cereales poseen bajas cantidades de compuestos lipídicos, los cuales están presentes principalmente en el germen y la capa de la aleurona conformando cerca del 67% del total de lípidos presentes en el grano (Callejo, 2002; Newman y Newman, 2008). Los lípidos presentes en la cebada pueden estabilizar o desestabilizar la espuma de la cerveza, cuando los lípidos están unidos a las proteínas tienden a estabilizar y mejorar la espuma, pero cuando se encuentran libres pueden disminuir la formación de espuma (Hough, 1990). El contenido lipídico de la cebada analizada fue menor de acuerdo a lo reportado en la bibliografía, esto pudo deberse a que en ocasiones un almacenamiento inadecuado causa que los lípidos sean atacados por lipasas formando así, ácidos grasos libres que disminuyen el contenido lipídico del grano.

#### **5.1.2.5 Fibra**

Generalmente los valores de fibra cruda en los cereales suelen ser bajos, ya que son los residuos obtenidos después de que la muestra se somete a una hidrólisis ácida seguida por una básica, por tanto no cuantifica a la fibra soluble ni a los compuestos proteicos indigeribles (Serna, 2009).

El contenido de fibra que se obtuvo es mucho menor a lo reportado en la bibliografía, sin embargo este carece de influencia en la calidad de la cerveza, ya que se localiza exclusivamente en las cubiertas del grano, actuando principalmente como parte estructural. Sin embargo sirve como medio filtrante tras la obtención del mosto, favoreciendo y agilizando el proceso.



### 5.1.2.6 Carbohidratos

Finalmente los hidratos de carbono constituyen la mayor parte de los cereales entre un 70-85%, donde únicamente el 3 a 5% de estos son estructurales y el resto como material de reserva conformado principalmente por almidón (Serna, 2009). La cebada analizada presentó un porcentaje de carbohidratos acorde a lo reportado en la bibliografía, lo que significa que tras su correcto malteado y macerado, se puede obtener un mosto rico en azúcares fermentables.

## 5.2 Obtención de malta clara y malta chocolate

Durante la etapa de malteado se busca mantener la máxima actividad enzimática posible. Los objetivos de este proceso son propiciar el mayor porcentaje de germinación, optimizar la actividad diastásica y concluir con la menor pérdida de materia seca.

Para llevar a cabo el malteado de la cebada, se comenzó por la limpieza de la misma quitando el polvo, cuerpos extraños y granos partidos. Una vez libre de impurezas, se procedió con el malteado propiamente dicho, cabe mencionar que las condiciones de tiempo y temperatura del remojo, germinación y secado fueron establecidas por Moctezuma (2008) y Reyes (2008).

**Remojo.-** El principal objetivo de esta etapa es aumentar el porcentaje de humedad de la cebada, permitiendo la activación del embrión.





**Figura 22.** Germinador automático

De acuerdo con Newman y Newman (2008) el remojo debe llevarse a cabo a una temperatura de entre 14 – 18 °C, mientras que Serna (2009) menciona que el intervalo de temperatura se encuentra entre los 10 – 20°C, por lo que el remojo realizado en el germinador automático se llevó a cabo durante 24 h a una temperatura de entre 19 y 20°C (Figura 22), tiempo en el cual se aseguró el incremento de humedad de la cebada a un 42% lo que permitió que se iniciara su metabolismo.

**Germinación.-** De acuerdo a Newman y Newman (2008) la germinación se lleva a cabo entre los 16 y 20 °C, incrementar la temperatura a más de 25°C puede causar el crecimiento de raíces y una rápida formación de enzimas, sin embargo, el emplear temperaturas bajas asegura que se tenga una actividad enzimática alta.

Como se reportó en el apartado 5.1.1, la cebada empleada obtuvo un porcentaje de germinación de 93.3%, lo cual indica que las condiciones de tiempo y temperatura para el remojo y germinación fueron adecuados permitiendo así, la transformación adecuada del grano (Figura 23). De acuerdo con Barrera (2010), la variedad Gabyota cultivada en Tecocomulco, Hgo., posee un 95.7% de viabilidad, por lo que se puede decir que las cebadas de este tipo generalmente poseen un alto índice de germinación cuando son comparadas con la variedad Esmeralda (generalmente empleada en las cerveceras) que reporta porcentajes de germinación alrededor de 90-95%.





**Figura 23.** Germinación.

Es importante mencionar que el porcentaje de modificación depende de los siguientes factores: el porcentaje de humedad distribuida en el grano, la cantidad de enzimas hidrolíticas sintetizadas, la liberación de estas enzimas en el endospermo y la conformación de la pared celular del endospermo.

**Secado.-** La etapa de secado tiene como objetivo detener el proceso germinativo para obtener un producto estable con actividad enzimática una vez que sea rehidratado (Serna, 2009).

Serna (2009) menciona que se puede emplear una temperatura de secado entre 50 y 65°C hasta disminuir la humedad a menos del 10%, sin embargo para evitar fluctuaciones en la temperatura se decidió secar a 45°C durante 48 horas, de este modo se disminuyó la humedad del grano a menos de 7% de humedad, obteniéndose así la malta clara (Figura 24).



**Figura 24.** Malta clara

**Tostado.-** Las maltas tostadas son obtenidas tras la exposición de las maltas claras a temperaturas por arriba de los 100°C. Entre mayor es el perfil de temperatura, menor es la actividad enzimática y mayor la generación de compuestos saborizantes.



De acuerdo a Vogel (1999) si el proceso de tostado se prolonga demasiado o la temperatura excede los 250°C, se generan defectos visibles en la malta como una superficie negro brillante y se encuentran granos desintegrados o aglomerados, además de sabores desagradables.

La malta clara posteriormente se sometió a un proceso de tostado, mismo que le otorgó propiedades sensoriales muy marcadas como un olor tostado y color café característico (Figura 25). Sin embargo, las altas temperaturas que se manejaron ocasionaron un descenso importante en el poder enzimático de la malta.



**Figura 25.** Malta chocolate

### **5.3 Análisis de calidad de la malta**

La malta es la materia prima más importante para la elaboración de cerveza. Su alto contenido enzimático, convierte el almidón presente en el grano en azúcares sencillos (glucosa, maltosa, etc.) a partir de los cuales se obtiene etanol, y su contenido de proteína ayuda en el metabolismo de la levadura (Goldammer,2008).

El análisis de la malta proporciona orientación sobre la eficacia del proceso de malteado y la idoneidad de la misma para elaborar una cerveza. Para fines de este proyecto se decidió emplear malta clara, malta chocolate y tres mezclas de ambas maltas en diferentes proporciones, con el objetivo de encontrar la combinación





adecuada para elaborar una cerveza oscura. En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de calidad de las maltas empleadas así como los códigos asignados a cada una de las muestras para una mejor identificación.

**Tabla 11.** Análisis de la calidad de las maltas obtenidas.

Código	Malta	HS	PD	Extracto de malta	Proteína	B- Glucanos
MCl	Clara	6.5 (0.17)	548.4 (0.0)	79.6 (1.88)	10.6 (0.56)	4.8 (0.47)
MCh	Chocolate	0.2 (0.03)	102.8 (0.0)	45.9 (0.10)	8.2 (0.19)	2.7 (0.22)
MM1	Cl: Ch 80:20	5.5 (0.08)	434.3 (0.0)	72.0 (1.0)	9.7 (0.22)	4.5 (0.42)
MM2	Cl:Ch 50:50	4.3 (0.05)	357.5 (0.0)	67.9 (0.43)	9.0 (0.24)	4.1 (0.36)
MM3	Cl:Ch 20:80	2.9 (0.14)	246.8 (0.0)	57.7 (0.16)	8.5 (0.12)	3.5 (0.22)
<b>Referencia</b>		<b>3.5 - 7.3%</b>	<b>200 -600 UWK</b>	<b>&gt; 27%</b>	<b>9 -10.9%</b>	<b>2,2 - 6%</b>

Donde: HS: humedad de secado. UWK: Unidades Windisch-kolbach.  
( ): Desviación estándar

### 5.3.1 Humedad de secado (HS)

La humedad en una malta debe ser disminuida durante el secado hasta un 3-5% esto con la finalidad de detener la germinación, detener la actividad enzimática, evitar la actividad microbiana, además de facilitar su transporte y almacenamiento. Las muestras MCl, MM1 Y MM2 son las que presentaron una humedad de secado dentro del rango establecido ya que poseen una mayor proporción de malta clara, sin embargo las muestras MCh y MM3 (con mayor proporción de malta chocolate) obtuvieron una humedad de secado baja, esto debido a que al ser tostada la malta chocolate es sometida a elevadas temperaturas y por consiguiente su contenido de agua fue



considerablemente disminuido. Aun así un bajo contenido de humedad puede resultar benéfico si se toma en cuenta que de este modo puede evitarse el desarrollo microbiano, cuya presencia ocasionaría mermas en el producto y pérdidas económicas.

### **5.3.2 Poder diastásico (PD)**

Uno de los factores más importantes que determinan la calidad de una malta y por consiguiente la de una bebida, es el nivel de poder diastásico (PD) que presente. Este parámetro es la medida de la actividad de las enzimas de la malta para romper los carbohidratos complejos en azúcares reducidos, principalmente por la acción de la  $\beta$ -amilasa (Yadav y col., 2000). Las  $\alpha$ -amilasas son enzimas que convierten el almidón en dextrinas, reduciendo la viscosidad del macerado, y aumentan la susceptibilidad del almidón a ser atacado por las  $\beta$ -amilasas para producir azúcares fermentables (Aniche y col., 1990). Por lo que un PD bajo ( $< 200$  Unidades Windisch-kolbach; Analytica EBC, 2003) tendrá por tanto, una concentración deficiente de azúcares fermentables y por consiguiente un bajo rendimiento fermentativo (Evans y col., 1996).

Es importante mencionar que la temperatura óptima de acción para la  $\beta$ -amilasa es entre  $62-65^{\circ}\text{C}$  y para la  $\alpha$ -amilasa es de  $72-75^{\circ}\text{C}$ , por lo que de las maltas analizadas, la muestra MCh fue la que obtuvo un nivel de PD por debajo de lo esperado esto debido a que las altas temperaturas de tostado ( $230^{\circ}\text{C}$ ) afectaron considerablemente su poder enzimático.

### **5.3.3 Extracto de malta**

El extracto seco indica la buena capacidad de las maltas para producir mostos ricos en azúcares fermentables, debido a que este parámetro es una medida indirecta de la cantidad de azúcares fermentables presentes en la muestra. Para el extracto seco Rivas y Barriga (2001) señalan como mínimo un 27% de extracto cervecero, mientras que



Vogel (1999) menciona que el extracto seco es propio del tipo de malta del que se trate planteando porcentajes que van desde 63 hasta 85%.

En la tabla 11 se aprecia que todas las maltas analizadas cumplen con este parámetro, sin embargo de todas ellas la MCh es la que menor porcentaje de extracto seco tuvo, comparado con el obtenido en la MCl. En la investigación realizada por Moctezuma (2008), se reporta para una malta clara un 42.55% de extracto seco, por lo que con estos resultados, se confirma lo mencionado por Vogel (1999), Newman y Newman (2008) quienes propiamente mencionan que el extracto seco depende del tipo de malta, de las condiciones bajo las cuales se lleve a cabo el malteado así como la variedad de cebada empleada como materia prima.

#### **5.3.4 Proteína**

El contenido de proteína en la malta debe estar entre 9 y 10.9%. Altas cantidades de proteínas disminuyen el extracto potencial y provocan largos tiempos de germinación en la malta, además de aportar turbidez en cerveza terminada. Esto debido principalmente a péptidos no degradados durante la malta que se unen a los componentes que confieren amargor a la cerveza tales como los iso- $\alpha$ -ácidos (Callejo, 2002; Huges, 1999).

De las maltas analizadas la MCh y la MM3 no obtuvieron el porcentaje de proteína necesario. Mientras que la MCl, MM1 y MM2 poseen un contenido de proteína por arriba del 9%, situación que favorecerá más adelante el desarrollo de la levadura durante la etapa fermentativa. Cabe mencionar que bajas cantidades de proteínas causan fermentaciones lentas, así como deficiencia de aminoácidos disponibles para la levadura durante la fase de latencia y también puede originar cierta inestabilidad en la espuma (EBC, 2003). Es por ello, que resulta tan importante que la malta cumpla con las concentraciones de proteína establecidas.



### 5.3.5 $\beta$ -glucanos

Por su parte los  $\beta$ -glucanos son carbohidratos complejos formados por unidades de glucosa unidas por enlaces (1-3), (1-4) y se encuentran en las paredes celulares de cereales como la avena y la cebada (Vis y Lorenz, 1997). Los contenidos de estos glúcidos en malta deben oscilar entre 2.2 y 6% de acuerdo a la EBC, si este porcentaje es rebasado se pueden ver afectados la viscosidad del mosto y de la cerveza, así como el proceso de filtrado de cerveza ya sea con tierra de diatomeas o por membranas; por lo que se generan problemas en la industria cervecera (Jin y col., 2005).

El contenido de  $\beta$ -glucanos obtenido tras el análisis de las maltas empleadas, resultó adecuado de acuerdo a lo establecido por la EBC (2003). Reyes (2008) reporta porcentajes de  $\beta$ -glucanos para maltas claras en un rango de 5.45 a 10.9%, mientras que para maltas chocolate obtuvo porcentajes que van desde 0.22 hasta 0.95%, por otra parte Wang y col., (2004) obtuvieron para 8 distintas variedades de malta contenidos de  $\beta$ -glucanos entre 2.96% y 3.75%. Por lo anterior, el hecho de que las maltas cuenten con un % de  $\beta$ - glucanos aceptable indica que el proceso de malteado se llevó a cabo adecuadamente, ya que como se sabe, durante la fase de germinación, se producen entre otras enzimas, las  $\beta$ -glucanasas encargadas de romper las cadenas de  $\beta$ -glucanos a carbohidratos más sencillos (Kraemer y col., 2004).

### 5.4 Obtención de Mostos

Cada malta tiene una composición distinta y genera proporciones diferentes de componentes solubles e insolubles, por lo que es imprescindible tener conocimiento del volumen de agua por peso de malta para llevar a cabo una maceración adecuada. Los mostos elaborados fueron 2, uno a partir de malta clara y otro a partir de malta



chocolate (Figura 26). La temperatura y el tiempo de maceración se establecieron de acuerdo a la investigación de Jaén (2010).

Debe tenerse en cuenta que los procesos químicos, bioquímicos y enzimáticos generados durante la obtención del mosto, dependen fundamentalmente de la temperatura, por tal motivo la temperatura de maceración se mantuvo entre 62 – 65°C, para favorecer la acción enzimática, principalmente de la  $\beta$ -amilasa.



**Figura 26.** Mostos obtenidos de malta clara y malta chocolate.

A partir de los mostos obtenidos se realizaron tres combinaciones de ellos (figura 27).



**Figura**

**27.** Mostos obtenidos. De derecha a izquierda MSCh, MS3, MS2, MS1 Y MSCL.

## 5.5 Análisis de calidad de Mostos

*Hernández Cervantes Nohemí*



El mosto obtenido después de la maceración de la malta, es un líquido rico en azúcares fermentables. Del contenido de estos componentes en el mosto dependerá en buena parte el éxito de la fermentación.

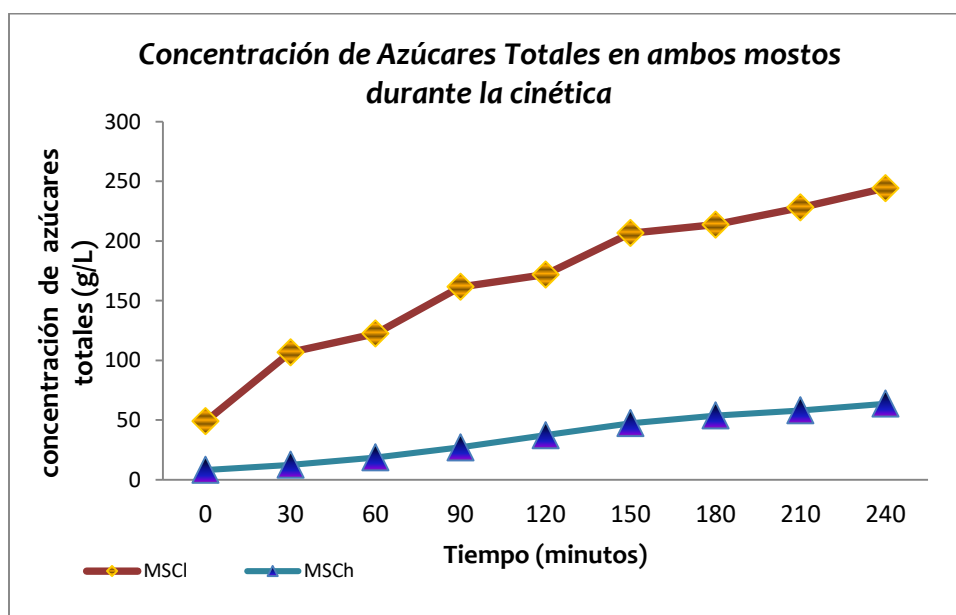
Durante la germinación cierto contenido de almidón es hidrolizado (15%) para ser consumido por el embrión en su respiración, sin embargo, la ruptura total del almidón se lleva a cabo durante la maceración del mosto cervecero gracias a la actividad de  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas (Callejo, 2002).

### 5.5.1 Azúcares Totales (AT)

Los azúcares totales (AT) representan la cantidad de almidón degradado durante la maceración a partir del cual y en función del tiempo y la temperatura, se obtendrán azúcares más simples.

En el gráfico 1, se muestra la cinética de azúcares totales realizada para los mostos MCl y MCh, mismos que fueron obtenidos a una temperatura que osciló entre los 62- 65°C por un lapso de 4 h.

**Gráfico 1.** Cinética de Azúcares totales en mosto claro y chocolate.





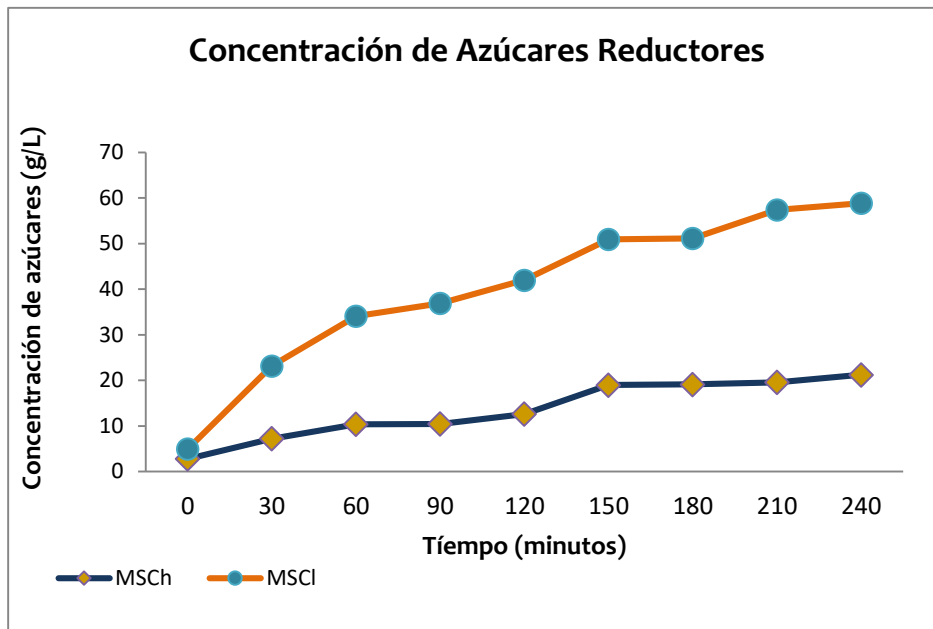
Como puede apreciarse en el gráfico anterior la tendencia ascendente de los AT se presentó en ambos mostos, sin embargo, por la temperatura de 230°C a la que fue sometida la malta chocolate durante su obtención, el mosto MSCh finalizó con 63.7 g/L de azúcares totales, concentración que se encuentra por debajo de lo obtenido por el mosto MSCl que obtuvo un 180.42 g/L. La diferencia entre ambos mostos es notable y por consiguiente era de esperarse un menor contenido de azúcares fermentables en el mosto MSCh. Jaén (2010) en su investigación reportó concentraciones de AT cercanas a los 1400 g/L para un mosto elaborado con malta clara, esta concentración es justificable ya que se empleó una cebada maltera y por lo tanto la concentración de azúcares es mayor.

#### **5.5.2 Azúcares Reductores (AR)**

La obtención de azúcares fermentables es el principal objetivo de la maceración, es por ello que debe tenerse un estricto control y monitoreo de su generación durante el tiempo que dure este proceso. Debido a esto durante el proceso de maceración de la malta, se realizó una cinética para determinar el comportamiento de la concentración de azúcares en función del tiempo en ambas maltas. El gráfico 2 muestra visiblemente el comportamiento de la concentración de azúcares reductores en los mostos MSCh y MSCl.



**Gráfico 2.** Cinética de azúcares reductores en mosto claro y chocolate.



En el gráfico anterior se puede observar que evidentemente conforme transcurrió el tiempo la concentración de azúcares reductores se incrementó, esta situación indica que las enzimas encargadas de la conversión del almidón en azúcares más sencillos actuaron adecuadamente. El mosto MSCh presentó 21.1 g/L de azúcares fermentables, mientras que el mosto MSCI obtuvo una concentración de 58.9 g/L.

Como era de esperarse la obtención de estos azúcares en el mosto MSCh fue menor, esto debido a las condiciones de secado a las que fue sometido y por lo tanto su poder enzimático se vio considerablemente afectado. Jaén (2010) reporta para un mosto elaborado a partir de malta clara una concentración de 17.1 g/L tras una maceración de 4 h, mientras que Moctezuma (2008) reportó de 30.3 a 87.4 g/L obtenidos en una maceración de 8 h a distintos rangos de temperatura.

Por su parte Reyes (2008) reporta para mostos claros 1.85-3.93 g/L y para mostos chocolate concentraciones de 0.001 a 0.008 g/L. Los valores citados anteriormente resultan válidos ya que las condiciones de maceración fueron distintas, con lo que puede concluirse, que se obtiene una mayor extracción de azúcares fermentables





cuando las condiciones de tiempo y temperatura son las adecuadas para una eficaz actividad enzimática, ya que como se mencionó anteriormente, la temperatura más adecuada para la acción de las  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas oscila entre los 62 -75°C.

Una vez analizadas las concentraciones de AR obtenidos en los mostos MSCh y MSCI, se llevó a cabo un análisis de calidad para los 5 mostos elaborados. Los resultados obtenidos para cada uno de ellos se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12.** Análisis de calidad de los mostos.

Mosto	pH	°P	Atenuación Aparente	Proteína	B- Glucanos	AT	AR
MSCI	5.7 (0.02)	11.3 (0.16)	73.0 (0.19)	8.2 (0.01)	0.2 (0.02)	180.9 (0.42)	56.5 (0.98)
MSCh	4.8 (0.01)	8.4 (0.29)	67.2 (0.05)	6.4 (0.06)	0.1 (0.00)	63.4 (0.44)	20.9 (0.82)
MS1	5.5 (0.03)	10.7 (0.18)	72.0 (0.01)	8.0 (0.15)	0.2 (0.06)	131.2 (0.37)	44.6 (0.95)
MS2	5.2 (0.02)	9.7 (0.13)	71.5 (0.30)	7.6 (0.08)	0.1 (0.01)	99.9 (0.50)	34.6 (0.96)
MS3	4.9 (0.01)	8.7 (0.15)	70.5 (0.22)	6.8 (0.17)	0.1 (0.00)	77.4 (0.41)	24.1 (0.92)
Referencia	<b>5 -5.5 %</b>	<b>10-12</b>	<b>67-80%</b>	<b>7-16.5%</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>

AR= Azúcares Reductores, AT= Azúcares Totales, ()= Desviación estándar.

### 5.5.3 pH del mosto

El pH de un mosto dentro de un rango de 5-5.5 % asegura el correcto desarrollo de la levadura, a pH diferentes su metabolismo puede verse seriamente afectado. Este parámetro también se puede ver influenciado por el tipo de agua que se empleó para la elaboración del mosto (Mesones ,2000). Si el agua es muy alcalina, se debe corregir porque si no aumenta el pH de los mostos y se dificulta la acción de las diastasas y peptasas, enzimas encargadas de desdoblar principalmente proteínas presentes en el mosto (Namamugi y col., 1987).

De acuerdo a los resultados se puede observar que los mostos MSCh, MS3 presentaron un pH por debajo del rango permitido, sin embargo, estos cambios en el pH pueden ser ajustados utilizando una solución de NaOH al 0.1% (Masaaki y col., 2004).



Es importante mencionar que un aumento en el pH del mosto proporciona una mejor utilidad del lúpulo, una mejor isomerización de los alfa-ácidos del lúpulo provocando mayor estabilidad y mejor sabor y aroma, además de facilitar su clarificación. Idealmente el pH del mosto debería mantenerse alto (5.5) durante su cocción y ajustarlo lo más cercano a 5 para facilitar la eliminación del turbio (Collin, 2007).

#### **5.5.4 Peso específico**

El peso específico de los mostos se reporta en la bibliografía como grados plato ( $^{\circ}\text{P}$ ). Houg (1990) reporta como un rango normal 10-12 $^{\circ}\text{P}$ . Los  $^{\circ}\text{P}$  representan la cantidad de sólidos presentes en la muestra, en su mayoría carbohidratos, principalmente glucosa (Kobayashi y col., 2005). Para este análisis los mostos MS1 y MS2 son aquellos que cumplieron con este parámetro, debido a que su poder enzimático es mayor y por consiguiente la obtención de azúcares sencillos se vio favorecida. Por el contrario los mostos MS3 y MS4, al poseer un bajo poder enzimático no fueron capaces de obtener concentraciones elevadas de azúcares.

#### **5.5.5 Atenuación aparente**

Con respecto a la atenuación aparente todos los mostos presentaron un valor dentro del rango permitido. La atenuación de los mostos se refiere al porcentaje de azúcares que serán convertidos en alcohol, aunque este parámetro también se ve afectado por el tipo de levadura y la cantidad de azúcares presentes en el mosto (Hornsey, 2003).

#### **5.5.6 Proteína**

Por su parte el porcentaje de proteína con respecto al reportado en las maltas se vio disminuido durante la obtención del mosto, esto debido a la desnaturalización y precipitación de las mismas. En la tabla 12, se puede observar que los mostos MS3 y



MS3 mostraron valores por debajo de los puntos de referencia reportando un 6.4 y 6.81 % respectivamente. De acuerdo a algunas investigaciones se ha puesto de manifiesto la influencia de las proteínas sobre las sustancias tánicas tanto del mosto como la cerveza, por lo que no recomienda un alto contenido proteico en mosto (Chapon, 1982). Además Jones (1974) asegura que la cantidad de aminoácidos presentes en el mosto tiene un papel fundamental en la calidad de la cerveza. Afectando principalmente tres aspectos fundamentales de esta: aceptación organoléptica, color y estabilidad biológica.

### 5.5.7 $\beta$ -glucanos

La concentración de  $\beta$ -glucanos en todos los mostos fue mínima, debido a que durante la maceración estos son solubilizados. Esto es favorable ya que un alto contenido en  $\beta$ -glucanos causa diversos efectos como problemas de conversión durante el macerado, además de una ineficiente y larga filtración tanto del mosto como de la cerveza (Vis y Lorenz, 1997). El contenido de estos polisacáridos en los mostos analizados fue muy bajo, tan solo para el mosto MSCh fue de 0.08% y para el MSCl fue de 0.25%, lo que significa que el tiempo y temperatura de maceración favorecieron su disolución en el mosto, por consecuencia no habrá problemas de filtración.

Moctezuma (2008) reportó porcentajes de  $\beta$ -glucanos entre 3.48 y 3.49 para mostos claros, mientras que Vis y Lorenz (1998) mencionan que el contenido de estos glúcidos en el mosto debe ser lo menor posible y dentro de su investigación reportaron para mostos claros valores entre 0.34 y 1.58%. Tal y como se mencionó anteriormente, el contenido de  $\beta$ -glucanos dependerá de un proceso de malteado adecuado.

### 5.5.8 Azúcares reductores y totales

Finalmente los AR y AT obtenidos en cada uno de los mostos reflejan la influencia de las condiciones bajo las cuales se obtuvieron las maltas empleadas en su elaboración. Por



ejemplo, en el mosto MSCh se obtuvieron 63.4 g/L de AT y solo 20.9 g/L de AR lo que significa que se obtuvieron pocos azúcares fermentables para poder llevar a cabo una buena fermentación y conseguir un porcentaje de etanol elevado. Mientras que para el mosto MSCl y el mosto MS1 la concentración de azúcares fue mayor, tan solo para el mosto MS1 los AT totales obtenidos llegaron a los 131.17 g/L y los AR a 44.63 g/L.

Con lo anterior se demuestra que la temperatura y el tiempo de maceración son cruciales en la máxima obtención de azúcares fermentables, sin embargo esto también va a depender de las características de la malta empleada.

Cada uno de los parámetros analizados anteriormente poseen estrecha relación contribuyendo al propósito de obtener un mosto con las características adecuadas y necesarias para llevar a cabo una óptima fermentación; es decir, si la malta a partir de la cual se elabora un mosto posee un bajo o nulo PD consecuentemente tendrá una concentración mínima de azúcares fermentables aunado a valores bajos de °P y de Atenuación aparente. Y con pocos azúcares fermentables la levadura no tendrá mucho con que actuar y finalmente no se obtendrá un porcentaje elevado de etanol.

En base a lo anterior se pudo determinar que la malta MCh, por si sola, no posee las condiciones adecuadas para realizar a partir de ella una cerveza, sin embargo, la combinación de este tipo de malta con una malta clara dio mejores resultados.

## **5.6 Activación e Inoculación de la Levadura**

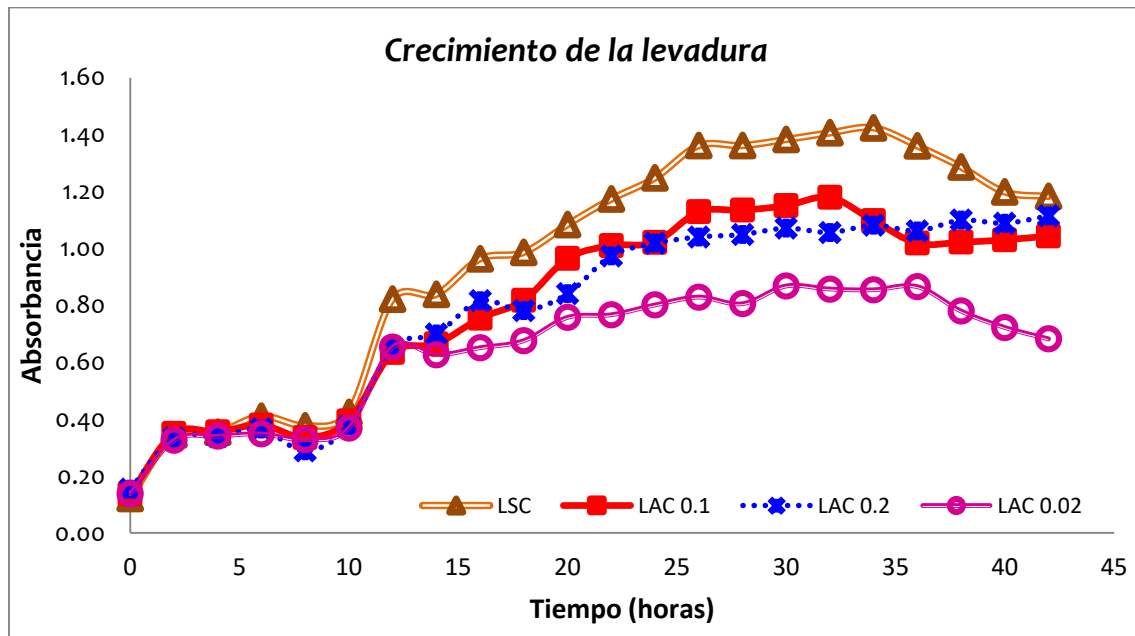
Antes de llevar a cabo la fermentación, se evaluó la viabilidad de la levadura y el tiempo que tarda en llegar a su fase exponencial, para ello se emplearon 3 mostos (MSCl, MSCh y MS1) que fueron sometidos a una cinética en donde se tomó muestra cada dos horas durante las 42 h que duró la incubación (Figura 28).



**Figura 28.** Proceso de incubación de mostos para realizar la cinética de crecimiento.

Posteriormente se construyeron los gráficos 3,4 y 5 que muestran el comportamiento de la levadura en los mostos MSC1, MSCh y MS1 respectivamente.

**Gráfico 3 .**Cinética de crecimiento de la levadura en el mosto MSC1.



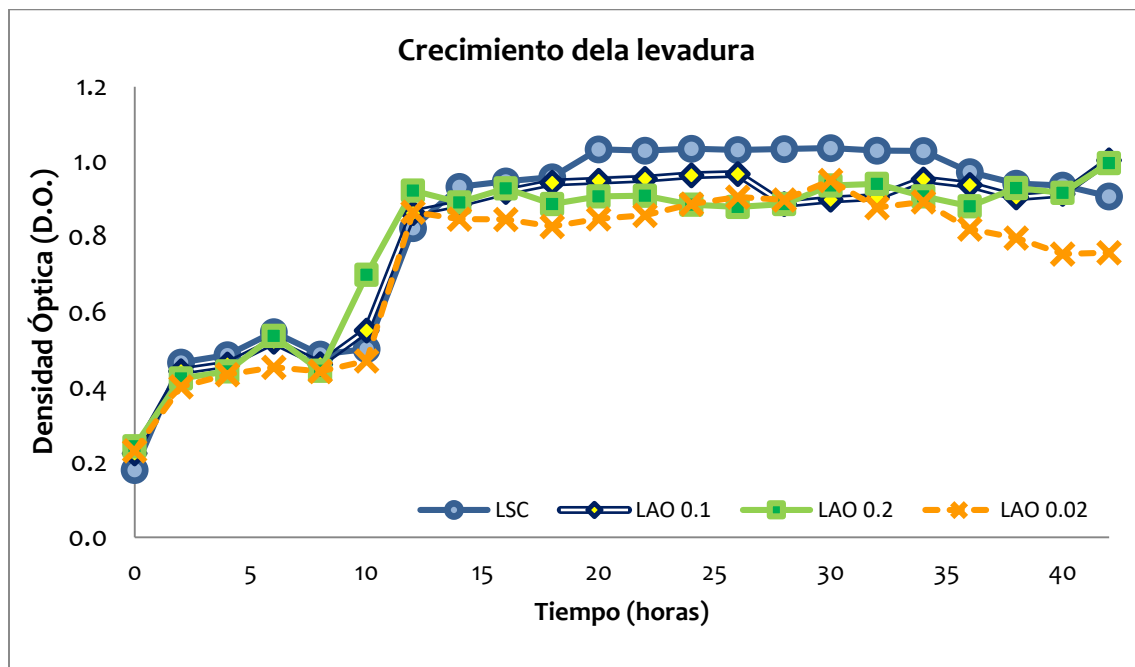


El gráfico 3 muestra que el crecimiento en un mosto donde se agregó la levadura sin haber sido activada 24 h antes, es mayor, eso indica una mejor adaptación de la levadura al medio, que se ve reflejada con un mayor crecimiento de la misma.

Sin embargo a pesar de tener un crecimiento menor, la levadura activada a una concentración de 0.2 presenta mayor estabilidad, por consiguiente indica que además de adaptarse al medio no tuvo interferencias que la hicieran modificar su metabolismo.

Es importante señalar que todas las muestras presentan de manera muy clara las 4 fases del crecimiento de una levadura (adaptación, crecimiento, exponencial y muerte). Esta situación indica que la levadura se encuentra en condiciones óptimas de crecimiento y que es capaz de salir del estrés en el cual se encuentra debido al almacenamiento y liofilización.

**Gráfico 4.** Cinética de crecimiento de levadura en mosto MSCh.

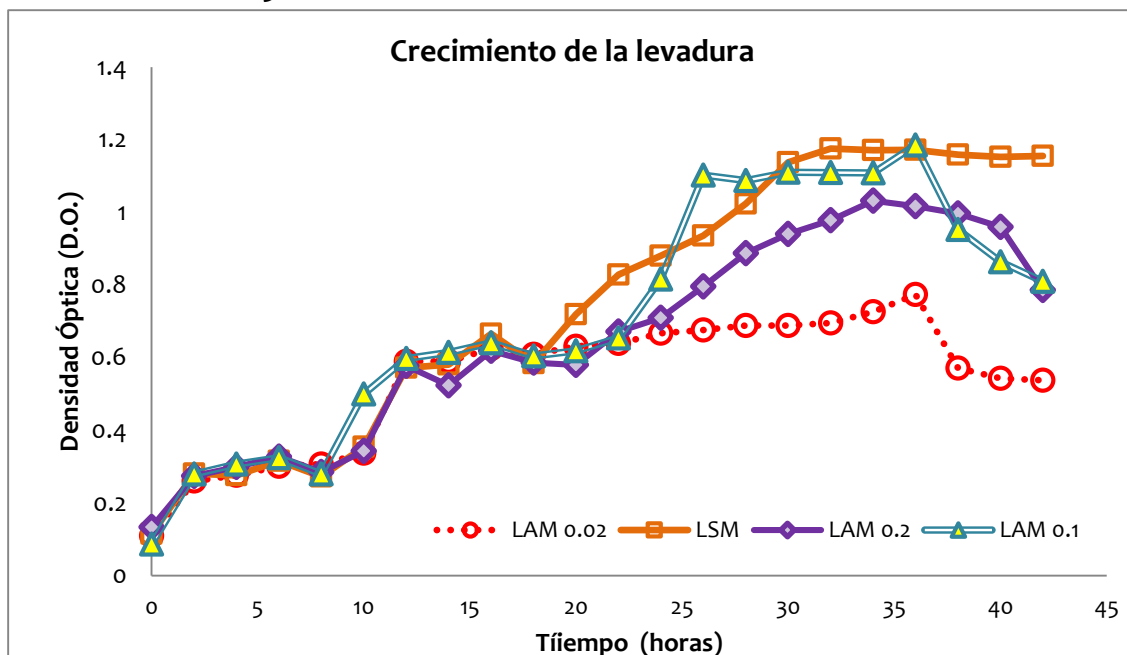




En el gráfico 4 se observa que la levadura presenta un comportamiento muy similar al que se evaluó en el mosto MSCI. Sin embargo debe tomarse en cuenta que debido a la baja concentración de azúcares fermentables su crecimiento se vio comprometido y por consiguiente fue menor con respecto al que se observó en el mosto claro.

Nuevamente e independientemente de las concentraciones, todas las muestras presentan un claro comportamiento de crecimiento que incluye las cuatro etapas de desarrollo de la levadura.

**Gráfico 5.** Cinética de crecimiento de la levadura en el mosto MS1.



En el gráfico anterior se observa que la levadura en el mosto MS1 mostró la misma tendencia que en los mostos anteriores, aunque se aprecian claramente ciertos picos, son claras las fases de crecimiento de la levadura y nuevamente la levadura inoculada sin previa activación muestra los valores más altos y la concentración 0.2 de levadura activada es la de menores absorbancias.

Analizando la investigación realizada por Jaén (2010), donde reporta que la fase exponencial de la levadura se presenta a las 12 horas después de su inoculación, y al estudiar los datos obtenidos, se puede decir que la activación previa de la levadura puede favorecer al desarrollo del microorganismo. Sin embargo, el hecho de emplear



levadura sin previa activación en un medio enriquecido da mejores resultados. Debe tomarse en cuenta que la fase de adaptación de la levadura de un medio a otro retrasa su crecimiento por lo que lógicamente todas las inoculaciones empleadas con previa activación en un medio enriquecido tienen menores rendimientos comparados con la levadura inoculada directamente en el mosto.

Por lo tanto se puede decir que la fase exponencial de la levadura para los mostos estudiados comienza a las 12 h después de haber inoculado la levadura.

## 5.7 Fermentación

Antes de realizar la fermentación, el mosto fue esterilizado, ya que como se sabe este se convierte en un medio rico en nutrientes disponibles al ataque microbiano.

### 5.7.1 Inoculación de la levadura

Después de haber determinado la viabilidad y la fase exponencial de la levadura empleada se llevó a cabo un inculo de 0.2 g de levadura en 100 ml de mostos MSC1, MSCh, MS1, MS2 y MS3 en material estéril (figura 29).



**Figura 29.** Activación de la levadura

Los matraces se incubaron durante 12 h a 20°C con la finalidad de permitir la adaptación y desarrollo de la levadura antes de ser inoculada en la muestra final, ya que como se





mencionó en el apartado 5.6, en este tiempo se asegura que se tienen la mayor cantidad de células de levadura que actuarán en la fermentación.

Finalmente y de acuerdo a lo establecido por Jaén (2010) solo el 5% de los 100 mL de cultivo previamente activado fue inoculado en 250 mL de mosto (figura 30). Una tasa de inoculación insuficiente provoca una fermentación inicial lenta y una inoculación excesiva provoca una indebida competición por los nutrientes, determinando una pobre multiplicación de las levaduras y un aumento final de ciertos ésteres (acetaldehído) (Hornsey, 2003).



**Figura 30.** Inoculación de la levadura después de 12 h de activación.

### **5.7.2 Etapa fermentativa**

El mosto previamente cocido con lúpulo (figura 31), fue aireado durante 15 min con agitación lenta, ya que durante las primeras fases de fermentación, es importante que en el mosto exista oxígeno disuelto para permitir la síntesis de los esteroides y ácidos grasos de la membrana de la levadura que le permitirán resistir el medio alcohólico en el que se desarrollara. Por lo tanto tiene que haber oxígeno para el rápido crecimiento celular inicial (Hornsey, 2003).



**Figura 31.** Cocción de mostos.

En una fermentación alta las levaduras (*S. Cerevisiae*) se multiplican preferentemente en bipartición celular, y suelen permanecer agrupadas por uniones lábiles formando una especie de racimo. Esta biomasa ofrece tanta resistencia a las burbujas de CO<sub>2</sub> que tratan de ascender, y la levadura es empujada hacia arriba sobre la superficie del líquido situándose sobre la espuma como una capa viscosa (Vogel, 2003). Por lo que la fermentación se llevó a cabo durante 5 días a 15°C (Figura 32).



**Figura 32.** Fermentación

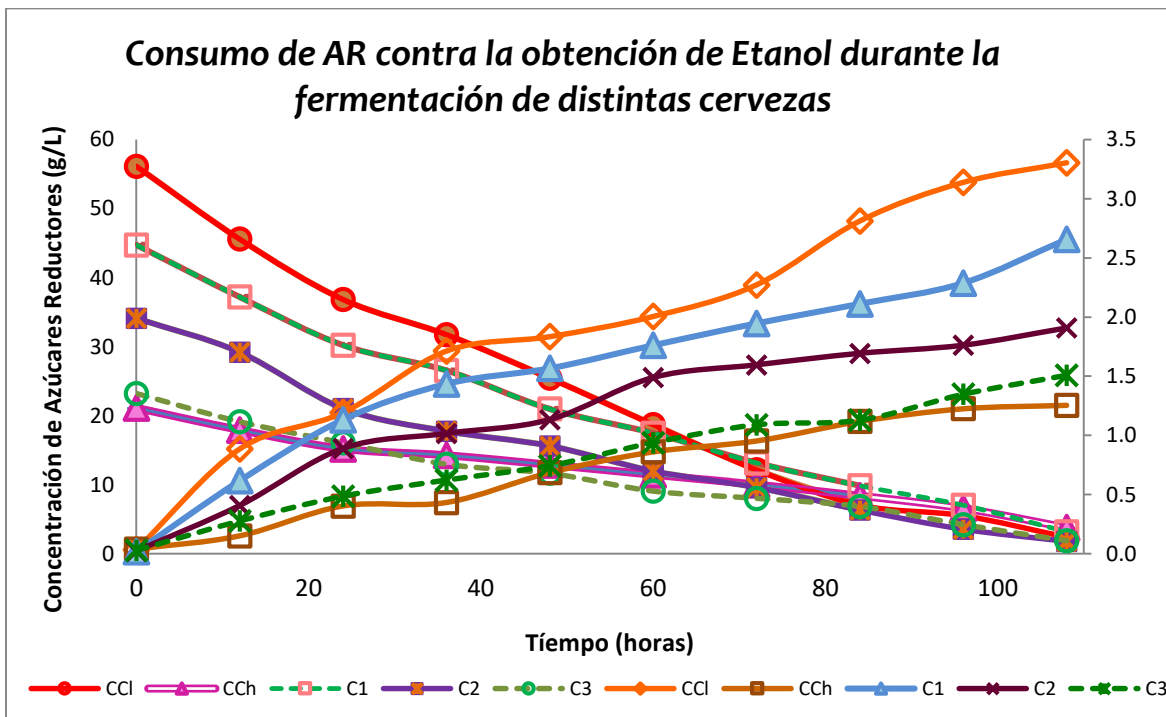
El tiempo corto de fermentación se debe a que gracias a las características propias de la levadura empleada, al tener una temperatura más alta de fermentación el tiempo en el cual se lleva a cabo esta, es considerablemente disminuido (Porter, 1975).



**Figura 33.** Toma de muestras cada 12 h para efectuar la cinética de obtención de etanol y consumo de AR.

Durante este tiempo se llevó a cabo una cinética para evaluar la producción de etanol y el consumo de azúcares por parte de la levadura (Figura 33). Los resultados se muestran en el grafico 6.

**Grafico 6.** Cinética de consumo de azúcares y formación de etanol en 5 distintas cervezas.





A pesar de saber que el mosto MS1 es el más apropiado para elaborar una cerveza chocolate, se decidió llevar a cabo la fermentación en los otros dos mostos MS2 Y MS3 para obtener un comparativo del contenido de etanol obtenido para cada cerveza.

En el gráfico anterior se observa claramente que mientras transcurrió el tiempo la producción de etanol por parte de la levadura fue incrementándose. Lo que indicó que el mosto obtuvo los nutrientes necesarios que permitieron el desarrollo de la levadura y la conversión de los azúcares presentes en etanol. Como era de esperarse la cerveza elaborada con 100% malta clara (CCl) fue la que mayor porcentaje de etanol obtuvo con un 3.3%, mientras que C1 obtuvo un 2.66 % y la CCh un 1.26% (Tabla 13) .

Los azúcares reductores (fermentables) deben ser directamente proporcionales a la formación de etanol, es decir conforme aumenta el % de etanol menor será la concentración de AR presentes en la cerveza. Como se aprecia en el gráfico 8 al final de la fermentación queda entre un 1.8 – 3.8 g/L de azúcares que posiblemente son dextrinas por lo cual la levadura no pudo consumirlos.

**En la tabla 13.** Porcentajes de etanol obtenidos en cada una de las cervezas elaboradas.

% DE ETANOL OBTENIDO EN LAS DISTINTAS CERVEZAS						
Día	Tiempo (h)	CCl (Clara)	CCh (Chocolate)	C1 (80: 20 )	C2 (50: 50)	C3 (20: 80)
1	0	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03
	12	0.89	0.15	0.62	0.41	0.28
2	24	1.19	0.40	1.13	0.89	0.49
	36	1.71	0.43	1.43	1.02	0.62
3	48	1.83	0.69	1.57	1.13	0.74
	60	2.00	0.86	1.76	1.49	0.94
4	72	2.27	0.95	1.95	1.60	1.09
	84	2.81	1.12	2.11	1.69	1.13
5	96	3.14	1.23	2.29	1.76	1.35
	108	3.30	1.26	2.66	1.91	1.51



El mayor porcentaje de etanol fue obtenido en la cerveza clara con un 3.30 % y la C1 un 2.66%. Dichos porcentajes pueden considerarse bajos en comparación con las cervezas comerciales, sin embargo debe tomarse en cuenta que en las cervezas elaboradas en este proyecto no se empleo ningún tipo de adjunto que incrementara el contenido de azúcares del mosto, como sucede con las que existen en el mercado.

### 5.7.3 pH de la cerveza

El pH de una cerveza es de considerable importancia y debe oscilar entre 4-5%. El aumento de pH puede, en algunos casos, provocar un efecto no deseado en el sabor del producto. A menudo, la acidificación inadecuada o innecesaria del mosto puede aumentar el pH de la cerveza terminada por el aumento de la producción de productos de degradación de nitrógeno y fosfatos que actúan como amortiguadores. La edad de la malta y las condiciones de fermentación pueden influir en el pH, así como el uso de ciertos adjuntos, el tipo de agua con que se elabora la cerveza e inclusive el tipo de levadura empleada (Ward, 2000).

Madrid (1994), reporta que la cerveza terminada deberá tener un pH entre 4 y 5. En la tabla 14 se muestran los pH obtenidos en las cinco cervezas. Se puede observar que las cervezas presentaron un pH menor a 5, lo que indica que las condiciones bajo las que fueron elaboradas no afectaron considerablemente este parámetro, además de que organolépticamente se cuenta con un producto cuya espuma es estable y no hay un sabor ácido resultante de un mal proceso de fermentación.

Como consecuencia de la estabilidad de la cerveza, un menor pH mejora la estabilidad de la espuma, además de favorecer la resistencia al ataque microbiano (Collin, 2007). Es por ello que debe tenerse estricto control en el pH de la cerveza desde los primeros pasos de su elaboración.

**Tabla 14.** pH obtenido para las cinco cervezas elaboradas.

Código	Cerveza	pH
--------	---------	----



CCI	Cerveza clara	4.82 (0.04)
CCh	Cerveza chocolate	4.39 (0.02)
C1	Cerveza ch:cl (80:20)	4.42 (0.01)
C2	Cerveza ch:cl (50:50)	4.52 (0.03)
C3	Cerveza ch:cl (20:80)	4.62 (0.02)

( )= Desviación estándar.

#### 5.7.4 Color de la cerveza

El color de una cerveza se ve influenciado entre otras cosas por el tipo de malta empleada como materia prima en la elaboración del producto (Figura 34). Sin embargo, cambios bruscos en el color original de la cerveza indican irregularidades durante su proceso y/o almacenamiento.



**Figura 34.** Gama de color de las 5 cervezas elaboradas.

En una cerveza se pueden tener defectos de color debidos a un incremento en el volumen de agua añadido durante la maceración, cambio en el pH del producto, un excesivo tiempo de maceración, emplear un lúpulo con malas condiciones de almacenamiento o muy viejo, emplear ciertas cepas de levadura no propias para una



fermentación adecuada o no llevar a cabo la filtración después de la cocción del mosto (Ward, 2000). En la tabla 15 se muestran los resultados obtenidos de color de las muestras analizadas.

**Tabla 15.** Color de cervezas analizadas.

COLOR DE CERVEZAS		
Muestra	Color (EBC)	Tipo de cerveza (estimado)
CCI	5.33 (0.00)	Pale lager
CCh	153.83 (0.03)	Imperial Stout
C1	27.83( 0.01)	Bass Pale ale
C2	68.50 (0.00)	Porter
C3	102.83 (0.00)	Stout

Con los resultados obtenidos y de acuerdo a la tabla de colores de la EBC, se pudo encontrar a qué tipo de cerveza pertenece la muestra analizada tomando en cuenta su color. Como se aprecia en la tabla 15, las cervezas con una mayor proporción de malta chocolate como base pertenecen a las cervezas tipo Stout. Este tipo de cervezas se caracteriza por poseer un color oscuro, con notas a tostado y/o almendrado debido a las características de su materia prima; mientras que la cerveza clara pertenece a las tipo Pale Lager, una combinación peculiar entre cervezas tipo pale y cervezas tipo lager, debido a su color dorado y con sabores amargos y con cuerpo, tomando en cuenta que la mayoría de las cervezas tipo ale son oscuras, marrones o rojizas. Por su parte la cerveza C1 clara-chocolate se encuentra en el rango de las cervezas tipo pale ale cuyas características suelen ser de una cerveza cuyo color va del ámbar al bronce. Finalmente se obtuvo una cerveza tipo porter con la cerveza C2, este tipo de cervezas suelen ser oscuras, con un alto contenido de alcohol.

Para fines de este proyecto se puede decir que las cervezas elaboradas pertenecen a las tipo “Ale” (Figura 35) cuyas características principales se basan en que su



fermentación se lleva a cabo a una temperatura de entre 15-25°C, por un periodo corto y empleando levadura *S. Cerevisiae*.



**Figura 35.** Cervezas obtenidas.

Finalmente se realizó un comparativo entre la cerveza chocolate elaborada y cervezas comerciales del mismo tipo (tabla 16) tomando en cuenta las características mencionadas anteriormente, esto con la finalidad de demostrar que a pesar de no emplear adjuntos cerveceros, se puede elaborar una cerveza artesanal con un porcentaje aceptable de etanol.

**Tabla 16.** Comparación de la cerveza chocolate contra cervezas comerciales.

Cerveza Artesanal	Tipo	Características	Cervezas Comerciales	% etanol
C1  2.66%	Pale ale	Tienen un color ámbar o bronce. Son menos amargas y un poco más densas. Su contenido alcohólico oscila entre un	Honey Dew (inglesa)	5.4 %
			London Pride (inglesa)	5.4%
			La Trappe Blond	7.5%





		4 y un 5%.	(trapista)	
--	--	------------	------------	--

Como se aprecia en la tabla anterior las cervezas comerciales poseen un mayor porcentaje de etanol, aunque debe tenerse en cuenta que emplean adjuntos cerveceros y maltas con un mayor poder enzimático que se traduce en una mayor obtención de azúcares fermentables y por consiguiente un porcentaje más elevado de etanol.

Sin embargo después de haber realizado las pruebas y análisis necesarios a la cebada, maltas, mostos y cerveza, puede concluirse que el objetivo de este proyecto se cumplió, se logró elaborar una cerveza artesanal empleando malta chocolate, dando una utilidad más a la cebada forrajera producida en el estado de Hidalgo.



C  
O  
N  
C  
L  
U  
S  
I  
O  
N  
E  
S



## VI. CONCLUSIONES

- ❖ La cebada forrajera empleada, muestra altos porcentajes de viabilidad por lo que resulta adecuada para ser convertida en malta.
- ❖ La malta clara obtenida cumple con los parámetros necesarios para ser utilizada en la elaboración de cerveza, tales como: un elevado poder diastásico, concentraciones altas de azúcares fermentables, bajos niveles de  $\beta$ -glucanos y baja humedad.
- ❖ Para obtener una malta chocolate es necesario someter a la malta clara a una temperatura de 230 °C durante 2 horas, con un contínuo movimiento.



- ❖ Emplear una combinación de maltas en donde el 20% sea malta chocolate y el 80% restante sea clara, asegura la obtención de una cerveza chocolate clasificada como Pale ale.
- ❖ Mantener una temperatura constante entre 62–65 °C por un lapso de 4 horas durante la maceración favorece una mayor obtención de azúcares fermentables.
- ❖ El momento en el que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (empleada en este proyecto) alcanza su fase exponencial es a las 12 h posteriores a su inoculación, sin la necesidad de una previa activación en un medio enriquecido.
- ❖ Emplear una tasa de inoculación de 2 g/L de levadura en el mosto y mantenerla a 20 °C asegura que tras 12 horas el microorganismo se encuentre activo, en su fase exponencial y adaptado al medio.
- ❖ Una vez activada la levadura, inocular el 5% del total del volumen del mosto en el que se encuentra, asegura una producción del 3.3% de etanol para cerveza clara y un 2.66% para cerveza oscura
- ❖ Las cervezas obtenidas poseen un porcentaje de etanol elevado tomando en cuenta que la materia prima es cebada forrajera.
- ❖ La cerveza chocolate elaborada cumple con las expectativas de este proyecto.
- ❖ De acuerdo a los análisis realizados, es posible emplear una cebada forrajera para la obtención de una cerveza artesanal, siempre y cuando se tenga un estricto control en el proceso de malteado y de maceración del mosto.



*P  
E  
R  
S  
P  
E  
C  
T  
I  
V  
A  
S*



## VII. PERSPECTIVAS

- ❖ Hacer un análisis sensorial con catadores entrenados o semientrenados para determinar la aceptación por parte del consumidor.
- ❖ Llevar a cabo una fermentación a un volumen mayor y en un fermentador semiautomático con la finalidad de comparar las características de las cervezas obtenidas.
- ❖ Evaluar la factibilidad de hacer un estudio de mercado para determinar las posibilidades de incursión de este tipo de producto en el mercado mexicano.



- ❖ Elaborar una cerveza chocolate artesanal a partir de malta cervecera para hacer un comparativo de las características distintivas entre una cerveza con malta cervecera y una con malta forrajera.



## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Aniche, G. N. y Palmer, G.H. (1990). Development of amyolytic activities in sorghum and barley malt. Journal Institute of brewing. Vol. 96. Pp. 377-379.
- ❖ AOAC (1999). Association of Oficial Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Richmond, USA.
- ❖ Barrera, H. M. (2010). Evaluación de la calidad de diferentes cebadas (*Hordeum vulgare*) producidas en la región centro de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- ❖ Cadena productiva de cebada (2002). Plan estratégico de investigación y transferencia de tecnología. Fundación Guanajuato produce. México.
- ❖ Callejo, G.M.J. (2002). Industria de cereales y derivados. Colección tecnología de alimentos. AMV ediciones. Zaragoza: España. Pp. 169-180.
- ❖ Chapon, L. (1982) .Monatsschrift für Brauerei. Vol. 32. Pp. 160-167.
- ❖ Collin, S. (2007). La paradoja del pH en el proceso del malteado y de la cerveceria. Cerveza y Malta. Vol. XLIV (2). 174. Pp. 17-21.
- ❖ Delos, G. (2008). El gran libro de la cerveza. Ed. Barcelona. Madrid, España. Pp. 55-63.
- ❖ Dubois, M. et al. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28, 350-356.





- ❖ EBC European Brewery Convention (2003). ANALITICA EBC Fahuer Druck. Ombh, Lauf A.D. Peghitz, Alemania.
- ❖ Evans, D. E., MacLeod, L.C., Eglinton J.K., Gibson, C.E., Zhang, X., Wallace, W., Skerritt, J.H. y Lance, R.C.M. (1996). Measurement of Beta-amylase in malting barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Development of a Quantitative ELISA for beta-amylase. *Journal of Cereal Science*. Vol. 26. Pp. 229-239.
- ❖ Fabre, J. y Barber, K.C. (2002). Grupo modelo: un ejemplo a seguir. Periódico El Financiero. D.F, México.
- ❖ Fumanal, S.A.J. (2008). Elaboración de cerveza en el siglo XIX. *Maestro Cerveceros*. Zaragoza. España. Pp. 437-438, 446-447.
- ❖ Goldammer, A. (2008). El Manual de cerveza . El Libro Completo de la cerveza. Madrid, España. Pp. 220-235, 341-349 y 362-364.
- ❖ González, S.J.M. L., Muñiz, R.P. y Valls, B.V. (2001). Actividad Antioxidante de la Cerveza: estudios in vitro e in vivo. Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos de la Universidad de Burgos. Departamento de Pediatría, Ginecología y Obstetricia de la Universidad de Valencia. España. Pp. 3-6, 15-21.
- ❖ Hornsey, I. S. (2003). Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp 112-115.
- ❖ Hough, J.S. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Ed. Acribia, Zaragoza, España. Pp. 178-239.



- ❖ Hugues, P. (1999). Hidrophobic interactions and their significance for beer foam quality. Proc. European Brewery Convention Beer Symposium. Foam Qual. Pp. 158- 163.
- ❖ Jaén, E.E. (2010). Uso de malta caramelo para la elaboración de una cerveza artesanal. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- ❖ Jin, Y., Speers, R.A., Paulson, A.T. y Stewart, R.J. (2005). Los  $\beta$ - glucanos de cebada y su degradación durante el malteado y la fabricación de la cerveza. Malta y Cerveza. Vol. XLII (4).Pp. 23-35.
- ❖ Jones, M. (1974). “Amino-acid composition of Wort” European Brewery Convention Monograph I. 90-105pp.
- ❖ Kraemer, J.E., Caireao, E., Minella, E., Barbosa-Neto, J.F y Cavalli, S.S. (2004). The (1-3, 1-4)- $\beta$ -glucanases in Malting Barley: Enzyme survival and genetic and environmental effects. Journal of the Institute of Brewing. Vol. 110 (4). Pp. 303-308.
- ❖ Kobayashi, M. Hiroshima, T., Nagahisa, K., Shimizyu, H. y Shioya, S. (2005). On-line esmation and control of apparent extract concentration in low-malt beer fermentation. Journal of the institute of brewing. Pp. 128-136.
- ❖ Linko, M. Haikara, A. y Ritala, A. (1998). Recent advances in the malting and brewing industry. Jounal of Biotechnology. Vol.65. Pp. 85-97.



- ❖ López, P.P., Prieto, G.F., Gaytan, M.M. y Roman, G.A.D. (2007). Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la región centro de México. Centro de Investigaciones Químicas, departamento de Química en Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Querétaro. México. Revista Chilena. Vol. 34 (1). Pp. 71-77.
- ❖ Madrid, A. (1994). Proceso de producción de la cerveza. Nuevo manual de industrias Alimentarias. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 60-67.
- ❖ Malting Technology. (2000). Elaborado por la EBC (European Brewery Convention). Derechos reservados.
- ❖ Masaaki, Y., Masato S. M., Tetsuji Y., Yutaka O. y Motoo O. (2004). Research Laboratory for Brewing. MBAA TQ. Vol. 41 (1). Pp 18-26.
- ❖ Matissek, R., Schnepel, F.N. y Steiner, G. (1998). Análisis de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 229-233.
- ❖ Mejía, R.P. y Rendón, M.R. (2005). Comercio exterior y fluctuaciones cíclicas en la producción de cerveza en México. El Colegio Mexiquense. Facultad de Economía. México. Pp. 3-6, 8-12.
- ❖ Meshehdani, T., Pokorny, J., Daviek, J., et Pánek, J. (1990). Interactions of oxidized lipids with proteins. (Effect of the protein on the decomposition of products of the lipoxygenase- catalized oxidation in oilseeds. Die Nahrung. Vol. 34. Pp. 915-925.



- ❖ Mesones, B. (2000). Manual práctico del cervecero. Derechos de autor reservados.
- ❖ Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem. 31, 426-428.
- ❖ Moctezuma, H. A., (2008). Efecto del método de elaboración de mosto y la concentración del inóculo en la calidad de una cerveza. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- ❖ Münch, L., Ángeles, E., (1997). Métodos y técnicas de investigación. Ed. Trillas. México. Pp. 99-114.
- ❖ Namamugi, Tsurumi-ku y Yokohama. (1987). The Colloidal Stability of Beer. Brewing Science Pollock. Published by Academic Press. Vol.3. Pp. 2-329.
- ❖ Newman, K.R. y Newman, C.W. (2008). Barley for food and health. Science, Technology, and Products. Ed. Wiley. New Jersey, USA. Pp. 59, 111-116.
- ❖ NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereal - cebada maltera - (*Hordeum vulgare* L. Y *Hordeum distichum* L.) especificaciones y métodos de prueba.
- ❖ Osca, Ll. J. (2001). Cultivos Herbáceos extensivos: Cereales. Edit. U.P.V. Valencia, España. Pp. 120-133.
- ❖ Porter, S.C. (1975). Accelerated Fermentation of Brewer's Wort By *Saccharomyces carlsbergensis*. Journal Applied Microbiology. Vol. 30 (6). Pp. 970-974.



- ❖ Reyes, M. A. (2008). Comparación de tres métodos de malteado con diferentes variedades de cebada. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- ❖ Rivas, P. R. y Barriga B. P. (2002). Combining ability for grain yield and malting quality traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). Agricultura Técnica Chile. Vol. 62. (3). Julio-septiembre. Pp. 1-10.
- ❖ Ruiz, Y. (2006). Elaboración y evaluación de maltas cerveceras de diferentes variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) producidas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. UAEH. México. Pp. 6-11.
- ❖ SAGARPA (2002). Cadena Agroalimentaria de Cebada. Etapa II. Identificación de las Demandas Tecnológicas de la Cadena Agroalimentaria de Cebada. [Versión Electrónica]. Obtenido el 04 de Mayo de 2010, en : <http://www.cofupro.org.mx/Publicacion/Archivos/penit16.pdf>
- ❖ SAGARPA (2004). Plan rector del sistema producto cebada. [Versión electrónica]. Obtenido el 29 de Noviembre de 2010, en: [http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sisprod/IndModelos/PRector/15\\_MEX/AG\\_Cebada.pdf](http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sisprod/IndModelos/PRector/15_MEX/AG_Cebada.pdf)
- ❖ Sánchez, C.A. y Huerta, H.M. (2003). Análisis de un cluster cervecero en México. Universidad Autónoma Metropolitana de Azcapotzalco. El Cotidiano. Vol. 19 (121). Pp. 109-120.
- ❖ Serna, S.R.O. (2009). Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. A.G.T Editor. México. Pp. 42-44, 98-99, 232, 307-315.



- ❖ SIAP, 2008. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Versión Electrónica]. Obtenido el 22 de Noviembre de 2010, en: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx)
- ❖ Stryer, L. (1996). Bioquímica. Vol. 2. Ed. Reverte. Barcelona, España. Pp. 115-123.
- ❖ Tecnología. (2005). Malta cervecera. Características y especificaciones técnicas. Tecnología. Materias primas e Ingredientes. Vol. 12. Pp. 14-17.
- ❖ Toay, P (2006). La malta de 6 hileras y la malta de dos hileras: diferencias y usos. Journal Briess Malt. Vol. 15
- ❖ Valls, B.V., Codoñer, F.P., González, S.J.M.L. y Muñiz, R.P. (2009). Biodisponibilidad de los flavonoides de la cerveza. Efecto antioxidante. In vivo. Parte I. Cerveza y Malta. Vol. XLVI (2). Pp. 65-67.
- ❖ Varman, A.H. y Sutherland, J. P. (1997). Bebidas, tecnología, química y microbiología. Ed. Acriaba, Zaragoza, España. Pp. 54-55.
- ❖ Vis, R.B y Lorenz, K. (1997).  $\beta$  -glucans: Importance in Brewing and methods of Analysis. Journal Lebensm Wiss u Technology. Vol. 30. Pp. 331-336.
- ❖ Vis, R.B. y Lorenz, K. (1998). Malting and Brewing with a High  $\beta$ -glucan Barley. Journal Lebensm Wiss u Technology. Vol. 31. Pp. 20-26.
- ❖ Vogel, W. (1999). Elaboración casera de la cerveza. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 21-34, 42-43 y 49-66.



- ❖ Wang, J., Zhang, G., Chen, J. y Wu, F. (2004). The changes of  $\beta$ -glucan content and  $\beta$ -glucanase activity in barley before and after Malting and their relationships to malt qualities. Journal Food Chemistry. Vol. 86. Pp. 223-228.
- ❖ Ward, I. (2007). Agentes clarificantes en marmita para cerveza. Mundo Alimentario. Julio-Agosto 2007. Pp. 26-31.
- ❖ Ward, I. (2000). Wort & Beer clarification manual. Brewers wholesale supply group. USA. Pp. 21-28.
- ❖ Yadav, S.K., Luthra, Y.P., Sood, D. y Aggarwal, N.K. (2000). Gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) induced changes in proanthocyanidins and malt quality of two and six row husked barleys. Journal Plant Foods for Human Nutrition. Vol. 55. Pp. 87-96.

### **Páginas de Internet Consultadas**

- ❖ [http://www.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/cebada.htm](http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm), abril 2010.
- ❖ <http://www.glj.com.do/a/d/doc-raices.20.pdf>, Mayo 2010
- ❖ <http://www.cerveart.com>, Octubre 2010.
- ❖ <http://www.gmodelo.com.mx>, Noviembre 2010
- ❖ <http://www.cervezas-argentinas.com.ar/>, Noviembre 2010.
- ❖ <http://apuntessobrecerveza.blogspot.com/2009/05/color-de-la-cerveza-comprension-del-srm.html>, Noviembre 2010.
- ❖ <http://www.cervezasmundo.com>, Diciembre 2010