

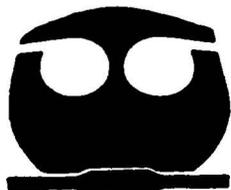


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS DEL PROCEDIMIENTO DE ELABORACION DE CERVEZA CON ENFASIS EN MICROCERVECERIA.

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: QUIMICO DE ALIMENTOS PRESENTA: ANDRES FURUKAWA SUAREZ



MEXICO, D. F.

EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA

2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

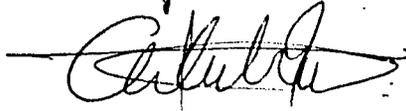
<b>Presidente</b>	Prof. Eduardo Barzana García
<b>Vocal</b>	Prof. María del Carmen Wachter Rodarte
<b>Secretario</b>	Prof. José Mariano García Garibay
<b>1er. Suplente</b>	Prof. Ma. del Rocio Santillana Hinojosa
<b>2do. Suplente</b>	Prof. Beatriz de Guadalupe Serrano López

### **Sitio donde se desarrolló el tema:**

Departamento de Biotecnología  
Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.



**Asesor del tema**  
Dr. José Mariano García Garibay



**Sustentante**  
Andrés Furukawa Suárez

## **DEDICATORIA:**

*Este trabajo de tres años de mi vida está dedicado a mi ángel de la guarda que me ha enviado Dios; el cual nunca se ha apartado de mí, parte de mis genes, parte de mi sangre, parte de mi vida. Con todo mi cariño y amor, para tí ... Mamá.*

## **AGRADECIMIENTOS:**

*A Dios, mi padre, mi amigo, mi fuerza, ese fresno inquebrantable que me alienta todos los días.*

*A mi hermano Angel, mi compañero de toda mi vida, mi hermano mayor que admiro, que siempre está cuando lo necesito y a pesar de mi gran temperamento está hombro con hombro conmigo.*

*A mis hermanos Chantal, Arturo y Martín por el incomparable cariño y felicidad que me han dado.*

*A Emma, mi compañera, mi amiga, mi equipo; mi gran admiración por su lucha de superación como ser humano día con día, gracias por todo el apoyo, comprensión, paciencia y cariño que me has dado.*

*Al Dr. Mariano García Garibay, por todo su apoyo y paciencia en todas mis inquietudes. Mi admiración y respeto por su gran profesionalismo y calidad humana.*

*A Georgina Solís Martínez, por su impulso y apoyo que me ha dado de forma desinteresada para tener esta gran oportunidad en mi vida.*

*También quisiera agradecer a todas las personas que contribuyeron de forma desinteresada en su cooperación y aportaciones para la realización de este trabajo:*

*A los Ing.Cerveceros Jorge Luna, Alberto Melgoza, Carlos García Guerrero y Rolando Nopala de Cervecería Modelo, por sus correcciones oportunas e invaluables.*

*A Cervecería Modelo S.A. de C.V., por darme todo el apoyo que me ha dado y por ser parte de su familia en gran orgullo.*

***Al Dipl.-Ing. Marc Stamm y Dr.-Ing. Martin Krottenthaler de Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I - Weihenstephan, Technische Universität München, por darme la oportunidad de conocer los equipos y explicarme el proceso de elaboración de la cervecería Bayerische Staatsbrauerei Weihenstephan en Freising, Alemania.***

***Al Ing. Alberto Treviño de Especialidades cerveceras (Casta), Monterrey, por la información tan detallada de las cervezas Casta que me proporcionó de forma desinteresada.***

***Al Brewmaster Jay Marshall Prahel de Santa Fe Beer Factory, por enseñarme este mundo tan fantástico de la cervecería.***

***A Gustavo González Chozas de Cervecería Cosaco, por enseñarme a comprender algunos métodos en el proceso de la microcervecería.***

***Al Ing. Brauwesen Nikolas Städele, por explicarme algunos conceptos cerveceros alemanes de gran relevancia.***

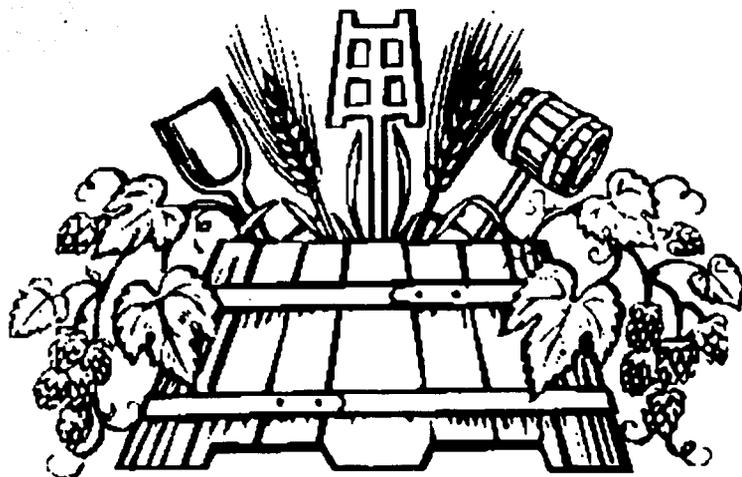
***Al Maestro Cervecerero Rogelio Fontes de Cervecería Pepe's & Joe/ Mazatlán, por el apoyo desinteresado en la historia de Cervecería Mazatlán.***

***A Heriberto Rodríguez, por la valiosa información de Cervecería Sierra Madre Brewing, Monterrey.***

***A mi abuelo Alfredo Suárez Muñoz Ledo, por obsequiarme valiosa literatura cervecera para este trabajo.***

***A Luis Edgar Damián, por su gran amistad y por ayudarme a comprender aspectos fisicoquímicos de gran importancia en el proceso cervecero.***

***A Enrique Sánchez, por el apoyo desinteresado en el scaneo de imágenes.***



**“Solo es digno de la libertad y de la vida,  
aquel que sabe conquistarlas día a día”**

**- Johann Wolfgang Goethe -  
(1749-1832)**

# CONTENIDO.

<b>CAPITULO 1.</b>	<b>Introducción: alcances y objetivos.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2.</b>	<b>Historia y desarrollo de la microcervecería en el mundo.</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO 3.</b>	<b>Desarrollo histórico de la cerveza en México y microcervecerías modernas.</b>	<b>7</b>
	Grupo Modelo, S.A. de C.V.	10
	Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma, S.A. de C.V.	11
	Cervecería Santa Fe Beer Factory, S.A. de C.V.	12
	Cervecería Cosaco.	12
	Cervecería Especialidades Cerveceras, S.A. de C.V.	13
	Cervecería Sierra Madre Brewing.	14
	Cervecería Pepe's & Joe/Mazatlán S.A. de C.V.	15
<b>CAPITULO 4.</b>	<b>Aspectos generales de la producción de cerveza.</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Materias primas.</b>	<b>16</b>
	La cebada.	16
	Clasificación científica.	16
	Variedades de cebada.	16
	Composición y propiedades de los componentes de la cebada.	17
	Carbohidratos.	18
	Compuestos nitrogenados.	19
	Proteínas y sus productos de ruptura.	19
	Lípidos.	20

Otras sustancia.	20
Los adjuntos.	21
Selección de adjuntos cerveceros.	21
El agua.	23
El lúpulo.	23
Clasificación científica.	23
Variedades de lúpulo.	24
Unidades de amargor (IBU).	24
Química de lúpulo	25
La levadura.	25
Estructura de la célula de la levadura.	26
Metabolismo de la levadura cervecera.	27
Metabolismo de carbohidratos.	28
Metabolismo de nitrógeno.	29
Metabolismo de sustancias inorgánicas y factores de crecimiento.	30
Floculación.	30
Tipos de levadura y sus características.	31
Cepas comunes de la levadura para producción de cerveza.	32
<b>4.2 Proceso de malteo.</b>	<b>35</b>
La malta.	35
Producción de malta.	35
Remojo de la cebada.	36
Factores importantes en el proceso del remojo.	36
Germinación de la cebada.	36
Procesos que ocurren durante la germinación.	36
Otras enzimas endógenas importantes en la malta.	38
Horneado de la malta.	39
Unidades para cuantificar el color de la malta.	40

Enfriamiento de la malta horneada.	41
Limpieza de la malta.	41
Maltas base, especiales y maltas de otros cereales.	41
<b>4.3 Elaboración de cerveza.</b>	<b>46</b>
Producción del mosto.	46
Molienda de la malta.	46
Maceración.	47
Transformación durante la maceración.	47
Temperaturas de macerado.	49
Degradación de $\beta$ -glucanos.	49
Rompimiento de proteínas.	49
Métodos de maceración.	50
Clarificación del mosto ( <i>Lautering</i> ).	54
Ebullición del mosto.	54
Objetivos de la ebullición del mosto.	54
Enfriamiento del mosto.	57
Aireación del mosto.	57
Producción de cerveza (Fermentación, maduración y filtración).	58
Fermentación.	58
Metabolismo de la levadura.	59
Producción de congénicos.	61
Condiciones de fermentación de acuerdo al tipo de cerveza.	66
Grado de atenuación.	66
Maduración o reposo de la cerveza (Fermentación secundaria).	67
Clarificación y estabilización coloidal de la cerveza.	69
Filtración de cerveza.	69
Pasteurización.	70
Estabilidad de la cerveza terminada.	70

Envasado.	71
Widgets	72
<b>4.4 Tipos de cerveza.</b>	<b>74</b>
Cervezas tipo <i>ale</i> .	74
Cervezas tipo <i>lager</i> .	90
Cervezas tipo lámbica.	98
<b>CAPITULO 5. Definición y dimensiones de la microcervecería.</b>	<b>101</b>
<i>Brewpub</i> .	101
Tipos de cervezas para un <i>Brewpub</i> .	101
Microcervecerías.	102
<b>CAPITULO 6. Producción de cerveza en microcervecerías.</b>	<b>103</b>
6.1 Introducción.	103
6.2 Almacenamiento del grano.	105
6.3 Establecimiento de las proporciones de malta y adjunto.	106
6.4 Cálculo para predecir el color de la cerveza a partir de la malta.	114
6.5 Molienda del grano.	116
6.6 Mezcla de la malta y el agua (Maceración del grano).	119
6.7 Predicción del pH del macerado a partir de los iones encontrados en el agua para elaboración del mosto.	122
6.8 Adición del agua en la maceración.	124
6.9 Agitación en la maceración.	125
6.10 Adición de aditivos en la maceración.	127
6.11 Clarificación del mosto ( <i>Lautering</i> ).	128
6.12 Ebullición del mosto.	133
6.13 Adición del lúpulo.	133

6.14 Utilización de aditivos en la ebullición del mosto.	138
6.15 Remoción de precipitados calientes (Complejos proteína-polifenoles).	139
6.16 Eficiencia de producción de mosto.	142
6.17 Enfriamiento del mosto.	144
6.18 Aireación del mosto.	146
6.19 Obtención de la levadura madre.	148
6.20 Inoculación de la levadura.	149
6.21 Fermentación primaria (Producción de cerveza verde).	153
6.22 Determinación de grado de atenuación.	157
6.23 Determinación de porcentaje de alcohol de la cerveza.	158
6.24 Fermentación secundaria (Maduración o reposo de la cerveza verde).	159
6.25 Remoción de turbiedad de la cerveza en maduración ( <i>Chillproofing</i> ).	166
6.26 Filtración de la cerveza.	168
6.27 Carbonatación de cerveza terminada en tanque de gobierno o "Serving".	172
6.28 Almacenamiento de cerveza terminada en tanque de gobierno o "Serving".	176
6.29 Utilización de aditivos en cerveza terminada.	176
6.30 Envasado (Embarrilado, embotellado, enlatado).	177
6.31 Etiquetado.	182
6.32 Embalaje.	183
6.33 Vida útil del producto terminado ( <i>Shelf life</i> ).	184
6.34 Saneación y limpieza.	185
<b>CAPITULO 7. Conclusiones.</b>	<b>187</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>190</b>

# Capítulo 1. Introducción: alcances y objetivos.

La cerveza es una bebida tan antigua como la humanidad, que está relacionada estrechamente con la alimentación y con aspectos tecnológicos, sociales, religiosos y culturales de la misma.

La cerveza es la bebida alcohólica de baja graduación más consumida en el mundo con una gama de variedades muy extensa, que es producida en diferentes partes del mundo; es obtenida básicamente de cuatro componentes: agua, malta, lúpulo y levadura; ésta última con la funcionalidad de producir la fermentación de azúcares para obtener principalmente alcohol y bióxido de carbono.

La industria cervecera ha sufrido una serie de cambios a través del tiempo, desde la producción de cerveza en la cocina de las civilizaciones antiguas, la creación de cervecerías de pequeña escala de producción, hoy conocidas como microcervecerías, hasta el nacimiento de las grandes industrias internacionales cerveceras: las macrocervecerías, que producen volúmenes considerables para satisfacer la necesidad del consumidor a nivel mundial. A pesar de la existencia de las macrocervecerías, las microcervecerías han resurgido y adquirido un gran impacto en los últimos años en todo el mundo. Éstas fueron creadas en Europa en establecimientos muy pequeños de cerveza, en los cuales se ofrecía una variedad de cerveza acompañada con alimentos, estos establecimientos son conocidos hoy en día como *Brewpubs*.

Otra modalidad de la microcervecería son los establecimientos de carácter industrial, los cuales se dedican exclusivamente a producir y distribuir variedades especiales de cerveza en volúmenes pequeños ó medianos, en comparación con las grandes cervecerías.

En este estudio se hace una exposición de la importancia e impacto de la microcervecería en México y en el mundo actualmente, así como el análisis comparativo del proceso para la elaboración de cerveza en una microcervecería y una macrocervecería, haciendo énfasis en la selección de materia prima, aspectos operacionales del proceso y variedades propuestas por las mismas, con el objeto de establecer los conocimientos de importancia involucrados en la microcervecería.

## **OBJETIVOS.**

- Dar a conocer el surgimiento de un nuevo mercado cervecero denominado "Microcervecería" en México, señalando sus productos, su desarrollo, impacto y alcances a un futuro en este país.
- Dar a conocer la definición y dimensiones de la microcerveña.
- Comparar los procedimientos, métodos y equipos para la producción de cerveza en las microcervecerías antiguas y modernas.
- Comparar la selección de materias primas, así como los procedimientos y métodos operacionales para la producción de cerveza utilizados en la microcervecería y macrocervecería a través de un ejemplo en particular: elaboración de cerveza estilo Vienna.

## Capítulo 2. Historia y desarrollo de la producción de cerveza en el mundo.

La fabricación de la cerveza está estrechamente ligada al cultivo de los cereales.

La mención más antigua respecto a la cerveza es en Mesopotamia en el año 2800 A.C., donde se describe la producción y distribución de una ración diaria de cerveza y pan con respecto a la fuerza de trabajo, reguladas en la colección de leyes del rey babilonio Hammurabi.



Fig.2.1 Bebedores de cerveza en la antigua Babilonia. (2400 A.C.)  
(Fuente: Deutscher Brauer-Bund)

En el siglo V en Europa, la cerveza fue una bebida amada por las tribus germanas, como también en las tribus escitas y celtas, las cuales hacían cerveza en los hogares para el consumo propio, lo cual frecuentemente era tarea del ama de casa. Ella podía premiar con una cerveza bien lograda a su esposo, o bien castigarlo, no dándole cerveza.

Alemania y especialmente Baviera, puede considerarse como el país de la cerveza, esto se muestra en excavaciones en la zona de Regensburg al sudeste de Alemania, donde se confirma que ya en el siglo II tenía lugar una intensa fabricación de cerveza. También en Nürnberg, Alemania y su zona aledaña surgió un gran número de casas para la fabricación comunal de cerveza que dan testimonio del floreciente oficio del cervecero que empleaba una mezcla de hierbas denominada *Gruit* (*Myrica gale*, *Salvia*, *Millefolium achillea*, *Pinus*, *Artemisa absinthium*, *Cytisus*) como exclusivo ingrediente saborizante y no fue sino hasta el siglo XIV que se cambió por el lúpulo que se usa actualmente (Warner, 1998).

Durante la Edad Media (476-1453 D.C.) se empezó a fabricar cerveza a gran escala en las abadías y monasterios de origen principalmente benedictino y agustino, los cuales producían cerveza para su propio consumo y posteriormente empezaron a introducir su producto al mercado.



**Fig. 2.2 Monjes benedictinos bebiendo cerveza.**  
(Fuente: Das Grosse Lexikon vom Bier)

En Alemania se desarrolló una considerable diferencia entre las condiciones para la producción de cerveza en el Norte y en el Sur del país. En el norte la producción de cerveza fue un derecho cívico, obtenido en los grandes pueblos cerveceros como Bremen, Hamburgo y Einbeck. En el Sur de Alemania, en contraste, el derecho a la producción de cerveza fue una concesión como un privilegio otorgado por el príncipe a los cerveceros. Sobre este hecho en el Sur se conocen archivos que datan de 1372 en München (con 11, 300 habitantes) donde hubo 21 cervecerías.

En el siglo XV la posición comercial de los cerveceros fue establecida, pero ésta fue restringida en el Sur de Alemania por un gran número de regulaciones. Tanto la organización de las marcas, la compra de materias primas, la manufactura del producto final y su venta, fueron sujetas a leyes municipales. Estas leyes también incluían regulaciones sobre el precio y la calidad de la levadura, lo cual fue también de gran interés para los panaderos, al obtener su levadura de las cervecerías. Por este tiempo, la producción de cerveza tuvo el monopolio de la producción de levadura.

Para evitar adulteraciones, el duque Wihelm IV de Baviera en abril 23 de 1516, proclamó la ley de pureza "*Reinheitsgebot*" en Ingolstadt Alemania. Desde 1906 esta ley de pureza fue establecida en toda Alemania para que la cerveza se produzca exclusivamente de malta de cebada, lúpulo y agua. La ley fue decretada para proveer a los burgueses suficientes cantidades de cerveza a un precio equitativamente justo.

En la guerra de los treinta años (1618-1648) se estableció el desarrollo de la producción de cerveza tras un largo camino y al mismo tiempo el arribo de nuevas bebidas, como los tés y el café, que llevaron a una reducción considerable en la producción de cerveza durante un largo tiempo.

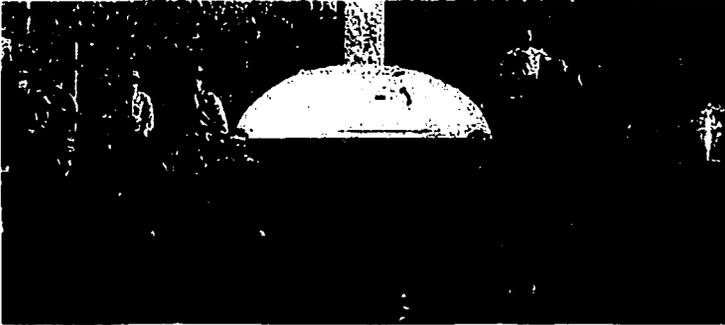
En Gran Bretaña en 1767, el escocés James Watt desarrolló la primera máquina de vapor; esta invención fue la piedra de fundación para la introducción de tecnología nueva en los productos alimenticios y bebidas alcohólicas. Años después el alemán Gabriel Sedlmayer en 1846, después de un viaje a Inglaterra, instaló la primera máquina de vapor con un caballo de fuerza en su cervecería *Spaten* en München Alemania, siendo la primera cervecería en el mundo en utilizar este tipo de equipo.

Entre los años 1825 y 1837 los científicos Cagniard de la Tour, Schwann y Kutzing establecen que la levadura es un organismo vivo y es responsable de la formación de alcohol. Se acuña el nombre de *Saccharomyces* (hongo del azúcar) (García Garibay et al., 1993)

No fue sino hasta la segunda mitad del siglo XIX que la fabricación de la cerveza se convirtió en un proceso controlable, pasando desde un nivel empírico hasta un nivel científico por la necesidad del cervecero de saber más sobre su fabricación al igual que su necesidad de hacerse de los elementos teóricos en las escuelas que se estaban fundando, así surgieron las conocidas instituciones de enseñanza de Weihenstephan (1865), Berlín (1883), y München (1895).

El investigador francés Louis Pasteur entre de los años 1857 y 1876 también proporcionó conocimientos que son aún válidos, sobre la fermentación y los requerimientos esenciales para hacer la cerveza estable, siendo publicados dichos estudios en el libro "Estudios sobre la cerveza" en 1876. En el mismo año la introducción de tecnología nueva y la instalación de una máquina de refrigeración por Carl von Linde y el desarrollo de transporte por la construcción de la red de ferrocarril, llevaron en las subsecuentes décadas a la expansión de grandes cervecerías en todos los países desarrollados (Kunze, 1999).

En 1883 el danés Emil Christian Hansen desarrolló el método del cultivo de levadura pura en el laboratorio Carlsberg en Copenhagen (Dinamarca). Por otro lado en el mismo año Paul Linder en Alemania perfeccionó la propagación sencilla de la levadura por medio del desarrollo del método de cultivo por goteo.



**Fig.2.3 Equipo tradicional para la producción de cerveza (1846-1900)**

El equipo tradicional para producción de cerveza (fermentadores abiertos y barriles de madera), desaparecieron lentamente siendo remplazados por tanques de acero inoxidable. Entre los años 1908 y 1927 se realizaron los primeros diseños y patentes de los fermentadores cilíndricos para aumentar la eficiencia en dicha operación en la elaboración de cerveza.

Otro impacto tecnológico fue la utilización de papaína en 1911 para la clarificación de la cerveza, y en la década de los 70's se empezaron a utilizar los primeros fermentadores cilíndricos en las grandes cervecerías.

Por todas las efemérides comentadas en los párrafos anteriores, actualmente la industria cervecera goza de avances científicos, tecnológicos y de infraestructura económica de sumo impacto en el mercado mundial, siendo esto reflejado desde desarrollos biotecnológicos de punta, como la manipulación genética de las materias primas para la elaboración de la cerveza, hasta divisas considerables generadas en el mundo anualmente.

## Capítulo 3. Desarrollo histórico de la cerveza en México y las microcervecías modernas.

Un país polifacético y de la extensión territorial de México hace difícil trazar un perfil histórico de la cerveza en el mismo. En gran parte del país existe una bebida tradicional, el pulque, que se obtiene de la fermentación del jugo del maguey y que fue durante mucho tiempo bebida y alimento. Como también el tesgüino; bebida obtenida de la fermentación de una solución hecha a partir de maíz. Sin embargo, México fue el primer país del Nuevo Mundo en el que existió una cerveza comercial a mediados del siglo XVI; trescientos años después se comenzó a producir cerveza tipo *lager* bajo la influencia de cerveceros de origen alemán; la cerveza fue ganando terreno, creando tradición, siendo actualmente la bebida alcohólica más popular, y por su calidad las cervezas mexicanas son conocidas en numerosos países en los cinco continentes (Jackson, 1994).

El desarrollo histórico de la cerveza en México empieza con la primera cervecería construida en 1544 por el español Don Alfonso de Herrera en su hacienda "El Portal" ubicada a 12.5 kilómetros del villorrio de Amecameca, cerca del paso de Cortés a Chalco, cuyo nombre fue "*Brazería del Industrioso Herrera*" (adulterando la pronunciación por la palabra francesa "*Brasserie*"). Esta contaba únicamente con una caldera de ebullición y vendía una arroba de cerveza (16 litros) por 8 reales, siendo este un precio alto en aquella época por la escasez de trigo y cebada (Anónimo, 1978).

A lo largo de la Colonia surgieron muchas cervecías a pequeña escala, en los monasterios de la época se daba a la cerveza una nomenclatura, que de acuerdo a la calidad, se colocaban una o varias X.

En el México Independiente empezaron a surgir las cervecías pequeñas tipo *ale*, las cuales no están claramente identificadas. En 1825 el suizo Bernhard Bolgard fundó una cervecía formal con el nombre de "*La Pila Seca*", y en el año 1849 se estableció la Cervecía "*La Candelaria*" por el bávaro Fredrick Herzog, quien utilizó piloncillo como adjunto para la elaboración de sus cervezas.

En 1860 se fundó la Cervecía y Maltería "*San Diego*" por Carlos Fredenhagen en la Ciudad de México, la cuál duró hasta 1889.

En 1865 el suizo Augusto Marendaz estableció una pequeña compañía que eventualmente se convirtió en la Cervecía "*Toluca*".

En 1869 Emil Dercher estableció una pequeña cervecera en la Ciudad de México la cuál producía cervezas de tipo *ale* de razonable calidad. En ese mismo año en Mérida, Yucatán el señor José Ponce Solís fundó *Cervecería Yucateca*, la cual funcionaba con maquinaria europea y bajo la dirección de un maestro cervecero alemán.

El alemán Santiago Graf adquirió en 1875 la pequeña cervecera construida en Toluca por Augusto Marendaz. Graf modificó los procedimientos de fabricación y produjo cerveza tipo *ale* de gran éxito, en 1885 importó de Alemania maquinaria de fabricación de hielo y inició la fabricación de la auténtica cerveza *lager*. El éxito de esta cerveza fue inmediato, obteniendo así el financiamiento adecuado para levantar la primera grande cervecera y moderna en México: La Compañía Cervecera Toluca y México, que trabajó hasta septiembre de 1930 con dicho nombre.

En 1884, los descendientes de Carlos Fredenhagen fundaron "*Compañía Cervecera Limitada*" en la Ciudad de México y dos años después en Monterrey el empresario José Calderón fundó la "*Fábrica de Cerveza y Hielo Monterrey*".

En 1889 Calixto Piazzini fundó "*Cervecería Piazzini*" en Monterrey, cuyos derechos traspasaron en 1890, a Don Isaac Garza, José Calderón, José A. Mugerza, Francisco G. Sada y Joseph M. Schneider fundando "*Cervecería Cuauhtémoc*" (Gómez, 2001).

Juan E. Ohrner inició la cervecera "*La Perla de Guadalajara*" justo antes de 1890 y fue vendida al señor Joseph Schneider en 1897, quien modernizó la cervecera para producir cerveza *lager* y cambió su nombre por "*La Perla*", esta venta se realizó con la condición de no establecer en 10 años otra cervecera. Al término de este tiempo Ohrner fundó otra cervecera con el nombre de "*La Estrella*", que con el tiempo cambió su razón social a "*Cervecería Modelo de Guadalajara S.A.*"

En 1894 surgió la "*Cervecería Guillermo Hasse y Compañía*" en Orizaba, Veracruz por Henry Manthey, William Hasse, Cuno von Alten y Adolph Burkhardt, cuya producción inicial era de 15, 000 barriles por día.

En 1896 surgió *Cervecería Chihuahua*, fundada por el Sr. Juan Terrazas y en ese mismo año se construyó también la Cervecera de Sonora en Hermosillo por Jacob Schuele, Dr. Hoefler y George Grunning. También en ese mismo año la *Cervecería Guillermo Hasse y Compañía* cambió de nombre a "*Cervecería Moctezuma*".

En esta época existió también una pequeña y peculiar cervecera (*Cervecería Alemana*) que producía cerveza *lager* al pie del volcán Popocatepetl, la cual utilizaba hielo natural almacenado en cuevas cerca de las bodegas de la cervecera.

En 1898 en Cuernavaca Morelos, nació la "*Compañía Cervecería Porfirio Díaz S.A.*".

En 1900 nació en Mazatlán, Sinaloa la "*Cervecería del Pacífico*", fundada por los tres alemanes Jürgen Klaussen, Herman Evers y Emil Phillippy, vendida al señor Fuentesvilla y en 1954 la adquirió *Grupo Modelo*.

En 1920 los señores Miguel González y Heraclio Ochoa fundaron en Mexicali, Baja California la "*Cervecería Mexicali*", la cual cerró sus puertas en 1973.

En 1925 se inauguró en la ciudad de México la "*Cervecería Modelo*", fundada por el industrial español Don Braulio Iriarte, que posteriormente quedó en manos del empresario del mismo origen Don Pablo Diez y su equipo de colaboradores: Felix Arambuzabala, Nemesio Diez, Juan Sánchez Navarro, Manuel Alvarez y Antonino Fernández. Esta cervecería fue inicialmente dirigida por el maestro cervecero alemán Adolf Schmetje .

La cervecería "*La Perla*" cambió su nombre a "*Cervecería del Oeste*" en 1933, y en 1934 cambió nuevamente de razón social a "*Cervecería Cuauhtémoc S.A. Fábrica Guadalajara*".

En 1956 Rodolfo y Víctor González fundaron en Ciudad Obregón, Sonora "*Cervecería Mexicali de Sonora*", comprada por *Grupo Modelo* en 1960.

Posteriormente, en 1966 surgió en Torreón "*Cervecería de Torreón*", adquirida por *Grupo Modelo* a finales del mismo año.

En el primer lustro de los 80's, nacen "*Cervecería Río Bravo*" en Los Cabos, Baja California, "*Cervecería Cruz Blanca*" en Ciudad Juárez, Chihuahua, "*Cervecería de la Laguna*" en Torreón, Coahuila y "*Cervecería Zorrilla*" en San Luis Potosí.

A lo largo del siglo XX se fusionaron grandes cervecerías en México, como ejemplo la *Cervecería Cuauhtémoc* que adquirió "*Cervecería Sonora y Chihuahua*". Por su parte, "*Cervecería Modelo*" adquirió "*Cervecería Toluca*", "*Cervecería Pacífico*", *Cervecería "La Estrella"* y "*Cervecería Yucateca*". En 1985 las Cervecerías *Moctezuma* y *Cuauhtémoc* se fusionaron.

Las industrias macrocerveceras mexicanas tienen fábricas de malta (malterías), de las cuales existen seis ubicadas en Nuevo León, Ciudad de México, Baja California, Tlaxcala y Puebla.

Existen 17 fábricas de cerveza en todo México, siendo "*Cervecería Modelo Zacatecas*" la última en haberse construido y actualmente la más grande de Latinoamérica.

Existen en México dos principales grupos productores, quienes han incorporado empresas regionales, lo que ha originado dos empresas de gran tamaño: "*Grupo Modelo*" y "*Cervecería Cuauhtémoc-Moctézuma*".

## 1. GRUPO MODELO S.A. de C.V.

La Cervecería Modelo fue fundada el 25 de octubre de 1925 en la Ciudad de México por Don Braulio Iriarte; poco después Don Pablo Díez Fernández formó parte de la compañía, asumiendo la dirección general y convirtiéndose en accionista mayoritario de la misma. Llevó una importante política de expansión a través de inversiones y adquisiciones de otras plantas cerveceras, fábricas de malta y asociaciones estratégicas para asegurar el suministro de los insumos más importantes, todo esto con el objetivo de construir una empresa con presencia nacional que desde entonces ha tenido un crecimiento constante, lo que ha llevado a integrar prácticamente la totalidad de las fases productivas primarias y auxiliares.

Esta compañía se ubicaba en zonas estratégicas de la República Mexicana, como es el caso de Cervecería Toluca y México (1935), productora de la marca Victoria, Cervecería Estrella (1954), Cervecería del Pacífico (1954), productora de la marca Pacífico, Cervecería Modelo del Noroeste (1960) y Cervecería Modelo de Torreón (1966). Dispone de siete fábricas de cerveza, dos malterías, cinco fábricas de cartón, una fábrica de latas, una de chapas y una de vidrio  
([www.gmodelo.com.mx](http://www.gmodelo.com.mx))

Los productos característicos de Grupo Modelo son:

- ✓ **Corona Extra.** La estrella de la gama, *lager* ligera tipo *Pilsner*, poco lupulada y con un contenido de alcohol en volumen del 4.6%.
- ✓ **Modelo Especial.** Del mismo tipo de la Corona Extra, en presentación botella y lata.
- ✓ **Victoria.** *Lager* tipo *Vienna-Pilsner*.
- ✓ **Negra Modelo.** *Lager* tipo *Vienna-Munich*.
- ✓ **Light Modelo.** Cerveza *lager* ligera tipo *Pilsner* con menor contenido de extracto final.

También produce otras marcas originarias de las cervecerías que fueron absorbidas por *Grupo Modelo* como son **Estrella, Pacífico, Montejo, y León Negra**, todas éstas tipo *Pilsner* excepto la cerveza **León Negra** tipo *Vienna*.

Entre los productos del Grupo Modelo cabe señalar la difusión alcanzada en el mercado internacional por la **Corona Extra**. Su exportación constituye el 70% de las exportaciones de cerveza mexicana, que llega a 148 países de los cinco continentes.

## 2. CERVECERÍA CUAUHTÉMOC-MOCTEZUMA, S.A. de C.V.

Pertenece al grupo empresarial Valores Industriales, S.A. de C.V. (VISA) fue fundada en 1890 por Don Isaac Garza, José Calderón, José A. Muguerza, Francisco G. Sada y Joseph M. Schneider. Fue la primera cervecera exportadora de México, ya que sus primeras exportaciones tuvieron lugar en la década de 1920, y hoy sus productos se encuentran en 45 países. Aproximadamente el 89% de las exportaciones son vendidas a Estados Unidos y Canadá ([www.femsa.com](http://www.femsa.com)).

Cervecera Cuauhtémoc-Moctezuma está integrada por seis plantas productoras: Guadalajara, Monterrey, Navojoa, Orizaba, Tecate y Toluca. Dispone actualmente de varias plantas de elaboración así como de empresas auxiliares dedicadas a la producción de elementos complementarios tales como botellas, chapas, etc.

Ocupa el segundo lugar en el mercado mexicano (48%), y sus marcas características son:

- ✓ **Carta Blanca.** Cerveza *lager* estilo *Pilsner*.
- ✓ **Bohemia.** Cerveza *lager* estilo *Dortmunder*.
- ✓ **Tecate.** Semejante a la Carta Blanca.
- ✓ **Tecate light.** Versión ligera de la anterior.
- ✓ **Superior.** Cerveza *lager* estilo *Pilsner*.
- ✓ **Dos equis Ambar.** Cerveza *lager* tipo *Vienna*.
- ✓ **Dos equis Lager.** Cerveza *lager* tradicional estilo *Pilsner*.
- ✓ **Sol.** Cerveza *lager* ligera estilo *Pilsner*.
- ✓ **Indio.** Cerveza *lager* tipo *Vienna* semejante a dos equis ambar.
- ✓ **Noche Buena.** Cerveza *lager* estilo *bock* con mayor graduación alcohólica que las anteriores.
- ✓ **Kloster.** Cerveza *lager* tipo *Vienna* en barril.

A pesar de la presencia dominante en el mercado mexicano, por parte de estas dos grandes compañías cerveceras que representan la mayoría de ventas del país (99%), ha surgido, desde hace seis años a la fecha, un nuevo mercado en la industria cervecera, las microcerveceras; como ejemplo de éstas están las siguientes:

## 1. CERVECERIA SANTA FE BEER FACTORY, S.A. de C.V.

La cervecería "*Santa Fe Beer Factory*", nació gracias a un grupo de empresarios que implementaron en 1996 este nuevo tipo de mercado cervecero en México, convirtiéndose en la primera microcervecería moderna en el país. Desde sus inicios la mentalidad de los socios era crear la primera microcervecería, y marcar un estándar muy alto en el competido sector restaurantero; además de desarrollar la primer cerveza *premium* del país.

En enero de 1997 "*Santa Fe Beer Factory*" abrió sus puertas en el Centro Comercial Santa Fé en la Ciudad de México y posteriormente con capital 100% mexicano, creció por la apertura de *Santa Fe Beer Factory Cuicuilco* y *Mundo E* situadas en la misma zona metropolitana ([www.beerfactory.com](http://www.beerfactory.com)).

Bajo la dirección del Maestro Cervecerero Jay Marshall Prah, la cervecería Santa Fe Factory ofrece los siguientes estilos de cervezas:

1. **Coyote.** Estilo *American Pàle ale*.
2. **Coronel.** Estilo *Pilsner*.
3. **Luna llena.** Estilo *Stout*.
4. **Exótica.** Estilo *Afrutada*.
5. **Santa Fe.** Estilo *Vienna*.
6. **Milenia.** Estilo *Dopple Bock*.
7. **Celebrator.** Estilo *Bock*.
8. **Gold father.** Estilo *English Mild*.
9. **Equinox.** Estilo *Kristallweizen*.

Cabe señalar que actualmente ésta microcervecería ha introducido sus productos en presentación embotellada en algunos centros de autoservicio, dando así una mayor difusión de los mismos ante el consumidor mexicano.

## 2. CERVECERIA COSACO.

"*Cerveceria Cosaco*" es una pequeña cervecería independiente, producto de cinco años de proyecto. Esta empresa de origen familiar, creada por el Maestro Cervecerero Gustavo González Chozas está situada en el Ciudad de México, en la carretera México-Cuernavaca, y elabora exclusivamente cervezas estilo *ale* en forma artesanal.

Las cervezas Cosaco están a la venta en barriles de acero inoxidable con capacidad de 11, 19 y 38 litros. Además del barril se proporciona un pequeño sistema de inyección de CO<sub>2</sub>, conexiones, mangueras, sistema de enfriamiento y servidor para la misma.

Actualmente Cervecería Cosaco produce 1000 litros mensuales, y sus productos respetan la ley de pureza alemana *Reinheitsgebot*, utilizando 100%

malta de cebada y lúpulos alemanes; ofreciendo una vida de anaquel del producto de hasta 5 meses.

Esta microcervecería ofrece dos estilos de cerveza tipo *ale*, las cuales son:

1. **Cosaco Negra.** Cerveza estilo *Porter*.
2. **Cosaco Roja.** Cerveza estilo *Red ale belga*.

Esta microcervecería tiene como propósito ofrecer en un futuro cerveza estilo *Hefeweizen* producida por primera vez en México y establecer otra nueva sucursal en la ciudad de Querétaro (González, 2001).

El surgimiento y desarrollo de las Microcervecerías en México está tomando auge en forma importante en el norte del país, siendo sus principales exponentes las siguientes microcervecerías que se describen a continuación.

### 3. CERVECERIA ESPECIALIDADES CERVECERAS, S.A. de C.V.

"Especialidades Cerveceras S.A. de C.V.", es una empresa con capital 100% mexicano creada en diciembre de 1998 por empresarios de abuelengo; Mauricio Fernández y el Ing. Manuel Zambrano en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. Esta cervecería que se dedica exclusivamente a la elaboración y distribución de cervezas especiales tipo *ale* denominadas "*Casta*" de categoría *premium*.

Esta empresa produce alrededor de 20 mil hectolitros anuales y la marca *Casta* en sus presentaciones *clara, dorada, bruna, morena, y triguera*.

Para la elaboración de estos estilos de cerveza son utilizados diferentes tipos de malta como *carapils*, negra y caramelo, entre otras. Con respecto a la utilización de lúpulo son utilizados principalmente *cascade* y *liberty* de origen inglés.

Los equipos utilizados por esta cervecería son principalmente de procedencia inglesa, alemana e italiana.

La planta instalada puede elaborar 20,000 cajas (39,000 litros) mensuales.

Su distribución actual está en Monterrey, Mérida, Chihuahua, Ciudad Juárez, Aguascalientes, y en la Ciudad de México, y próximamente se ofrecerá al mercado estadounidense (Treviño, 2000).

Los tipos de cerveza que ofrece esta microcervecería son :

1. **Dorada.** Cerveza estilo *English golden ale*.
2. **Bruna.** Cerveza *English pale ale* cobriza de cuerpo medio.
3. **Morena.** Cerveza *ale* oscura estilo *Oiud Bruin Ale* de cuerpo medio.
4. **Triguera.** Cerveza estilo *Weizenbier*.
5. **Milena.** Cerveza estilo *Abadla*. (Edición limitada)

Cabe señalar que esta cervecería está proponiendo desarrollos de cerveza estilo *Kölsch*, *Hefeweizen*, etc.

#### 4. CERVECERÍA SIERRA MADRE BREWING.

Otra nueva microcervecería regiomontana es la cervecería "*Sierra Madre Brewing*". Inaugurada en el verano de 1998, está ubicada en Av. Vasconcelos, Valle del Campestre, Garza García, N.L. y en Galerías Monterrey Av. Insurgentes, Monterrey, N.L., su concepto en el mercado cervecero es de *brewpub*. Esta microcervecería es dirigida por el Maestro Cervecerero Hector Vargas y es la que expone la mayor variedad de estilos de cerveza en el país  
([www.sierramadrebrewing.com](http://www.sierramadrebrewing.com))

Los estilos de cerveza que ofrecen son:

1. **La Silla.** Cerveza estilo *Pale ale*.
2. **El Mirador.** Cerveza estilo *Dortmunder*.
3. **El Fraile.** Cerveza estilo *Porter*.
4. **Regio.** Cerveza estilo *Pilsner*.
5. **SMBC.** Cerveza estilo *American Wheath*.
6. **El Divisadero.** Cerveza estilo *Extra Special Bitter*.
7. **Cañon del cobre.** Cerveza estilo *Scottish Ale*.
8. **Matacanes.** Cerveza estilo *Brown Ale*.
9. **La Huasteca.** Cerveza estilo *Helles*.
10. **Especial de Navidad.** Cerveza estilo *Brown Ale*.
11. **Oktoberfest.** Cerveza estilo *Märzen*.
12. **Sta. Catarina River.** Cerveza estilo *Vienna lager*.
13. **Chipinque.** Cerveza estilo *Red Ale*.
14. **Las Cumbres.** Cerveza estilo *Dunkel*.
15. **Huajuco.** Cerveza estilo *Bock Roja*.
16. **Onilala.** Cerveza estilo *Red lager roja*.

## 5. CERVECERIA PEPE'S & JOE/ MAZATLAN S.A. de C.V.

Microcervecería tipo *Brewpub* creada el lunes 11 de abril de 1995 por la Familia Castillo Capaceta y bajo la dirección del Maestro Cervecerero Rogelio Fuentes; originario de Tijuana, Baja California y egresado del Master Brewers Program, UC Davis; Associate Member of Institute of Brewing, Londres. Esta microcervecería está ubicada en el piso subterráneo de Plaza Valentino Av. Camarón Sabalo S/N, Mazatlán, Sinaloa. Actualmente tiene una producción anual de 1500 hL y elabora sus cervezas con maltas de cebada nacionales 2H, 6H, Caramelo, Carapils, Munich, malta de trigo y jarabe de malz alto en maltosa, con respecto a la utilización de lúpulos utiliza las variedades Perle, Cluster y Saaz. La presentación de sus productos son ofrecidos al público en torre, barril de 50 L y a partir de enero del 2002 en botella media de 325 mL ambar (Fuentes, 2002).

Expone actualmente cuatro tipos de cerveza tipo *ale* y *lager*.

1. **María Bonita.** Cerveza estilo *Pale ale*
2. **Olé.** Cerveza estilo *Red ale*
3. **Toña La Negra.** Cerveza estilo *Brown ale*.
3. **Mazatlán.** Cerveza estilo *Lager premium*.
4. **Durazno.** Cerveza estilo *Light Lager*.

Como podemos observar el desarrollo de las microcervecerías en México esta teniendo un impacto considerable, ya que exponen una serie de estilos que no habían sido consumidos en el país y a los cuales el consumidor mexicano no había estado acostumbrado. Dichas variedades tienen características más complejas que las cervezas mexicanas ofrecidas por las grandes cerveceras a través de la historia de la cerveza en México.

Actualmente están surgiendo otras microcervecerías en las principales ciudades del país como Monterrey, Guadalajara, Distrito Federal, Puebla, Guanajuato, Mazatlán y Cancún.

# Capítulo 4. Aspectos generales de la producción de cerveza.

## 4.1 Materias primas.

Son cinco las materias primas que se necesitan para la producción de cerveza: cebada, adjuntos, lúpulo, agua y levadura. La calidad de éstas serán la influencia decisiva sobre la calidad del producto final.

### LA CEBADA.

La cebada es el nombre común de las especies de cereal de un género de gramíneas originario de Asia y Etiopía; es una de las plantas agrícolas más antiguas.

Vigorosa y resistente a la sequía puede cultivarse en suelos marginales; se han seleccionado variedades resistentes a la sal para mejorar su productividad en regiones litorales. Las variedades cultivadas de la cebada, pertenecen a tres tipos distintos: de dos hileras o dísticas, de seis hileras o hexásticas, e irregulares. En América suelen cultivarse las hexásticas, mientras que en Europa, predominan las dísticas; la variedad irregular, se cultiva en Etiopía (Hough, 1994).

#### Clasificación científica.

La cebada pertenece al género *Hordeum*, de la familia de las Gramíneas (*Gramineae*). La cebada de dos hileras, corresponde a la especie *Hordeum distichon*, la de seis hileras, a la especie *Hordeum vulgare*, y la cebada irregular a la especie *Hordeum irregulare* (Delbruck, 2001).

#### Variedades de cebada.

En la convención europea de países cerveceros, existen registradas alrededor de 300 tipos de cebada de dos hileras de primavera y 100 tipos de cebada de dos hileras de invierno. Para el malteado y la producción de cerveza, las cebadas de dos hileras de primavera son consideradas idóneas, por la calidad de las mismas.

Para obtener una malta uniforme y de buena calidad es esencial que la variedad de la cebada a maltear sea la misma, así como su pureza. Para obtener estos parámetros de la mejor forma se consideran los siguientes puntos:

- Resistencia a pestes y enfermedades.
- Alto contenido de nutrientes utilizables.
- Buena absorción de agua.
- Bajo contenido de nitrógeno.
- Alta energía germinativa en el tiempo de madurez del malteado.
- Alto potencial de formación de enzimas
- Capacidad de tener una buena modificación.
- Un alto rendimiento de extracto sobre el malteado.

Las regiones de más alto desarrollo de cebada están localizadas en Europa central donde se cultiva principalmente la cebada de dos hileras y que determina mucho la calidad de la cerveza. La más usada es ALEXIS, otras variedades cultivadas son BLENHEIM, DEKADO, PRISMA, VOLGA, KRONA, MARESI, MARINA y variedades checas RUBIN, ORBIT y KRYSTAL, etc. Otros tipos de cebada como la variedad PLAISANT de seis hileras, son reconocidos por su calidad tan buena como la de dos hileras. En Estados Unidos se produce las variedades ROBUST, EXCEL, MOREX, AZURA. Otra región productora importante es el sudoeste del hemisferio de Australia (Kunze, 1999).

#### **Composición y propiedades de los componentes de la cebada.**

El contenido promedio de humedad de la cebada es de 14 a 15 % sobre el total de la misma. El contenido de humedad puede variar desde 12% en condiciones muy secas hasta 20% en condiciones húmedas. La cebada muy húmeda debe ser secada porque no puede ser almacenada por mucho tiempo y esto hace que rápidamente pierda su capacidad de germinar. La cebada debe tener un contenido de humedad debajo del 15% para un largo tiempo de almacenamiento. La cantidad de otros componentes constituyen el peso seco de la cebada.

La materia seca de la cebada tiene la siguiente composición química mostrada en la tabla 4.1:

Carbohidratos totales	70-85%
Compuestos nitrogenados	10.5-11.5%
Materia Inorgánica	2 - 4 %
Grasas	1.5 - 2.0 %
Otras sustancias	1.0 -2.0 %

## CARBOHIDRATOS.

Los carbohidratos son cuantitativamente la clase más importante de compuestos encontrados en la cebada, pero difieren considerablemente respecto a sus propiedades y su importancia en la calidad del producto final. Los compuestos más importantes son el almidón, azúcares simples, celulosa, hemicelulosa y gomas.

**Almidón.** El almidón es el constituyente más importante de la cebada y forma el 50 a 63% de la misma. El almidón está en el grano de cebada el cual se forma por asimilación y subsecuente condensación de glucosa a un material de reserva que es metabolizada por la planta en su fase inicial de crecimiento. El almidón es depositado en gránulos amiláceos en las células del endospermo.

Los gránulos (20 a 30  $\mu\text{m}$ ) ó gránulos pequeños (1 a 6  $\mu\text{m}$ ) contienen las siguientes sustancias de importancia (Richman, 1984):

**Amilosa.** Consiste de 200 a 400 unidades de  $\alpha$  glucosa encadenadas o enlazadas en una cadena helicoidal no ramificada por uniones glicosídicas en los carbonos de las posiciones 1,4.

**Amilopectina.** Predominantemente formada por unidades  $\alpha$  glucosa, enlazadas en sus posiciones 1,4 por enlaces glicosídicos. Aunque también tienen ramificaciones por uniones 1,6 de 15 a 30 unidades de glucosa, con una estructura que contiene más de 600 residuos de glucosa.

**Azúcares simples.** La cebada solo contiene de un 1.8 a 2.0 % de azúcares simples. Los azúcares simples son productos metabólicos que pueden ser usados por la planta. Se presentan en forma de productos catabólicos como sacarosa, glucosa y fructosa.

**Celulosa.** El 5 a 6 % de celulosa es encontrada exclusivamente en la cáscara como sustancia estructural. La celulosa, como la amilosa, consiste en cadenas grandes no ramificadas de enlaces 1,4 de glucosa. La diferente posición espacial de las moléculas de glucosa de la posición  $\beta$  difieren de la amilosa de posición  $\alpha$ . Esto confiere la insolubilidad a la celulosa y la molécula no puede ser rota por enzimas endógenas de la malta. La celulosa no tiene por ello un efecto sobre la calidad de la cerveza.

**Hemicelulosa.** Es el constituyente más significativo de las paredes del endospermo. Consiste de  $\beta$  glucanos y pentosanos, que juntos forman la rigidez de las paredes del endospermo. Los  $\beta$  glucanos y pentosanos difieren en sus estructuras y los diferentes efectos sobre la producción y calidad de la cerveza, por ello se considerarán separadamente a continuación. La hemicelulosa consiste de 80 a 90 % de  $\beta$  glucanos y 10 a 20 % de pentosanos.

**$\beta$ - glucanos.** Los  $\beta$ -glucanos consisten en cadenas largas de moléculas de glucosa unidas por uniones 1,3 y uniones 1,4. Las uniones  $\beta$  provocan que las moléculas de glucosa no formen espirales como cadenas de amilosa sino cadenas extendidas. En las paredes celulares del endospermo esas cadenas son enlazadas

a proteínas. Cuando éstas se encuentran en solución, llegan a asociarse con otras como resultado de la formación de puentes de hidrógeno.

**Pentosanos.** Son formados por pentosas, xylosas y arabinosas. En esencia consisten de largas cadenas de residuos de 1,4-D-xylosa con residuos de arabinosa. Los pentosanos son parcialmente hidrolizados durante el malteado y en la producción de cerveza. Su efecto sobre la producción y la calidad de la cerveza no es importante y no es comparable a los  $\beta$  glucanos (Kunze, 1999)

## COMPUESTOS NITROGENADOS.

El contenido de nitrógeno de la cebada, calculado como proteína, puede variar entre 8 a 16% y solo una tercera parte de esta proteína permanece en la cerveza terminada.

La cantidad de proteína en cerveza es relativamente pequeña, esto puede tener un efecto importante sobre la calidad de la misma. Estas proteínas pueden tener una importante influencia sobre la presencia de turbios en la cerveza.

El requerimiento normal comercial es de un máximo de 11.5% de proteína en materia seca.

Por su contribución en la formación de turbios en la cerveza, las sustancias nitrogenadas en la cebada son divididas en dos grandes grupos:

### Proteínas y sus productos de ruptura.

1. **Proteínas.** Las proteínas son compuestos nitrogenados de alto peso molecular con una masa molecular de 2,000 a 300,000 daltones y son insolubles en solución acuosa o precipitados en la ebullición.

La cebada contiene proteínas de los siguientes grupos.

- I. **Glutelina.** Alrededor del 30% de la proteína de la cebada es glutelina que se disuelve solo en medio alcali diluido. Esta proteína se localiza casi en su totalidad en la capa de la aleurona y pasa así dentro de los granos gastados.
- II. **Prolamina.** La prolamina en la cebada es también llamada hordeína y esto constituye sobre 37 % de la proteína de la cebada. Esta se disuelve 80% en alcohol y la parte restante pasa dentro del grano gastado.
- III. **Globulina.** La fracción de la globulina de la cebada es llamada edestina; ésta se disuelve en solución salina diluida y también en el macerado. Forma alrededor del 15% de la proteína de la cebada.

IV. **Albúmina.** La albúmina de la cebada en la ebullición del mosto es completamente precipitada. La cantidad de proteína decrece durante el malteado y en la producción de cerveza, porque son parcialmente hidrolizados a productos de ruptura.

## 2. Productos de ruptura de proteína.

Los productos de ruptura protéica forman una pequeñísima fracción de compuestos nitrogenados de la cebada (8% aproximadamente). La proporción incrementa durante el malteado y la producción de cerveza. Los productos de ruptura de proteína pueden ser clasificados como:

**Productos de ruptura de alto peso molecular:** Consiste en los productos de la degradación por las proteasas, los cuales originan un complejo de peptonas. Los productos de ruptura de alto peso molecular proveen la estabilidad de la espuma de la cerveza pero están también involucrados en la formación de los turbios de la cerveza (Kunze, 1999).

**Productos de ruptura de bajo peso molecular:** Consisten en pequeñísimos fragmentos de proteínas, aminoácidos y péptidos (Kunze, 1999).

## LÍPIDOS.

La cebada contiene alrededor de 2% de lípidos. Estos lípidos de la cebada son depositados significativamente en la capa de la aleurona. Los lípidos consisten casi exclusivamente de triacilglicéridos en que el glicerol forma ésteres con tres ácidos grasos.

## OTRAS SUSTANCIAS.

La cebada también contiene otras sustancias que se presentan solo en cantidades pequeñas, sin embargo, afectan la calidad de la cerveza y la producción de la misma. Esto incluye sustancias polifenólicas, vitaminas y enzimas.

**Polifenoles o taninos.** Los polifenoles son depositados en la cáscara y también en la capa de aleurona de la cebada. Cuando se presentan en grandes cantidades dan sensación áspera no placentera y sabores amargos. Su concentración en general incrementa con la grosor de la cáscara. Especialmente con cebada de cáscara gruesa, se trata de excluir una cantidad de sustancias de este material en el malteado.

**Vitaminas.** Las vitaminas son compuestos nutricionales. La cebada contiene, esencialmente, las siguientes vitaminas:

1. Complejo B.  
✓ Vitamina B1 (Tiamina).

- ✓ Vitamina B2 (Riboflavina).
  - ✓ Vitamina B4 (Niacina).
  - ✓ Vitamina B6 (Piridoxina).
  - ✓ Vitamina B12 (Cianocobalamina).
  - ✓ Acido pantoténico.
  - ✓ Biotina.
  - ✓ Inositol.
  - ✓ Acido fólico
  - ✓ Acido p-aminobenzóico.
2. Vitamina C (Acido ascórbico).
  3. Vitamina E (Tocoferoles).

## LOS ADJUNTOS.

Los adjuntos están definidos como cualquier fuente de carbohidratos no malteado, agregado en la producción de mosto como un sustituto de la malta de cebada o de la malta de trigo (Dornbush, 2000).

La cerveza hecha con la incorporación de adjuntos, es de color más claro y contiene menos proteína que la cerveza elaborada únicamente con malta como fuente de carbono. El hecho de que exista un menor contenido de proteínas determina una mayor estabilidad y una vida más larga al producto terminado; además se reduce la sensación de saciedad.

### Selección de adjuntos cerveceros.

Tradicionalmente, la selección de adjuntos se ha basado más que nada en las materias primas propias de la zona del país donde está ubicada la cervecera. Sin embargo, la tecnología moderna ofrece al cervecero, la oportunidad de contar con una selección mucho más vasta material para adjuntos y de aprovechar adjuntos de origen más amplio. Algunas de las consideraciones más importantes que determinan la selección de un adjunto específico pueden enumerarse de la manera siguiente:

**Disponibilidad.** Es importante para un cervecero asegurarse de que la fuente y el procesamiento del adjunto seleccionado sean tales que puedan garantizarla razonablemente un abastecimiento a largo plazo de material de calidad con una máxima estabilidad de precio. Como regla general se requiere cierto tiempo para determinar la mejor manera de emplear un nuevo material en operaciones cerveceras. Una vez que se ha establecido un método aceptable para la fabricación de cerveza, resulta deseable continuar la producción usando dicho procedimiento durante todo el tiempo que sea posible sin cambio, para obtener un producto uniforme y minimizar las variaciones que afectan a la levadura.

**Instalaciones de manipuleo.** Debe presentarse atención a las diversas formas en que diferentes adjuntos pueden manipularse y almacenarse en la cervecería. En el caso de los adjuntos secos, las decisiones con respecto a su recepción en bolsas o a granel, los niveles mínimos y máximos de existencias y los sistemas de transporte y de transferencia hacia la cervecería o dentro de ella son factores importantes. Igualmente, para los adjuntos líquidos habrá que tomar decisiones con respecto a su entrega a granel o en tambores y al género y las condiciones de almacenamiento. Cualquiera que sea el tipo de adjunto escogido, las limitaciones de espacio jugarán un papel importante en la decisión. Naturalmente deben compararse los costos relativos de capital de las instalaciones y los costos de manipuleo, así como la manera en que afectan a las ventas de bagazo.

**Aceptabilidad para la producción de cerveza de alta calidad.** El mantenimiento de una calidad superior y uniforme de cerveza sigue siendo de máxima importancia para cada cervecero. Por lo tanto, en la selección de un adjunto, el criterio usual es el de producir una cerveza de una calidad dada a un costo mínimo por unidad de adjunto. Factores importantes para la determinación de la aceptabilidad de un adjunto cervecero, que sirva para la producción de cerveza de alta calidad, son el comportamiento de las fracciones de almidón, de las proteínas, de los minerales, y de los lípidos. Generalmente, los adjuntos deben tener un elevado contenido de almidón, ya que el aporte de carbohidratos es el objetivo principal de utilización. Desde el punto de vista del suministro de azúcares fermentables y dextrinas, todo el almidón tiene esencialmente la misma composición, no importa cuál sea su origen. El almidón debe gelatinizarse con un mínimo de tratamiento en el cocedor, y su conversión dentro del macerador debe ser normal (Dixon, 1998).

Los adjuntos pueden ser de varias clases, por ejemplo (Bradde, 1977):

- a) **Grits o harinas preparadas de maíz o de arroz desgranado escamas u hojuelas (flakes).**
- b) **Dextrina** (preparada a partir de almidón).
- c) **Jarabes fructosados.**
- d) **Arroz.**
- e) **Sorgo.**
- f) **Trigo.**
- g) **Azúcar de caña.**

## EL AGUA.

El 95% de la composición total de la cerveza es agua.

Entre los minerales que se encuentran en el agua, los de mayor interés para los cerveceros son el calcio, los sulfatos y los cloruros. El calcio favorece la extracción tanto de la malta como del lúpulo en la maceración y la ebullición, reduce la turbiedad y rebaja el color. Los sulfatos refuerzan el amargor y la sequedad del lúpulo.

Los cloruros contribuyen a dar una textura más plena y refuerzan el dulzor de la cerveza. Son relativamente altos en las cervezas tipo *porter* y la *stout*. En contraste con esto, las aguas blandas resultan ideales para la elaboración de las *lagers* tipo *Pilsner*.

Se han desarrollado procedimientos para ablandar el agua, y existen mezclas de sales que pueden añadirse al agua ablandada para obtener otras características similares a los tipos de cervezas que se desean producir. Los iones de calcio juegan muchos otros papeles en la elaboración de cerveza. Los fabricantes de cerveza ajustan, por ello, la composición química del agua utilizada en la elaboración de la bebida, lo que les ayuda a controlar el pH, a disponer de suficientes iones calcio y a ajustar la concentración de otros iones de importancia para la elaboración de la cerveza (Hough, 1994).

## EL LUPULO

Lúpulo es el nombre común de las plantas de un género de enredaderas de la familia Moráceas. Las flores son pequeñas y unisexuales (las masculinas y femeninas se forman en plantas distintas). Las masculinas forman panículas laxas, mientras que las femeninas se disponen en amentos que al madurar, producen aquenios (frutos secos unicolares) unidos a las bases de brácteas imbricadas. Todo este amento de aquenios y brácteas, constituye el lúpulo comercial y está cubierto de un fino polvo amarillo llamado lupulina ó harina de lúpulo, esta sustancia confiere al lúpulo el sabor amargo y el aroma a la cerveza (Eschenbach, 1994).

El lúpulo común es nativo de Eurasia, y se ha naturalizado en el norte y el oeste de Estados Unidos, Australia y Brasil. Alemania, Inglaterra y Estados Unidos son los principales países productores.

### Clasificación científica.

Las especies de lúpulo constituyen el género *Humulus*, de la familia de las Moráceas (*Moraceae*). El lúpulo común o europeo es *Humulus lupulus*, y el americano, *Humulus lupulus* variedad *lupuloides* (Hopunion, 1999).

## **Variedades de lúpulo.**

La variedad más delicada y floral es la *Saaz*, así denominada por la región de la que procede (Zatec, Bohemia); es la que se utiliza normalmente en las *lagers* estilo *Pilsner*.

En Alemania existe también una de las variedades más apreciadas por su delicado aroma: "*Hallertau Mittelfrüh*", que se cultiva tradicionalmente en el distrito de *Hallertau*, en Baviera, entre München y Regensburg. En la región de Hersbruck, al norte de Nürnberg se tiene una variedad propia de lúpulo aromático, ligeramente más robusto. Entre ambas regiones se encuentra una tercera productora: Spalt, al sur de Nürnberg. El aroma del tipo "*Spalt*" tiene un carácter muy complejo.

Entre las variedades amargas se encuentra la robusta "*Norther Brewer*" y la "*Brewer's Gold*" más dulce. Ambas son originarias de Inglaterra.

En Bélgica se cultivan las variedades "*Brewer's Gold*", "*Record*" (un híbrido de "*Saaz*" y "*Norther Brewer*") y otras no nativas.

Las variedades inglesas más famosas son "*Goldings*" y "*Fuggles*" de aroma rico, áspero y redondo. Ambas se utilizan tanto para proporcionar aroma como amargor.

Los lúpulos norteamericanos tienen características de sabor a pino, florales, afrutados y cítricos. El lúpulo clásico para dar amargor es el "*Cluster*" y el aromático, el "*Cascade*" (Lemmens, 1998).

## **Unidades de amargor (IBU).**

La capacidad de los lúpulos para conferir amargor se puede medir por su contenido de  $\alpha$ -ácidos. Mediante la combinación de este valor y la cantidad utilizada, el cervecero puede definir el nivel de amargor de su cerveza de acuerdo a una escala aceptada internacionalmente "International Bitter Units (IBU)". Por supuesto, este valor no dice nada sobre la sutileza de los sabores, pero da una idea general sobre su intensidad. Este valor se debe juzgar simultáneamente con la densidad, el malteo y el cuerpo de la cerveza. Cuanto más plena es, tanto más lúpulo es necesario para equilibrar el dulzor de la malta.

Las cervezas más suaves pueden tener de 10 a 15 unidades de amargor. Las marcas internacionales se oscilan alrededor de las 20 unidades. Cuando se alcanzan las 35, se empieza a notar un cierto énfasis en el lupulizado, y sobrepasando las 40 se trata de cervezas muy lupulizadas.

## Química del lúpulo.

Las resinas del lúpulo fresco son solubles en hexano. Estas resinas del lúpulo, llamadas blandas, están fundamentalmente constituidas por  $\alpha$  y  $\beta$  ácidos. A medida que el lúpulo envejece y se oxida, aumenta la proporción de resinas insolubles en hexano, denominadas resinas duras, a causa fundamentalmente de las transformaciones sufridas por los  $\alpha$  y  $\beta$  ácidos.

Los  $\alpha$ -ácidos, o humulonas, representan una familia de compuestos que se diferencian en la cadena lateral unida al carbono 2 del anillo hexacarbonado. Constituyen el principal componente amargo de la cerveza. Los  $\beta$ , o lupulonas, forman una familia de compuestos similares, pero menos importantes por su grado de amargor.

Durante la ebullición del mosto, los  $\alpha$ -ácidos del lúpulo se reorganizan o se isomerizan. Los compuestos generados, iso  $\alpha$  ácidos o isohumulonas, son mucho más amargos y mucho más solubles que los  $\alpha$ -ácidos. Los  $\beta$ -ácidos tienden por el contrario, a oxidarse durante la ebullición, para dar una serie de derivados amargos y no amargos. Los cambios que tienden a producirse son:

- 1) Oxidación de las cadenas laterales.
- 2) Transformación de los anillos hexagonales en pentagonales.

Los aceites esenciales de los conos del lúpulo son una mezcla compleja de varios componentes. Los solubles en hexano son hidrocarburos terpenoides. El resto, soluble en éter etílico, son compuestos que contienen oxígeno, como ésteres, aldehídos, cetonas, ácidos y alcoholes. Algunos son extremadamente potentes, como el tiohexanoato de metilo, que tienen un umbral de percepción de 0.3 ppb. Los aceites esenciales influyen tanto en el sabor como en el aroma de la cerveza, aunque la mayor parte de éstos aceite se pierden durante la ebullición por evaporación (Wilson, 2001).

## LA LEVADURA.

Tradicionalmente los expertos en taxonomía de especies de levadura y particularmente los ligados a la cervecería han clasificado a las levaduras usadas en cervecería como especies pertenecientes al género *Sacharomyces*, siendo dos especies principalmente:

- ✓ *Sacharomyces cerevisiae* o levadura *ale*
- ✓ *Sacharomyces carlsbergensis* o levadura *lager*

La distinción entre estas especies es principalmente sobre la capacidad de fermentar la melobiosa. Las levaduras *lager* pueden utilizar la melobiosa, las levaduras *ale* no pueden, aunque este no es el único punto de clasificación ya que existen otros factores que no se han determinado aún del todo, por lo que es difícil definir cuales son las diferencias exactas.

Algunas investigaciones sobre la estructura del cromosoma de las levaduras *lager* llevan a la conclusión de que la levadura *lager* es originada como un híbrido entre la levadura *S. cerevisiae* y otra especie de levadura, la *S. monacensis*.

La levadura normalmente fermenta los azúcares produciendo principalmente alcohol y CO<sub>2</sub>. Durante su crecimiento produce ácidos orgánicos, reduciendo el pH del medio. Las levaduras son muy tolerantes a ácido y alcohol, el cual ellas producen.

Las levaduras necesitan determinados nutrientes para crecer, como compuestos nitrogenados. Las levaduras prefieren obtener nitrógeno en la forma de aminoácidos, y también requieren pequeñas cantidades de minerales incluyendo hierro, fósforo, potasio, magnesio, calcio, cobre, zinc, boro y otros en cantidades pequeñas. Las levaduras usualmente requieren de ciertas vitaminas, entre las cuales están el inositol, la tiamina, la biotina, el ácido nicotínico, el ácido pantoténico y el ácido fólico. Todos estos nutrientes son requeridos para construir la estructura celular de la levadura (Heyse, 1983).

Las levaduras, usualmente se reproducen por gemación. Antes que la célula pueda formar una gema debe poseer un exceso de muchos constituyentes químicos. Los genes se duplican antes del comienzo de la gemación, el núcleo y otros organelos se dividen, y copian las nuevas células. Eventualmente una nueva membrana plasmática y pared celular dan la gema de la célula hija y es entonces que la gema se separa dejando la llamada cicatriz de nacimiento en la célula madre.

Bajo óptimas condiciones de nutrición y temperatura, la levadura puede formar nuevas gemas cada 2 horas. La temperatura óptima para una levadura *ale* es alrededor de 30°C, y para levadura *lager* es alrededor 22°C.

En condiciones frías de producción de cerveza, la levadura produce nuevas gemas cada 8 horas. El crecimiento de la levadura en fermentación puede ser limitado por deficiencia de azúcares, compuestos nitrogenados o compuestos lipídicos (Berger y Duboe-Laurence, 1988).

### **Estructura de la célula de la levadura.**

La célula de una levadura para la elaboración de cerveza mide entre 8 y 14 µm de diámetro y un peso de materia seca de 40 pg. Cada célula está rodeada por una pared y en el interior de la misma se pueden distinguir en microscopio óptico pocas estructuras, salvo una o más vacuolas.

La pared celular representa el 30% del peso seco total y tiene un grosor de 100-200 nm; está constituida por un 40% de β-glucanos, otro 40 % de α-mananos, 8 % de proteína, 7% de lípidos, 3% de sustancias inorgánicas y 2% de hexosamina y quitina.

El  $\beta$ -glucano está unido a la proteína y representa el componente estructural más abundante; se halla en la cara interna de la pared. El  $\alpha$ -manano se encuentra también ligado a proteína, a veces a través de hexosamina, y se encuentra en la cara externa de la pared. La superficie de la célula se encuentra con carga negativa, debido a la presencia de grupos carboxilo y fosfato en condiciones de pH de la cerveza. También se encuentran grupos amino, pero sólo le confieren regiones locales de carga positiva relativamente pequeñas.

Las levaduras se multiplican por gemación. Una zona debilitada de la pared permite que se forme una protuberancia en el citoplasma, a la que de inmediato se provee de pared. A medida que crece van emigrando a la gema los orgánulos de la célula madre incluido un núcleo (tras su división). Finalmente, la gema alcanza su tamaño definitivo, lo que no implica necesariamente su separación de la célula madre. Si las células madre e hija se separan, en la primera queda un anillo denominado cicatriz de gemación, fácilmente distinguible; el de la célula hija es más difícil de distinguir. Una sola célula puede dar lugar a más de 30 gemas a lo largo de su vida (Korzonas, 1997).

El citoplasma se halla envuelto por una membrana viva, el plasmalema, que no sólo recubre al citoplasma sino que se ramifica uniéndose con la red membranosa interna. Estas estructuras están constituidas por proteínas y lípidos, entre ellos fosfolípidos y esteroides. El plasmalema es importante en la regulación del flujo de todos los materiales tanto hacia el interior como hacia el exterior de la célula.

El núcleo de las levaduras ofrece un diámetro de 1.5  $\mu\text{m}$  y está rodeado por una doble membrana. En su interior se alberga un área densa, en forma de media luna, a la que se denomina nucleólo.

Las células de levaduras en crecimiento rápido ofrecen varias vacuolas, en una doble membrana única, se encuentran partículas densas de polifosfato, a las que tradicionalmente se denomina glóbulos de volutina. Cuando crecen en condiciones aeróbicas y en especial si la concentración de glucosa es escasa se observan varias mitocondrias en el interior de cada célula. Cada mitocondria está rodeada por una doble membrana. Las mitocondrias albergan a los citocromos a las enzimas respiratorias y a los sistemas responsables de la biosíntesis de adenosín trifosfato (ATP). Son, por tanto, las responsables del metabolismo oxidativo de los azúcares, que se degradan a dióxido de carbono y agua; el ATP que sintetizan almacena la energía química derivada de estas reacciones (Edgerton, 2001).

### **Metabolismo de la levadura cervecera.**

La levadura es un microorganismo que puede obtener la energía que necesita de la siguiente forma:

- En presencia de oxígeno (aeróbico) por respiración
- En ausencia de oxígeno (anaeróbico) por fermentación.

La levadura no solo produce alcohol también produce en su metabolismo productos que influyen en el sabor y el carácter de la cerveza, por ello es importante conocer la estructura y composición de la levadura, su crecimiento y metabolismo (Krause, 1996).

### **Metabolismo de carbohidratos.**

El metabolismo de los carbohidratos dentro de la levadura puede realizarse por dos vías: una anaerobia a través de la glucólisis terminando con la síntesis de etanol, y otra aerobia, iniciando con la glucólisis pero culminando con el proceso de respiración en las mitocondrias; la ruta que siga dependerá por un lado de la concentración de oxígeno del medio (efecto *Pasteur*), aunque por otro, es también dependiente de la concentración de azúcares en el medio (efecto *Crabtree*). Cabe señalar que aunque generalmente se considera a la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como un organismo facultativo, es decir, que en condiciones aerobias se ve favorecida la respiración, en realidad este microorganismo tiene una tendencia muy alta hacia el metabolismo anaerobio, aún cuando existan en el medio de cultivo baja concentración de azúcares y alta concentración de oxígeno. Esta levadura requiere condiciones microaerófilas para sintetizar ergosterol y ácidos grasos insaturados que le permitan crecer en el medio, y en realidad la vía que se ve favorecida en la levadura es la fermentativa para la producción de etanol, lo que le permite satisfacer estos requerimientos (Santillan y García Garibay, 1998).

Existen 3 características interesantes con respecto a la absorción de los azúcares por la levadura (Lopez Lee, 1978):

1. La entrada de la mayor parte de los azúcares a la célula, se realiza por transporte activo, ya que las células pueden concentrar azúcares de tal forma que la concentración de los mismos en el interior de las células, sea mayor que la existente en el mosto. Por lo tanto, los azúcares penetran en forma activa debido a la acción de permeasas específicas para cada tipo de azúcar. En el caso de los monosacáridos, el transporte activo se realiza ya sea por baja afinidad que involucra difusión facilitada o por alta afinidad que se realiza por translocación de grupos.
2. Una vez absorbidos los azúcares por la célula, como la maltosa y la maltotriosa, deben primeramente hidrolizarse a glucosa, antes de ser empleados en el metabolismo. La maltosa y la maltotriosa se hidrolizan dentro de la célula por la acción de la maltasa o  $\alpha$ -glucosidasa. Cuando se trata de algunos oligosacáridos, incluida la sacarosa, o incluso dextrinas para algunas cepas de levadura, primero son hidrolizados a monosacáridos por enzimas extracelulares o periplásmicas antes de entrar a la célula, como por ejemplo, la sacarosa se hidroliza entre la membrana del plasma y las paredes celulares, por medio de una invertasa; exoenzima que se excreta del plasma y se fija entre las 2 membranas o en las capas exteriores de la pared celular.
3. Los azúcares se absorben en forma ordenada y secuencial, es decir no en forma aleatoria, éste efecto depende del espectro y la concentración de los azúcares presentes en el medio y está sujeto a mecanismos de represión

catabólica. Los monosacáridos se absorben primero, (glucosa y fructosa), después de un periodo de adaptación se usan los disacáridos (maltosa e isomaltosa), y finalmente, después de otro periodo se metabolizan los trisacáridos (maltotriosa) (Santillan y García Garibay, 1998).

La fuente preferida de carbohidratos para la levadura cervecera son los azúcares de bajo peso molecular. La levadura utiliza por ejemplo mono-, di-, y oligosacáridos. Los polisacáridos, como las dextrinas, el almidón y la celulosa no son usados por la levadura.

- Los carbohidratos fermentables incluye (en orden decreciente de uso)
- Monosacáridos: Glucosa, fructosa, manosa, galactosa.
  - Disacáridos: Maltosa, sacarosa.
  - Trisacáridos: Rafinosa, maltotriosa (no fermentados por todas las levaduras).

Una pequeña fracción de los azúcares no es fermentable pero es almacenada por la célula de la levadura en forma de glucógeno y tetralosa. Este acto es realizado para almacenar energía química para un uso posterior cuando no haya el azúcar disponible en el exterior de la misma. Esto es importante para retener energía en otras formas. Las más importantes reservas de energía química son:

Adenosin difosfato (ADP) y Adenosin trifosfato (ATP). El ATP es importante como una reserva de energía y para transferir la misma, esto es esencial para el proceso de toda vida (Stewart, 2001).

### **Metabolismo de nitrógeno.**

La levadura requiere compuestos nitrogenados para formar sus propias proteínas celulares. Esta prefiere usar sales de amonio, pero éstas están presentes en el mosto sólo en cantidades muy pequeñas. La principal fuente de nitrógeno para la levadura es por consiguiente aminoácidos y péptidos provenientes de la malta. Estos aminoácidos no son absorbidos igualmente por la levadura pero son absorbidos en una secuencia particular. La levadura no puede usar simplemente los aminoácidos en el mosto directamente en su forma original para la síntesis de su propia proteína celular. El sistema utilizado para la toma general de aminoácidos está dado por la permeasa general de aminoácidos (GAP), que involucra un mecanismo activo de cotransporte de protón y está genéticamente controlada, aunque en general se ha observado que se favorece la toma de cierto grupo de aminoácidos y hasta cuando éstos se agotan se toman los demás. Cuando hay exceso de iones amonio en el medio, la GAP no se sintetiza y el transporte de amonio es manejado por gradiente de concentración y por potencial eléctrico de membrana (Santillan y García Garibay, 1998).

Todos los aminoácidos son utilizados para la síntesis de nuevas estructuras y proteínas, pero algunos en particular, como valina, leucina e isoleucina, son destinados a la formación de alcoholes superiores y ésteres.

Los aminoácidos cuyos precursores son intermediarios de la vía glucolítica se presentan en concentraciones altas cuando hay fermentación

pseudoanaeróbica, pero cuando el metabolismo es predominantemente fermentativo o predominantemente respiratorio disminuye su concentración, y baja aun más cuando las condiciones son sólo de respiración; en este caso se acumulan los aminoácidos que provienen de precursores que son intermediarios del ciclo de Krebs. De lo anterior se puede concluir que la concentración y tipo de aminoácidos que se formen estará en función del oxígeno disponible (Santillan y García Garibay, 1998).

### **Metabolismo de sustancias inorgánicas y factores de crecimiento.**

El metabolismo de la levadura depende de un adecuado suministro de sustancias inorgánicas y factores de crecimiento, y su efecto no debe ser subestimado. Los siguientes iones presentados en la tabla 6.3 afectan las reacciones enzimáticas (Power y Lynkruger, 1997).

<b>Tabla 6.3</b>	
<b>Iones que afectan el metabolismo de la levadura.</b>	
<b>Catión.</b>	<b>Efectos sobre el metabolismo de la levadura.</b>
Potasio	Estimula todas las reacciones enzimáticas donde se involucre el ATP para la energía de metabolismo y para transporte activo entre las paredes celulares.
Sodio	Activa enzimas; tiene un papel importante en la transportación de sustancias entre la membrana celular.
Calcio	Retarda la degeneración de levadura.
Magnesio	Muy importante para reacciones que involucran fosfatos, especialmente durante la fermentación.
Cobre	En bajas concentraciones inhibe algunas enzimas.
Hierro	Importante para las enzimas involucradas en la respiración
Manganeso	Estimula la reproducción de las células y su crecimiento.
Zinc.	Incrementa la síntesis de proteína; muy importante para la fermentación, la deficiencia resulta en una actividad enzimática inadecuada.

### **Floculación.**

Las células de levadura suspendidas en la cerveza fermentada tiende a agruparse o flocular y formar masas sólidas las cuales podrán subir a la superficie de la cerveza, o sedimentarse en el fondo del recipiente, según sean de floculación de fondo o de superficie.

Se puede establecer que la floculación es un fenómeno diferente de la sedimentación, aunque ambos estén relacionados y frecuentemente se mida la floculación determinando la velocidad de sedimentación.

Las propiedades floculantes de una levadura estarán determinadas por características hereditarias (genéticas) y serán influenciadas hasta la modificación en un caso extremo, de acuerdo con las características físicas y químicas que tenga el medio en donde se desarrolle la actividad de la levadura.

Existen en la levadura tres pares de genes poliméricos que determinan la floculencia; cada par de genes puede ser dominante o recesivo y por lo tanto, bajo ciertas condiciones pueden ocurrir mutaciones, las cuales generalmente son en el sentido de floculante a no floculante (Frazier y Weathoff, 1993).

### **Tipos de levadura y sus características.**

Cuando los cerveceros consideran a la levadura durante el proceso deben tomar en cuenta algunos parámetros. Estos parámetros ayudan a decidir que levadura se debe utilizar para la elaboración de una cerveza determinada. En los siguientes párrafos se explicarán cinco parámetros en orden de importancia para seleccionar una levadura en la elaboración de cerveza.

- **Tipo.** Las levaduras son clasificadas básicamente en tres grupos: *ales*, *lager* y *weizen*; los miembros de cada uno de estos grupos son clasificados con base en los atributos que imparten a la cerveza, su comportamiento en la fermentación y en su estructura genética.
- **Carácter de sabor.** Las cepas de levadura cervecera a pesar de ser del mismo tipo y género, producen perfiles de sabor diferentes, ya sea resaltando los atributos generados por la malta, el lúpulo ó por si misma, como la producción de aceites de fusel, aldehídos, cetonas y ácidos orgánicos que dan notas a frutas, a sulfuros, a minerales, a dulces, secas, neutras o limpias.
- **Grado de atenuación.** Esto se refiere a la capacidad de la levadura en fermentar los azúcares del mosto. Dependiendo de las cervezas se requieren altos o bajos grados de atenuación, en referencia al porcentaje de alcohol y el contenido de extracto residual en la cerveza. Este dato es reportado en porcentaje y es clasificado como bajo, medio y alto.
- **Temperatura óptima de fermentación.** Esto nos dice la temperatura que requiere la levadura para fermentar en forma óptima, y que varía de acuerdo al tipo de la levadura.
- **Floculación.** Esto se ha comentado en el inciso anterior y es una propiedad determinante para que la levadura sedimente al fondo, arriba o que permanezca distribuida en todo el tanque de fermentación. Por consecuencia se debe tomar en cuenta con respecto a que tan fácil ó difícil sera la filtración de la cerveza después de la fermentación.

## Cepas comunes de levadura para producción de cerveza.

Con base en los parámetros comentados, se puede caracterizar a las cepas de levadura disponibles para cerveza. La clasificación se divide en los siguientes grupos (Daniels, 2001):

### I. Levaduras *ale*.

Las levaduras *ale* son probablemente las levaduras más utilizadas por los cerveros a través del tiempo. Estas fermentan a temperaturas altas. Dado que es la levadura más utilizada a través del tiempo existen actualmente varias clasificaciones de la misma. La clasificación de levaduras *ale* es la siguiente (Logson, 2001):

- ❖ **Americana:** Produce un carácter limpio y suave, aunque algunas veces neutro en la cerveza. La levadura clásica americana fermenta bien a temperaturas de 13 °C. Tiene una atenuación media y flocula en forma moderada a media, esto hace que sea una levadura muy usada para diferentes tipos de cerveza.
- ❖ **Belga:** Las levadura que entran en este grupo generalmente producen un carácter muy frutal y esteroso que puede incluir notas a clavo y fenólicas. Estas a menudo son tolerantes a altas concentraciones de alcohol. Tienen una atenuación y floculación alta. Las levaduras belgas son a veces denominadas de abadía o trapenses.
- ❖ **Británicas:** Son las levaduras utilizadas para los tipos clásicos de cervezas *ale* inglesas y escocesas. Esta levadura es a su vez dividida en dos subgrupos, por su gran extensión respecto al número de cepas que pertenecen en este grupo, pero en general son clasificados en los siguientes subgrupos:
  - ✓ **Whitbread:** Levadura de rápida iniciación fermentativa, ofrecen a la cerveza notas limpias y bien balanceadas. Trabaja a temperatura de fermentación de 21 °C, aunque es tolerante a temperaturas más bajas. Tiene una atenuación y floculación media.
  - ✓ **Londinense:** Levaduras que producen un carácter mineral con ligeras notas a madera y diacetilo, como también notas ásperas, tiene una floculación y atenuación media y fermenta con temperaturas óptimas de 18 a 20 °C.
  - ✓ **Maderosa:** Levadura de baja atenuación que ofrecen notas maderosas y sabores de roble y resalta el perfil a malta ligeramente.
  - ✓ **Corpulenta:** Levaduras que ofrecen un carácter clásico frutal de *ale* con un carácter que da mucho cuerpo a la cerveza.
  - ✓ **Clásica:** También denominada *Old ale*, produce un carácter limpio a la cerveza y bien balanceado respecto a las notas frutales y esterosas presentes en la misma.

- ✓ **Escocesa:** Levaduras que dan un gran acento a malta, son de baja atenuación y fermentan a temperaturas bajas de 13 °C.
- ❖ **Canadiense:** Ofrece un limpio y ligero sabor afrutado con un acabado complejo. Tiene una atenuación y floculación alta y produce cervezas de cuerpo ligero. Buena para *ales* ligeras, como *pale ales* y *bitters*.
- ❖ **Alemanas:** Existen tres diferentes cepas de levadura incluidas en este grupo. Dos ofrecen un sabor seco y limpio, y la otra un sabor muy dulce y maltoso a las cervezas.
  - ✓ **Alt:** Esta cepa al fermentar tiene un aspecto físico extremadamente espumoso y fermenta a 13 °C. Tiene una floculación alta y una atenuación media a alta. Esta levadura es utilizada para la fabricación de cervezas tipo *Alt*.
  - ✓ **Kölsch:** Esta levadura ofrece a la cerveza una buena atenuación con carácter limpio y creposo. Resalta el carácter de la malta muy bien y también da notas frutales que son fácilmente detectables. Esta levadura fermenta a temperaturas de 12 °C.
  - ✓ **Ale alemana:** Esta cepa produce cervezas de mucho cuerpo, de sabor complejo y especiado con un toque dulce. Tiene una atenuación media y una alta floculación. Su temperatura óptima de fermentación es de 20 a 21 °C.
- ❖ **Irlandesa:** Hay tres subgrupos, dos de los cuales se utilizan para la elaboración de cervezas tipo *Stout*. Con respecto al tercer subgrupo es más popular y tiene muy baja atenuación. Esta cepa es utilizada para la fabricación de *ale* irlandesas. Todas las levaduras incluidas en este grupo y ofrecen ligeras notas a madera y diacetilo.

## II. Levaduras lager.

Las levaduras *lager* son reconocidas por su gran utilización en el proceso tradicional cervecero alemán. Las temperaturas típicas de trabajo para estas levaduras son más bajas en comparación con las cervezas tipo *ale* con un rango de 7 a 13 °C. Estas levaduras fermentan algunos azúcares que las levaduras *ale* no pueden, haciendo que el producto tenga un carácter limpio y terso. Este tipo de levadura está dividida en los siguientes grupos:

- ❖ **Americana:** Esta levadura es encontrada en muchas cervecerías americanas. Esta levadura da un carácter limpio y ligeramente frutal. Tiene una alto grado de atenuación y una floculación media. Este tipo de levadura también ofrece notas maderosas y un bajo contenido de diacetilo.
- ❖ **Californiana:** Esta levadura es usada para producir cervezas tipo californianas que aún son producidas por la cervecería Anchor Brewing. Fermenta a temperaturas altas de 19 °C en comparación a una cepa normal

*lager* y ofrece un carácter maltoso con gran sabor frutal. Tiene una atenuación media y una alta floculación.

- ❖ **Bohemia:** Esta levadura da un carácter único para la producción de cerveza *Pilsner* clásica tipo *Urquell*. Esta levadura produce una cerveza muy tersa, de mucho cuerpo, con un ligero toque a malta y un acabado limpio. Tiene una baja atenuación y una floculación media.
- ❖ **Pilsner:** Algunos proveedores de levadura consideran este grupo de levadura como Bohemia, aunque difiere en que esta cepa ofrece una cerveza muy seca y cresposa en comparación a una levadura Bohemia, y puede ser muy apropiada para producir *Pilsners* alemanas.
- ❖ **Bávara:** Esta levadura es utilizada como levadura de propósito general ya que produce cervezas de gran cuerpo con mucho énfasis al carácter maltoso. Tiene una floculación y atenuación media.
- ❖ **Munich:** Esta levadura alemana es usada para producir cervezas *lager* de cuerpo medio como *Bocks*. Da a las cervezas un carácter muy terso, suave con notas muy complejas. Esta levadura produce altos contenidos de compuestos sulfurosos y resalta el carácter del lúpulo en la cerveza, tiene una floculación y atenuación media.
- ❖ **Danesa/Alemana del Norte:** Estas levaduras producen una cerveza cresposa y limpia con un gran resalto al carácter del lúpulo. Tienen floculación baja y una atenuación media. Trabajan a temperaturas de 9°C y son buenas para cualquier *lager* clara.

### III. Weizen.

Muchos proveedores ofrecen estas levaduras para la elaboración de cerveza de trigo alemanas, con el nombre erróneo de *Saccharomyces delbruckii*, dado a que este tipo de levadura no es capaz de fermentar maltosa y por ende no puede producir ningún tipo de cerveza. Esta cepa es distinta a las levaduras *ale* y *lager*, dando un original y único carácter de sabores a las cervezas producidas por la misma. Estas levaduras ofrecen cervezas con alto contenido de ésteres y compuestos fenólicos, que dan sabores a clavo y plátano. Dependiendo de la cepa seleccionada dependerá de la temperatura de fermentación a utilizar. Estas levaduras no floculan bien y son a menudo dejadas a propósito en el producto para la producción de cervezas tipo *Hefeweizen*; por ello este tipo de cerveza tiene un aspecto turbio. Estas levaduras tiene una atenuación media y son clásicas para la producción de cervezas *Hefeweizen*, *Dunkelweizen*, belgas de trigo y *Berliner Weiss*, aunque a esta última le es adicionada aparte un cultivo bacteriano. Las levaduras que representan este grupo son las siguientes:

- ❖ **Weihenstephan.** Levadura única que produce cerveza de trigo con un notas finas a clavo, vainilla y platano. Esta levadura trabaja a temperaturas de 20-22 °C, es muy poco floculenta y tiene un grado de atenuación de 73-74%.
- ❖ **Alemana.** Esta levadura imparte sabores afrutados, similares a cereza y otros frutos rojos. Fermenta a temperaturas de 18-22 °C. Tiene una floculación alta y un grado de atenuación de 70-76%.
- ❖ **Bávara:** Levadura utilizada para la elaboración de cervezas tipo *Hefeweizen*. Esta levadura genera a la cerveza, sabores y aromas muy complejos que van desde notas a platano, manzana y uva, hasta ligeros toques a clavo y lichí. Fermenta a temperaturas de 17.5-23 °C, tiene una floculación baja y un grado de atenuación de 70-76%.
- ❖ **Witbier belga:** Esta levadura se utiliza para elaborar cerveza de trigo belgas. Produce un alto contenido de compuestos fenólicos y es tolerante a contenidos altos de alcohol. Fermenta a las mismas temperaturas que la anterior, tiene una floculación media y un grado de atenuación de 72-76% (Unk, 1995).

## 4.2 Proceso de Malteo.

### LA MALTA.

Materia prima que se obtiene dejando que el grano de la cebada se ablande en agua y germine. Las enzimas que actúan durante el proceso de germinación producen la hidrólisis parcial del almidón. Posteriormente la malta se somete a secado y algunas a tostado en hornos, y dependiendo el tratamiento térmico del mismo, se obtienen atributos sensoriales característicos para la elaboración de la cerveza (Fontaine, 2000).

#### Producción de Malta.

La producción de la malta a partir de la cebada es el primer paso en la producción de cerveza, aunque también es posible hacer malta con otros cereales por ejemplo, de trigo, arroz, sorgo ó maíz, pero históricamente por varias razones la malta de cebada ha sido la más utilizada en la producción de cerveza.

## **Remojo de la cebada.**

El primer paso para iniciar la germinación es el remojo de la cebada, durante el cual, el grano absorberá una gran cantidad de agua que provocará el inicio de la germinación.

### **Factores importantes en el proceso del remojo.**

- ✓ **Toma de agua.** El agua pasa dentro de la región del embrión pero después también entre los lados de la cáscara dentro del grano. La toma del agua depende sobretodo del tiempo de remojo, la temperatura de remojo, el tamaño del grano, la variedad del grano y el lote de cosecha de la cebada.
- ✓ **Tiempo de remojo.** La toma de agua ocurre rápidamente al inicio y posteriormente en forma lenta.
- ✓ **Temperatura de remojo.** En el remojo del grano hay una rápida toma de agua; siendo mayor la velocidad a medida que se aumenta la temperatura.
- ✓ **Tamaño del grano.** Los granos pequeños toman agua mucho más rápido que los grandes. Los siguientes resultados fueron obtenidos con un remojo de 88 horas.
- ✓ **Año y variedad de la cebada.** La variedad de la cebada y años de cosecha también tienen un efecto importante sobre la toma de agua de los granos de cebada. Las cebadas de regiones secas se hinchan y germinan más rápidamente que las cebadas de regiones marítimas.
- ✓ **Suministro de oxígeno.** Con la toma de una gran cantidad de agua el periodo de respiración se incrementa en forma considerable, consecuentemente el oxígeno requerido por la cebada se incrementa. Si la cebada no está aireada no se produce una adecuada germinación y en casos extremos guía a la semilla a la muerte por remojo.

## **Germinación de la cebada.**

Durante la germinación una nueva planta de cebada es producida de la semilla. La forma de la nueva planta de la cebada necesita una gran cantidad de energía y materiales de construcción que debe ser producidos por los procesos metabólicos.

### **Procesos que ocurren durante la germinación.**

Las enzimas más importantes en el malteado y en la elaboración de cerveza son las  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas. Se denominan así, según la posición,  $\alpha$  o  $\beta$ , respectivamente del hidróxilo de carbono 1 del carbohidrato generado después de la hidrólisis. La  $\alpha$ -amilasa es una metaloenzima y endoenzima que no está presente en la cebada, se sintetiza completamente en la germinación de la misma inducida por giberilinas; hormonas que estimulan la producción de enzimas endógenas de la malta. En tanto que la  $\beta$ -amilasa es una enzima

tiólica y exoenzima que se encuentra en la cebada pero una parte ésta activa y la otra es un precursor inactivo (zimógeno). Este precursor es insoluble y se procesa en la germinación una vez en el agua se rompe y parte de ésta se activa. En la germinación no se sintetiza ésta enzima.

Más importante aun es el hecho que la  $\alpha$ -amilasa ataca al azar, hidrolizando cualquier enlace  $\alpha$ -1,4- excepto (i) aquellos próximos a un punto de ramificación y (ii) los situados en las proximidades del extremo de la molécula. Actuando sobre la amilosa, la enzima rinde, por consecuencia, moléculas de diversa longitud y cadena lineal. Cuando ataca a la amilopectina, el producto que rinde es una mezcla de moléculas lineales y ramificadas.

Como consecuencia de esta degradación de las moléculas originales de almidón se reduce la viscosidad de un modo significativo. Cada molécula de producto tiene un grupo reductor funcional y por tanto aumenta muy acusadamente la capacidad reductora. En contraste con esto, la  $\beta$ -amilasa al ser exoenzima ataca a las moléculas de almidón en sus extremos no reductores de dos en dos unidades de glucosa, rindiendo unidades de  $\beta$ -maltosa, un disacárido reductor.

La consecuencia más importante de la actividad de la  $\beta$ -amilasa es la producción de maltosa, un carbohidrato fácilmente difusible y susceptible de ser utilizado por el embrión de la cebada. Para el malteador, la maltosa es importante como responsable del sabor dulce de isoextractos de malta que para el fabricante de cerveza, se trata de un azúcar fácilmente fermentable, siendo el principal constituyente de su mosto.

Los productos de la  $\alpha$ -amilasa son fundamentalmente carbohidratos complejos denominados dextrinas ramificadas y lineales. La  $\beta$ -amilasa libera también dextrinas ramificadas, pero su principal producto es la maltosa. Las dos trabajan de un modo coordinado: la  $\alpha$ -amilasa proporcionando nuevos extremos no reductores, para facilitar el ataque de la  $\beta$ -amilasa. Sin embargo su actividad durante el malteado es sorprendentemente limitada; durante el malteado se solubiliza de un 15 a un 18% del almidón del endospermo del cuál se difunde en el embrión para procesos respiratorios y biosintéticos solo un 11-12%. Sólo un 4-6% se convierte en azúcares simples. La  $\beta$ -amilasa se encuentra en la cebada antes de su germinación, aunque gran parte de ella está ligada a un péptido y es inactiva. Por el contrario la  $\alpha$ -amilasa se sintetiza cuando comienza la germinación, desencadenada por acción de las giberilinas. Durante la deshidratación la  $\alpha$ -amilasa se muestra más termoestable que la  $\beta$ -amilasa (Evers y Manger, 2001).

Toda actividad de amilasas es medida por el poder diastásico y expresado en unidades Windish-Kolbach (WK) o grados Lintner (°L) (Hosney, 1991).

Otro grupo de sustancias presentes en el endospermo es el constituido por los lípidos, o grasas. Representa aproximadamente un 3.5% del peso del

grano de cebada; alrededor de un 10% se consumen en los procesos respiratorios del embrión y en la capa de la aleurona. Un poco más de 2/3 de los lípidos está constituido por grasas neutras (especialmente triacilgliceroles) y aproximadamente ¼ por fosfolípidos; el resto son glicolípidos. Para el fabricante de cerveza, son importantes para la síntesis de la membrana de la levadura.

Finalmente, se deben mencionar los compuestos fosfatados presentes en la cebada, que son encontradas en un 1% del peso seco. Entre ellos se hallan los fosfolípidos, los ácidos nucleicos y ácido fítico que son aproximadamente la mitad de fosfato del grano de la cebada y es un hexafosfato del azúcar-álcohol inositol. El inositol es una vitamina del complejo B, requerida por numerosas cepas de levadura. El ácido fítico es degradado por una fitasa presente en el grano, liberando mioinositol y ácido fosfórico; el ácido fosfórico es utilizado por el embrión del grano pero naturalmente, el cervecero está más interesado en que lo utilice la levadura. El ácido fítico tiene una alta afinidad por los iones calcio.

#### **Otras enzimas endógenas importantes de la malta.**

Existen aparte de las enzimas amilolíticas ( $\alpha$  y  $\beta$  amilasas) anteriormente comentadas una serie de enzimas endógenas de la malta de suma relevancia en la producción y calidad de la cerveza. A continuación se presentan las enzimas más representativas que componen todo el complejo enzimático de la malta:

**Proteasas.** Su síntesis se incrementa en la germinación durante el malteo. Estas enzimas se dividen en endopeptidasas y exopeptidasas, las primeras son enzimas capaces de atacar cualquier enlace péptido al azar en la cadena de aminoácidos que componen la proteína y su temperatura óptima es de 45-50 °C. Las segundas inician su hidrólisis en los grupos funcionales del extremo de la cadena de aminoácidos. Las exopeptidasas más importantes se encuentran:

- ✓ **Carboxipeptidasas.** Se llaman así porque atacan a la cadena en el extremo en el que se encuentra un grupo carboxilo libre, su temperatura óptima es de 40-60 °C.
- ✓ **Aminopeptidasas.** Estas enzimas inician su hidrólisis a partir del grupo amino del extremo de la cadena de aminoácidos.
- ✓ **Dipeptidasas.** Este último grupo de enzimas actúan la hidrólisis de dipéptidos y generan aminoácidos libres.

**$\beta$ -Glucanasas.** Este tipo de enzimas como su nombre lo indica realizan el rompimiento de  $\beta$ -glucanos originarios de la malta. Estas enzimas se encuentran en dos formas; como endo  $\beta$ -glucanasas y exo  $\beta$ -glucanasas.

**Pentosanasas.** Este es un grupo de enzimas que rompen pentosanos de diferente origen, siendo las enzimas principales de este grupo xilanasas, xilobiasas, arabinosidasas.

**$\alpha$ -Glucosidasas.** Presentes en la cebada y se incrementa su concentración en la germinación por la acción de giberilinas. Rompen enlaces  $\alpha$ -1,4 y 1,6 a partir del extremo no reductor y liberan glucosa a partir de maltosa e isomaltosa, aunque pueden romper trisacáridos como la maltotriosa.

**Enzima R o pululanasa (desramificante).** Encontrada en la aleurona de la cebada, hidroliza enlaces  $\alpha$ -1,6 que no degradan las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas. Estas también son llamadas desramificantes ya que rompen las ramificaciones compuestas por enlaces  $\alpha$ -1,6 de la amilopectina presente en el almidón de la malta.

**Fosforilasa.** Originaria del embrión de la cebada, necesita fosfato inorgánico para su actividad. Ataca enlaces  $\alpha$ -1,4 acortando cadenas de almidón a partir del extremo no reductor en una unidad a la que transforma en glucosa-1-fosfato.

### **Horneado de la malta.**

Cuando las transformaciones en la malta verde se han logrado de forma óptima se detiene la germinación por medio del horneado. Durante el horneado el agua es excluida de la malta verde, por ende esta llega a ser estable y almacenable.

Durante el horneado ocurre los siguientes fenómenos (Teich, 2000):

- I. **Disminución del contenido de agua.** La física de la deshidratación es compleja, la malta tiene una presión de vapor característica a una determinada temperatura. La presión de vapor se eleva considerablemente al aumentar la temperatura. Así, combinando un flujo rápido de aire con una temperatura elevada del mismo, se logra una deshidratación muy rápida (Narzisa, 1992).
- II. **Culminación de germinación y modificación.** Como un resultado de la exclusión de agua, la germinación es terminada y consecuentemente las raicillas ya no crecen más. La modificación es también terminada con el fin de la germinación.
- III. **Formación de color y compuestos de sabor.** A más de 80°C un número de productos de bajo peso molecular reaccionan para formar un gran número de compuestos que dan sabores y colores característicos. Estas reacciones son complejas y son colectivamente referidas como reacciones de Maillard. La formación de los compuestos individuales es muy dependiente de las concentraciones de varios componentes, la

temperatura, el contenido de agua durante la germinación, el presecado y el proceso de horneado. Los más importantes productos de esta reacción son las melanoidinas.

- IV. Formación de dimetil sulfuro (DMS) y dimetil sulfóxido (DMSO) durante el horneado.** El dimetil sulfuro (DMS) y dimetil sulfóxido (DMSO) son compuestos sulfurosos que imparten un olor y sabor objetable que lo han relacionado a "orina de gato" perceptible a 0.03 mg/L en la cerveza. Estos compuestos son obtenidos por el rompimiento por vía térmica principalmente durante el horneado de la malta de un compuesto precursor S-metil metionina (SMM) formado durante la germinación de la malta (Fix, 1989).
- V. Formación de nitrosaminas.** Las nitrosaminas (nitrodimetilamina) NDMA son sustancias carcinogénicas que son formadas a altas temperaturas por grupos aminos originarios de aminoácidos y óxidos nitrosos. El valor límite permitido para NDMA es 2.5 µg/kg de malta.
- VI. Desnaturalización de enzimas.** Como resultado del calentamiento durante el horneado, las estructuras protéicas son desnaturalizadas. Al fin del horneado hay alrededor de 15% menos de actividad de amilasas que en malta verde. La actividad de la β amilasa es alrededor de 40% menos que la malta verde. En el caso de endo-β glucanasas la pérdida es de 20% a 40% y en el caso de exo-β-glucanasas de 50 a 70% (Schwarz y Schweppe, 1998).

#### **Unidades para cuantificar el color de la malta.**

Es determinante conocer el color de los distintos tipos de malta para saber las combinaciones necesarias requeridas de los mismos para obtener un color definido de la cerveza, por ello se han creado unidades de color estándares para cuantificar el color de la malta, así como el mosto y la cerveza.

Actualmente se utilizan tres tipos de unidades para la determinación del color en malta, mosto y cerveza, éstos serán presentados a continuación:

- ✓ **°Lovibond (°L):** Creado en 1883 por J.W. Lovibond, el cuál está fundamentado en la comparación visual de una serie de 52 patrones estándar que corresponden a un grado °L en forma creciente de la muestra de la más clara a la más oscura. La desventaja que tiene ésta unidad de color es la percepción visual del analista en la comparación que debe realizar.
- ✓ **°SRM (Standard Reference Measure):** Creado por la Sociedad Americana de Químicos Cerveceros (ASBC), basado en el estudio realizado por Beyer y Stone mediante la determinación indirecta del color por medio de la

lectura espectrofotométrica de la muestra (mosto y cerveza) con una longitud de onda de 430 nm.

- ✓ **°EBC (European Brewing Convention):** Esta unidad de color fue creada por la Convención de Cervecería Europea, la cuál está basado al igual que la unidad anterior, en la determinación espectrofotométrica de la muestra (mosto y cerveza) aunque con una longitud de onda de 530 nm. Existe una relación entre las unidades SRM y EBC mediante la siguiente ecuación:

$$\text{°EBC} = \text{°SRM} \times 1.97$$

### **Enfriamiento de la malta horneada.**

La malta horneada está a una temperatura aproximadamente de 50-200 °C por el horneado de la misma, por lo cuál no puede ser almacenada. Esta debe ser enfriada de la siguiente forma:

- ✓ Por introducción de aire frío y fresco con una temperatura que no sea más de 35 a 40 °C.
- ✓ Por enfriamiento en un recipiente especial de enfriamiento.

### **Limpieza de malta.**

Una gran parte de la fracción de raicillas está pegada a la malta horneada y esto forma 3 a 4 % de la malta. Estas raicillas no son de utilidad por lo cual deben ser excluidas. Este proceso es referido como limpieza de la malta.

La eliminación de raicillas de la malta es realizada por una máquina desraicilladora de malta, ésta opera por presión a los granos contra un tamizado cilíndrico. Esta elimina las raicillas mediante un transportador de tornillo localizado en el fondo, es importante que los granos no sean dañados y por eso la masa de los granos es movida con cuidado por un dispositivo de agitación que realiza la exclusión de las raicillas (Roth y Rudolf, 1997).

### **Maltas base, especiales y maltas de otros cereales.**

La clasificación de las maltas es muy extensa, aunque se puede dividir en dos grupos principalmente:

- I. **Maltas base.** Estas maltas son únicamente secadas después de su germinación para que no sufran reacciones de caramelización y de Maillard por el horneado que provoque una pérdida en su contenido de extracto y de proteínas; componentes de mayor importancia en la elaboración de cerveza, por ello se denominan base ya que aportan la

mayor cantidad de extracto y proteínas en la formulación del grano en la molienda.

❖ **Maltas base.**

**Malta Pilsner (*pale malt*).** Obtenida a partir de cebada de dos hileras o de seis hileras. Tiene un color de 1.3 a 1.7 °SRM , una viscosidad menos de 1.58 mPa \*s y una relación nitrógeno soluble/nitrogeno total de 40%

- II. **Maltas especiales.** Estas maltas son sometidas a distintos tratamientos térmicos durante su horneado para favorecer las reacciones de caramelización y de oscurecimiento no enzimático (*Maillard*) que dan a la malta una propiedad sensorial característica para la elaboración de la cerveza. Debido a que se favorecen las reacciones de coloración anteriormente comentadas, este tipo de maltas aportan en cantidades pequeñas contenido de extracto y proteínas en la formulación del grano en la molienda, siendo así, la utilización de las mismas exclusivamente para coloración de la cerveza y de atributos sensoriales de sabor y aroma, por ello el porcentaje de uso de las mismas para la formulación es menor en comparación con las maltas base.

❖ **Maltas especiales.**

**Malta Munich y Vienna.** Ambas maltas se elaboran a partir de cebadas con un contenido en proteínas ligeramente elevado. El desecado se produce a temperaturas de aproximadamente a 90-100°C. Con estas elevadas temperaturas, los aminoácidos pueden formar con los azúcares muchas melanoidinas por medio de una reacción de Maillard elevada (Weyermann, 2001). Lo que más llama la atención en este tipo de maltas es su aroma, teniendo desde el típico aroma de malta hasta el delicado aroma de nuez. El cuerpo harinoso es blando y su color puede ser desde ligeramente dorado hasta marrón claro. Las propiedades colorantes no son muy fuertes, por lo que son necesarias grandes cantidades de esta malta para elevaciones más fuertes del color. Debido a las temperaturas de desecado elevadas, la fuerza amilolítica es menor que en el caso de maltas tipo *Pilsner*. La tendencia para este tipo de maltas es que el tiempo de sacarificación sea más largo.

**Malta cristal. (Malta caramelo)** Las maltas caramelo se elaboran a partir de cebadas con un contenido en proteínas normal. Este tipo de malta es sometida a una germinación prolongada, de esta forma se consigue una alta actividad enzimática en la malta verde. Las temperaturas típicas de horneado para la malta caramelo clara están entre los 75-85°C y para los colores oscuros hasta los 200°C. Las maltas caramelo se elaboran en la secadora y en el tambor de tostado. Existen diferentes subgrupos de este tipo de malta.

- Malta cristal ligeramente coloreada, "Carapils"®.
- Malta cristal *pale*.
- Malta oscura cristal "Caramunich"® es calentada por 60 min, posteriormente le es introducida una corriente de aire de 150 a 180 °C y sostenida a esta temperatura por 2 horas para caramelizar el grano.

Según el color se producen diversos perfiles de aromas. Mientras que los tipos claros tienen un intenso aroma de malta y son dulces, los colores oscuros tienen menos aroma de malta, pero en cambio, tienen notas similares al "tofe", a las nueces o al chocolate. Las características dependen mucho del color. La melanoidina, producto final de la reacción de Maillard, tiene un efecto reductor antioxidante y puede inhibir los procesos de oxidación en la cerveza terminada. De esta forma, la variación del sabor se produce mucho más tarde. Por este motivo, las maltas caramelo son positivas para la estabilidad del sabor de las cervezas (Wackerbauer y Methner, 1988).

**Brumalt (Brühmalz).** Esta malta es realizada con malta verde con un contenido de humedad de 48 %, la cual es sometida 36 horas de 45 a 50 °C y posteriormente de 3 a 4 horas a 80 a 90 °C. El color de la *Brumalt* es de 15 a 20 °SRM. Esta malta es utilizada para reemplazar maltas caramelo para producción de *Altbier*.

**Malta negra.** Este tipo de malta tiene las siguientes características:

- La cantidad usada de este tipo de malta no debe exceder 1% en la formulación de la molienda ya que puede generar sabores muy ahumados y quemados.
- Es producida usando malta verde con contenido de humedad de 5 %, la cuál es sometida en un tambor de tostado a 70 °C sin respiración, y después 2 horas a 175 a 200 °C. Esto causa la formación de compuestos que dan sabores acaramelados.
- Tiene un rango de coloración 650 a 1250 °SRM.

**Malta tostada (Roasted).** La malta tostada se elabora a partir de malta verde húmeda, ya sea de cebada o de trigo, la cuál es sometida en el tambor de tostado primeramente a una corta fase de sacarificación, para favorecer la formación de azúcares reductores que posteriormente son involucrados en la formación de reacciones de oscurecimiento y caramelización. Posteriormente es sometida a un horneado a temperaturas muy altas (120-150 °C). El color de la malta tostada es marrón oscuro y su aroma tiene notas a chocolate y ligeramente a quemado.

**Malta escaldada.** La malta escaldada, también conocida como malta de melanoidina, tiene un efecto colorante muy intenso. El aroma que imparte es característicamente de malta. Su elaboración es de forma

parecida a la malta *Munich/Vienna*; la malta escaldada se elabora a partir de cebadas con un contenido en proteínas ligeramente elevado. Al final de la germinación se eleva la temperatura en el germinado hasta valores de 40°C por medio de la desconexión de la ventilación y la refrigeración. El horneado se produce a temperaturas de aproximadamente de 95-110°C. Esta malta ofrece aromas marcadamente de malta y un color marrón claro. Las propiedades colorantes son más altas que en el caso de la malta *Munich*. La malta escaldada se diferencia de las maltas caramelo por un aroma menos marcado y por un contenido menor de productos de Maillard (Papazian, 1992).

**Stabimalt.** Stabimalt es un producto especial que se elabora a partir de malta caramelo sin cascarilla, molida y cristalina. Está disponible en diversos colores entre 15-500 °SRM. Esta malta es pulverulenta y granulada. Sus colores van desde ocre claro pasando por color miel hasta marrón oscuro y su espectro de aromas abarca según el color, desde un aroma de malta intenso hasta un tipo "tofe" o chocolate. Por exclusión de cascarilla no aporta contenido de polifenoles (Narziss, 1993).

**Malta ácida.** Esta malta antes de su desecado le es adicionada ácido láctico procedente de la fermentación natural de bacterias lácticas, dándole así un efecto ácido que disminuye el pH del macerado y con ello eleva el rendimiento y la disolución de materias proteínicas y de polifenoles de bajo peso molecular provenientes de la misma malta en el macerado (Narziss, 1995).

**Malta ambarina.** Este tipo de malta normalmente se usó por cerveceros ingleses entre los años 1700 y 1800 para la elaboración de cervezas tipo *Porter*. Puede reproducirse hoy tostando la malta pálida en un horno convencional (Lense, 1996).

**Malta *biscuit*.** Es una malta horneada con un rango de color de aproximadamente 25 °SRM con un bajo contenido enzimático. Proporciona un sabor ligeramente quemado y le da un color a la cerveza café claro (Lewis, 2001).

**Malta chocolate.** Malta horneada a una temperatura alta para ofrecer un color castaño intenso. Algunos sabores que da a la cerveza son descritos como astringentes, aunque también han sido encontrados sabores que imparten características sensoriales a nueces. Se utiliza a menudo para la elaboración de cervezas tipo *Porter* y *Stout* (Glover, 1997).

**Malta *mild*.** Malta ligeramente tostada con bastante poder diastásico, por lo cual puede ser utilizada como malta base para cualquier formulación de cerveza propuesta. Se usa predominantemente en cervezas inglesas tipo *Mild* y tiene un sabor ligeramente a nuez (Wind, 1950).

**Malta peat.** Malta ahumada por humo proveniente de la combustión de la madera de la turba. Puede usarse en la elaboración de cervezas estilo *ale* escocesas. Contiene una cantidad de enzimas aceptable para la conversión de azúcares, por lo cuál es utilizada en combinación con mallas base, ya sea de dos hileras o de seis hileras (Finch, 1989).

**Malta Rauch (ahumada).** Malta relativamente pálida que ha sido ahumada por la combustión de madera de haya o roble. Proporciona características de olor y sabor ahumado. Esta malta es fundamental para la elaboración de cervezas estilo *Rauchbier* originaria de la ciudad de Bamberg, Alemania (Holle y Shaumberger, 1999).

**Malta Special Roasted.** Malta descrita como malta doblemente horneada. Este producto da un color anaranjado oscuro y un sabor a café a la cerveza (Dietzsch, 1994).

**Malta Victoria:** Malta similar a la anterior aunque de color más intenso, muy utilizada para la elaboración de cervezas estilo *Pale ale* (Dixon, 1998).

**Malta de trigo.** La malta de trigo es usada para la producción de cerveza de trigo y para otras cervezas de fermentación *ale*, como la cerveza *Kölsch*. En comparación con la cebada, ésta contiene una cascarilla más delgada y tiene un mayor contenido protéico, lo cual en algunas circunstancias puede provocar problemas en el proceso de la cerveza. Como resultado de tener la cascara delgada, éste grano puede absorber agua muy rápidamente durante el remojo, por lo cuál debe acortarse el tiempo de ésta operación. La malta de trigo a su vez está dividida en dos grupos de acuerdo al tratamiento térmico en su desecado y horneado.

- ✓ **Malta de trigo pale.** Es muy rápidamente horneada a 80 °C para evitar un incremento de formación de color. La malta de trigo *pale* tiene un color de 1.5 a 2.0 °SRM, produce suavidad en cervezas, lo cual enfatiza la fermentación *ale* y aroma a trigo.
- ✓ **Malta de trigo oscura.** Es horneada a 100 a 110 °C, produce un color de 7.5 a 8.5 °SRM. Esta malta oscura es usada predominantemente para la elaboración de cervezas de trigo oscuras, *Altbier* y cervezas oscuras de bajo contenido alcohólico (Vanbelle, 1972).

## 4.3 Elaboración de cerveza.

### PRODUCCIÓN DEL MOSTO.

El proceso más importante en la producción es la fermentación de azúcares contenidos en el mosto para formar alcohol y CO<sub>2</sub>. Para proveer las condiciones necesarias para esto, los componentes insolubles inicialmente en la malta deben ser convertidos en productos solubles, y en particular azúcares solubles fermentables. La formación y dilución de estos compuestos es el propósito de la producción de mosto.

#### Molienda de la malta.

Para dar oportunidad a las enzimas durante el macerado, se debe de realizar una reducción del tamaño de partícula para aumentar el área de superficie de contacto del grano con el disolvente que es el agua. La malta molida usada para producción de cerveza es llamada sémola o *grist*.

La molienda es un proceso mecánico y durante ésta, las cáscaras deben ser tratadas cuidadosamente porque son usadas como un material filtrante después de la maceración. Por otra parte, la cascarilla rota libera más sustancias tánicas indeseables en el proceso cervecero.

En las fábricas de cerveza se realiza la molienda seca y/o húmeda. Esta operación se realiza comúnmente con molinos de rodillos. Los molinos de rodillos producen partículas de endospermo de diferentes tamaños, desde sémolas gruesas de 0.3-0.6 mm de diámetro, y finas de 0.15 a 0.3 mm, hasta harinas con partículas de menos de 0.15 mm. Se puede ajustar la distancia entre los rodillos para asegurar una proporción determinada de sémolas y/o harina. Las relaciones sémola (fina y gruesa) y harina (fina) oscilan entre 27:35:38 y 24:35:41 (Manger, 2000).

#### 1. Molienda en seco.

Es la más comúnmente usada en cervecerías. En este tipo de molienda la malta es molida en un estado seco, entre rodillos arreglados en pares. Dependiendo del número de rodillos éstos son clasificados como molinos de 2,4,5 y 6 rodillos (Lück, 1994).

#### 2. Molienda húmeda.

Cuando la malta es molida en seco, como ocurre en muchas cervecerías, las cáscaras son dañadas en forma considerable. Si la malta es remojada, las

cáscaras como los contenidos internos del grano, absorben humedad y los hace más elásticos. El contenido de la malta puede ser más fácilmente expulsado de la cáscara, la cual casi no es dañada y hace más fácil la lixiviación después del macerado.

El remojo con agua para la molienda húmeda es realizado a una temperatura de 30 a 50 °C. El agua de la parte inferior es circulada a la parte superior por una bomba y permite un remojo uniforme de la sémola. Este proceso dura de 15 a 30 min. Durante este tiempo el contenido de agua de la malta incrementa sobre el 30 %. Al mismo tiempo la malta se hincha en 35 a 40 % como resultado del agua tomada por la misma.

### **Maceración.**

Es el proceso en que la malta ó adjunto se mezclan con agua en un proceso de calentamiento controlado para digerir y extraer proteínas, carbohidratos y sustancias fenólicas para obtener azúcares fermentables y compuestos nitrogenados para la nutrición de la levadura.

El proceso de maceración está directamente involucrado en:

- a) El contenido de alcohol de la cerveza.
- b) Concentración de azúcares fermentables en la cerveza y carbohidratos no fermentables.
- c) Peptidos y aminoácido requeridos por levadura.
- d) Nutrientes macromoleculares y micromoleculares para la levadura para obtener una fermentación vigorosa.
- e) Capacidad amortiguadora y pH del mosto y de la cerveza.
- f) Contenido de  $\beta$  glucanos y pentosanos de la cerveza.
- g) Eficiencia de la extracción de la malta.

### **Transformación durante la maceración.**

- **Degradación del almidón.** El componente más importante de cerveza es el alcohol formado durante la fermentación de azúcares. Es muy importante la degradación del almidón para obtener una gran cantidad de maltosa y otros azúcares fermentables y no fermentables.

El almidón puede ser degradado a azúcares y dextrinas. La degradación del almidón ocurre en tres etapas:

- ✓ Gelatinización.
- ✓ Licuefacción.
- ✓ Sacarificación.

a) **Gelatinización.** En el macerado caliente, es incorporada una gran cantidad de agua en las moléculas del almidón. Esto resulta en un incremento de volumen, el cual es causado por el hinchamiento de los gránulos del almidón que son finalmente reventados, y esto provoca la formación de una solución viscosa. El nivel de viscosidad depende de la cantidad de agua tomada y ésta es diferente para cada tipo de cereal. Este proceso es llamado gelatinización. Este juega un papel importante, porque el almidón gelatinizado puede ser directamente atacado por las enzimas contenidas en el macerado. Las moléculas de almidón quedan libres en la solución viscosa y son más fácilmente atacadas que el almidón no gelatinizado por las amilasas.

b) **Licuefacción.** Las cadenas largas de glucosa que componen al almidón (amilosa y amilopectina) son rápidamente hidrolizadas, formando así cadenas pequeñas por acción de la  $\alpha$ -amilasa. Esto causa una rápida reducción de viscosidad de la masa gelatinizada. Con respecto a la  $\beta$ -amilasa, ésta puede sólo degradar las cadenas inician en el extremo no reductor en forma lenta. Por lo tanto, la licuefacción se realiza principalmente por la acción de la  $\alpha$ -amilasa.

c) **Sacarificación.** El proceso de sacarificación es entendido como la completa degradación del almidón a maltosa y dextrinas por acción de las amilasas nativas del grano principalmente la  $\beta$ -amilasa (Teich, 2000).

A continuación se presenta los efectos de las amilasas de la malta en la degradación de almidón:

La  $\alpha$ -amilasa rompe las cadenas de almidón a dextrinas; ésta tiene una temperatura óptima de 72 a 75°C, y es rápidamente destruida a 80°C. El pH óptimo de trabajo de esta enzima es de 5.6 a 5.8. La  $\beta$ -amilasa produce la maltosa a partir de cadenas de almidón o dextrinas iniciando en el extremo no reductor, aunque también puede producir glucosa y maltotriosa. La  $\beta$ -amilasa actúa de forma óptima de 60-65°C y ésta es rápidamente inactivada a 80 °C. El pH óptimo de trabajo de la  $\beta$ -amilasa es de 5.4 a 5.5 (Lutzen y Steven, 1996).

La malta también contiene una enzima denominada dextrinasa límite, la cual es diferente a la  $\alpha$  y  $\beta$  amilasa ya que puede romper las uniones  $\alpha$ -1,6 en el almidón, y tiene una temperatura óptima de 55 a 60 °C y una temperatura de inactivación de 65 °C, por lo que tiene un bajo efecto durante el macerado.

Los carbohidratos encontrados en la malta y los cuales son determinantes en la elaboración de cerveza son los siguientes:

- ✓ Glucosa: Es el primer azúcar usado por la levadura (azúcar de fermentación inicial)
- ✓ Maltosa: La maltosa y otros disacáridos (isomaltosa, panosa y sacarosa) son fácilmente fermentados por las levaduras, por lo cual son considerados como los principales azúcares de la fermentación.
- ✓ Maltotriosa: Es fermentada por todas las levaduras *ale*.
- ✓ Dextrinas: No fermentables.

### **Temperaturas de maceración.**

Las temperaturas de maceración son seleccionadas en concordancia con las temperaturas óptimas de las enzimas. La maceración involucra un incremento de la temperatura de la masa a las temperaturas óptimas para que las enzimas tengan las condiciones adecuadas para su actividad.

Las temperaturas óptimas de hidrólisis son las siguientes (Younis y Stewart, 1999) :

- ✓ 38 a 40 °C para fitasas y  $\alpha$ -glucosidasas.
- ✓ 45 a 50 °C para  $\beta$ -glucanasa, pentosanasa y proteasas.
- ✓ 62 a 65°C para  $\beta$ -amilasa y dextrinasa límite (enzima R o polulanasa).
- ✓ 70 a 75 °C para  $\alpha$ -amilasa, fosforilasa.
- ✓ 78 a 80°C temperatura final de macerado o "Mash out".

### **Degradación de $\beta$ - glucanos.**

La pared celular del endospermo de la cebada consiste de una red de proteínas, celulosa y hemicelulosa las cuales son unidas por  $\beta$ - glucanos. Los  $\beta$ -glucanos de alto peso molecular tienden bajo ciertas condiciones a formar geles, y esto incrementa la viscosidad de la cerveza y por ello causan dificultades en la filtración de la misma.

Las maltas producidas con un alto contenido de endo  $\beta$ -glucanasas (al menos de 120 unidades endo- $\beta$ -glucanasas/kg de malta) dan una buena modificación al interior del grano.

La estructura de las moléculas de los  $\beta$ -glucanos es ramificada y extendida. Muchas de estas moléculas son unidas ó asociadas por puentes de hidrógeno formando una apariencia física irregular de hebras con protuberancias que dan el aspecto de una alfombra franjeada, por esto mismo son denominadas como micelas franjeadas.

Durante la licuefacción, la estructura de los gránulos de almidón es hidrolizada y el intercadenamiento de micelas desgastadas parcialmente unidas a proteínas son liberadas. Las endo  $\beta$ -glucanasas pueden solo degradar la parte del  $\beta$ -glucano de estas micelas intercadenadas. Estas endo  $\beta$ -glucanas tienen una temperatura óptima de 45 a 50 °C (Rinke, 1967).

### **Rompimiento de proteínas.**

El rompimiento enzimático de proteínas ocurre predominantemente a 45 a 55 °C. Durante el rompimiento de proteínas, se realiza la producción de productos de alto y de bajo peso molecular, hasta llegar finalmente a

aminoácidos. Los productos de alto peso molecular formados durante la degradación de proteínas son posteriormente degradados.

La levadura requiere al menos 10 a 14 mg  $\alpha$ -amino nitrógeno/100 ml mosto. El aminoácido prolamina tiene un valor importante como un proveedor de  $\alpha$ -amino nitrógeno requerido por la levadura. Un bajo contenido de aminoácidos puede provocar lo siguiente:

- ✓ Se reduce el crecimiento de la levadura.
- ✓ La fermentación y maduración son retardadas y por consecuencia se produce una cerveza no madura e indeseable en cuestión de sabor y de olor.

### **Métodos de maceración.**

#### **I. Maceración por infusión.**

Este es el tipo de maceración más sencillo utilizado en la producción de cerveza. Este consiste en la adición de la mezcla del grano molido con el agua en un solo tanque o recipiente, fijando y controlando la(s) temperatura(s) de dicha mezcla de acuerdo a las condiciones óptimas de trabajo de las enzimas endógenas de la malta para la producción del mosto. Este tipo de maceración es dividido a su vez en tres métodos:

a) **Infusión sencilla.** Este método de maceración ha sido el más utilizado a través del tiempo por ser el método más simple de los empleados en esta operación. El método consiste en adicionar la sémola con agua a temperatura de 70-75 °C con la ayuda de un premacerador ó hidratador a un tanque de macerado con una previa cama de agua a la misma temperatura que el agua mezclada con la sémola del grano. Al introducir toda la proporción de sémola/agua al tanque, se provoca un equilibrio de temperaturas de 62-68 °C que se mantiene por 40-120 min, la cuál debe ser mantenida para provocar la activación de las amilasas endógenas del grano, como también en menor cantidad otras enzimas como las proteasas, glucanasas, etc.

En esta operación se debe realizar una agitación de la mezcla de sémola/agua para homogenizar la solución obtenida de todos los componentes extractables por el agua. Esta solución es denominada mosto. Para comprender mejor esta operación se debe tomar en cuenta la siguiente información:

Las amilasas  $\alpha$  y  $\beta$  actúan coordinadamente en la maceración degradando la amilosa y la amilopectina para liberar azúcares fermentables y dextrinas no fermentables. La  $\alpha$  amilasa es más termoestable que la  $\beta$ , de modo que la temperatura a la cual está establecido este método (62-68 °C), favorece en mayor la acción de la

primera; del mismo modo un pH de 5.7 es más favorable a la amilasa  $\alpha$  y uno de 4.7 a la  $\beta$  (Hough, 1994).

La desventaja de este método es que al mantener una sola temperatura de trabajo en función de las amilasas, no se realiza en forma óptima las actividades enzimáticas de otras enzimas endógenas de la malta que contribuyen a la degradación de las macromoléculas deseadas para la obtención determinante de un mosto de alta calidad, como la acción de proteasas, glucanasas, glucosidasas, dextrinasa límite, fosforilasa y en menor importancia fitasa. Por ello en este método es necesario la utilización de maltas bien modificadas, es decir maltas que fueron sometidas a un tiempo de germinación más prolongado para garantizar durante el malteo la degradación parcial en mayor forma de las macromoléculas requeridas para la producción del mosto por enzimas que trabajan en forma pobre o casi nula en las condiciones fijadas por este tipo de maceración por infusión. Otro factor a considerar debido a las condiciones de este método de maceración es la exclusión de adjuntos que no contengan un contenido enzimático requerido para la producción del mosto, o en su caso la adición de enzimas de otro origen ajenos de los granos utilizados para garantizar la degradación óptima de los mismos.

**b) Infusión por programación de temperaturas (*Step mashing*).** Este segundo método por infusión consiste de igual forma que el anterior en la realización de la infusión de la sémola del grano con el agua, aunque en éste se realiza la programación de temperaturas y tiempos requeridos para cada una de las enzimas endógenas de la malta determinantes para la producción de mosto. Las temperaturas programadas son las siguientes:

- ✓ 35 °C por 30 minutos para la acción de fitasa.
- ✓ 50 °C por 15 minutos para la acción de proteasas,  $\beta$ -glucanasa y pentosanasa.
- ✓ 62-65 °C por 40 minutos para la acción de  $\beta$ -amilasa y dextrinasa límite.
- ✓ 70-75 °C por 30 minutos para la acción de  $\alpha$ -amilasa, fosforilasa y  $\alpha$ -glucosidasa.
- ✓ 78-80°C por 5 minutos para final de maceración o "*Mash out*".

**c) Infusión por programación corta de temperaturas (*Short step mashing*).** Este método de infusión es igual al anterior pero es iniciado a una temperatura mayor (58°C) con periodos de programación de temperaturas y tiempos más cortos. A continuación se presentan las temperaturas y tiempos utilizados para este método:

- ✓ 58 °C por 30 minutos para la acción de proteasas,  $\beta$ -glucanasa y pentosanasa.
- ✓ 65 °C por 50 minutos para la acción de  $\beta$ -amilasa y dextrinasa límite.

- ✓ 70 °C por 40 minutos la acción de  $\alpha$ -amilasa, fosforilasa y  $\alpha$ -glucosidasa.
- ✓ 78-80 °C por 5 minutos para final de maceración o "Mash out".

## II. Maceración por decocción.

Este tipo de maceración es dividido en tres métodos:

a) **Decocción sencilla.** Este sistema fue inicialmente empleado en Alemania y consiste en realizar una infusión de la sémola y agua a una temperatura de 35-40 °C por 20 minutos para la acción de fitasa y después a 50°C por 30 minutos para la acción de proteasas,  $\beta$ -glucanasa y pentosanas, posteriormente se retira un cuarto del macerado el cual es sometido en un cocedor de macerado a 78°C por 10 minutos y después a ebullición (93-100°C) por 15 minutos. Esta parte sometida a ebullición se mezcla luego con el resto, lo que provoca un incremento gradual de la temperatura hasta 64-65 °C para favorecer el trabajo óptimo de  $\beta$ -amilasa y dextrinasa límite. Por último se retira nuevamente un cuarto del macerado que es sometido a las mismas condiciones anteriores y se mezcla otra vez con el resto elevando la temperatura de todo el macerado a 75 °C por 10 minutos para el trabajo óptimo de  $\alpha$ -amilasa, fosforilasa y  $\alpha$ -glucosidasa (Kunze, 1999).

b) **Doble decocción o doble maceración.** Este método americano utiliza un "cocedor de adjuntos" para la cocción de los cereales junto con un poco de malta . Este método se inicia realizando una infusión de sémola y agua a una temperatura de 50 °C por 90 minutos para la acción de proteasas,  $\beta$ -glucanasa y pentosanas que reducen las viscosidades del macerado, luego al igual que el método anterior es retirada y sometida una cuarta o tercera parte del macerado a 70°C por 15 minutos y a ebullición por 20 minutos. Posteriormente se mezcla ésta parte del macerado al resto del total al tanque macerador elevando así la temperatura del mismo a 64-65 °C por 70 minutos lo que facilita la acción de  $\beta$ -amilasa y dextrinasa límite. Nuevamente se retira y se somete una cuarta o tercera parte del macerado a las mismas condiciones anteriores, luego se vuelve a mezclar al resto del macerado dando como resultado un incremento de 75 °C del mismo por 10 minutos y por último se retira una vez más un cuarto o tercera parte del macerado sometiéndolo al mismo tratamiento permitiendo la elevación de todo el macerado a 80 °C dando así el final del macerado o "Mash out" en el cual se disminuye de forma considerable la acción de las enzimas involucradas en la producción del mosto (Kunze, 1999).

c) **Doble decocción corta ó doble maceración corta.** Este es el mismo método de maceración que el anterior aunque se inicia a la temperatura de 62 °C por 65 minutos para favorecer la acción de  $\beta$ -amilasa y dextrinasa límite y posteriormente mediante la mezcla de la parte del

macerado sometida a ebullición se obtengan y se mantengan las condiciones de sacarificación por  $\alpha$ -amilasa (70°C por 45 minutos) y fin de macerado (78-80 °C por 10 minutos) para la producción de mosto en forma óptima. Cabe señalar que este método de acuerdo a las condiciones fijadas no es sometido el macerado a condiciones de proteólisis por lo que se debe considerar en la selección de la malta y/o adjunto en la formulación de acuerdo a lo anteriormente comentado.

**d) Triple decocción.** Este método de maceración fue creado por la cervecería bávara estatal de Weihenstephan (Freising Alemania). Este método consiste en someter el macerado formado por una infusión previa a tres cocciones y mezclas de una tercera o cuarta parte del mismo para obtener las condiciones óptimas (tiempo y temperatura) de todas las enzimas involucradas en la producción del mosto. Aunque no sea energéticamente un método óptimo se obtienen excelentes rendimientos en la eficiencia de la maceración y la obtención de un mosto de máxima calidad. A continuación se presenta la explicación de este método (Narziss, 1995):

Primeramente se realiza la infusión de la sémola del grano total y agua en el tanque de macerado a 35-38 °C por dos horas y media para garantizar la acción de fitasas. Del macerado obtenido se retira una cuarta parte del mismo que se somete en un cocedor de macerado a 50 °C por 30 minutos para realizar la proteólisis por acción de proteasas y disminución de la viscosidad por acción de glucanasas y pentosanas, posteriormente se eleva la temperatura a 65 °C por 30 minutos para la acción de  $\beta$ -amilasa y dextrinasa límite, luego se eleva la temperatura a 75 °C por 30 minutos para la acción de  $\alpha$ -amilasa, fosforilasa y  $\alpha$ -glucosidasa y por último 5 minutos a ebullición. Esta parte ya sometida a ebullición es mezclada al resto del macerado para obtener una temperatura del total del macerado de 53 °C (proteólisis y reducción de viscosidad) que es mantenida por 2 horas, nuevamente se retira una cuarta parte del macerado que es sometida a 65 °C por 30 minutos, luego a 75 °C por 30 minutos y por último 5 minutos a ebullición, al obtener esta última condición se vuelve a mezclar con el resto del macerado alcanzando así, una temperatura de 65 °C (acción de  $\beta$ -amilasa) en el macerado total; ésta temperatura es mantenida por una hora y media. Por último se retira una cuarta parte del macerado que es sometida a 75 °C por 30 minutos y a ebullición por 5 minutos posteriormente es adicionada y mezclada con el resto del macerado para alcanzar una temperatura de 75 °C que es mantenida 30 minutos para garantizar la acción de  $\alpha$ -amilasa, fosforilasa y  $\alpha$ -glucosidasa en el total del macerado.

### **Clarificación de mosto (Lautering).**

El mosto obtenido en la maceración alcanza una concentración relativamente alta por lo cual debe ser sometido a una dilución para ajustar dicha concentración a un nivel adecuado para la elaboración de la cerveza. Por ello se realiza una adición de agua que además de diluir permite extraer los compuestos solubles que quedan adheridos al grano gastado o bagazo. Después de la lixiviación se deberá obtener un mínimo de 1-6% de contenido de extracto, ya que si este es menor disminuye la calidad del mosto por dilución excesiva y abundante de compuestos indeseables como compuestos polifenólicos y proteínas de alto peso molecular como la prolamina que no es asimilada por la levadura y que puede formar complejos que forman turbios en el mosto y que deben ser removidos del mismo. Esta operación es denominada "lautering" o clarificación de mosto.

Dicha operación se realiza físicamente bombeando el macerado a un tanque denominado "Lauter tun" o cuba filtro, el cual tiene un fondo falso en la parte inferior con una placa filtrante, la cuál retiene el bagazo pero permite el paso del mosto. Posteriormente se inicia una dosificación de riego de agua en la parte superior del tanque por medio de una esperea, y al mismo tiempo el mosto recolectado en el fondo verdadero es enviado por gravedad y/o sifón a una caldera de ebullición donde se recolectará todo el mosto producido. En esta operación es importante tener una agitación constante por medio de un rastrillo de origen proximal para poder homogenizar y facilitar el contacto del agua adicionada con la cama de bagazo formada (Asociación de Maestros Cerveceros de las Americas, 1977).

### **Ebullición del mosto.**

El mosto obtenido en el "Lauter tun" es enviado a una olla de ebullición y es hervido por 1 a 2 horas. Durante esta operación el lúpulo es adicionado. Durante la ebullición, los compuestos de amargor y aroma del lúpulo son transferidos al mosto y simultáneamente las proteínas y polifenoles son precipitados.

### **Objetivos de la ebullición del mosto.**

Los objetivos de la ebullición del mosto con el lúpulo son los que se describen a continuación:

- I. Extracción y transformación de componentes del lúpulo.** Los lúpulos son agregados durante la ebullición del mosto. Durante esto los alfa ácidos son isomerizados a iso  $\alpha$ -ácidos y esto da un agradable y delicado sabor amargo a la cerveza.

Para obtener el amargor esto es importante conocer:

- ✓ Cuanto lúpulo debe ser agregado.
- ✓ Cuando los lúpulos deben ser agregados.
- ✓ Como pueden ser agregados los lúpulos.

La cantidad de lúpulo usualmente utilizada en la producción de cerveza es de 1% del total del mosto producido. Los lúpulos pueden ser todos agregados antes de la ebullición o en 2 o 3 porciones a diferentes tiempos. Una mitad puede ser agregada en el comienzo, con un cuarto después de media o una hora de ebullición y un cuarto una hora antes de terminar. Este proceso es más laborioso pero es considerado en algunas cerveceras como el más adecuado para dar un mejor sabor a la cerveza. El 80% de los aceites se volatilizan con el vapor de agua durante la ebullición en media hora.

Respecto a la adición del lúpulo conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El mosto adquiere un sabor amargo, por las resinas del lúpulo.
  - Se reduce la tensión superficial, por influjo de aceites y resinas.
  - Se añaden aceites esenciales y en ocasiones taninos.
  - Los iso  $\alpha$  ácidos mejoran la espuma de la cerveza, pero los aceites suelen reducir su estabilidad.
- II. Inactivación de enzimas endógenas del grano.** En las condiciones de la ebullición del mosto (temperatura y tiempo) se inactivan totalmente las enzimas endógenas de la malta involucradas en la producción de mosto, esto es debido a que éstas tienen temperaturas de inactivación menores a la de ebullición.
- III. Esterilización del mosto.** El mosto es propenso a contener microorganismos que son acarreados dentro del proceso. De 45 minutos a 2 horas es suficiente para esterilizar el mosto y eliminar cualquier desarrollo microbiológico.
- IV. Formación y precipitación de complejos proteínas-polifenoles.** Las sustancias fenólicas de la malta y de los lúpulos reaccionan con proteínas para formar complejos de gran tamaño molecular que no son solubles en el mosto. Se precipitan como una masa floculenta llamada turbio caliente o "Hot trub". La coagulación de las proteínas durante la ebullición se ve influida por la presencia de taninos, por el efecto de la temperatura, el pH y iones como el calcio y algunos metales pesados.
- V. Precipitación intensa del fosfato de calcio y caída de pH.** Durante la ebullición del mosto se efectúa en forma importante la caída del pH del mismo por la precipitación de fosfato de calcio por la interacción de iones calcio originarios del agua o adicionados intencionalmente

con grupos fosfato ácidos originarios de la malta ( $K_2HPO_4$  principalmente), dando como resultado liberación de protones en el mosto.

- VI. Producción y reducción de dimetilsulfuro (DMS) y dimetilsulfóxido (DMSO).** El dimetil sulfuro y el dimetilsulfóxido son compuestos volátiles, los cuales son detectados en la cerveza terminada dando sabores y aromas no placenteros. Como se ha comentado anteriormente estos compuestos son obtenidos durante el horneado de la malta a partir de S-metil metionina (SMM). Estos compuestos al ser volátiles son eliminados en forma considerable durante la ebullición por evaporación.
- VII. Incremento de la coloración del mosto por caramelización de azúcares y reacciones de oscurecimiento no enzimático (Reacciones de Maillard).** Durante la ebullición del mosto hay una pérdida de azúcares reductores por caramelización de los mismos como también por reacciones de oscurecimiento no enzimático por la interacción con grupos aminos de origen proteico dando como resultado la obtención de productos coloridos siendo principalmente melanoidinas.
- VIII. Acidificación del mosto por producción de melanoidinas.** Con relación al punto anterior, las melanoidinas producidas por las reacciones de oscurecimiento no enzimático durante la ebullición disminuyen el pH del mosto esto debido a que la formación de estos compuestos involucra una compleja de reacciones que liberan durante las mismas protones y  $CO_2$  dando así una acidificación al medio.
- IX. Formación de sustancias reductoras (reductoras).** Durante la ebullición son formadas sustancias, las cuales reaccionan con el oxígeno presente en el mosto y por consiguiente dan un efecto reductor. Estos incluyen por ejemplo, las melanoidinas.
- X. Evaporación de agua.** Durante la ebullición del mosto hay una pérdida de agua por evaporación, la cantidad perdida de agua dependerá del tiempo al cual es sometido el mosto a ebullición, siendo comúnmente una pérdida de 4 a 10% durante toda la operación. Debido a esta pérdida de agua hay un aumento de la concentración del mosto de alrededor de 0.2-0.3%, siendo un valor pequeño que no afecta en forma importante el contenido de extracto original deseado del mosto que será aprovechado por la levadura durante la fermentación.

### **Enfriamiento del mosto.**

El mosto es enfriado para darle al mosto una temperatura óptima para la fermentación. Previo a la fermentación, el mosto caliente debe ser enfriado tan rápidamente como sea posible de 7 a 10 °C, mediante un intercambiador de calor. Durante este proceso el mosto se vuelve turbio por la formación de complejos que precipitan llamados turbios fríos (Hardwick, 1995).

Los sistemas de enfriamiento del mosto extraen calor del mosto y generan agua caliente que es reciclada en el proceso de elaboración de la cerveza para la producción de mosto, limpieza y/o esterilización del equipo. Los refrigerantes usados como medio de enfriamiento incluyen; agua fría, salmuera soluciones de propilenglicol, y expansión directa de amoniaco.

Los equipos de enfriamientos más utilizados actualmente para el enfriamiento del mosto son los intercambiadores de calor de placas. Estos constan de numerosas placas de acero inoxidable moldeadas por presión mecánica, de modo que entre cada dos quede una cavidad. El mosto pasa de la primera cavidad a la tercera, y de ésta a la quinta y así sucesivamente. El refrigerante, por ejemplo agua helada, circula a contracorriente, de la última cavidad a la antepenúltima, y así sucesivamente, por cavidades que alternan con aquéllas por las que circula el mosto. Estos equipos son compactos e higiénicos y proporcionan a las cervecerías grandes cantidades de agua a 75-80 °C, que pueden utilizar para limpieza (Hough, 1994).

### **Aireación del mosto.**

Se necesita airear el mosto para facilitar el crecimiento de la levadura. El aire es requerido en pequeñas cantidades por las células para sintetizar los ácidos grasos no saturados y los esteroides (ergosterol, lanosterol y zimosterol) de las membranas intracelulares. La mayoría de las cervecerías introducen en la corriente del mosto: aire estéril u oxígeno.

La solubilidad del aire y oxígeno es una función de la presión del mosto y de su temperatura, como también la distancia al fermentador para el punto de inyección. El volumen de aire u oxígeno inyectado dentro del flujo del mosto está en función del volumen del mosto localizado dentro del fermentador. Si el mosto es sobresaturado dentro del fermentador durante un largo tiempo, la sobresaturación tendrá un efecto positivo sobre el crecimiento de la levadura.

Al disolver el aire en el mosto frío éste debe ser inyectado como pequeñas burbujas y turbulentamente mezclado con el mosto frío. Un contenido de oxígeno recomendable para la fermentación óptima del mosto es de 8 a 9 mg/L (Eichenbach, 1994).

# **PRODUCCIÓN DE CERVEZA (FERMENTACIÓN, MADURACIÓN Y FILTRACIÓN).**

## **Fermentación.**

En la fermentación, la levadura convierte al azúcar del mosto en alcohol y dióxido de carbono principalmente y en pequeñas cantidades glicerina, ésteres, aceites de fusel, aldehídos, cetonas y ácidos orgánicos entre otros.

## **El mosto para la fermentación.**

El mosto aromatizado con lúpulo en el que se inocular la levadura es un medio rico de nutrientes, este contiene carbohidratos, una amplia gama de aminoácidos y otras sustancias nitrogenadas simples, como también sales minerales de las que forman parte el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio el hierro, el zinc, el cobre, el manganeso, los cloruros, los sulfatos, los carbonatos y los fosfatos.

También contiene vitaminas, como la biotina, el ácido pantoténico, el inositol, la tiamina, la piridoxina y ácido nicotínico.

La levadura necesita azúcares simples, aminoácidos, sales y vitaminas para crecer; también precisa esteroides, ácidos grasos no saturados, y oxígeno disuelto. Con excepción del oxígeno y algunas de las sales, la malta y los sucedáneos (si se utilizan) satisfacen todas esas necesidades. Los azúcares proporcionan energía y son utilizados en rutas biosintéticas (especialmente proteínas) y sales y vitaminas desempeñan importantes papeles metabólicos. La síntesis de la membrana exige ácidos grasos no saturados, esteroides y oxígeno (Power y Lynkruger, 1997).

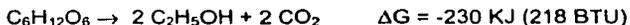
La cepa de levadura empleada, afectará directamente las reacciones bioquímicas que ocurren durante la fermentación, y por consiguiente las características del producto resultante. Por lo tanto, un mismo mosto fermentando bajo condiciones similares, pero con dos cepas diferentes de levadura, dará origen a variaciones entre las cervezas resultantes, no sólo por lo que toca a sabor y aroma, sino también en características tales como espuma, color, estabilidad coloidal, grado de atenuación, etc.

Por otra parte, durante la fermentación se eliminan varios compuestos tanto por absorción en las paredes celulares de la levadura. Los principales compuestos eliminados son isohumulonas, metales y taninos. La mayor proporción de ésta eliminación ocurre durante los 3 primeros días de la fermentación.

## Metabolismo de la levadura.

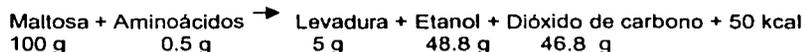
En el interior de la célula, la maltosa y la maltotriosa son hidrolizadas enzimáticamente a glucosa. La expresión más simple de fermentación es la siguiente:

**Fermentación de azúcares a etanol y CO<sub>2</sub>. Los azúcares son fermentados según la ecuación de Gay Lussac:**



Esta ecuación denominada de Gay-Lussac muestra que la glucosa es transformada en dióxido de carbono y etanol, además de liberar energía utilizable en las actividades celulares. No toda la energía liberada puede ser utilizada de un modo coordinado y parte se disipa en forma de calor, consideración que ofrece importancia al llevar a cabo la fermentación a gran escala.

Lo que esta ecuación no toma en cuenta es que la levadura puede estar multiplicándose y produciendo otros metabolitos como ácido láctico, glicerol y ácido succínico en cantidades pequeñas. Teniendo en cuenta el crecimiento de la levadura, la fermentación del mosto podría expresarse así:

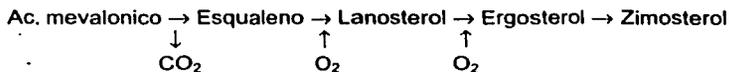


Desde el punto de vista bioquímico, el proceso de fermentación primaria puede ser dividido en dos etapas principalmente:

- I. Etapa de activación de complejos enzimáticos y generación de biomasa, también denominado etapa inicial fermentativa.
- II. Etapa de fermentación alcohólica por ruta glicolítica o de Embden-Meyerhof-Parnas (EMP).

Esta división es arbitraria, ya que ambas etapas están traslapadas en todo tiempo durante sus periodos presentes en la fermentación. Sin embargo, es necesario hacer su división concerniente para facilitar su comprensión.

Durante la etapa inicial fermentativa, las células de la levadura empiezan a sintetizar esteroides para su membrana celular a partir de componentes esenciales que aporta el mosto, como también del oxígeno suministrado durante la aireación del mismo. Esta producción de esteroides es realizado de la siguiente manera:



Simultáneamente de este acto, las células de la levadura empiezan a activar todos sus complejos enzimáticos que son requeridos para la fermentación del mosto. Una vez que se ha terminado esta etapa del proceso de fermentación, las células de la levadura inician, como anteriormente se ha comentado, la toma de aminoácidos, peptidos y azúcares en un mecanismo específico. La degradación de los azúcares asimilados por la levadura es realizado principalmente por la ruta glicolítica o Embden-Meyerhof-Parnas (EMP), aunque no toda la glucosa se metaboliza por la ruta Embden-Meyerhof-Parnas (EMP); parte lo hace por una vía diferente, la ruta del monofosfato de hexosa, que no solo libera energía, sino que produce también pentosas importantes para la síntesis de nucleótidos y ácidos nucleicos (Sendray y Carbonaelli, 1999).

La ruta glicolítica o Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) inicia por la transformación de una mol de glucosa a dos moles de ácido pirúvico a través de una serie de formación de compuestos intermediarios. El ácido pirúvico formado es a su vez transformado a acetil coenzima (Acetil Coa). El acetil CoA es importante ya que es el primer producto de la fermentación que contiene un grupo sulfuro y participa en la formación de compuestos que dan a la cerveza sabores y aromas característicos que intervienen de forma importante en las propiedades sensoriales de la cerveza a producir, estos compuestos son denominados "congenéricos". Estos compuestos están conformados principalmente por carbonilos, alcoholes superiores, ésteres, compuestos sulfurados, ácidos orgánicos y ácidos grasos.

Regresando a la fermentación alcohólica, la formación de alcohol es iniciada a partir del ácido pirúvico formado en la ruta glicolítica de la siguiente forma resumida:



Esta reacción es realizada por una serie de transformaciones de compuestos intermediarios. Estas transformaciones pueden ser divididas en cinco etapas:

- I. **Fosforilación** En esta etapa se realiza la fosforilación de la glucosa y posteriormente es transformada a fructosa, que de igual forma es fosforilada. La glucosa es fosforilada por la enzima glucocinasa que requiere al ión magnesio ( $Mg^{2+}$ ) como cofactor, el resultado de esta fosforilación es la formación de glucosa-6-fosfato (G6P), ésta es a su vez es transformada a fructosa-6-fosfato por acción de la enzima glucosa-6-fosfato isomerasa, obteniendo así fructosa-6-fosfato y por último ésta es nuevamente fosforilada por la enzima fosfofructocinasa dando así fructosa-1,6-difosfato.
- II. **Formación de triosas.** En esta etapa se obtiene un grupo de triosas por rompimiento de la fructosa-1,6-fosfato dando como

resultado dihidroxicetona fosfato y gliceraldehído-3-fosfato (G-3P) por acción de la aldolasa, la cual requiere al ión zinc ( $Zn^{2+}$ ) como cofactor.

- III. **Reacciones oxido-reducción (redox).** En esta etapa de la ruta metabólica se realizan una serie de reacciones de oxido-reducción a partir del gliceraldehído-3-fosfato (G-3P) por acción de la enzima gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa dando como resultado el ácido 1,3 difosfoglicérico, este a su vez es transformado por la enzima fosfoglicerato cinasa en ácido 3-fosfoglicérico, posteriormente a partir de este compuesto se obtiene el ácido 2-fosfoglicérico por la acción de la fosfoglicerato mutasa.
- IV. **Formación de ácido pirúvico.** A partir del ácido 2-fosfoglicérico es obtenido ácido pirúvico, esto es realizado primeramente por la transformación del ácido 2-fosfoglicérico a ácido fosfoenolpiruvato por la acción de la enzima enolasa que requiere como cofactor ión magnesio ( $Mg^{2+}$ ), posteriormente éste es transformado por la enzima piruvato cinasa en ácido pirúvico.
- V. **Obtención de etanol.** Una vez obtenido el ácido pirúvico este es descarboxilado por la enzima piruvato descarboxilasa, la cual requiere ión magnesio ( $Mg^{2+}$ ) dando así la formación de acetaldehído que por último es transformado por la enzima alcoholdehidrogenasa que requiere como cofactor ión zinc ( $Zn^{2+}$ ) en etanol.

### **Producción de compuestos congénicos.**

Como se ha comentado anteriormente, aparte de la formación de etanol y  $CO_2$  a partir de glucosa (reacción principal en el proceso de fermentación), existen otras reacciones de importancia para las propiedades sensoriales de la cerveza por la formación de compuestos de diferente origen, denominados "congénicos". A continuación se comentarán la formación y características importantes de los compuestos congénicos más representativos formados durante la fermentación del mosto frío.

#### **1) Carbonilos.**

Los compuestos carbonilos más importantes en la cerveza son el acetaldehído y las dicetonas vecinales. A continuación se discute acerca de cada uno de estos:

**Acetaldehído.** El acetaldehído es formado en el penúltimo paso de la vía glucolítica donde la levadura convierte el azúcar a etanol y alcanza un

máximo durante la primera parte de la fermentación; su concentración depende de la cepa de levadura. Los niveles de acetaldehído pueden incrementarse por aireación, dióxido de azufre, deficiencias en vitaminas, principalmente en ácido pantoténico o en tiamina, y la pasteurización. Durante la maduración en la cerveza disminuye la concentración del acetaldehído. Altas concentraciones de éste son indeseables en la cerveza ya que tiene un sabor graso y con notas a manzana. En la cerveza joven el contenido de acetaldehído es de 20 a 40 mg/l y esto decrece a un valor de menos de 8 a 10 mg/l en cerveza terminada.

**Diacetilo y pentanodiona (dicetonas vecinales).** El diacetilo es el compuesto más importante de aroma de cerveza inmadura. Este compuesto da sabor a dulce revoloteado, el cual en concentraciones altas es responsable de sabor de la cerveza a mantequilla, aunque también la pentanodiona actúa en forma similar. Estos son referidos como dicetonas vecinales, porque ambos compuestos son dicetonas con un grupo cetona adyacente. El rompimiento de estas dicetonas vecinales ocurre lentamente en las reacciones de maduración durante el proceso de acondicionamiento de la cerveza y esto se considera como criterio esencial para el estado de maduración de una cerveza.

La formación y exclusión de dicetonas vecinales ocurre en 3 etapas (Krüger, 1991):

**Primera etapa:** Formación de precursores. La levadura forma solo los precursores de dicetonas vecinales durante su metabolismo. Estos precursores no tienen aroma ó sabor y no pueden ser detectado en la cerveza. Estos se forman durante la síntesis de aminoácidos por la levadura. Un punto de comienzo para esta síntesis es el ácido pirúvico formado como un intermediario durante la respiración y la fermentación.

Los ácidos acetohidróxidos formados del ácido pirúvico son excretados por las células de levadura dentro el medio de fermentación. Su formación depende de las siguientes factores (Narziss, 1995):

- ✓ Raza de levadura: El tiempo de formación y la cantidad de los ácidos es una característica específica de las especies de la levadura.
- ✓ Periodo de inóculo de la levadura: Una alta proporción de inoculación guía a la formación de ácidos acetohidróxidos. La adición de más levadura, también guía a un rápida y completa exclusión.
- ✓ Oxígeno: El oxígeno guía a un incremento de formación de ácidos acetohidróxidos por la levadura.

**Segunda etapa:** De la conversión de los precursores se obtienen ácidos acetohidróxidos, dicetonas vecinales; diacetilo y pentanodiona por descarboxiliación oxidativa. Esta conversión ocurre fácilmente por (Narziss, 1995):

- ✓ pH bajos: A pH con valores entre 4.2 a 4.4, hay una rápida conversión de los precursores de dicetonas vecinales.

- ✓ Temperatura alta.
- ✓ Introducción de oxígeno: La toma de oxígeno guía a una rápida conversión de precursores de dicetonas vecinales.

**Tercera etapa:** Reducción de los dicetonas. El diacetilo y la pentanodiona formados solo pueden ser excluidos por las células de levaduras. Esto, por supuesto, decrece el efecto perjudicial del sabor de la cerveza. La exclusión ocurre por las reducciones.

Diacetilo → Acetoina → Butanodiol

Pentanodiona → Hidroxipentanona → Pentanodiol

La exclusión de dicetonas vecinales es favorecida por los siguiente factores (Kelster, 1990):

- ✓ Durante la fermentación de la levadura hay una gran capacidad para excluir las dicetonas vecinales.
- ✓ La habilidad de excluir las dicetonas vecinales queda constante durante la fermentación primaria y gradualmente decrece durante la fermentación secundaria.
- ✓ Hay solo pequeñas diferencias entre las especies de levadura en la capacidad de excluir las dicetonas vecinales.
- ✓ La exclusión de dicetonas vecinales es dependiente de la temperatura e incrementa grandemente con el incremento de la misma.
- ✓ El método *Kräusen* fomenta a la exclusión de dicetonas vecinales.

## 2) Alcoholes superiores.

En contraste a las dicetonas vecinales y aldehídos, los cuales pertenecen a las sustancias de aroma de la cerveza joven, los alcoholes superiores ó "Aceites de Fussel" son compuestos encontrados en la cerveza terminada. Hay varias rutas para producir los alcoholes superiores.

La levadura convierte los aminoácidos presentes en el mosto a alcoholes superiores por desaminación, descarboxilación y reducción. Se sabe que la leucina, la isoleucina y la valina dan origen a los alcoholes isoamílico, amílico e isobutílico respectivamente. Lo primero que ocurre en esta transformación es una desaminación que da origen a un  $\alpha$ -cetoácido que posteriormente es descarboxilado y convertido a un n-aldehído que a través de una reducción produce el alcohol. La desaminación es realizada por una desaminasa específica para cada aminoácido (leucindesaminasa, isoleucindesaminasa, valindesaminasa); se desconoce si las enzimas que intervienen en las descarboxilaciones y reducciones son específicas o generales. El n-propanol, a diferencia de los anteriores se forma a partir de un aminoácido polar no cargado: la treonina; la primera transformación es una desaminación y

deshidratación que ocurren simultáneamente catalizadas por la treonina deshidratasa; de esta reacción se genera un  $\alpha$ -cetoácido y el resto de las transformaciones son iguales que para los aminoácidos antes mencionados. No se sabe nada todavía sobre el origen del feniletanol, el cual es un congenérico ampliamente distribuido en la cerveza (Santillan y García Garibay, 1998).

Los alcoholes superiores pueden ser formados también por vías de intermediarios de hidroxiácidos o cetoácidos y por azúcares por vía de acetato. Sobre 80% de los alcoholes superiores son formados durante la fermentación primaria y en la etapa maduración (*lagerung*) (Krüger, 1989).

Se sabe que las cervezas *ale* tienen mayor concentración de alcoholes superiores que las *lager*. La agitación, al igual que altas temperaturas de fermentación se relacionan con altas concentraciones de alcoholes superiores. Particularmente el feniletanol no es deseable en las cervezas por estar relacionado con aromas florales que perjudican el sabor de la cerveza; concentraciones de oxígeno demasiado altas o muy bajas dan lugar a la producción de este alcohol en altas proporciones. Con respecto a las fuentes de carbono, se sabe que la sacarosa favorece la formación de alcoholes superiores, el enriquecimiento con glucosa favorece particularmente la formación de isobutanol y alcohol isoamílico pero baja la de propanol; la fructosa aumenta la formación de isoamílico y de feniletanol. En mostos con concentraciones bajas de nitrógeno, la maltosa da mayores concentraciones de todos los alcoholes superiores (Santillan y García Garibay, 1998).

### 3) Esteres.

Los ésteres son los compuestos aromáticos más importantes en la cerveza y determinan en gran parte el aroma final de la misma. La concentración de ésteres superiores puede dar una cerveza con un sabor amargo e indeseable (frutal). Son producidos intracelularmente durante la fermentación como resultado de la condensación de ésteres de Coenzima A (CoA) de ácidos grasos con alcoholes (principalmente etanol). Una vez formados y siendo liposolubles, difunden de las células de levaduras al caldo de fermentación. La reacción es catalizada por una alcohol aciltransferasa. La acetil-CoA es el centro de muchos aspectos del metabolismo de la levadura y junto con otros ésteres de CoA de ácidos grasos, es un intermediario clave en la biosíntesis de lípidos. Así, algunos factores que gobiernan la producción y consumo de lípidos tienen un efecto en la síntesis de ésteres. En el inicio de la fermentación cuando la síntesis de lípidos es requerida para el crecimiento celular, la velocidad de síntesis de ésteres es relativamente baja, pero cuando el crecimiento de la levadura está restringido por una baja reserva de esteroides y ácidos grasos insaturados, la concentración de acetil-CoA aumenta y la velocidad de síntesis de ésteres aumenta. Este incremento en la síntesis de ésteres tiene una vida relativamente corta y pronto declina. Las razones por las que la célula de levadura forma ésteres no es todavía completamente clara, puede ser una forma de desechar productos del metabolismo de azúcares

durante la fermentación o se puede considerar como un mecanismo de desintoxicación, ya que se sabe que los ácidos grasos de cadena mediana (entre C8 y C14) son tóxicos para la levadura, especialmente si son insaturados (Santillan y García Garibay, 1998).

#### **4) Compuestos sulfurados.**

El metabolismo de la levadura provoca la formación de compuestos sulfurados volátiles, como  $H_2S$ , mercaptanos y otros compuestos los cuales en pequeñas concentraciones tienen un sabor y olor muy fuerte. Si el sabor de ellos es excesivo pueden dar a la cerveza un sabor de inmadurez de la misma. Algunas bacterias esporuladas pueden producir compuestos sulfurados volátiles.

El hidrógeno sulfurado es producido durante la fermentación por contenido de azufre de los aminoácidos (metionina, cisteína). La deficiencia ó ausencia de factores de crecimiento en la levadura puede también guiar a una concentración alta de  $H_2S$  en la fermentación del mosto.

Los mercaptanos son trialcoholes, compuestos en los cuales, el grupo  $-OH$  del alcohol es reemplazado por  $-SH$ . Estos pertenecen a los compuestos que pueden causar mucho daño al aroma de la cerveza. Estos son también parcialmente responsables del sabor desagradable y áspero. El contenido de mercaptano incrementa por arriba de 60 a 70% de atenuación y luego decrece otra vez, como un resultado de la entrada de oxígeno que provoca compuestos oxidados (disulfuros), los cuales tienen un menor efecto dañino sensorial (Guinard, 1990).

Otro compuesto sulfurado es el dimetilsulfuro  $(CH_3)_2S$  que procede de la S-metilmetionina presente en el mosto de la malta. Estos compuestos contribuyen a dar un gran efecto, como el redondeo del cuerpo y sabor de la cerveza, pero también pueden dar un efecto muy perjudicial al sabor y el aroma, como también sobre la estabilidad de la espuma.

#### **5) Ácidos Orgánicos.**

Los ácidos orgánicos presentes en la cerveza son predominantemente de origen graso, siendo principalmente el ácido octanoico, el ácido butírico, el ácido decanoico y el ácido dodecanoico. También se encuentran en menores cantidades ácidos orgánicos formados como intermediarios de rutas metabólicas (Ruta glicolítica y Ciclo de Krebs) involucradas en el crecimiento de la levadura y la fermentación. En este grupo de ácidos se encuentran el ácido cítrico, el ácido  $\alpha$ -oxoglutarico, el ácido succínico, el ácido fumárico, el ácido L-málico y el ácido oxolacético.

### Condiciones de fermentación de acuerdo al tipo de cerveza.

La fermentación de las cervezas tipo *ale* se efectúa a una temperatura inicial de 15 a 16 °C, que va subiendo lentamente por efecto de la fermentación, y se evita una subida excesiva por medio de serpentines o camisas de refrigeración hasta que a las 36 horas ha alcanzado un valor de 20 a 25 °C. La actividad de la levadura se hace evidente por la acumulación de espuma en la superficie y por el desprendimiento de dióxido de carbono. Luego se incrementa progresivamente la intensidad de la refrigeración para bajar la temperatura a unos 17°C, a las 72 horas (Hough, 1994).

Las fermentaciones *lagers* se realizan a 7-11 °C. Como la temperatura utilizada es más baja, la fermentación es más lenta. La fermentación suele durar de 8 a 10 días. Comienza con una ligera elevación de la temperatura del mosto cuidadosamente controlada mediante el uso de serpentines o camisas de refrigeración hasta un máximo de 10 a 15 °C. Este proceso tarda en completarse de 3 a 5 días. La actividad fermentativa se evidencia por la acumulación de espuma sobre la superficie del mosto y el desprendimiento de dióxido de carbono. La espuma puede adquirir un aspecto similar al de la coliflor y suele denominarse *Kräusen* durante la fermentación. El *Kräusen* se hunde y la levadura comienza a acumularse en la base del fermentador. En la elaboración tradicional de *lager*, se retiene parte de los azúcares fermentables.

### Grado de atenuación.

Durante la fermentación el contenido de extracto en el mosto es continuamente medido para conocer el comportamiento de la fermentación. La conversión de extracto a alcohol es conocida como grado de atenuación (*V*) (*Vergärungsgrad*).

La atenuación medida con el hidrómetro no da una respuesta real por la densidad del alcohol contenido en la muestra; de cualquier manera es una medida muy soconida por el cervecero ya que da valores muy aproximados a los reales y fáciles de determinar.

Para obtener el porcentaje de atenuación real (*V<sub>w</sub>*) (*wirklich*), el alcohol debe destilarse para dejar la muestra libre del mismo, y éste a su vez debe de ser remplazado con agua.

La medición de la atenuación es importante al final de la fermentación primaria, es decir en el traslado de la cerveza del fermentador a los tanques de reposo, o en el caso de tanques cilíndricos para el cambio de condiciones de fermentación de primaria a secundaria.

Para tener una medida del grado de atenuación es en primer lugar necesario saber qué porcentaje del extracto es potencialmente fermentable.

La atenuación límite es conocida después de 4 a 5 días de fermentación, es decir antes del traslado de cerveza. La atenuación límite es el grado aparente más alto de atenuación que puede alcanzarse por la fermentación del mosto.

Cuando se transfiere, la cerveza joven todavía debe contener el extracto adecuado fermentable para que la cerveza desarrolle una concentración de anhídrido carbónico alta durante la fermentación secundaria a baja presión. Por experiencia se sabe que aproximadamente 1% de extracto es el requerido para realizar dicha operación (Kunze, 1999).

### **Maduración ó reposo de la cerveza (Fermentación secundaria).**

Cuando ha terminado la fermentación primaria, si se prueba la cerveza, se encontrará que ésta tiene un cuerpo delgado y un carácter astringente con sabor a levadura. Para conseguir la eliminación de estos sabores, y obtener una cerveza sin características a cerveza verde o tierna, será necesario pasar a la etapa de reposo o maduración.

Durante esta etapa del proceso, se obtienen las características definitivas en el sabor de la cerveza, debido entre otras cosas a la purga, producción y reducción de algunos compuestos volátiles presentes en la cerveza original (alcoholes superiores, diacetilo, aldehídos, cetoácidos y compuestos sulfurados). Esta producción y eliminación de volátiles se puede conseguir de diferentes formas, de acuerdo con la técnica de reposo utilizada, variando desde el sistema acelerado ó *Nathan* que consiste en enfriar la cerveza con o sin separar las células de levadura, y pugar en forma constante con CO<sub>2</sub> dosificando desde el fondo del tanque, hasta el método de *Kräusen* que es más complicado, y que se requiere de mayor tiempo para la realización de la fermentación secundaria y la eliminación de complejos proteína-polifenoles (Lopez Lee, 1978).

Generalmente el contenido de células de levadura presentes en la cerveza al término de la fermentación primaria, será función del tipo de proceso utilizado, y de las características floculantes de la cepa de levadura; en general este contenido se hallará entre 0.5-0.6 millones de células por mL. El nivel que es óptimo se tendrá que determinar en cada uso, tomando en cuenta todas las variaciones del proceso que se está empleando.

En adición al efecto que resultará de eliminar, producir o reducir el nivel de algunos volátiles (alcoholes superiores, diacetilo, aldehídos, cetoácidos y compuestos sulfurados), las características de la cerveza también variarán durante el reposo debido a la secreción del interior de las células de levadura, de material intercelular como aminoácidos, péptidos, nucleótidos y fosfatos orgánicos e inorgánicos. Estos materiales logran salir del interior de la célula y difundirse en el medio cuando ocurren cambios en la permeabilidad de la pared celular. No se debe confundir esta variación específica de la permeabilidad en

la pared celular, la cual es normal, con la ruptura de la misma durante la autólisis, ya que cuando esto ocurre, todo el protoplasma de la célula se pasa al medio, sin que exista ningún tipo de selección. Es decir, la excreción ocurre debido a una modificación de la permeabilidad en la membrana del plasma, en tanto que durante la autólisis ocurre una ruptura total de la membrana. Es posible que esta excreción constituya la diferencia resultante entre las cervezas con adición de *Kräusen* y las cervezas procesadas de acuerdo al sistema *Nathan*, dado que además de existir una mayor cantidad de células de levadura presentes en el primer proceso, también será mayor la temperatura y el tiempo del reposo. Conocemos que la acumulación interna de las células de levadura aumenta con la temperatura, y que tanto el aumento de temperatura, como la duración del reposo harán más rápida la modificación de la pared celular (Lopez Leo, 1978).

Para realización la fermentación secundaria, la levadura deberá tener energía del metabolismo de los azúcares; por lo tanto debe existir suficiente cantidad de los mismos, la cuál se obtendrá de:

- ❖ Azúcares residuales de la fermentación primaria.
- ❖ Adición de mosto.
- ❖ Adición de *Primings* (Azúcares de origen ajeno al mosto, como sacarosa, jarabes fructosados, etc.)
- ❖ Adición de *Kräusen* (Volumen determinado de mosto fermentado por la levadura en su máxima velocidad de crecimiento)

Dependiendo de la temperatura a que se lleve a cabo el reposo, variará la duración del mismo al alterarse la velocidad de maduración. Por otra parte, es necesario que la cerveza se encuentre a temperaturas próximas a los 0 °C, durante los últimos días del reposo, para evitar que se autolice la levadura y se tengan problemas de sabor. Es conocido que la viabilidad de las células de levadura presentes en el reposo va disminuyendo lentamente después de transcurridos 10 días y sufre un decremento acelerado a partir de los 25 días.

### **Clarificación y estabilización coloidal de la cerveza.**

La última fase del proceso de maduración sirve para clarificar la cerveza y dar una filtración, como también incrementar esta estabilidad coloidal. Una medida del proceso de clarificación de la cerveza es que la concentración de células de la levadura presente en la suspensión para la entrada del filtro debe ser menor de  $2 \times 10^6$  células / ml.

La clarificación de cerveza es afectada por:

- ✓ La cantidad y propiedades del material del turbio de la cerveza.
- ✓ La temperatura de la cerveza.
- ✓ Que tan vigorosa se realizó la fermentación secundaria.
- ✓ El pH de la cerveza (pH 4.2 a 4.4).

- ✓ Tiempo de clarificación (1 a 2 semanas a 0 a -1 °C).
- ✓ La viscosidad de la cerveza.

### **Filtración de cerveza.**

La filtración es un proceso de separación, en el cual las células de la levadura y otros compuestos que provocan turbiedad son excluidos de la cerveza. El propósito de la filtración es hacer que la turbiedad de la cerveza sea tan estable que no tenga cambios en un tiempo largo y que la cerveza se mantenga visualmente limpia. A continuación se presentarán los métodos de filtración de cerveza más utilizados actualmente:

**1. Filtración con infusorios (diatomeas).** Este método de filtración requiere de tierras de diatomeas, las cuáles consisten en esqueletos silíceos de algas y plancton vegetal de mares y lagos de épocas terciarias y cuaternarias. La filtración con tierra de diatomeas se efectúa depositando una precapa del filtro ayuda sobre un soporte mecánico que puede ser de tela, celulosa o metálico. El objeto de la precapa es obtener una formación uniforme de filtro ayuda sobre el área filtrante total; con lo cual se evita que los elementos filtrantes se tapen con las partículas sólidas del líquido por filtrar; después de realizada la precapa se inicia la filtración, dosificando el filtro ayuda al líquido turbio que entra al filtro; esta dosificación es la que en realidad realizará la filtración al atrapar los sólidos y coloides antes de que tapen la precapa.

**2. Filtración de membrana.** Las sustancias sintéticas han permitido el desarrollo de nuevos tipos de filtro. El más simple es el filtro de membrana, constituido por un septo perforado, el diámetro de cuyos orificios se ajusta con precisión a las especificaciones necesarias. Estos filtros sólo pueden operar sobre cervezas virtualmente desprovistas de productos en suspensión y en procesos continuos. Su principal aplicación se halla en el control microbiológico.

Estas membranas no son uniformes; su capa superior a la que llega el flujo está formada por un entramado grueso de fibras, en tanto que, la inferior o posterior es similar a láminas filtrante de celulosa. Estos filtros microfibrilares han sido diseñados para eliminar por filtración, los microorganismos de la CERVEZA (Gehring et al., 1997).

**3. Filtración con placas de celulosa.** Este tipo de sistema de filtración consiste en una serie de filtros de celulosa que son presurizados por acción mecánica en un marco, posteriormente es pasada la cerveza a través de un canal que permite que pase ésta, por toda la serie de filtros de célula, permitiendo así la retención de todas las partículas no deseables encontradas en la cerveza como células muertas de levadura, complejos proteína-polifenoles, oxalato de calcio, etc.

## **Pasteurización.**

Para obtener confianza sobre la estabilidad de la cerveza, ésta puede ser pasteurizada, mediante alguno de los métodos siguientes (Metz, 1995):

**Pasteurización continua a granel.** Este método consiste en hacer en flujo continuo de la cerveza a través de un intercambiador de calor. El intercambiador de calor eleva la temperatura de la cerveza y la mantiene durante 15 segundos a 72 °C y posteriormente es enfriada. Es difícil asegurar que toda la cerveza alcance realmente la temperatura de 72 °C en 15 segundos, entre otras cosas por el obstáculo que representa la tendencia del dióxido de carbono a insolubilizarse.

**Por túnel de pasteurización.** Este método de pasteurización consiste en el tratamiento térmico de la cerveza una vez envasada, lo que resulta de fácil aplicación a la envasada en botes o latas y a la cerveza embotellada, a la de barril y a la que se va a vender en grandes depósitos. En este método, las botellas o las latas van progresando por el interior del pasteurizador en el que se reciben duchas de agua a temperaturas progresivamente crecientes, hasta que el contenido de los recipientes alcanza temperaturas de 60-85 °C; luego reciben duchas de enfriamiento, que reducen la temperatura de los envases, antes de su salida del pasteurizador (Kunze, 1999).

## **Estabilidad de la cerveza terminada.**

El periodo de almacenamiento máximo de la cerveza terminada está condicionado por numerosos factores, el más importante de los cuales es el tiempo que transcurre en ser consumida tras el envasado. Las limitaciones del periodo de almacenamiento vienen impuestas por la estabilidad del aroma, la tendencia al desarrollo de turbiedad y la estabilidad microbiológica. El factor más importante lo constituye el oxígeno disuelto, porque afecta gravemente a los tres aspectos citados de la estabilidad global. Por eso, se debe mantener en valores reducidos (por debajo de 0.3 ppm) en los recipientes de cerveza que se pretendan almacenar durante un largo tiempo. Otro factor importante es la temperatura.

Los microorganismos pueden contribuir a la estabilidad del sabor. Ciertas bacterias del género *Lactobacillus*, *Pediococcus* y levaduras del género *Sacharomyces*, generan compuestos de sabor indeseable. La estabilidad biológica puede ser aumentada por filtración estéril en la que los microorganismos son removidos por sistemas especiales de filtración.

## Envasado.

El envasado es el proceso mediante el cual se introduce un líquido en un envase definitivo.

El primer objetivo del envasado es contener y proteger el producto. El segundo dar conveniencia para uso del consumidor. El tercero, debe comunicar su contenido. El cuarto debe motivar al consumidor para su compra (Carmona y Hernandez, 1989).

A continuación se explicarán las operaciones involucradas en los tres tipos de envasados más utilizados en la producción de cerveza:

- ❖ **Embarrilado.** Los barriles vacíos devueltos a la cervecería son automática o manualmente despaletizados y sometidos a descompresión ya sea antes de o durante el destaponeo. Los barriles son transportados desde este punto hacia la lavadora y a la estación de inspección. Después de pasar por la estación de inspección, el barril es transportado mediante banda transportadora a la llenadora. Aquí por medio de un tubo llenador, se pone a cada barril a una presión de 15-20 psi y luego es llenado de cerveza. El tubo llenador se retira una vez que el barril está lleno y, con un mazo de madera, se coloca manualmente en el agujero del barril un tapón de madera (generalmente hecho con madera de álamo comprimido o si no, de plástico. Antes que se descargue el barril, se comprueba cuidadosamente que no haya escapes por el agujero. Después que se ha llenado el barril, es transportado al paletizador, donde es colocado horizontalmente encima de un palet, cuatro barriles por hilera, quedando cada hilera separada de la otra por una tabla deslizante. Cada barril debe examinarse nuevamente durante la paletización para detectar escapes en el orificio, en las válvulas de la tapa y en el casco mismo. Una vez paletizados, los barriles llenos son transferidos, ya sea por una banda transportadora o por un montacargas, al almacén en frío (aproximadamente a 4-5 °C) donde permanecen hasta que son despachados para su consumo (Hardwick, 1995).
- ❖ **Embotellado.** La botella se suministra por medio de depaletizadoras y bandas transportadoras de cartones (con botellas nuevas o usadas) a las máquinas desempacadoras, las cuáles desalojan dichas botellas de las cajas de cartón; éste es transportado por medio de bandas a un área de revisión, durante el cual se desecha la que se encuentra en malas condiciones y se envía la que está en buenas condiciones a las máquinas empacadoras. Por otro lado, las botellas extraídas de los cartones son depositadas en un transportador de cadenas y son conducidas a una mesa de acumulación, la cual, coloca las botellas en posición horizontal en un transportador de canastilla de la máquina lavadora y de ahí son conducidas a través de una serie de tanques, donde se sumergen y se escurren alternativamente en solución cáustica a diferentes temperaturas. Aquí se eliminan partículas no deseables, como también etiquetas, posteriormente se enjuagan con esprea y escurren, finalizando en una serie de espreas que

les inyectan agua filtrada a presión, se obtienen los envases limpios y brillantes, perfectamente estériles. Una vez que las botellas son descargadas por la lavadora, son revisadas por inspectores humanos o electrónicos para verificar que se encuentran totalmente limpias y en buenas condiciones físicas (desechando aquellas que no lo están), para que sean conducidas posteriormente por medio de transportadores a las llenadoras donde la cerveza es embotellada, y casi simultáneamente coronada o tapada. Después que las botellas han sido llenadas y tapadas, son llevadas a un inspector electrónico que verifica que el nivel del líquido sea adecuado, y que estén bien coronadas. De ahí son enviadas al pasteurizador, en el cual los envases son conducidos a través de un túnel que tiene una serie de espreas que arrojan sobre las botellas agua a temperaturas crecientes para alcanzar la temperatura de pasteurización, y posteriormente decrecientes para alcanzar la temperatura ambiente. Efectuada la pasteurización, las botellas son etiquetadas y de ahí se mandan a las empacadoras, en este caso son colocadas en filas formando grupos sobre un dispositivo donde se descargan por gravedad a través de unas gulas, siendo depositadas en la caja de cartón, que a su vez es elevado a una altura adecuada mediante un pistón el cuál al descender las botellas mediante un dispositivo neumático, las deposita en un empacador de rodillos y bandas. Posteriormente son enviadas a las máquinas encintadoras, donde se les coloca un cinta engomada sobre las aletas de los cartones, y se les marca una clave con fecha y turno en que fue producido tal cartón. Una vez que ha sido llevado todo este proceso, son reunidos mediante diferentes dispositivos en una banda, y transportados al paletizado automático que se encuentra en el almacén de producto terminado, no sin antes ser acomodadas todas las cajas llenas por medio de un inspector electrónico que verifica que todas las botellas lleven el nivel de líquido adecuado y la posición correcta de empacado (Lopez Lee, 1978).

- ❖ **Enlatado.** El proceso de enlatado es muy similar al embotellado y está consituido básicamente por las siguientes operaciones:
  - ✓ Descarga de las latas de la despalatizadora.
  - ✓ Enjuague de la latas.
  - ✓ Llenado de la latas.
  - ✓ Cerrado de la latas.
  - ✓ Pasteurización de la latas.
  - ✓ Inspección de la altura de llenado de las latas.

### **Widgets.**

Una mezcla de nitrógeno y CO<sub>2</sub> en la cerveza fue introducida hace muchos años por la cervecería irlandesa Arthur Guinness & Son. para ofrecer en sus cervezas enlatadas un carácter más robusto y terso. La cerveza es mucho más estable con la espuma generada con nitrógeno gaseoso que con CO<sub>2</sub> exclusivamente. Para obtener este efecto en la cerveza enlatada se utilizan

latas de cerveza que contienen un plástico o aluminio insertado llamado *widgets*. Estos *widgets* contienen nitrógeno bajo presión interna en la cerveza enlatada el cuál liberan y distribuyen en el momento de la abertura de la lata, generando un efecto semejante a la presión ejercida para el servido de cerveza en barril. Dichos *widgets* tienden a lanzar en chorros la cerveza en la lata provocando un rompimiento de la cantidad pequeña de CO<sub>2</sub> presente y al mismo tiempo creando una cabeza de espuma cremosa por el nitrógeno introducido y distribuido en dicha cerveza. Esta distribución se debe realizar en forma correcta según la ley de Henry para contener una mezcla de gases en un volumen y presión determinados. El porcentaje de esta mezcla de gases es de aproximadamente entre 40/60% y 30/70% CO<sub>2</sub> /N<sub>2</sub> por volumen. La cerveza por enlatar es parcialmente nitrogenada por el *widget* a 0.5% vol. y el intervalo de tiempo entre abertura de la lata y el espumado es usualmente menos de un segundo. El resultado de este efecto es que la cerveza adquiere una textura diferente en comparación a una cerveza que fue simplemente carbonatada con CO<sub>2</sub> (Lewis, 1995).

## 4.4 Tipos de cerveza.

Las cervezas se clasifican dependiendo de la levadura usada en el proceso de fermentación. Esta clasificación puede dividirse en (Foster, 1999):

- ✓ Cerveza tipo *ale*.
- ✓ Cerveza tipo *lager*.
- ✓ Cerveza tipo *lámbica*.

### ❖ CERVEZAS TIPO ALE.

#### Ale.

Este tipo de cervezas son elaboradas comunmente con la utilización de maltas bien modificadas y adjuntos. El macerado es realizado principalmente por infusión. La fermentación es realizada con la utilización de levadura *Saccharomyces cerevisiae*. El contenido de alcohol de las cervezas *ale* pueden variar entre 3 al 10%v/v y dependiendo del contenido de alcohol de las mismas éstas son clasificadas como ligeras, pesadas y *export* ó fuertes.

#### 1. Pale ale.

Es una cerveza de color cobrizo con un lupulado ligero de lúpulos *Goldings* y *Cascade*. Esta cerveza tiene mucha aceptación en la Gran Bretaña por su suave sabor y su característica aromática ligera (Foster, 1999).

El productor clásico de *pale ale* es la cervecera inglesa **The Old Brewery**.

#### • Especificaciones de tipos de cerveza estilo Pale ale.

##### ✓ *White Flag Pale Ale*.

Gravedad original: 13.6 °P

Gravedad final: 3.1-3.6 °P

Amargor: 40 IBU

Color: 7 °SRM

Contenido de alcohol: 5.6% v/v

Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-2.0 vol.

Envasado: Solo en botella

##### ✓ *Back to the Fuchsia IPA*

Gravedad original: 14.7 °P

Gravedad final: 3.3-4.1 °P

Amargor: 44 IBU

Color: 10 °SRM  
Contenido de alcohol: 6.0 % v/v  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5 vol. para barril y 2.0 vol. para botella

✓ *Original IPA*  
Gravedad original: 17.1 °P  
Gravedad final: 3.8-4.3 °P  
Amargor: 12 IBU  
Color: 8 °SRM  
Contenido de alcohol: 5.0-5.6% v/v  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 2.0 vol.  
Envasado: Solo en botella

## 2. **Mild ale.**

Es suave y dulce, se usa malta negra y caramelo para su elaboración, aunque también se utilizan azúcares caramelizados que son agregados en la olla de ebullición. Esta cerveza tiene usualmente un bajo contenido de alcohol de 3.5%v/v (Sutula, 1999).

El productor clásico de la cerveza estilo *Mild* es la cervecería inglesa **Highgate Brewery**.

### • **Especificaciones de tipos de cerveza estilo Mild ale.**

✓ **AK**  
Gravedad original: 11.5-13.8 °P  
Gravedad final: 3.7-4.9 °P  
Amargor: 22 IBU  
Color: 6 °SRM  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.3-2.5 vol.  
Envasado: En barril

✓ *Maclays'56/Mild Ale (c. 1909)*  
Gravedad original: 14.7 °P  
Gravedad final: 3.8 °P  
Amargor: 67 IBU  
Color: 6 °SRM  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-2.0 vol.  
Envasado: En barril y botella

✓ *Abili Red Mild.*  
Gravedad original: 8.3 °P  
Gravedad final: 1.3 °P  
Amargor: 22 IBU  
Color: 13 °SRM  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-2.5 vol.

✓ *KMS Mild oscura*  
Gravedad original: 9 °P  
Gravedad final: 2 °P  
Amargor: 24 IBU  
Color: 22 °SRM  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.3-2.5 vol.  
Envasado: En barril y lata con *widgit*

✓ *Lusty Gnome Midlands mild*  
Gravedad original: 8.3 °P  
Gravedad final: 1.5 °P  
Amargor: 30 IBU  
Color: 10-12 °SRM  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 2.0-2.5 vol.  
Envasado: En barril y botella

✓ *Mild Ale, c 1824*  
Gravedad original: 16.1 °P  
Gravedad final: 4.9 °P  
Amargor: 56 IBU  
Color: 6-8 °SRM  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-2.0 vol.  
Envasado: En barril y botella

### 3. Bitter (ale).

Es una cerveza oscura muy lupulada con un sabor seco (Jackson, 1994).

El principal productor de cerveza *Bitter* es la cervecería inglesa **Fuller, Smith & Turner, Griffin Brewery**.

#### • Especificaciones de tipos de cerveza estilo Bitter.

✓ *Quarter Session Bitter*  
Gravedad original: 9.3 °P  
Gravedad final: 1.8 – 2.3 °P  
Amargor: 33 IBU  
Color: 14 °SRM  
Contenido de alcohol: 3.7% v/v  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.0-1.5 vol.  
Envasado: En barril.

✓ *Double Pride Bitter*  
Gravedad original: 11 °P  
Gravedad final: 2.1 – 2.6 °P  
Amargor: 30 IBU  
Color: 8 °SRM

Contenido de alcohol: 4.5% v/v  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.2-1.7 vol.  
Envasado: En barril.

✓ *I Could've Been a Contender Bitter*

Gravedad original: 11.9 °P  
Gravedad final: 2.6 – 3.1 °P  
Amargor: 40 IBU  
Color: 17 °SRM  
Contenido de alcohol: 4.9%v/v  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5vol.  
Envasado: En barril.

✓ *Bull's Eye Bitter*

Gravedad original: 13.6 °P  
Gravedad final: 3.1 – 3.6 °P  
Amargor: 34 IBU  
Color: 17 °SRM  
Contenido de alcohol: 5.6% v/v  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-2.0 vol.  
Envasado: En barril y botella.

#### 4. Brown ale.

Esta cerveza es de color ámbar oscuro, tiene poco contenido de alcohol, es muy dulce y con gran acento a malta. Tiene un contenido de extracto original de 12 °P aproximadamente con un color de 65 EBC y 34 IBU (Daniel y Parker, 2000).

El principal productor de este estilo de cerveza es la cervecera inglesa **Scottish & Newcastle Breweries.**

• **Especificaciones de cerveza estilo Brown ale inglesa.**

Gravedad original: 11.2 – 12.5 °P  
Gravedad final: 1.5 – 3.5 °P  
Amargor: 12-20 IBU  
Color: 20-35 °SRM  
Contenido de alcohol: 3.5-4%v/v  
Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.0-1.5 vol.  
Envasado: En barril

#### 5. Old ale.

Estas cervezas son oscuras comúnmente y tienen un sabor afrutado que recuerda a las grosella y a la melaza negra. Algunas *old ales* son fuertes respecto a su contenido alcohólico, aunque ésta no es una característica general. Con frecuencia, su densidad de extracto original sugiere un contenido

alcohólico superior al que realmente tiene, la razón es que no están completamente fermentadas y el objetivo perseguido con ello es dejar en la cerveza algo del dulzor, el sabor y el cuerpo de los azúcares de la malta (Jackson, 1994).

El principal productor de este estilo de cerveza es la cervecería inglesa **Eldrige, Pope & Company**.

#### **6. Barley wine (Vino de cebada).**

Es un término utilizado frecuentemente por los productores de *ale* inglesas para describir su producto más fuerte respecto a su contenido de alcohol. Sus colores van desde el bronce al caoba. Tienen un sabor a malta con notas afrutadas como consecuencia de las levaduras *ale* empleadas en su elaboración. Estas cervezas son muy utilizadas para acompañarse con postres. Según la tradición, se guardan en barriles que se hacen rodar de vez en cuando para avivar las levaduras durante su fermentación secundaria. Tiene un contenido alcohólico de aproximadamente de 8.5% en volumen (Allen y Cantwell, 1998).

El principal productor de esta cerveza es la cervecería inglesa **Young & Co. The Ram Brewery**.

#### **• Especificaciones de cerveza estilo Barley wine.**

Gravedad original: 22.5 – 30.0 °P

Gravedad final: 6 – 8 °P

Amargor: 50-100 IBU

Color: 14-22 °SRM

Contenido de alcohol: 8.4 -12%v/v

Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.0-1.5 vol.

#### **7. Ale escocesa.**

Esta cerveza es elaborada con maltas aromáticas, y por consecuencia tiene un sabor a malta muy pronunciado. Se conocen frecuentemente por las simples denominaciones de 60/-, 70/-, 80/-, 90/-, en alusión a una moneda británica desaparecida hace varios años, en la cual indica el cuerpo, el contenido alcohólico y color (Noonan, 1993).

El principal productor de este tipo de cerveza es la cervecería escocesa **The Caledonian Brewing Company**.

## 8. Ale irlandesa.

Todas las ale irlandesas tienen un carácter a malta con un toque de sabor a mantequilla y un suave afrutado pero notable, así como un matiz rojizo. Este perfil del producto tiene su origen en la tradición cervecera irlandesa aunque indudablemente influida por el éxito de algunas cervezas escocesas, con sabor a malta pero más rojas que sus similares (Jackson, 1994).

El principal productor de ale irlandesa es la cervecería irlandesa **E. Smithwick & Sons, Saints Francis Abbey Brewery**.

## 9. Ale espumosa de Adelaida (Sparkling Ale).

Es una versión antigua de *pale ale* británica color ámbar, adaptada a las condiciones coloniales. Esta cerveza tiene un sedimento abundante, es turbia y su fermentación secundaria es realizada en la botella que le da una carbonatación y un afrutado muy notable. Tiene una densidad original de 9.3 °P y tiene un contenido alcohólico de 4.5% v/v (Jackson, 1994).

El principal productor de esta cerveza es la cervecería australiana **Coopers Brewery**.

## 10. Stout.

Es una cerveza negra hecha de una mezcla de maltas *pale* muy modificadas ó con 10-20% de malta negra o "*roasted*". La adición del lúpulo es muy grande, utilizando cantidades de 600-700g/hL. Se puede utilizar azúcar caramelizado en su elaboración. Los ingredientes utilizados para la elaboración de esta cerveza le dan un sabor a la cerveza muy fuerte, amargo y tostado. La cervecería más importante en producción de este estilo de cerveza, es la cervecería **Arthur Guinness & Son**, la cuál utiliza en su envasado *widgets*; dispositivos de compresión de nitrógeno que le dan a la cerveza *stout* una estabilidad de su espuma y un sabor terso (Lewis, 1995).

Su principal productor es la famosa cervecería irlandesa **Arthur Guinness & Son**.

## 11. Imperial Stout.

Es el nombre que se les da a las cervezas tipo *stout* con un alto contenido de alcohol de aproximadamente 10%v/v (Jackson, 1994).

El productor clásico es la cervecería inglesa **John Smith's Brewery**.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## 12. Stout dulce.

Las cervezas estilo *stout* dulces y sus variaciones de "leche" y "crema" se consideran frecuentemente como reconstituyentes e incluso un tónico para enfermos. Muchas contienen lactosa y su contenido alcohólico es relativamente bajo, son muy utilizadas para postres. Tienen un contenido alcohólico de 3-3.5% v/v (Jackson, 1994).

La cerveza más representativa es la cerveza *Mackenson* producida por la cervecería inglesa **The Whitbread Beer Company**.

## 13. Porter.

Es una cerveza muy oscura; ésta fue desplazada casi totalmente por la *Stout*. Tiene un contenido alcohólico del 9%v/v por lo que se considera una cerveza fuerte y en algunas ocasiones en el proceso de la misma son agregados cultivos de *Bretanomyces*, para provocar una segunda fermentación que le den características frutales a la cerveza (Foster, 1992).

Su principal productor es la cervecería inglesa **The Whitbread Beer Company**.

### • Especificaciones de tipos de cerveza estilo Porter.

#### ✓ *Porter pale popular*

Gravedad original: 11.8 °P  
Gravedad final: 2.5 – 3.0 °P  
Amargor: 24 IBU  
Color: 35 °SRM  
Envasado: En barril  
Tiempo de maduración: Un mes

#### ✓ *Foster's entire Butt*

Gravedad original: 12.8 °P  
Gravedad final: 2.75 – 3.25 °P  
Amargor: 33 IBU  
Color: 50 °SRM  
Envasado: En botella  
Tiempo de maduración: Uno a dos meses

#### ✓ *Redcoat's Revenge Porter*

Gravedad original: 14.7 °P  
Gravedad final: 3.0 – 4.0 °P  
Amargor: 45 IBU  
Color: 70 °SRM  
Envasado: En botella  
Tiempo de maduración: De dos a seis meses

✓ *Bow Bells Brown Beer*

Gravedad original: 11.1 °P

Gravedad final: 2.5 – 2.8 °P

Amargor: 27 IBU

Color: 35 °SRM

Envasado: En barril

Tiempo de maduración: De 4 a 6 semanas

✓ *Blackbeard's Butt Beer*

Gravedad original: 12.3 °P

Gravedad final: 2.75 – 3.25 °P

Amargor: 32 IBU

Color: 61 °SRM

Envasado: En botella

Tiempo de maduración: De 6 a 10 semanas

✓ *'Ighly 'opped Hentire*

Gravedad original: 13.5 °P

Gravedad final: 3.0 – 3.5 °P

Amargor: 41 IBU

Color: 70 °SRM

Envasado: En barril

Tiempo de maduración: Uno a cuatro meses

✓ *New London Porter*

Gravedad original: 17.0 °P

Gravedad final: 3.8 – 4.8 °P

Amargor: 61 IBU

Color: 85 °SRM

Envasado: En botella

Tiempo de maduración: De tres a un año

#### 14. Ale belga.

Es un estilo semejante a la *pale ale* inglesa pero más aromática y con notas especiadas. Las ales belgas tienen una densidad de extracto original de aproximadamente 12 °P y un contenido alcohólico de 5% v/v. Con frecuencia se encuentran estas cervezas bajo las denominaciones de *spéciales belges*, ó simplemente *belges*, en particular en regiones de Bélgica de habla francesa

(Rajotte, 1992).

- **Clasificaciones legales de cervezas ale belgas.**

Hay cuatro clasificaciones legales establecidas para las *cervezas ale belgas*. Esta clasificación está determinada por la densidad de extracto original.

- ✓ Categoría de S (Superior) o Clase S: OG 15.5 °P
- ✓ Categoría de I o Clasifica I: OG 11 a 13.5 °P
- ✓ Categoría de II o Clasifica II: OG 4 a 9.5 °P
- ✓ Categoría de III o Clasifica III: menos de 4°P

OG = Densidad de extracto original.

- **Especificaciones de categoría S.**

Gravedad original: 15.5-24°P

Gravedad final: 3-5.5°P

Grado de atenuación: 70-80%

Grado de atenuación real: 55 - 65%

pH:3.9 -4.3

Amargor: 20 -50 IBU

Color: 3.5 - 4.3 °SRM

Contenido de alcohol: 7 -12% vlv

Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-3.5 vol.

- **Especificaciones de categoría I.**

Gravedad original: 11-13.5°P

Gravedad final: 1.5-3°P

Grado de atenuación: 77-86%

Grado atenuación real: 62 - 70%

pH:3.9 -4.3

Amargor: 20 -35 IBU

Color: 3.5 - 20 °SRM

Contenido de alcohol: 4 -6% viv

Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-3.5 volumen

El productor clásico de este estilo de cerveza es la cervecería belga **De Koninck**.

## **15. Oud bruin ale flamenca.**

Son cervezas de carácter agridulce y son sumamente complejas con sabores similares a frutos secos. Esta cerveza es elaborada con una densidad de extracto original de 19 °P con un contenido alcohólico de 7-7.8%v/v

(Rajotte, 1992)-

El principal productor es la cervecería belga **Brouwerij Liefmans**.

## 16. Ale roja belga.

La cerveza clásica de este estilo es la *Rodenbach* que es una mezcla de dos cervezas. Una de ellas con 13 °P de densidad de extracto original, envejecida durante un mínimo de 18 meses hasta dos años, y otra joven, de cinco a seis semanas con 11.5 °P de densidad de extracto original. Esta mezcla genera a los atributos sensoriales de la cerveza sabores a madera y un ligero toque afrutado con un contenido de alcohol de 4.6%v/v. La cerveza envejecida se embotella y se etiqueta como *Rodenbach Gran Cru* (Jackson, 1994).

Su productor clásico es la cervecería belga **Brouwerij Rodenbach**.

## 17. Saison (de temporada)

Son cervezas ácidas y refrescantes, son típicas de la zona sur de Bélgica de habla francesa. El nombre es un recordatorio de que antes de que existiera la refrigeración era difícil fabricar las cervezas cuando las temperaturas eran altas por lo que éstas se elaboraban de tal manera que pudieran guardarse para beberlas en verano, por lo que se les denominó "cervezas de temporada". Tienen una densidad de extracto original de 11.25-12.5 °P con un grado alcohólico de 6% v/v (RaJotte, 1992).

El productor clásico es la cervecería belga **Brasserie Dupont**.

- **Especificaciones de cervezas estilo Saison.**

Gravedad específica original: 11-13.5°P

Gravedad final: 1.5-3°P

Grado de atenuación: 79-85%

Grado de atenuación real: 64 - 70%

pH: 3.9 - 4.3

Amargor: 20 - 30 IBU

Color: 3.5 - 12 °SRM

Contenido de alcohol: 4 - 6% v/v

Contenido de CO<sub>2</sub>: 1.5-3.5 vol.

## 18. Ale dorada belga.

Es una *ale* dorada y de gran contenido alcohólico, llena de complejidad en sus atributos sensoriales respecto a su sabor. El carácter de esta cerveza es desarrollado por un complicado método de triple fermentación. Tiene un grado alcohólico de 8.5% v/v. Esta cerveza puede servirse caliente ó fría (Jackson, 1994).

La cerveza clásica es la *Duvel* y es producida por la cervecería belga **Brouwerij Moorgat**.

## 19. Cerveza trapense.

Todas son *ales* relativamente fuertes respecto a su contenido alcohólico y su fermentación secundaria es realizada en la botella con abundante sedimento de levadura. Son muy afrutadas y aromáticas (Rajotte, 1992).

Según la definición legal, las cervezas trapenses solo pueden ser elaboradas por los hermanos de las abadías trapenses siguientes (Rajotte, 1992):

- ✓ Abbaye Notre Damme de Saint Sixte (Sint Sixtus Abdij) Westvleteren, Belgica
- ✓ Abbaye Notre Dame d' Orval, Belgica
- ✓ Abbaye Notre Dame de Scourmont, Les Forges Chimay, Belgica
- ✓ Abbaye Notre Dame de Saint Remy, Rochefort, Belgica
- ✓ Abbaye Notre du Sacre Coeur, Westmalle, Belgica
- ✓ Abbaye Notre Dame Schaapskooi, Koongshoeven, Holanda

### • Especificaciones de cervezas trapenses.

Gravedad original: 12.5°-24°P  
Gravedad final: 2.5°-5.5 °P  
Grado de atenuación: 70-80%  
Grado de atenuación real: 55-65%  
pH: 3.9-4.3  
Amargor: 20-45 IBU  
Color: 3.5-20 °SRM  
Contenido de alcohol: 5.2-11.2% v/v

También existen cervecerías belgas que producen cervezas con los métodos utilizados para elaboración de cervezas trapenses, pero por existir la denominación de origen, dichas cervecerías denominan sus productos como cervezas estilo abadía (Jackson, 1994).

### • Especificaciones de cerveza estilo abadía (*Biere d'Abbaye, Adbij Bier*)

Gravedad específica original: 12.5-24°P  
Gravedad final: 2.5-5.5°P  
Grado de atenuación: 70-80%  
Grado de atenuación real: 55 - 65%  
pH: 3.9 -4.3  
Amargor: 20 -35 IBU  
Color: 3.5 - 20 °SRM  
Contenido de alcohol: 5.2 -10% vlv

## 20. Biere de Garde (Reserva).

Su nombre significa "Cerveza para guarda". Este estilo es propio del norte de Francia; las *bieres de garde* se presentan a menudo en botellas de champaña. Tienen un sabor afrutado con un toque a especias y un contenido

alcohólico de medio a alto. Estas cervezas no se filtran. Tienen de 15 a 19 °P de densidad de extracto original y un contenido alcohólico de 6.5 a 8.5%v/v (Jakson,1994).

El principal productor es la cervecera francesa **Brasserie de St. Sylvestre**.

## 21. Ale americana.

Esta se caracteriza, casi siempre, por la utilización de lúpulos aromáticos que dan notas florales. Es una *ale* de 100% de malta de cebada con un ligero toque de sabor a malta (Danties, 2001).

El principal productor de este estilo es la cervecera estadounidense **Boston Beer Company**.

## 22. Altbier.

Las cervezas tipo "Al" (viejo en alemán) utilizan malta de cebada y malta de trigo. A pesar de utilizarse malta de trigo en su elaboración no es considerada como cerveza de trigo ya que es predominante la utilización de malta de cebada en la formulación del grano. Su color es oscuro ámbar y su sabor es amargo, armonioso y rústico. Estas cervezas tienen una densidad de extracto original de 11.2-12.0 °P y un contenido de alcohol de 4.6-5.2%v/v. El rango de color es de 10 a 38 °SRM y el amargor es de 28 a 40 IBU (Dornbush,1998).

Los dos productores clásicos de este estilo de cerveza son las cervecerías alemanas **Schumacher Brauerei** y **Obergarige Hausbrauerei**.

### • Tipos de cerveza estilo Altbier.

#### ✓ *Altstadt Alt*

Gravedad original: 12°P

Gravedad final: 2.5 °P

Amargor: 40 IBU

Color: 18 °SRM

Contenido de alcohol: 4.8 %v/v

#### ✓ *Fortuna Alt*

Gravedad original: 12°P

Gravedad final: 3 °P

Amargor: 25 IBU

Color: 20 °SRM

Contenido de alcohol: 4.6 %v/v

- ✓ *Rhenish Alt*  
Gravedad original: 12.5 °P  
Gravedad final: 3 °P  
Amargor: 27 IBU  
Color: 19 °SRM  
Contenido de alcohol: 4.8 %v/v
  
- ✓ *Hanovieran Alt*  
Gravedad original: 12-12.5 °P  
Gravedad final: 2.5 °P  
Amargor: 23 IBU  
Color: 33 °SRM  
Contenido de alcohol: 4.1-5.1 %v/v
  
- ✓ *Slicke Alt*  
Gravedad original: 13.5 °P  
Gravedad final: 3.5 °P  
Amargor: 50 IBU  
Color: 57 °SRM  
Contenido de alcohol: 5.3 %v/v
  
- ✓ *Ederlein's Alt*  
Gravedad original: 11.7°P  
Gravedad final: 2.5 °P  
Amargor: 40 IBU  
Color: 11-12 °SRM  
Contenido de alcohol: 4.8 %v/v
  
- ✓ *Nouvelle Alt*  
Gravedad original: 10°P  
Gravedad final: 3.75 °P  
Amargor: 16 IBU  
Color: 11 °SRM  
Contenido de alcohol: 3.7 %v/v
  
- ✓ *Westphalian Alt*  
Gravedad original: 11°P  
Gravedad final: 3°P  
Amargor: 20 IBU  
Color: 10 °SRM  
Contenido de alcohol: 4 %v/v
  
- ✓ *Alt mead*  
Gravedad original: 14-14.5 °P  
Gravedad final: 3.5-4 °P  
Amargor: 30 IBU  
Color: 33 °SRM  
Contenido de alcohol: 5.2-5.6 %v/v

### 23. Kölsch.

Esta cerveza es producida exclusivamente en Colonia, Alemania. Tiene una densidad de extracto original de 11.0 a 11.6 °P con un color de 3.5 a 5.5 EBC, y un amargor de 16-35 IBU, y con un contenido de alcohol de 4.4-5.1 % vol. Esta es producida con malta Viena principalmente y 20% de malta de trigo para producir una palatabilidad y una sabor aterciopelado. El macerado es realizado por infusión.

La fermentación primaria se realiza en 3 a 4 días con una temperatura de 14 a 18 °C, luego es enfriada de 8 a 10 °C. El *lagerung* o maduración es realizada a temperaturas de 4 a 5 °C, por 40 a 60 días, ó a temperaturas de 0 a 1 °C por 14 a 40 (Warner, 1998).

#### • Tipos de cervezas estilo Kölsch.

✓ *Lawnmower Kölsch (Extracto)*

Gravedad Original: 12 °P

Amargor :27 IBU

Grado de atenuación: 78%

✓ *Klassic Kölsch*

Gravedad Original: 11.3 °P

Amargor: 22 IBU

Grado de atenuación: 82%

✓ *Kölsch americana*

Gravedad Original: 8.5 °P

Amargor: 60 IBU

Grado de atenuación: 75%

✓ *Bonn-Bonn Kölsch*

Gravedad Original: 12 °P

Amargor: 25 IBU

Grado de atenuación: 75%

El productor clásico es la cervecería alemana **Kölner Hofbraü P. Losef Früh**.

#### Cervezas de trigo.

Las cervezas de trigo son cervezas tipo *ale* con un mínimo de 50% de malta de trigo y una densidad de extracto original de al menos 11°P. Las cervezas de trigo son predominantemente producidas al sur de Alemania. Las principales características que contribuyen a la popularidad de estas cervezas son (Warner, 1992):

- Una alta concentración de CO<sub>2</sub> (6 a 10 g/L), la cual da un efecto refrescante a la cerveza.
- Un alto contenido de ésteres, alcoholes superiores y compuestos fenólicos.

Existen cuatro tipos de cervezas de trigo (Warner, 1992):

#### **24. Hefeweizen (cerveza de trigo con levadura).**

En el caso de estas cervezas la fermentación secundaria es realizada en la botella por medio de una adición determinada de levadura, la cual regula el extracto residual final y la cantidad final de la levadura producida en la botella que será consumida con la cerveza.

El productor clásico de *Hefeweizen* es la cervecería alemana **Bayerische Staatsbrauerei Weihenstephan**.

#### **25. Kristall Weizen.**

Esta es filtrada para llegar a obtener una cerveza de trigo cristalina sin contenido de levadura.

El principal productor de *Kristall Weizen* es la cervecería alemana **Erdinger Weissbräu**.

#### **26. Weissbier.**

Es una cerveza de trigo clara de aproximadamente de 7.5% de densidad de extracto original. Esta contiene alrededor de 2.7-2.8%v/v de contenido de alcohol y 0.7%v/v de CO<sub>2</sub>. La fermentación es realizada con la adición de levadura y un cultivo de bacterias acidolácticas con el objetivo de aumentar la acidez de la cerveza por la producción de ácido láctico generado por el metabolismo de dicho cultivo de bacterias (pH 3.2 a 3.4). Este ácido láctico producido hace a la cerveza más estable, haciendo que esta se pueda almacenar por un año en botella hasta que el sabor sea desarrollado en forma óptima (Warner, 1992).

El principal productor de *Weissbier* es la cervecería alemana **Berliner Kindl Brauerei**.

#### **27. Cervezas de trigo belgas.**

Este tipo de cervezas son producidas exclusivamente en Bélgica y son elaboradas igual que las cervezas de trigo de origen alemán, solo que difieren en que éstas le son adicionadas cilantro y cáscara de naranja de Curacao, esto

le da un carácter aromático determinado, y además se deja la fermentación secundaria en la botella. Estas cervezas son servidas como *postre* (Jackson, 1993).

El principal productor de este tipo de cerveza es la cervecería belga **Brauerij De Kluis**.

- **Especificaciones de tipos de cerveza de trigo.**

- ✓ *Hefe Weissbier* (pale)

Gravedad original: 11.5-13.8 °P

Gravedad final: 3.7-4.9 °P

Grado de atenuación: 80-86%

pH: 4.0-4.5

Amargor: 10-18 IBU

Color: 3.5-9.5 °SRM

Contenido de alcohol: 5.0-5.6% v/v

- ✓ *Kristall Weizen*

Gravedad original: 11-13.5 °P

Gravedad final: 4.0-4.9 °P

Grado de atenuación: 76-85%

pH: 4.1-4.4

Amargor: 10.5-18.5 IBU

Color: 3.5-5.0 °SRM

Contenido de alcohol: 5.1-5.5% v/v

- ✓ *Weissbier*.

Gravedad original: 7-8 °P

Gravedad final clara: 0.5-1.6 °P

Grado de atenuación: 80-94%

pH: 3.2-3.4

Amargor: 4-6 IBU

Color: 2.0-3.5 °SRM

Contenido de alcohol: 2.5-3.8% v/v

- ✓ Cerveza de trigo belgas (*Biere Blanche*).

Gravedad original: 12 °P

Gravedad final clara: 2-2.5 °P

Grado de atenuación: 78-83%

pH: 3.5-4.0

Amargor: 15-25 IBU

Color: 2.5-4.0 °SRM

Contenido de alcohol: 4.8-5.2% v/v

## ❖ CERVEZAS TIPO LAGER.

Son las cervezas más consumidas en el mundo. Estas cervezas son elaboradas comúnmente por medio del método de maceración de decocción sencilla, doble ó triple y en la fermentación es utilizada la levadura *Saccharomyces carlsbergensis*. Son moderadamente lupuladas (18-23 IBU) por lo que son aceptadas por lo general por todos los consumidores del mundo.

### 28. Pilsner.

Hoy en día este tipo de cerveza tiene un extracto original de 11.5 a 11.7°P, con un contenido de alcohol de aproximadamente de 4.8 a 5.1% v/v. El rango de color es de 2.5 a 4.5 °SRM. La cerveza tiene un nivel de amargor de 25 a 30 IBU, aunque puede llegar a 40 IBU, por lo que se considera una cerveza bastante lupulada y con notas secas generadas por el lúpulo utilizado (Miller, 1990).

Su productor clásico es la cervecería checa **Pilzensky Prazdroj** que produce la cerveza *Pilsner Urquell*.

#### • Especificaciones de cerveza estilo Pilsner.

✓ Pilsner Urquell.

Gravedad original: 12.1°P

Gravedad final: 3.7°P

Grado de atenuación: 69%

Grado de atenuación real: 55%

pH 4.6

Amargor: 43 IBU

Color: 4.2 °SRM

Contenido de alcohol: 4.5%v/v

✓ Pilsner tipo alemán.

Gravedad original: 11.7-12.0°P

Gravedad final: 2.0-3.0°P

Grado de atenuación: 74-83%

Grado real de atenuación: 59-67%

pH 4.2-4.6

Amargor: 30-37 IBU

Color: 3.0-3.5 °SRM

Contenido de alcohol: 4.2%v/v

✓ Pilsner tipo holandés y escandinavo.

Gravedad original: 10.5-11.5°P

Gravedad final: 2.0-3.0

Grado de atenuación: 75-82%  
Grado de atenuación real: 60-65%  
pH 4.2-4.6  
Amargor: 20-27 IBUS  
Color: 2,5-3.0 °SRM  
Contenido alcohol: 4.2-5.0%v/v

### 29. Export Dortmünder.

Es una cerveza *lager* dorada producida en Dortmund, Alemania. Es más seca y más fuerte en contenido alcohólico que una *Pilsner*. Tiene una densidad de extracto original de 12.5 al 13.5 °P. Su contenido de alcohol es de 5.5% v/v, con un amargor de 20 a 25 IBU (Kunze, 1999).

Su principal productor es la cervecería alemana **Dortmünder Actien Brauerei**.

### 30. Lager oscura (*Dunkel*).

Es una cerveza de estilo tradicional de München, Alemania, llamada "*Dunkel*" (oscuro en alemán). Los mejores exponentes de este tipo de cerveza tienen un sabor a malta y especias pero sin llegar a ser fuerte este mismo. Tiene un color de 20-25 °SRM con una densidad de extracto original de 12.7°P. Tiene un contenido alcohólico de 5%v/v y un amargor de 20 IBU (Richman, 1994).

Su principal productor es la cervecería alemana **Brauerei Ayinger-Inselkammer**.

### • Cervezas de festivales.

Son cervezas de estación son producidas en forma especial durante los festivales. Dependiendo del carácter del evento pueden ser desde claras hasta oscuras con una densidad de extracto original de 12.0-12.5 °P mínimo. Estas cervezas tienen un gran cuerpo y palatabilidad.

### 31. Märzen.

Son producidas con una densidad de extracto original de 13-14 °P. Hoy en día, existen dos tipos: Tipo clara con un color de 9-19 SRM y tipo oscura con un color de 28-45 °SRM (Fix, 1991).

El principal productor de cerveza estilo *Märzen* es la cervecería alemana **Gabriel Seldmayer Spaten-Franziskaner-Bräu**.

## 32. Bock.

Las cervezas *Bock* son *lagers* fuertes respecto a su contenido alcohólico. Tienen una densidad de extracto original de 16-17 °P. Esta cerveza suave y con sabor a malta, con un toque dulce. Las *Bocks*, como sus similares, las *Dopplebocks*, se disfrutan normalmente como cervezas para tomar de final del otoño hasta la primavera. Tienen un contenido alcohólico de 7.4 -9.9%v/v. (Richman,1994)-

### • Especificaciones de tipos de cerveza estilo Bock.

#### ✓ *Mittelalter Einbecker*

Gravedad original: 15 - 17.5 °P  
Gravedad final: 5-6.25°P  
Grado de atenuación: 65 - 70 %  
Grado de atenuación real: 52-56 %  
pH: 3.0-3.5  
Amargor: 40-60 IBU  
Color: 10-14 °SRM  
Contenido de alcohol: 5-5.7 %v/v

#### ✓ *Ainpoeckisches Pier*

Gravedad original: 15 - 17.5 °P  
Gravedad final: 5-6.25°P  
Grado de atenuación: 62 - 68 %  
Grado de atenuación real: 50-55 %  
pH: 3.4-3.8  
Amargor: 25-40 IBU  
Color: 15-25 °SRM  
Contenido de alcohol: 5.2-5.9 %v/v

#### ✓ *Sankt-Vater*

Gravedad original: 18 - 20.5 °P  
Gravedad final: 7.5-9°P  
Grado de atenuación: 60 - 65 %  
Grado de atenuación real: 48-52 %  
pH: 3.6-4.2  
Amargor: 25-35 IBU  
Color: 25-35 °SRM  
Cantidad de alcohol: 5.6-6.9 %v/v

#### ✓ *Dunkles Bock*

Gravedad original: 16 - 18 °P  
Gravedad final: 3.25-4.7°P  
Grado de atenuación: 72-81%  
Grado de atenuación real: 57-65 %  
pH: 4.5-4.7  
Amargor: 20-27 IBU

Color: 20-30 °SRM  
Contenido de alcohol: 6.3-7.2 %v/v

✓ *Helles Bock y Maibock*  
Gravedad original: 16 - 18 °P  
Gravedad final: 3-3.9°P  
Grado de atenuación: 76 – 82 %  
Grado de atenuación real: 61-66 %  
pH: 4.5-4.7  
Amargor: 23-33 IBU  
Color: 4.6-8 °SRM  
Cantidad de alcohol: 6.7-7.4 %v/v

### 33. Doppelbock.

Estas cervezas se conocen como doble *bock*, aunque su graduación no es el doble de la correspondiente a la *bock*. En Alemania se requiere que tenga una densidad de 18 °P, lo que da un contenido alcohólico no inferior a 6.8% vol. Tienen una densidad de extracto original de 18-30 °P, son cervezas muy fuertes y con mucho cuerpo. Su nombre comúnmente termina con las sílabas "ator" Ejemplo: "Maximator", "Optimizer", "Celebrator", etc. El contenido de alcohol es de 7.0-12.0% vol (Richman, 1994).

#### • Especificaciones de cerveza estilo Doppelbock.

Gravedad original: 18 - 20 °P  
Gravedad final: 4--6°P  
Grado de atenuación: 60 – 78 %  
Grado de atenuación real: 54-62 %  
pH: 4.5-4.7  
Amargor: 16-26 IBU  
Color: 20-28 °SRM  
Cantidad de alcohol: 6.9-7.7 %v/v

Los dos principales productores de este tipo de cerveza son las cerveceras alemanas **Hofbraühaus am Platz** y **Paulaner-Salvator-Thomasbraü**.

### 39. Vienna y Oktoberfestbier.

Son cervezas *lager* de color cobrizo o rojo ámbar, con un acento importante de sabor a malta dulce. Su historia se encuentra en el norte de Italia, Austria, München y México.

Respecto a la cerveza estilo Vienna tiene una densidad de extracto original ligeramente superior a 13°P. Esta cerveza se somete al proceso de *Kräusen*, lo que contribuye a su característica de suavidad. Su amargor es menor de 19 IBU y un contenido alcohólico de 5.3% v/v (Flx, 1991).

- **Especificaciones de tipos de cerveza estilo Vienna.**

- ✓ *Dreher Vienna.*

Gravedad original: 12.5°-13.5 °P

Gravedad final: 2.5-3.5 °P

Amargor: 25 IBU

Color: 8 - 10 °SRM

- ✓ *Graf Vienna.*

Gravedad original: 12.5°P - 13.5 °P

Gravedad final: 2.5°P - 3.5 °P

Amargor: 25 IBU

Color: 10-12 °SRM

- ✓ *Mild Vienna.*

Gravedad original: 11°P - 11.5 °P

Gravedad final: 2.5°P - 3 °P

Amargor: 18-20 IBU

Color: 5-7 °SRM

- ✓ *Country Vienna.*

Gravedad original: 14.5°P - 15.5 °P

Gravedad terminal: 3°P - 4 °P

Amargor: 25 IBU

Color: 9-11 °SRM

El principal productor de cerveza estilo Vienna es la cervecería mexicana **Grupo Modelo (Negra Modelo)**.

La *Oktoberfestbier* es una cerveza con un excelente aroma a malta y un cuerpo robusto con un delicado toque de lúpulo. Tiene una densidad de extracto original de 13.8°P; se elabora con 100% de malta y se guarda durante 14 semanas, teniendo un contenido alcohólico de 5.76 %v/v. Su color es de 16.5 °SRM y tiene un amargor de 9-20 IBU.

- **Especificaciones de cerveza estilo Oktoberfest/Märzen.**

- ✓ *Oktoberfest/Märzen tradicional*

Gravedad original: 14.5°P - 15.5 °P

Gravedad final: 3°P - 4 °P

Amargor: 25 IBU

Color: 9-11 SRM

El principal productor de cerveza estilo *Oktoberfestbier* es la cervecería alemana **Gabriel Seldmayer Spaten-Franziskaner-Brau**.

#### 40. Helles bávaras.

Son cervezas de carácter delicado y equilibrado. Este estilo de cerveza tiene poca azúcar residual, es de gran sabor a malta con una nota suave de lúpulo. Respecto a nivel de diacetilo es bajo en este tipo de cerveza como cualquier cerveza *Jager* alemana.

El nivel de proteína de una cerveza estilo *Helles* es relativamente alto, aproximadamente 0.5%, casi dos veces más que una lager americana. Este nivel alto de proteína le confiere a la cerveza un gran cuerpo y un carácter terso en la espuma de la misma, este efecto es denominado en alemán como *Vollmundig* (Dornbush, 2000).

#### • Especificaciones de tipos de cerveza estilo Helles bávara.

##### ✓ *Beerhall Helles*

Gravedad original: 12.0 – 12.5 °P

Gravedad final: 2.5-3.0 °P

Grado de atenuación: 76%

Amargor: 17 IBU

Color: 2.5-2.8 °SRM

Contenido de alcohol: 4.9%v/v

##### ✓ *Yodel Lederhosen Helles*

Gravedad original: 13.5 °P

Gravedad final: 3.5 °P

Grado de atenuación: 74%

Amargor: 22 IBU

Color: 3.0-3.4 °SRM

Contenido de alcohol: 5.1%v/v

##### ✓ *Edel Helles*

Gravedad original: 12.5 °P

Gravedad final: 3.0 °P

Grado de atenuación: 76%

Amargor: 20 IBU

Color: 2.4-2.6 °SRM

Contenido de alcohol: 4.9%v/v

##### ✓ *Hell Helles*

Gravedad original: 12.5 °P

Gravedad final: 3.0 °P

Grado de atenuación: 76%

Amargor: 22 IBU

Color: 2.6-2.9 °SRM

Contenido de alcohol: 4.9%v/v

✓ *Export Helles*  
Gravedad original: 15.5 °P  
Gravedad final: 3.5 °P  
Grado de atenuación: 77%  
Amargor: 22 IBU  
Color: 3.3 –3.7 °SRM  
Contenido de alcohol: 6.1%v/v

• **Principales productores de cerveza estilo Helles bávara.**

- ✓ **Augustiner.** La cerveza *Helles* de ésta cervecería bávara es muy popular en München y es quizás uno de los exponentes más representativos de este estilo hoy en día. La cervecería Augustiner empezó a producir este tipo de cerveza en el año 1328. Esta cerveza presenta notas cítricas con un carácter maltoso muy acentuado y un aroma muy suave pero seco.
- ✓ **Hofbräuhaus.** Este *Brewpub* del Estado Bávaro localizado en el centro de München posee una cerveza *Helles* con un carácter maltoso muy acentuado y con una efervecescencia mayor a las típicas Helles.
- ✓ **Weihenstephan.** Esta cervecería proclamada como la cervecería más vieja del mundo (fundada desde el año 1040 D.C.) localizada a 30 km al norte de la ciudad de München, presenta una cerveza *Helles* de excelente calidad que se caracteriza por un equilibrado lupulado con un carácter maltoso y de gran cuerpo.

**41. Steam beer (Cerveza al vapor).**

En este caso la descripción no se hace referencia a la fuente de energía utilizada para el proceso, sino al silbido producido por la salida del CO<sub>2</sub> al pinchar los barriles que contienen la cerveza. Este tipo de cerveza tiene un color a melocotón de 10 °SRM. Tiene un sabor muy afrutado con un toque de sabor a vainilla. Su densidad de extracto original es de 12.2 °P y su contenido alcohólico ligeramente superior a 5% v/v. Se elabora a partir de cuatro maltas de cebada con un proceso de triple decocción con lúpulos "*Hallertau Hersbruck*" y "*Tettang*" (26 IBU); se guarda a 0°C en su maduración durante cinco o seis semanas. Se filtra, pero no se pasteuriza (Jackson, 1994).

El principal productor es la cervecería estadounidense **Anchor Brewing Co.**

**42. Rauchbier (Cerveza ahumada).**

Son cervezas *lagers* que utilizan maltas que son ahumadas por un proceso tradicional por la combustión de madera de haya, roble ó aliso.

Algunas son *pale ales* ó *porters*. La región de Franconia, y en particular la ciudad de Bamberg en Alemania, ha permanecido tradicionalmente fiel al malteo sobre fuego, utilizando como combustible la madera de haya. Es una cerveza seca y ahumada con una densidad de 14°P y un contenido alcohólico de 5%v/v (Daniels & Larson, 2000).

- **Especificaciones de tipos de cerveza estilo Rauchbier.**

- ✓ *Stöffla*

Gravedad original: 13.5°P

Gravedad final: 3.5°P

Amargor: 25 IBU

Contenido de alcohol: 5.4%v/v

- ✓ *Ein Hauch von Rauch*

Gravedad original: 12°P

Gravedad final: 2.5°P

Amargor: 35 IBU

Contenido de alcohol: 5.0%v/v

- ✓ *Kaiser's Lovely Dom*

Gravedad original: 13°P

Gravedad final: 3°P

Amargor: 30 IBU

Contenido de alcohol: 5.25%v/v

- ✓ *Bamberger Rauchbier*

Gravedad original: 13.9°P

Gravedad final: 3.5°P

Amargor: 30 IBU

Contenido de alcohol: 5.5%v/v

- ✓ *Grätzer*

Gravedad original: 7°P

Gravedad final: 3°P

Amargor: 30 IBU

Contenido de alcohol: 3.7%v/v

- ✓ *Millenium Rauchbock*

Gravedad original: 18.4°P

Gravedad final: 3.5°P

Amargor: 30 IBU

Contenido de alcohol: 7.5%v/v

El productor clásico es la cervecería alemana **Brauerei Heller-Trum**, la cual produce la cerveza *Schlenkerla*.

#### 43. Cerveza de centeno.

El centeno, cereal que solo se utilizaba en la producción de cerveza en las regiones más frías de Europa, está encontrando una nueva aplicación en las cervezas. Tradicionalmente, esta cerveza se filtra a través de paja y ramas de enebro. La cerveza se fermenta con frecuencia con levadura para pan. Tienen una densidad de 20-25 °P con un contenido alcohólico de 7.5-8.75% v/v (Jackson, 1994).

El productor clásico es la cervecera alemana **Fürstliche Brauerei Thurn und Taxis**.

#### 44. Schwarzbier (Cerveza negra).

La cerveza negra clásica es la que se elabora en el pueblo de Bad Köstritz, en la antigua Alemania oriental. En sus inicios fue probablemente una cerveza *ale* pero desde hace al menos un siglo ha sido una *lager* muy oscura con un sabor de chocolate amargo (Jackson, 1994).

El productor clásico es la cervecera alemana **Köstritzer Schwarzbierbrauerei**.

Es importante mencionar que este tipo de cerveza actualmente está teniendo mucho auge en Japón por lo que muchas cerveceras japonesas se están especializando en este estilo determinado, como serían las cerveceras **Kirin Brewery Company** y **Sapporo Breweries**.

### ❖ CERVEZAS TIPO LÁMBICA.

#### 45. Lámbica.

La cerveza *lámbica* es la única cerveza de su tipo en el mundo. Este estilo de cerveza es producida por cerveceras locales situadas en el valle predominantemente flamenco del pequeño Río Zenne, en ambos lados de la ciudad de Bruselas (Bélgica). Todos los productores supervivientes en esta zona, diez o doce como máximo, se ubican en la parte occidental de Bruselas, en el distrito conocido como Payottenland.

La cerveza estilo *lámbica* es realizada por la fermentación espontánea de un mosto producido de 40% de trigo no malteado y 60% de malta de cebada. La maceración se realiza por método de doble decocción y la ebullición del mosto dura por lo menos tres horas con la adición de lúpulos añejados denominados como "*surannes*", estos lúpulos han perdido su amargor pero conservan su poder antiséptico. La fermentación es realizada del 15 de octubre

al 15 de mayo para evitar las temperaturas altas de verano que pueden estropear el producto terminado. La inoculación del mosto se realiza con la microflora local de las zonas productoras de *lámbricas* al dejar que el mosto caliente se refresque en un tanque ancho y poco profundo para que el mosto tenga un área de contacto más grande con la atmosfera; esta etapa del proceso es denominado "*refroidissoir d' bac*". Al día siguiente el mosto se bombea a barriles de madera como recipiente de fermentación. La fermentación involucra una sucesión de fermentaciones parciales de levadura y bacterias, la acción combinada produce en un período de varios meses una cerveza con contenido de ácido acético que da una característica genuina al producto. Esta fermentación empieza de tres a siete días después de que el mosto se ha refrescado, con el desarrollo de levadura *Kloeckera* y bacteria acetobacter que producen cantidades grandes de ácido acético. Después de dos a tres semanas, estos microorganismos son reprimidos por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* que realiza la fermentación alcohólica principal en los primeros tres a cuatro meses. Posteriormente se realiza una actividad bacteriana fuerte por las bacterias ácido-lácticas de genero *Pediococcus* y *Lactobacillus*, dichas bacterias producen cantidades considerables de ácido láctico y causan una caída del pH del mosto fermentado. Después de cinco a ocho meses, una nueva población de levaduras *Brettanomyces bruxellensis* y *B. lambicus* aparecen en el mosto fermentado, dichas levaduras llevan la reducción del extracto residual y del genuino sabor que caracteriza a las cervezas *lámbricas*.

Algunas cerveceras endulzan sus *lámbricas*, las cuales denominan como *Lambic doux*. Otras cerveceras también producen una versión de *lámbrica* que ha sido madurada durante tres años en madera y un año en botella. Esta versión es denominada como *Lambic d' vieux* (lambic viejo), la cual está desprovista de CO<sub>2</sub>, es agria y muy seca.

#### 34. Gueze.

Es la mezcla de *lámbricas* jóvenes y añejas. Se somete a una fermentación secundaria en la botella, como el método *Champenoise* en el *Champagne*. La fermentación en la botella toma un año por lo menos para producir 86 a 88% del contenido de alcohol total deseado en este tipo de cerveza. La cerveza Gueze tiene un burbujeo constante, un aroma tostado y una buena duración respecto al resabio. Su concepto original es ser ácida, aunque las grandes cerveceras producen algunas variedades más dulces (Guinard, 1990).

Su principal productor es la cervecera belga **Brasserie Cantillon**.

#### 35. Faro.

En cuanto al término faro, viene del español antiguo "*farro*" que significa vino de cebada. Este estilo de cerveza es la versión endulzada de la *lámbrica*.

Pocos cerveceros venden *faro* embotellada, pero en algunos *pubs* belgas se ofrecen al cliente la posibilidad de preparar su propia *faro* disolviendo azúcar en una *lámbrica* ácida (Guinard,1990).

El principal productor es la cervecería belga **Lindemans**.

### **36. Fruit beer.**

Existen derivados de *lámbrica* de fruta (*kriek*, *framboise*, *cassis*, *pêche*, y *muscat* o *druiven*) que ciertamente tienen sus orígenes por aquellos días que no se usaban lúpulos en la cerveza. Estos derivados se producen macerando las frutas enteras con una mezcla de *lámbricas* jóvenes (aproximadamente cincuenta libras de fruta por barril de *lambic*) en los barriles de madera y embotellando la cerveza resultante después de seis meses con una dosis de *lámbrica* joven para permitir una fermentación adicional en la botella (Guinard,1990).

El principal productor de este tipo de cervezas es la cervecería belga **Brouwerij Frank Boon**.

# Capítulo 5. Definición y dimensiones de la microcervecería.

El 95% del volumen total de cerveza vendida en el mundo, la originan las macrocervecerías. Sin embargo, existen personas interesadas en producir su propia cerveza, y tener una clientela con la venta de la misma. A pesar de ser una producción en microescala, la producción de esta cerveza debe seguir las mismas etapas que una cervecera grande, aunque debe hacerse una distinción que se clasifica en dos grandes grupos:

1. Los cerveceros caseros ó cerveceros aficionados que producen su propia cerveza y beben las pequeñas cantidades que los mismos producen.
2. Los restaurantes ó *Brewpubs* y microcervecerías, que producen y venden entre 1000 y 10,000 hL por año. Ambos tipos de cervecerías tienen ciertos atractivos para la venta de sus cervezas que distinguen a sus productos de los de las macrocervecerías; algunos de estos son (Kunze,1999):
  - ✓ La selección y calidad de las materias primas para la fabricación de la cerveza.
  - ✓ Apego a la ley de pureza alemana (*Reinheitsgebot/Biersteurgesetz*).
  - ✓ La gama de variedades ó estilos de cerveza que ofrecen, desde los estilos establecidos por las cervecerías hasta las ediciones especiales que ofrecen comúnmente por estaciones del año.
  - ✓ La característica artesanal y de tradición de la producción de las cervezas elaboradas en el lugar.
  - ✓ La frescura de la cerveza recién servida del tanque ó barril al vaso ó en la botella (Arambula,1998).

## ❖ BREWPUBS.

Los restaurantes ó *Brewpubs*, son establecimientos que producen su propia cerveza y tienen su propio centro de consumo, comúnmente un restaurante, en el cual se puede comer y degustar la cerveza producida en el lugar. En este tipo de lugares se puede embotellar ó embotellar la cerveza para distribuirla a otros lugares, aunque esto es en menor volumen.

### Tipos de cerveza para un *Brewpub*.

La clasificación del tipo de cervezas debe basarse en las siguientes consideraciones:

- El contenido alcohólico de la cerveza.
- Las propiedades sensoriales, las cuales están relacionadas con los siguientes aspectos:
  - ✓ El color de la cerveza, el cual puede ser desde clara, media, oscura y/o negra, pero siempre respetando el carácter con base al estilo de la misma.
  - ✓ La cerveza puede tener más sabor a malta ó más amargor por el lúpulo.
  - ✓ El uso de aditivos aromáticos y saborizantes a utilizar. Ejemplos (Eschenbach, 1994):
    - Especias, como sal, clavo, canela.
    - Frutas, como cerezas, zarzamora, cascara de naranja y limón.
    - Hierbas, como cardamomo, sage, basil.
    - Miel

Otros factores que juegan un papel importante en la elaboración de una cerveza son:

- ✓ El uso de una levadura *ale* ó una levadura *lager*.
- ✓ El uso de una levadura distinta al género *Saccharomyces* para dar una fermentación secundaria con un aroma especial, como una *Bretanomyces* para cervezas *Porter*.
- ✓ Uso de bacterias lácticas, en el caso de cervezas *Weissbier*.

#### ❖ MICROCERVECERÍAS.

Las microcervecerías son fabricas de cerveza en toda la extensión de la palabra, en las cuales se produce cerveza en volúmenes relativamente pequeños en comparación con las grandes fabricas cerveceras, y tiene sus canales de distribución bien definidos dado que no tiene un centro de consumo (Eschenbach, 1994).

En contraste a un *brewpub*, un microcervecero no tiene las preocupaciones sobre la apariencia de la cervecería. Esta debe por supuesto ser limpia y atractiva, pero no con la finalidad de la atracción de los consumidores.

También los microcerveceros necesitan un equipo de llenado y envasado dado que su cerveza no es vendida en el mismo lugar de producción, aunque algunas microcervecerías operan también como un *Brewpub* (Eschenbach, 1994).

# **Capítulo 6. Producción de cerveza en Microcervecías.**

## **6.1. INTRODUCCIÓN.**

En el presente capítulo se plantean las diferencias entre los procesos de la microcervecía y la macrocervecía, las cuales están fundamentadas desde la selección de materias primas, los aspectos operacionales de proceso, presentación del producto, y las propiedades químicas, físicas y biológicas de la cerveza.

La elaboración de la cerveza en la microcervecía y la macrocervecía es muy similar, sin embargo, las diferencias radican básicamente en la selección de materia prima, los aspectos tecnológicos relacionados con los equipos y los métodos de elaboración de los productos.

Respecto a los aspectos tecnológicos relacionados con los equipos, debido a la demanda del mercado, la macrocervecía trata de innovar sus equipos y utilizar aditivos y coadyuvantes en la elaboración de sus productos, de tal forma que se obtenga una reducción de gastos y energía, y por consiguiente optimizar el proceso.

Por otra parte, las microcervecías ofrecen al consumidor una característica adicional determinada por la selección de la materia prima, la frescura del producto terminado, la obra artesanal del mismo, y por supuesto la exposición de una mayor variedad de estilos de cerveza, dando así una distinción notable a este nicho del mercado cervecero.

Para poder comprender las similitudes y diferencias en el proceso de elaboración de cerveza de la microcervecía y la macrocervecía, se describe la producción de un lote de cerveza en una microcervecía, y durante el transcurso de la explicación se manifestarán las similitudes y diferencias con respecto a la macrocervecía.

La selección de materias primas, los equipos utilizados, las condiciones de proceso, así como los volúmenes, concentraciones, especificaciones, etc., están basados en datos reales recogidos de la experiencia del sustentante en un año de trabajo en una microcervecía, con experiencia en la elaboración de múltiples lotes de cerveza de diferentes tipos, así como la experiencia en asesoría durante seis meses en otra empresa microcervecera.

Los datos comparativos de la macrocervecía, están también sustentados en la experiencia de más de un año de trabajo en el área de

producción de una macrocervecería, además de datos recogidos de la literatura.

Por lo tanto, este ejercicio de comparación entre un proceso de microcervecería y macrocervecería pretende, ante todo, ser un ejercicio analítico basado en la experiencia del sustante en los dos sistemas de producción de cerveza, centrados en un ejemplo concreto.

Así mismo, se fundamentarán todas las operaciones del proceso involucradas en la elaboración del lote por medio de modelos matemáticos ya utilizados en la ingeniería de proceso, así como también, los modelos diseñados particularmente para operaciones específicas del proceso cervecero, los cuales pueden ser aplicados a cualquier lote de cerveza que se desee producir a cualquier nivel de producción.

Además, estos modelos serán propuestos con el objetivo de que el lector pueda aplicarlos para predecir los resultados al momento de elaborar un lote de cerveza.

Cabe señalar que ningún modelo predecirá un resultado exacto en la práctica, debido a que existen muchos factores externos que no son considerados en los mismos, como son: el equipo, el cual puede efficientar de manera considerable el proceso de elaboración, así como también la calidad de las materias primas a utilizar, y por último, y principal factor involucrado: la habilidad y destreza del cervecero.

Considerando lo anteriormente dicho se plantea la producción de un lote de 2100 litros de cerveza estilo Vienna.

La razón por la cual se escogió dicho estilo de cerveza se debe a que en ambos nichos cerveceros, es decir, la macrocervecería y la microcervecería, es producida en cantidades importantes, debido a sus características sensoriales bien aceptadas a nivel internacional.

La cerveza estilo Vienna, consiste de diferentes tipos; para este ejercicio se propone el tipo Graf Vienna cuyas características se describen en la tabla 6.1.

**Tabla 6.1**  
**Características de cerveza tipo Graf Vienna \***

- ✓ Gravedad original: 1.054 - 1.059 (13.3°P - 14.5 °P)
- ✓ Gravedad final: 1.010 - 1.014 (2.5°P - 3.5 °P)
- ✓ Amargor (IBU): 10-18
- ✓ Color: 20-22°SRM
- ✓ Contenido de alcohol: 4.4-6 %v/v
- ✓ Contenido de diacetilo : Bajo
- ✓ Grado de atenuación: 72-75 %
- ✓ Tiempo de maduración (*lagerung*): 20-28 días
- ✓ Contenido de CO<sub>2</sub>: 0.5 a 3.0 volúmen

\* Datos obtenidos de la fuente: Carl Lintner, 1877 y J.E. Thausing et al., 1845.

Este tipo de cerveza Vienna es la más producida en el mundo, tanto en microcervecerías como en macrocervecerías de gran presencia mundial.

Estas especificaciones se basan en fuentes de origen alemán, siendo las más apegadas a los orígenes de este tipo de cerveza, debido a que esta fue creada en München, Alemania a principios de 1840 y perfeccionada en Viena en 1870, fechas cercanas a la edición de las referencias citadas en la tabla 6.1.

Teniendo las especificaciones requeridas para la elaboración de cerveza tipo Graf Vienna, puntualizaremos cada etapa del proceso para dar una mayor comprensión de los mismos:

## **6.2 ALMACENAMIENTO DEL GRANO.**

La obtención y almacenamiento de la malta en la microcervecería son realizados comúnmente en sacos, o a granel, almacenada en silos de capacidad relativamente pequeña, desde 1 a 5 toneladas, esto va de acuerdo al volumen producido mensualmente, aunque en realidad es más utilizado el almacenamiento en costales de 50 kg.

En la macrocervecería dicho almacenaje se realiza comúnmente en silos generales de gran tamaño: desde 250 hasta 1000 toneladas; comúnmente se utilizan silos e intersilos de 750 toneladas. Este tipo de sistemas de silos tienen, un distribuidor que aporta una dosificación correcta para la formulación de los diferentes tipos de malta introducirse en la molienda para la formulación de la cerveza.

### **6.3. ESTABLECIMIENTO DE LAS PROPORCIONES DE MALTA Y ADJUNTOS.**

La producción de cerveza se basa primeramente en el establecimiento de las proporciones de diferentes tipos de malta para dar las características bien definidas del estilo de cerveza que se pretende producir.

- **Cálculo de la cantidad de malta requerida.**

La malta es el corazón de cualquier cerveza y juega un papel muy importante en las características del producto terminado, como son el sabor, color, cuerpo y volumen del alcohol, aunque también es posible utilizar en menor proporción adjuntos para la elaboración de la cerveza. La proporción de estos ingredientes fermentables en la molienda total depende del tipo de cerveza a producir y de las características que le confieren el maestro cervecero.

Para determinar las proporciones de malta u otros materiales fermentables para una receta establecida para un tipo de cerveza, se necesita establecer cinco cosas:

1. **Extracto original del mosto.** Para el tipo de cerveza Graf Vienna oscila entre 1.054- 1.059 g/mL.
2. **Volumen total de cerveza a producir.** Determinado por la capacidad del equipo de la cervecería.
3. **Proporciones de los ingredientes fermentables a utilizar.** Se decide aproximadamente que proporción del extracto total o gravedad debe provenir de cada ingrediente.
4. **Potencial de extracto de materiales fermentables a usar.** Una característica fundamental de la malta y adjuntos utilizados es el potencial de extracto, el cuál se define como el contenido de extracto que aporta cada tipo de malta y adjuntos que se utilizan para la elaboración de la cerveza.

Para esto se debe considerar que la malta, extractos y adjuntos son clasificados en dos tipos de material:

- 1) Aquellos que deben ser macerados.
- 2) Aquellos que se agregan directamente a la olla de ebullición.

A continuación se presenta la tabla 6.2, el potencial de extracto que ofrecen los ingredientes más utilizados en cervecería como fuentes de almidón y azúcares fermentables.

**Tabla 6.2**  
**Potencial de extracto de ingredientes**  
**fermentables utilizados en**  
**la elaboración de cerveza.**

<b>Ingrediente para macerar</b>	<b>Potencial de extracto (kg/L)</b>
Malta Chocolate/Negra/Roast	1.025 – 1.030
Maltas Cristal y Carapils	1.033 – 1.035 (oscurecidas = bajo extracto)
Malta Munich/Vienna/Mild/Biscuit	1.035 – 1.036
Malta 2H y 6H	1.035 – 1.037
Maíz	1.037-1.039
Avena	1.033
Arroz malteado	1.029
Trigo malteado	1.037-1.040
<b>Para adición en caldera de ebullición. *</b>	
Azúcar de caña	1.046
Azúcar de maíz	1.037
Miel	1.030-1.035
Extracto líquido	1.037-1.039
Jarabe de maple	1.030
Melazas	1.036

5. **Eficiencia del equipo empleado.** A nivel microcervecero oscila entre 65 y 80%, aunque esto depende directamente del equipo de la cervecería y de la destreza del cervecero. Para cálculos iniciales es aconsejable considerar un valor de 68% o incluso de 65%. También la eficiencia de extracto variará de lote a lote, por lo cuál hay que considerar la repetibilidad del proceso.

Estableciendo los cinco factores anteriormente señalados, se puede realizar los cálculos necesarios para establecer las proporciones de los ingredientes fermentables a utilizar en la elaboración de la cerveza del ejercicio propuesto. Para ello, es necesario definir las siguientes unidades involucradas en dichos cálculos:

- ✓ **Gravedad específica (SG):** Densidad de una solución comparada con agua; expresada en gramos por mililitro ó libras por galón.
- ✓ **Unidades de Gravedad (GU):** Unidad que expresa la gravedad específica de una solución en forma de enteros, tomando en cuenta solo los valores encontrados a la derecha del punto decimal, con el objetivo de tener una mayor facilidad en los cálculos para establecer las proporciones de ingredientes fermentables requeridos en la elaboración de cerveza.

Esta unidad se puede definir mediante la siguiente ecuación:

$$\text{GU} = (\text{SG} - 1) \times 1000$$

Donde:

**GU** = Unidades de Gravedad

**SG** = Gravedad específica

Con la utilización de estas unidades podemos decir que **SG** es igual a 1.050 = 50 GU; 1.038 = 38, y 1.105 = 105, y así sucesivamente.

Ahora se analizará los tres pasos para calcular la cantidad o proporción de los materiales fermentables involucrados en la formulación:

- 1. Determinar la cantidad total de extracto requerido para el lote (TGU).** Esto es igual al volumen final deseado de cerveza multiplicado por la gravedad (**GU**). Para nuestro lote de cerveza Vienna se utilizará un valor intermedio de 1.056 SG o 56 GU. Esto se multiplica entonces por un volumen de 2100 L de cerveza deseados para el lote propuesto. Por lo tanto tenemos:

$$\text{TGU} = 56 \text{ GU} \times 2100 \text{ L} = 117600 \text{ GU de gravedad total}$$

Debido a que las unidades de gravedad están dadas en lb/gal, se introduce un factor de conversión a litros.

Esta gravedad total nos indica cuánto extracto necesitamos de todos los ingredientes fermentables a utilizar en el lote propuesto. Además, este número nos servirá como un parámetro durante el proceso para la elaboración del lote.

- 2. Calcular la cantidad de extracto que debe provenir de cada fuente fermentable.** Previamente se deciden las proporciones de cada malta que se usarán en la receta de acuerdo a las características deseadas para el producto. Sabiendo el extracto total que se necesita, las proporciones relativas de cada ingrediente, se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{IGU} = \text{PI} \times \text{TGU}$$

**IGU** = Gravedad de cada ingrediente

**PI** = Proporción del ingrediente en la formulación

**TGU** = Gravedad total de la formulación

Para el producto planteado en este ejercicio se propone la siguiente formulación apegada a la receta original del estilo Graf Vienna presentado en la literatura de acuerdo a la práctica de las primeras cervecerías que producían este estilo de cerveza:

**Tabla 6.3**  
**Formulación de ingredientes fermentables para la**  
**elaboración de cerveza estilo Graf Vienna.**

<b>Tipos de malta</b>	<b>Porcentaje %</b>
Americana 2 H	25.40
Nacional 6 H	20.32
Munich	20.32
Carapils	14.22
Caramelo	13.21
Malta de trigo	5.08
Negra	1.42
<b>Total</b>	<b>100</b>

Sabiendo los porcentajes de cada una de las maltas en la formulación propuesta, sustituimos los valores en las ecuaciones siguientes:

$$\text{IGU Americana 2H} = 0.254 \times 117600 \text{ GU total} = 29870.40 \text{ GU}$$

$$\text{IGU Nacional 6 H} = 0.2032 \times 117600 \text{ GU total} = 23896.32 \text{ GU}$$

$$\text{IGU Munich} = 0.2032 \times 117600 \text{ GU total} = 23896.32 \text{ GU}$$

$$\text{IGU Carapils} = 0.1422 \times 117600 \text{ GU total} = 16722.72 \text{ GU}$$

$$\text{IGU Caramelo} = 0.1321 \times 117600 \text{ GU total} = 15534.96 \text{ GU}$$

$$\text{IGU Malta de trigo} = 0.0508 \times 117600 \text{ GU total} = 5974.08 \text{ GU}$$

$$\text{IGU Negra} = 0.0142 \times 117600 \text{ GU total} = 1669.92 \text{ GU}$$

**3. Calcular la cantidad en kg de cada uno de los ingredientes fermentables requeridos (KI).** Para calcular la cantidad en kg de cada uno de los ingredientes requeridos en la formulación, se divide la gravedad del ingrediente (IGU) entre la gravedad obtenida por kg de ingrediente fermentable (IGK).

$$\text{KI} = \text{IGU} / \text{IGK}$$

**KI** = kg requeridos de cada ingrediente fermentable

**IGU** = Gravedad de cada ingrediente fermentable

**IGK** = Gravedad obtenida por kg de ingrediente fermentable

La gravedad obtenida por kg de los ingredientes fermentables (**IGK**), es a su vez el resultado del producto de tres factores: (1) la eficiencia del macerado, que ha sido discutido previamente, (2) la pérdida de extracto en cascarilla y (3) un número que representa el ideal, o extracto máximo o potencial de extracto. Este parámetro es una característica particular del grano en cuestión. Este extracto máximo ó potencial de extracto se representa como el almidón aprovechable del grano en porcentaje del peso del grano total. Estos valores pueden ser consultado en la tabla 6.2.

Para determinar la gravedad obtenida por kg del ingrediente fermentable (IGK) se multiplica el potencial de extracto del ingrediente fermentable reportada en la tabla 6.2 entre la relación realizada entre la eficiencia del equipo de macerado (PC), que en este caso es de 0.68 por un factor de corrección debido a la pérdida de extracto en cascarilla ( $\epsilon = -0.103$ ) reportado en la literatura. Por lo tanto, resulta la siguiente ecuación:

$$\text{IGK} = \text{GU} \times \text{PC} / \epsilon$$

Para nuestro ejercicio tenemos:

$$\text{IGK Americana 2H} = 37 \times 0.68 / 0.103 = 243.34$$

$$\text{IGK Nacional 6H} = 36 \times 0.68 / 0.103 = 236.76$$

$$\text{IGK Munich} = 36 \times 0.68 / 0.103 = 236.76$$

$$\text{IGK Carapils} = 35 \times 0.68 / 0.103 = 230.17$$

$$\text{IGK Caramelo} = 35 \times 0.68 / 0.103 = 230.17$$

$$\text{IGK Malta de trigo} = 40 / 0.68 \times 0.103 = 263.05$$

$$\text{IGK Negra} = 30 \times 0.68 / 0.103 = 197.29$$

Teniendo la gravedad obtenida por kg de cada ingrediente fermentable (IGK) para el lote propuesto, éste es sustituido en la ecuación para calcular la cantidad en kg de cada uno de los ingredientes fermentables requeridos (KI).

Por lo tanto para nuestro ejercicio tenemos:

$$\text{KI Americana 2H} = 29870.40 \text{ GU} / 243.34 = 122.75 \text{ kg}$$

$$\text{KI Nacional 6H} = 23896.32 \text{ GU} / 236.76 = 100.93 \text{ kg}$$

$$\text{KI Munich} = 23896.32 \text{ GU} / 236.76 = 100.93 \text{ kg}$$

$$\text{KI Carapils} = 16722.72 \text{ GU} / 230.17 = 72.652 \text{ kg}$$

$$\text{KI Caramelo} = 15534.96 \text{ GU} / 230.17 = 67.49 \text{ kg}$$

$$\text{KI Malta de trigo} = 5974.08 \text{ GU} / 263.05 = 22.71 \text{ kg}$$

$$\text{KI Negra} = 1669.92 \text{ GU} / 197.29 = 8.464 \text{ kg}$$

Para niveles prácticos es aconsejable redondear los valores obtenidos para no pesar fracciones de los distintos tipos de malta involucrados en la formulación. Para este caso se presenta la tabla 6.4 los valores redondeados del lote de cerveza propuesto.

**Tabla 6.4**  
**Cantidades redondeadas de ingredientes fermentables requeridos para la elaboración de cerveza Graf Vienna**

Tipos de malta	Porcentaje % de acuerdo a la tabla 6.3	Peso en kg para 2100 litros de cerveza Vienna
Americana 2 H	25.40	123
Nacional 6 H	20.32	101
Munich	20.32	101
Carapils	14.22	73
Caramelo	13.21	67
Malta de trigo	5.08	23
Negra	1.42	8
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>496</b>

La formulación de los ingredientes fermentables para la producción de cerveza estilo Vienna en una microcervecera es muy compleja, esto es debido a varios factores, el principal es el propósito del maestro cervecero de dar las características bien definidas a la cerveza, aunque se trate de un tipo específico. El segundo factor, correlacionado con el anterior, e inclusive el más importante, son las características físicas, químicas y bioquímicas de la formulación; estas pueden ser comprendidas de acuerdo a la interpretación de la información que presenta la tabla 6.5:

**Tabla 6.5**  
**Especificaciones de maltas**

Variedad	% Humedad (máxima)	Extracto en molienda fina (m.f.) % b.s. (mínima)	Diferencia en molienda Fina Gruesa F/G %	Color *SRM	Alfa Amilasa Unidad de dextrinización U.D. (min)	Poder diastásico *Lintner (*L)	Relación Proteínas Solubles/ Totales S/T	Viscosidad Centipoise cp (máxima)
Americana 2H	5.5	79.0	1.0 a 2.2	1.5 a 2.5	40.0	120.0	38.0 a 44.0	1.60
Nacional 6H	5.5	75.6	1.0 a 2.3	1.6 a 2.9	35.0	131.0	38.0 a 44.0	1.62
Munich	6.0	75.0	-	6 a 10	-	40.0	-	-
Carapils	5.5	71.5	-	3.2 a 4.8	-	-	-	-
Caramelo	5.0	71.5	-	35.0- 45.0	-	-	-	-
Malta de trigo	5.0	80.0	2.2 max	2.5 a 4.5	45.0	120.0	45.0 mín	-
Negra	5.5	60.0	-	42.0 a 50.0	-	-	-	-

A continuación se da una explicación sobre las características de la selección de las maltas:

- ❖ **% Humedad:** En la tabla 6.5 se puede observar que todas las maltas deben respetar un porcentaje de humedad, el cual es aproximadamente de 5.5% esto está dado por varios factores, principalmente por la vida útil de la malta; esto va directamente relacionado a la contaminación por hongos como *Aspergillus flavus*, el cual genera aflatoxinas que son dañinas para el hombre.
- ❖ **Extracto en molienda fina % b.s.:** Esta variable nos indica el contenido de extracto que aporta cada malta, comprendido como el contenido de compuestos solubles como carbohidratos, proteínas, vitaminas, etc. Aunque principalmente nos indica el porcentaje de contenido de carbohidratos aprovechables para la elaboración de cerveza, como serían polisacáridos (almidones y dextrinas), azúcares fermentables como monosacáridos (glucosa y fructosa) y oligosacáridos (maltosa, maltotriosa, isomaltosa, y panosa principalmente).

Como se puede observar las maltas que tienen mayor cantidad de extracto son: la Americana 2H, y la Nacional 6H, la malta de trigo y la Munich. Por lo cuál, la importancia de éstas es su contenido de extracto y no tanto por otro tipos de propiedades como el color, sabor, etc.

Es importante señalar que el contenido de extracto en base seca por molienda fina de cada tipo de malta va ser utilizado para determinar la eficiencia en la producción del mosto obtenido en el lote problema, el cuál se comentará posteriormente.

- ❖ **Diferencia en molienda fina/gruesa F/G %:** Este porcentaje indica la pérdida de extracto que queda remanente en la cascarilla por la molienda gruesa en comparación con la molienda fina, el cuál no debe de exceder de 2.5% para lograr una molienda óptima en la producción de mosto.
- ❖ **Color °SRM:** Las maltas que aportan este atributo en su mayor parte son las maltas Negra, Caramelo, Carapils y Munich. Dichas malta dan una gama de oscurecimiento desde 10 hasta 50°SRM.
- ❖ **Poder diastásico °Lintner (°L) y  $\alpha$ -amilasa Unidad de Dextrinización U.D. (min):** Estas variables miden las capacidades enzimáticas más importantes de las maltas, para poder degradar carbohidratos no fermentables como almidón principalmente, para transformarlos en azúcares fermentables que serán metabolizados por la levadura para la obtención de alcohol y CO<sub>2</sub> principalmente.

El poder diastásico determina la capacidad enzimática total de la malta analizada, es decir, es un valor general obtenido de la actividad total de las enzimas endógenas de la malta. Con respecto a la  $\alpha$ -amilasa, como su nombre lo indica, es un valor que determina exclusivamente la capacidad enzimática de la  $\alpha$ -amilasa endógena de la malta. Este análisis es realizado debido a que la alfa amilasa es considerada como la enzima más

importante en la degradación de los polisacáridos de la malta durante la producción de mosto.

La maltas de mayor importancia en este aspecto son la Americana 2H, la Nacional 6H y la malta de trigo. Estos valores oscilan entre 35 a 45 U.D. (min) para  $\alpha$ -amilasa y 120-132 °L para poder diastásico.

La malta de trigo en muchas cervecerías sobre todo de origen alemán, no es utilizada debido a la ley de pureza (*Reinheitsgebot/Biersteuergesetz*), aunque en otras muchas microcervecerías es utilizada por su capacidad enzimática y su rico contenido de extracto.

- ❖ **Relación de proteínas solubles/totales S/T:** Este valor nos indica las proteínas que son extraídas por el agua en la producción de mosto. Esta proteínas solubles son de gran importancia en varios aspectos, el primero radica en la obtención de  $\alpha$ -amino nitrógeno (FAN) que es necesario para el metabolismo óptimo de la levadura durante la fermentación, y el segundo es la obtención de proteínas coagulables que durante la ebullición del mosto formarán turbios calientes (*Hot trub*) por la interacción con compuestos polifenólicos originarios de la cascara de la malta y el lúpulo.
- ❖ **Viscosidad (cp):** Esta propiedad reológica del mosto obtenido para cada malta, nos indica en forma indirecta, la presencia de compuestos de alto peso molecular, principalmente polisacáridos como gomas y muclagos no deseables en la producción de mosto. Esta viscosidad no debe de exceder de 1.62 cp.

En la macrocervecería la formulación de tipos de malta para la obtención de cerveza estilo Vienna difiere bastante respecto a la microcervecería.

Debido a la demanda que tienen las grandes empresas cerveceras, es muy importante la optimización de recursos, en terminos del rendimiento, así como del costo, por ello las macrocervecerías utilizan adjuntos como materia prima por las siguientes razones:

- ✓ Disminución de costos.
- ✓ Disminución de concentración de proteínas y taninos no deseables por la formación de turbiedad en la cerveza.
- ✓ Dan características a la cerveza más refrescantes y de cuerpo ligero.

En la Unión Europea se permiten como máximo 40% de adjuntos y por lo tanto mínimo 60% de malta. En E.U.A. se permiten 60% de adjuntos, en el caso de México es libre de escoger el porcentaje a utilizar pero tiende a apearse a las normas norteamericanas.

Es importante señalar que la microcervecería no está exenta de utilizar adjuntos, esto depende de las características que desea el Maestro cervecero

en su cerveza, aunque comúnmente respetan la ley de pureza alemana, y por lo tanto no se utilizan.

La formulación de maltas y adjuntos para la producción de cerveza tipo Vienna Graf en una macrocervecería está integrada para un lote típico, por la composición de la tabla 6.6.

<b>Tipo de malta</b>	<b>Porcentaje aproximado</b>
Nacional 6 H	25%
Americana 2 H	30%
Arroz (granillo) y/o Sorgo y/o Jarabe fructosado	30%
Carapils y/o Vienna	14%
Negra	1%
Total	100%

\* Datos obtenidos de la fuente: Daniels Ray, 2001.

Como se puede observar se reduce el número de tipos de malta, como también se incluye la utilización de adjuntos, aunque también puede utilizarse fécula de maíz llamado *grits*.

Ya teniendo la formulación propuesta, posteriormente se inicia las operaciones concernientes al proceso de elaboración de la cerveza.

## **6.4. CÁLCULO PARA PREDECIR EL COLOR DE LA CERVEZA A PARTIR DE LA MALTA.**

Las maltas y extractos de malta son ingredientes que tienen el mayor efecto en el color de la cerveza. El rango de color se indica en grados Lovibond (°L), °SRM o °EBC. Estas unidades de color se deben a las melanoidinas, y son el resultado del horneado de la malta, sobre todo a las temperaturas arriba de 93.3 °C.

Desgraciadamente, es difícil obtener una buena correlación exacta entre el color de la malta y el color final de la cerveza.

El siguiente factor que contribuye al color final de la cerveza es la ebullición del mosto, en la cuál se obtienen compuestos coloridos generados por reacciones de caramelización y de oscurecimiento no enzimático

(reacciones Maillard), debido a la interacción de los grupos hidroxilo de los azúcares reductores y grupos amino de las proteínas encontradas en el mosto.

El color también puede ser influenciado por los lúpulos debido a la presencia de polifenoles que oscurecen el color de la cerveza. Además, estos contribuyen en cantidades muy pequeñas (2% p/p) de azúcares que pueden participar en las reacciones de oscurecimiento no enzimático.

Otro ingrediente que afecta la formación del color es el agua usada para el malteo y para la elaboración de cerveza. El agua alta en carbonatos, debido a su alcalinidad, promueve el desarrollo de compuestos coloridos en un alto grado por que acelera la formación de las melanoidinas y aumenta la extracción de polifenoles de las cáscaras de malta y lúpulos.

La cantidad y molienda de la cáscara de la malta contribuyen en el color de la cerveza, debido a la presencia de polifenoles que se encuentran en la cáscara y que al disminuir el tamaño de partícula, éstos quedan más expuestos a la extracción durante la clarificación del mosto.

Otro factor que hay que considerar en la coloración de la cerveza es la cantidad de nitrógeno total de la malta. Los aminoácidos precursores de las reacciones de Maillard son un componente esencial para dicha reacción.

- **Predicción del color de la cerveza a partir de la formulación de la receta.**

El color de malta es el factor predominante en el color final de la cerveza. No obstante, debido a la influencia de otros factores, el color de la cerveza es muy inconstante. A pesar de esto, se puede cuantificarse el color de malta total en la receta usando una medida llamada Unidades de Color de Malta (MCU). Este cálculo proporciona una medida relativa de la cantidad de color que contribuyen los grános en la receta del lote. Para cada malta, se calcula con el modelo siguiente:

$$\text{MCU} = \frac{\text{°Lovibond} \text{°SRM} \text{°EBC de la malta} \times \text{Peso de malta individual en la formulación (kg)}}{\text{Volumen final de cerveza obtenida (L)}}$$

$$\text{MCU}_T = \text{MCU}_1 + \text{MCU}_2 + \text{MCU}_3 + \dots \text{MCU}_n$$

Para el lote problema se puede sustituir los valores en la ecuación para cada tipo de malta:

$$\begin{aligned} \text{MCU Americana 2H} &= 2.0 \text{ }^\circ\text{SRM} \times 125 \text{ kg} / 2100 \text{ L} \\ &= 0.1190 \text{ }^\circ\text{SRM kg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MCU Nacional 6H} &= 2.25 \text{ }^\circ\text{SRM} \times 100 \text{ kg} / 2100 \text{ L} \\ &= 0.1071 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MCU Munich} &= 8 \text{ }^\circ\text{SRM} \times 100 \text{ kg} / 2100 \text{ L} \\ &= 0.3809 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MCU Carapils} &= 4 \text{ }^\circ\text{SRM} \times 70 \text{ kg} / 2100 \text{ L} \\ &= 0.1333 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MCU Caramelo} &= 40 \text{ }^\circ\text{SRM} \times 65 \text{ kg} / 2100 \text{ L} \\ &= 0.12380 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MCU Malta de trigo} &= 3.5 \text{ }^\circ\text{SRM} \times 25 \text{ kg} / 2100 \text{ L} \\ &= 0.0416 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MCU Negra} &= 46 \text{ }^\circ\text{SRM} \times 9 \text{ kg} / 2100 \text{ L} \\ &= 0.1978 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

$$\text{MCU}_T = 0.1190 + 0.1071 + 0.3809 + 0.1333 + 1.2380 + 0.0416 + 0.1971$$

$$\text{MCU}_T = 22.17 \text{ }^\circ\text{SRM} \cdot \text{kg/L}$$

Por lo tanto se obtiene un valor aproximado de 22.17 °SRM•kg/L para el lote problema; este valor entra dentro del parámetro establecido originalmente al inicio de este capítulo para el tipo de cerveza Graf Vienna.

## 6.5 MOLIENDA DEL GRANO.

La molienda del grano se realiza en la microcervecería en forma manual en molinos con una capacidad de tolva de 500 a 2000 kg.

Los molinos empleados en la microcervecería son comúnmente de diseño de dos rodillos, aunque también se utilizan de cuatro.

La molienda se realiza en seco y dichos molinos contienen un extractor de polvo.

En las macrocervecías existen diferentes tipos de molinos y de moliendas para el proceso. Comúnmente se utilizan de dos a cuatro rodillos para los adjuntos, y de seis para la molienda de la malta. Existen, como anteriormente se ha mencionado, dos tipos de molienda por vía seca y por vía húmeda. En la

macrocervecería en México, como las microcervecerías utilizan el método de molienda por vía seca.

La malta se muele para aumentar el área de contacto y lograr una adecuada maceración. La cascarilla de la malta deberá estar rota pero casi entera. Posteriormente se transporta la malta molida hacia un silo por medio de un gusano ó tornillo sin fin, dicho silo contiene termopares ó registros de temperatura para controlar la temperatura del grano molido; este debe permanecer a una condición antes de ser hidratado de  $20^{\circ} \pm 3.5^{\circ}\text{C}$  con una humedad del 5.5%.

Después se transporta el grano mediante un gusano o tornillo sin fin hacia el tanque de maceración, el cuál en la microcervecería también se utiliza como tanque de lixiviación (*Lauter tun*).

Es importante cuando se utiliza malta de trigo en la formulación de la cerveza, como en la formulación propuesta, que dicha malta sea la última en vaciarse al molino por la simple razón de que dicha malta no tiene una cáscara gruesa que pueda servir como lecho filtrante, por lo que debe quedar en la parte superior de la cama de grano con agua en el tanque de maceración y lixiviación.

En la macrocervecería la realización de la molienda es muy similar a la de la microcervecería, aunque difiere por supuesto por el volumen de producción, y por ende la capacidad de las tolvas receptoras del molino, el molino, y el receptor de grano molido. En México se utiliza molinos con capacidad de 750 a 1000 toneladas aproximadamente.

El transporte del grano hacia el tanque de maceración es realizado en las macrocervecerías por medio transportadores de presión neumática ya sea comprimida ó de succión; de igual forma se realiza el transporte del grano gastado y mosto, del tanque de maceración al de lixiviación (*Lauter tun*).

El fundamento matemático para la operación de molienda está dada por ley de Rittinger, la cual se mencionará con el ejemplo del lote propuesto, introduciendo los valores concernientes en dicha ecuación que fundamenta la reducción de tamaño de partícula realizada de manera óptima la molienda.

Cuando el material se fractura, se producen nuevas áreas superficiales. Cada nueva unidad de área o superficie requiere determinada cantidad de energía. Parte de la energía añadida se utiliza en la creación de estas nuevas superficies, pero una gran porción se transforma en calor. La energía requerida para la fractura es una función muy complicada del tipo de material, del tamaño, de su dureza y otros factores.

Ritinger propuso una ley que establece que el trabajo de trituración es proporcional a la nueva superficie creada. Donde:

$$E = KR (1/X_2 - 1/X_1)$$

Donde **E** es el trabajo para reducir una unidad de masa de alimentación desde  $X_1$  hasta  $X_2$  y **KR** es una constante (4.5294 J\*m). Esta ley experimentalmente se ha demostrado que tiene validez en la molienda de polvos relativamente finos.

Aplicando esto en la molienda de la malta, debemos considerar los siguientes datos:

- ✓ Rotación de rodillos: Tiene un intervalo de 380 a 440 r.p.m.
- ✓ Abertura de rodillos: 0.6 a 1.5 mm
- ✓ Tiempo de molienda: 14 ton/hr
- ✓ Potencia de molienda: 2.3 a 2.5 kW ó 3.3 a 3.8 kW
- ✓ Por lo tanto todo el grano del lote propuesto se deberá moler en menos de una hora.

Según la receta propuesta se utilizan 496 kg de malta total para la producción de 2100 litros de cerveza.

La velocidad del transportador del grano debe ser aproximadamente es decir 40 kg/min.

Para obtener la reducción del tamaño de partícula del grano deseado y utilizando el modelo de Ritinger, obtenemos que:

$$\begin{aligned} E &= KR (1/1.1 \text{ mm} - 1/2.8 \text{ mm}) \\ &= 4.5294 \text{ J}^*m (1 / 1.1 \times 10^{-3} \text{ m} - 1/ 2.8 \times 10^{-3} \text{ m}) \\ &= 2.5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Donde:

**E** = Cantidad de trabajo requerida.

**KR** = 4.5294 J\*m Constante de reducción de tamaño de partícula.

**K<sub>1</sub>** = 2.8 mm tamaño estándar del grano malteado por unidad.

**K<sub>2</sub>** = 1.10 mm tamaño de reducción de partícula deseado de la malta promedio.

Por lo tanto se requiere de 2.5 kJ para obtener una reducción de tamaño de partícula de 2.8 mm a 1.1 mm para tener la molienda óptima para la producción de cerveza.

## 6.6 MEZCLA DE LA MALTA Y EL AGUA (MACERACIÓN DEL GRANO).

Existe una gran diferencia entre la microcervecera y la macrocervecera respecto al diseño de equipos y métodos que se utilizan para esta etapa del proceso.

En la microcervecera se utiliza comúnmente el método de maceración por infusión a diferencia de las macrocerveceras que realizan su maceración por decocción sencilla, doble o triple, donde se utiliza también la producción de mostos de altas densidades.

Dichos métodos son utilizados por la macrocervecera en la etapa de maceración, debido a que estos involucran la cocción de adjuntos, que son utilizados en este nicho de mercado para realizar la producción de mosto.

Los adjuntos como el arroz desquebrajado, fécula de maíz y/o sorgo, son transportados a una olla de cocción en la cual se someten a diferentes temperaturas. Primero se eleva la temperatura a 70 °C para obtener la gelatinización de almidón por contacto con el agua, al mismo tiempo es activada la  $\alpha$ -amilasa endógena del adjunto, excepto cuando se utiliza fécula de maíz, ya que la composición de ésta es casi en su totalidad almidón sin presencia de enzimas, por lo cual son adicionadas enzimas amilolíticas ( $\alpha$ -amilasas) de origen bacteriano o fúngico.

Después se aumenta la temperatura ligeramente mayor de 100 °C, esto con la finalidad de desactivar las enzimas amilolíticas presentes en el adjunto y para obtener una temperatura, la cual al realizar la transferencia de la masa del cocedor al macerador de la malta, se obtenga una temperatura de 77°C para realizar la conversión total de los polisacáridos presentes en azúcares fermentables que serán posteriormente metabolizados por la levadura, como también obtener una operación denominada "*Mash out*", que se explicará posteriormente.

Una ventaja muy importante en la utilización de los métodos de decocción sencilla, doble o triple en la maceración por las macrocerveceras es el rendimiento obtenido en esta operación, esto debido a que estos métodos permiten establecer periodos de temperatura óptima de trabajo de las enzimas más relevantes (amilasas, glucanasas, proteasas, glucosidasas, fosfatasas y fitasas) que actúan en esta operación.

La maceración de la malta en la macrocervecera es realizada de la misma forma que en la microcervecera, aunque se diferencia en una etapa adicional llamada filtración del mosto. Esta filtración es realizada tanto en la microcervecera por filtración en tanques de fondo falso con rejillas desarmables (*Lauter tun*), aunque en las macrocerveceras puede realizarse con

un equipo independiente de filtración por placas (filtro prensa); esta operación de filtración se comenta con detalle a continuación:

A nivel de microcervecería se utilizan actualmente tanques que por su diseño fungen como tanques de macerado y lixiviación (*Lauter tun*) en uno mismo, que en forma resumida consiste en un tanque de acero inoxidable enchaquetado para introducción de vapor como sistema de calentamiento y contiene un fondo falso con una rejilla, la cual servirá como medio filtrante y medio de retención del grano molido; este tanque tiene en su parte inferior del fondo falso una configuración cónica donde se recolecta el mosto filtrado.

En el caso de las macrocervecerías los procesos de macerado y lixiviación ó *lautering* se realizan en tanques independientes, como también la cocción de los adjuntos que posteriormente se juntarán en el tanque de maceración.

Respecto a la introducción de calor a los tanques utilizados tanto en las microcervecerías como en las macrocervecerías, se hace por medio de vapor indirecto a través de calandrias ó por enchaquetamiento del tanque. Este último es más utilizado por su eficiencia y su fácil uso.

En todas las cervecerías es importante comentar que el generador de vapor ó caldera se debe controlar a 0.7 bar ó 10 psi de presión para tener mayor rendimiento tratando de impedir condensación, por lo cual debe estar en constante supervisión, particularmente en las microcervecerías donde el control es de forma manual.

Para el lote problema, se propone realizar la maceración por medio del método de infusión sencilla por ser el método más utilizado a nivel de microcervecería, dado a que es el método más sencillo de realizar por el equipo necesario para el mismo, y también porque ofrece un mejor control de las condiciones que están involucradas en esta operación sin la utilización de equipos muy sofisticados.

Por lo tanto una vez molida la malta es transportada hacia el tanque de maceración, esto es realizado de la siguiente forma:

El grano molido es introducido a la caldera de macerado hidratándolo durante la caída del mismo hacia el tanque, esto es realizado por medio de un premacerador ó hidratador que consiste en un dispositivo de dos entradas:

- ✓ Entrada de agua a temperatura aproximadamente de 75°C.
- ✓ Entrada del transportador de grano.

En esta etapa del proceso aparece la utilización de otra materia prima para la elaboración de la cerveza, ésta es el agua.

El agua utilizada debe tener un cierto tratamiento para reducir la dureza dependiendo del tipo de cerveza que se quiere producir. En el caso de las

microcervecías y macrocervecías en la ciudad de México las propiedades del agua son consideradas en general como buenas para la producción cervecera, por lo cual no se realiza un pretratamiento de dicha materia prima. Solamente se le da un tratamiento de purificación para que sea apta para el consumo humano.

El sistema de purificación difiere entre las micro y macrocervecías. La primera realiza esta operación comúnmente por los siguientes métodos: carbón activado y luz ultravioleta; mientras que en las macrocervecías se pone mayor énfasis en esto, siendo así un tratamiento más riguroso para el mismo; esto se realiza por medio de carbón activado, tierras diatomeas y posteriormente por microfiltración; éste último método es muy eficiente y muy socorrido actualmente.

• **Cantidad de agua requerida.**

Al calcular la cantidad total de agua que se necesita para preparar un lote de cerveza se deben considerar dos variables. La primera es el volumen total de cerveza terminada que en este caso son 2100 L, y la segunda es toda el agua perdida en el proceso. Generalmente, las pérdidas pueden categorizarse en 4 tipos:

1. Agua retenida en los granos gastados.
2. Agua evaporada durante la ebullición del mosto.
3. Agua residual que queda en el equipo, mangueras, etc.
4. La reducción de volumen del mosto caliente en su enfriamiento.

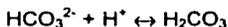
Con respecto al primer tipo de agua, ésta se plantea en la tabla 6.7 en relación a la cantidad de grano macerado.

<b>Kilogramos de grano macerado</b>	<b>Litros de agua perdidos</b>	<b>Kilogramos de grano macerado</b>	<b>Litros de agua perdidos</b>
0.45	3.064	5.9	14.75
0.90	3.972	6.4	15.89
1.35	4.542	6.85	16.68
1.8	5.448	7.3	18.16
2.25	6.81	7.75	19.18
2.7	7.945	8.2	19.65
3.15	9.08	8.65	20.43
3.6	9.647	9.1	21.56
4.05	10.78	9.55	22.7
4.5	9.08	10	23.83
4.95	12.48	10.45	24.97
5.45	13.62		

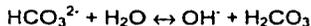
Las pérdidas por evaporación son normalmente calculadas con base en una proporción por cada hora de ebullición, multiplicada por el lapso de tiempo total.

## 6.7. PREDICCIÓN DEL pH DEL MACERADO A PARTIR DE LOS IONES ENCONTRADOS EN EL AGUA PARA LA ELABORACIÓN DEL MOSTO.

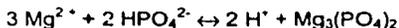
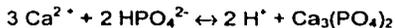
Existen básicamente tres iones encontrados en el agua que afectan el pH del macerado. El primero es el bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) que contribuye a la dureza temporal y alcalinidad del macerado, esto es debido a que forma uniones con protones liberados por otros compuestos de la siguiente forma:



Al mismo tiempo esta reacción es equivalente para liberar iones hidroxilo, por medio de la siguiente ecuación:



Los otros dos iones son el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y el magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) que bajan el pH del macerado, esto es debido a que estos iones reaccionan con grupos fosfatos originarios de la malta ( $\text{K}_2\text{PHO}_4$  principalmente) por la siguiente vía:



Los efectos de estos tres iones en el pH son integrados en la ecuación de Kolbach para la alcalinidad residual. Usando esta herramienta se puede predecir el pH probable del macerado.

La ecuación requiere tener disponible el análisis de los iones presentes del agua que se utilizará para la elaboración del lote de cerveza a producir. Obteniendo los valores reportados miligramos por litro (mg/L) de los tres compuestos podemos obtener una predicción del pH de nuestro macerado.

La ecuación que nos ofrece esta predicción contiene como elementos, el pH de macerado logrado con un control de agua destilada (pH 5.8) y la corrección por la presencia de los tres iones, obteniendo:

$$\text{pH de macerado} = 5.8 + \{0.028 \times [\text{Alk Total (HCO}_3 \text{ mg/L)} \times 0.056] - [\text{Ca(mg/L)} \times 0.04] - [\text{Mg (mg/L)} \times 0.033]\}$$

Introduciendo los valores referentes al lote problema tenemos lo siguiente:

<b>Tabla 6.8</b>	
<b>Concentración de iones encontrados en el agua para la elaboración del lote problema</b>	
* Iones encontrados en el agua para elaboración del lote (Ciudad de México)	Concentración (mg/L)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25
Ca <sup>2+</sup>	15
Mg <sup>2+</sup>	10

\* Estos valores son reportados por la Comisión Nacional de Agua en el año 2000 de un análisis del agua potable obtenida del suministro de la red de Ciudad de México.

Sustituyendo estos valores en la ecuación original tenemos:

$$\begin{aligned} \text{pH del macerado del lote problema} &= 5.8 + [0.028 \times (25 \text{ mg/L} \times 0.056) \\ &- (15 \text{ mg/L} \times 0.04) - (10 \text{ mg/L} \times 0.033)] \\ &= 5.8 + (0.0392) - (0.6) - (0.33) \\ &= 5.8 + (-0.8908) \\ &= 4.9092 \end{aligned}$$

El valor obtenido de 4.9 está dentro del parámetro requerido (4.9 -5.5) para el trabajo óptimo de las enzimas endógenas amilolíticas de la malta (amilasas) que desarrollarán su actividad en la maceración.

Cabe señalar que esta predicción sólo se limita al valor de pH que aportan los iones más importantes encontrados en el agua, ya que también se forman sistemas amortiguadores en la maceración generados principalmente por la presencia de fosfatos, lactatos y aminoácidos. El calcio del agua coagula fosfatos provocando una mezcla de las sales de fosfato, las cuales funcionan como sistemas amortiguadores alrededor de pH de 5.7. Con respecto a los lactatos, forman un amortiguador muy poderoso en el rango de pH de 4.4 a 4.8. El amortiguador de los fosfatos termina a pH 4.0-4.5, estando regulado entonces por la capacidad amortiguadora de los aminoácidos que son anfóteros y pueden comportarse como bases (NH<sub>3</sub>RCOOH<sup>+</sup>) o como ácidos (NH<sub>2</sub>RCOO<sup>-</sup>), de acuerdo con el pH de la solución.

## 6.8. ADICIÓN DEL AGUA EN LA MACERACIÓN.

El volumen requerido para la producción de un lote de 2100 litros de cerveza en una microcervecera es de 2500 litros de agua aproximadamente, y se divide en tres volúmenes que se comentarán en los siguientes párrafos:

✓ **Agua de fundición ó agua de lecho: 150 litros**

La malta molida debe ser remojada por un hidratador en el momento que es vertida en el tanque de macerado. Se llena la base del tanque para que tenga 10 cm de agua arriba de las rejillas filtrantes, para que no caiga la malta hidratada a las rejillas directamente; este volumen de agua se conoce como agua de fundición o agua de lecho.

✓ **Agua de macerado: 1230 litros**

Este volumen de agua se añade a través del hidratador y se suma al agua de fundición, para obtener la cantidad de agua total a utilizar para mezclarse con el grano molido y obtener el primer mosto ó el mosto concentrado (*Vorderwürze*). La relación final en el tanque de macerado es de 1:2.5 grano/agua.

La mezcla de malta y agua es agitada lentamente para favorecer el contacto del grano molido y el agua, como también para equilibrar la temperatura de la maceración. La temperatura predeterminada debe controlarse con una tolerancia de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , es decir, una temperatura de equilibrio calculada de  $68^{\circ}\text{C}$  debe de estar a no menos de  $67.5^{\circ}\text{C}$  y no más de  $68.5^{\circ}\text{C}$ , para lograr una conversión de polisacáridos en azúcares fermentables, principalmente maltosa; por la actividad enzimática de las enzimas endógenas de la malta.

Por ello se predetermina la temperatura del agua a utilizar en la maceración, dado que al tener contacto con el grano con una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  aproximadamente dará un descenso de la temperatura de la mezcla, llegando a la temperatura requerida.

Esta temperatura y su control son de suma importancia debido a que determinan las condiciones necesarias para la extracción de azúcares, la sacarificación (temperatura de activación de las enzimas endógenas), la inactivación de enzimas indeseables, y de menor grado la inactivación de microorganismos mesófilos aerobios que posteriormente serán totalmente inactivados en la etapa de ebullición.

## 6.9. AGITACIÓN EN LA MACERACIÓN.

La agitación es una operación importante en esta etapa del proceso ya que permite la homogenización de la solución y temperatura de la misma, para favorecer la extracción de azúcares de manera óptima en la maceración.

Para fundamentar la operación de mezclado, se establecen los siguientes modelos matemáticos:

$$NRe = \frac{\delta \times d^2 \times N}{\mu}$$

Donde:

**NRe** = Número de Reynolds.

$\delta$  = Densidad del mosto (1053 kg/m<sup>3</sup>)

**d** = Diámetro del tanque (2 m)

**N** = Número de revoluciones por minuto (25 min<sup>-1</sup>)

$\mu$  = Viscosidad del mosto (1.63 x 10<sup>-3</sup> Pa • s)

Por lo tanto:

$$NRe = \frac{(1053 \text{ kg/m}^3) (2 \text{ m})(25 \text{ min}^{-1})(1 \text{ min}/60\text{seg})}{(1.63 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$NRe = 5.3834 \times 10^5$$

Teniendo el valor del número de Reynolds, se busca en una gráfica que expresa la relación del mismo (**NRe**) con el consumo de potencia (**Np**), de acuerdo al diseño de los agitadores.

Los agitadores usualmente utilizados en la producción de cerveza son de origen proximal, es decir, que están casi en contacto con las paredes del tanque; esto favorece los efectos deseados en esta etapa.

Los tipos de agitadores son tipo ancla ó ancla con dispositivo de rastrillos; estos últimos son muy utilizado en la macrocervecería, aunque también son utilizados de tipo propela, pero con menor eficiencia en la operación.

En la microcervecería se utilizan agitadores de ancla, ó la agitación se realiza en forma manual con palas de madera, esto provoca una reducción del

rendimiento considerable respecto a la extracción de material soluble para el mosto.

De acuerdo al número de Reynolds **NRe** obtenido para el lote problema, consultando la gráfica de **NRe** vs **Np** (Bates et. al., 1963) se obtiene un valor de **Np = 4**. Posteriormente, se busca el consumo de potencia mediante el siguiente modelo matemático:

$$N_p = \frac{P}{\delta \cdot d^5 \cdot N^3}$$

Despejando **P** (potencia), tenemos:

$$P = N_p \cdot \delta \cdot d^5 \cdot N^3$$

Sustituyendo los valores en la fórmula, obtenemos:

$$P = (4) (1053 \text{ kg/m}^3) (2 \text{ m})^5 (25 \text{ seg}^{-1}/60 \text{ seg})^3$$

$$P = 78,000 \text{ kg m}^5 / \text{m}^3 \text{ s}^2 = 78,000 \text{ kgm}^2/\text{s}^4 = 78,000 \text{ watt/seg}$$

$$P = 78 \text{ kW/seg}$$

Por lo tanto se requiere un consumo de potencia de 78 kW por segundo para la agitación y mezclado óptimo de la relación grano/agua para la obtención del mosto.

Después de que físicamente se mezcla el agua y la malta molida, se deja en reposo por 60 minutos. Posteriormente se usa una bomba para recircular el mosto en el macerado por no más de 5 a 10 minutos. Esta operación de recirculación es denominada *vortlauf* (en alemán), esta es realizada con el objetivo de clarificar el mosto producido ya que durante la maceración se acumulan en la parte inferior de la cama de bagazo o grano gastado formado, partículas indeseables para el mosto a filtrar que logran pasarse en la placas filtrantes del fondo falso del tanque hacia el fondo verdadero que recolecta el mosto producido. Estas partículas indeseables son compuestas por cascarilla molida particularmente y coágulos formados por proteínas y polifenoles de la malta, que provocan turbiedad en el mosto y, por lo tanto, perjudican su calidad; por lo cual al realizar la recirculación del mosto hacia la parte superior de la cama de bagazo se induce que dichas partículas indeseables permanezcan en la cama de bagazo y por consecuencia se

obtenga un mosto de apariencia limpia, clara y libre de compuestos que puedan perjudicar la calidad del mosto.

Es importante mencionar que el tiempo de recirculación debe ser respetado lo más posible ya que si se realiza una recirculación prolongada ácarrean compuestos indeseables del grano hacia el mosto. Ahora si la recirculación fuera muy corta o nula, se obtendría un mosto turbio y heterogéneo con grandes problemas de viscosidad que generan turbiedad en caliente que será comentada posteriormente, y además con problemas de sabores indeseables.

## 6.10. UTILIZACIÓN DE ADITIVOS EN LA MACERACIÓN.

En la micro y macrocervecería se realiza la adición de aditivos para aportar beneficios tecnológicos que ayuden o intensifiquen la calidad del producto y del proceso sin enmascarar la misma.

Existe controversias respecto a la utilización de aditivos en la producción de cerveza, esto es particularmente enfatizado en la ley de pureza alemana (*Reinheitsgebot/Biersteuergesetz*), la cual prohíbe el uso de todo aditivo en la elaboración de cerveza.

A pesar de esto, las micro y macrocervecerías utilizan aditivos durante la elaboración de la cerveza, aunque es utilizado más frecuentemente por la macrocervecería, esto debido como anteriormente se ha comentado que la microcervecería tiende apegarse a la ley de pureza alemana.

En la operación de maceración y cocción de adjuntos se puede realizar la adición de aditivos que puedan favorecer éstas operaciones y que favorezcan la calidad del mosto producido.

A continuación se expondrán los aditivos más utilizados en esta operación, como también el fundamento de su uso:

- ✓ Sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) "*Sal de Gypsum*": Este aditivo es polifuncional para la producción de mosto, esto es debido a que el ión calcio de esta sal reduce el pH del mosto por la interacción de fosfatos de la malta permitiendo la liberación de protones en la solución. Cabe señalar que propiedad del calcio a pH de 5.7 forma sistemas amortiguadores con los mismos fosfatos. Otra función que tiene el calcio es la protección de la  $\alpha$ -amilasa, en condiciones de pH (5.0-5.5) del macerado; los aminoácidos ácidos (ácido glutámico y aspártico) de la enzima que se encuentran en mayor número en la secuenciación de la estructura primaria con respecto a los aminoácidos básicos (lisina, arginina e histidina), aportán cargas negativas por lo grupos carboxilo de sus cadenas laterales ( $\text{R-COO}^-$ ) que interactúan con el ión calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) retrasando así la desnaturalización de la

estructura terciaria de la  $\alpha$ -amilasa provocando una mayor termoresistencia de ésta a las condiciones de maceración y de cocción de adjuntos. Con respecto al ión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) de esta sal, resalta el amargor y sequedad del lúpulo que se será adicionado en la ebullición del mosto.

- ✓ Enzimas amilolíticas y proteolíticas ( $\beta$ -glucanasas, proteasas y amilasas): Estas enzimas obtenidas por bacterias u hongos ajenos a la producción de cerveza pueden ser adicionadas en el cocedor de adjuntos y macerador para garantizar la hidrólisis deseada para la producción de mosto. Cabe señalar que es importante al realizar la adición de estas enzimas en las temperaturas óptimas de trabajo de las mismas cada vez que son alcanzadas durante la operación.
- ✓ Ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ó ácido láctico ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ): Estos ácidos son adicionados para garantizar la obtención de pH óptimo para la maceración. El ácido fosfórico es un ácido inorgánico muy utilizado en la producción de cerveza por ser un ácido muy soluble en agua y que no aporta sabores objetables al producto terminado. El ácido láctico es utilizado para acidificar el macerado, aunque comunmente este ácido es adicionado previamente en la malta. Este aditivo es el único permitido por la ley de pureza alemana, siempre y cuando sea obtenido por el metabolismo de bacterias lácticas. La acidificación aportada por este ácido es denominada "*acidificación biológica*".

## 6.11. CLARIFICACIÓN DEL MOSTO (LAUTERING).

En esta etapa del proceso se emplea el último volumen de agua, para la elaboración del mosto del lote propuesto, el cual se utiliza de la siguiente manera:

### ✓ Agua de lavado ó de lixiviación: 1120 litros

Este volumen de agua corresponde al agua a utilizar para lavar el grano gastado y obtener la mayor cantidad de los azúcares que hayan quedado en éste. Esto se realiza después de la maceración y de la recirculación del primer mosto (*vorlauf*). El mosto y el agua de lixiviación se mandan por gravedad hacia el tanque de ebullición con una velocidad relativamente baja para poder realizar del mejor modo la extracción de azúcares del grano por el mayor tiempo de contacto con el agua.

Mientras es transportado el primer mosto ó concentrado lentamente hacia el tanque de ebullición, en el tanque de macerado se realiza la aspersión con agua a  $77^\circ\text{C}$  para lavar los granos gastados; ésta es el agua de lavado ó de lixiviación. Es muy importante controlar el volumen de bombeo de dicha agua para no sufrir el derramamiento de la misma por llenado completo del tanque, por ello se equilibran las velocidades de salida del primer mosto y el bombeo de agua de lavado. Este flujo es muy lento y puede tardar más de una hora, cuidando que el grano quede descubierto para poder realizar de forma eficiente

la lixiviación deseada del grano. Para el lote problema es obtenido a un tiempo de 1.5 hr.

El agua de aspersión tiene una temperatura de 77°C con el objetivo de realizar una operación denominada "Mash out", su nombre es atribuido a que a esta temperatura se desacelera la actividad enzimática de todas las enzimas endógenas de la malta, como la  $\alpha$ -amilasa, la cuál tiene una actividad enzimática máxima a 72°C y al someterla a 77°C, ésta disminuye en forma considerable. Cabe señalar que aunque todas las enzimas endógenas de la malta sufren una desaceleración en su actividad por esta operación, éstas serán inactivadas en su totalidad en la ebullición del mosto. En el caso de las macrocervcerías esta operación puede ser realizada en la maceración, ya sea aumentando la temperatura del macerado por la transferencia de masa del ceceder de adjuntos al tanque de macerado o aumentando la temperatura del mismo por suministro de vapor.

En el caso del lote propuesto se realizará la operación de aspersión en periodos consecutivos agregando 280 litros de agua de lixiviación hasta que se colecte todo el volumen de mosto deseado, y el agua de lixiviación se agote.

Después de haber comentado los tres tipos de agua clasificados de acuerdo a su función se puede resumir la información en la tabla 6.9:

<b>Tipos de agua.</b>	<b>Porcentaje %</b>	<b>Volumen (litros)</b>
Agua de fundición	6%	150
Agua de macerado	49.2 %	1230
Agua de lavado	44.8 %	1120
Total	100%	2500

Para el aseguramiento de calidad de esta etapa del proceso es de suma importancia monitorear la gravedad específica del mosto en diferentes etapas del mismo. Esto es determinado comunmente por un hidrómetro calibrado en grados Plato (°P), peso específico (SG) y/o grado Balling (°Ba). Aunque tambien actualmente se han empezado a emplear otros instrumentos de medición con distinto fundamento como los refractómetros y densímetros electrónicos.

Otro monitoreo que se debe realizar es la prueba de yodo, ésta consiste en tomar una muestra del mosto producido, enfriarla a temperatura ambiente y adicionarle unas gotas de solución yoduro de potasio a una concentración de 0.02N, la cuál provocará una coloración determinada dependiendo de los carbohidratos presentes en la muestra. Por ejemplo para azúcares fermentables no hay presencia de coloración, en cambio teniendo polisacáridos

como almidones y dextrinas se presentará una gama de colores que van de rojo (eritrodextrinas), violeta (amilodextrinas) y azul (almidones) que puedan estar presentes en el mosto. Esto determina que también fue realizada la conversión de los polisacáridos de los granos a azúcares fermentables durante la maceración. La coloración provocada entre el yodo y los polisacáridos presentes en el mosto se origina por resonancia y polaridad, debido a que aún la amilosa de cadena lineal, cuando se encuentra en solución adopta una estructura helicoidal, la cual en cada vuelta de la espiral tiene 6 moléculas de glucosa que interactuarán con una de yodo provocando un efecto colorido. Por lo tanto, a medida que es mayor la longitud de la cadena, aumentará el número de espiras, y por lo tanto el número de moléculas de yodo, siendo así más grande la resonancia y la intensidad de la coloración observada.

La clarificación de mosto (*lautering*) del mosto consiste de tres operaciones:

1. Establecimiento de un lecho filtrante a partir del grano gastado generado en la maceración.
2. Recolección del primer mosto (*Vorderwürze*).
3. Producción de segundo mosto (*Nachgüsse*) por la extracción de azúcares y compuestos solubles remanentes en el grano gastado (lecho) por aspersión con agua.
4. Producción de mosto residual no aprovechable por tener muy bajo contenido de extracto y tener un contenido considerable de compuestos indeseables (compuestos fenólicos, hemicelulosa, etc.), denominado *Glattwasser*.

A continuación se planteará el siguiente modelo matemático que tiene por objetivo fundamentar la velocidad de lixiviación que determinará la eficiencia de la clarificación del mosto.

#### ❖ Velocidad de Lixiviación (Lautering)

El flujo de la agua de aspersión a través del grano en un tiempo determinado, se expresa como la velocidad de lixiviación, la cual está fundamentada por la ley de Darcy:

$$F = K \Delta P A / L$$

Donde:

**F** = Velocidad de lixiviación. Esta refiere el volumen de filtrado en una unidad de tiempo.

**K** = Promedio de permeabilidad del lecho.

Donde  $K = (u^3 \text{ de}^2) \cdot \{[(1-u)^2 \times 180 \text{ kg/hr}]^{-1}$

**u** = Porosidad del lecho (Volumen del mosto/Volumen del lecho)  
**de** = Superficie promedio del tamaño de partícula (Diámetro efectivo)  
 $\Sigma-1$  ( $X_i / d_i$ )  
 **$\Delta P$**  = Diferencia de presión entre la presión superior e inferior del fondo falso.  
**A** = Area del lecho de bagazo.  
 Donde  $A = \pi \times r^2$  (del tanque)  
**L** = Profundidad del lecho del bagazo

Con respecto al lote problema, se establecen los siguiente valores:

$$\Delta P = 10 \text{ plg H}_2\text{O} = 2.54 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$$

$$u = 2.5 \times 10^8 \text{ cm}^3 / 1.87 \times 10^6 \text{ cm}^3 = 1.336$$

$$de = 0.11 \text{ cm}$$

$$K = (1.336)^3 (155.33 \text{ cm}^2)^2 \times [(1 - 1.336)^2 \times 180 \text{ kg/hr}]^{-1}$$

$$K = (57.52 \times 10^3 \text{ cm}^4) \times (20.32 \text{ kg/hr})^{-1}$$

$$K = (57.52 \times 10^3 \text{ cm}^4) / 20.32 \text{ kg/hr}$$

$$K = 2.83 \times 10^3 \text{ cm}^4 / \text{hr kg}$$

$$A = \pi \times r^2 = 3.1416 \times (81.5 \text{ cm})^2 = 20.86 \times 10^3 \text{ cm}^2$$

$$L = 90 \text{ cm}$$

$$F = K \Delta P A / L$$

$$F = \frac{2.83 \text{ cm}^4 / \text{kg hr} \times 2.54 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2 \times 20.86 \times 10^3 \text{ cm}^2}{90 \text{ cm}}$$

$$F = 1666.80 \times 10^3 \text{ cm}^3 / \text{hr}$$

$$F = 1666.80 \text{ L/hr}$$

Por medio de este resultado, se puede afirmar que nuestro flujo o velocidad de lixiviación en el sistema es de 1666.80 L/hr.

La clarificación es mejor en tanto mayor sea el contenido de extracto en menor tiempo. Esta eficiencia es referida en la ecuación anteriormente descrita, aunque también es importante considerar la permeabilidad (**K**), la cual mejora por los siguientes factores:

1. La selección de maltas bien modificadas.
2. Manteniendo la cáscara en un estado irrompible durante el transporte y en el proceso de maceración.
3. Hidratando la malta al molerla (molienda húmeda).
4. Empleando agitación mínima durante la operación tratando de evitar daño de

la cáscara de la malta. Esto es comentado ya que en la macrocervecerías es comúnmente utilizado agitadores proximales con rastrillos (*rakes*) para lograr una homogenización constante del lecho filtrante formado por el grano gastado durante la clarificación del mosto.

Las consideraciones básicas para la clarificación del mosto son pocas y simples:

1. El volumen del primer mosto o mosto concentrado (*Vorderwürze*) debe representar al menos el 50% del total del volumen del mosto colectado para la producción de cerveza.
2. La gravedad específica original del mosto debe ser de una concentración preestablecida.
3. La gravedad específica del primer mosto (*Vorderwürze*) dependerá del tipo de macerado empleado.
4. El *Glattwasser* o mosto residual debe considerarse a partir de una concentración de 0.5 °P.

Para lograr la concentración definitiva del mosto, se realiza el monitoreo del contenido de extracto (°P) en diferentes etapas de la lixiviación de la siguiente manera:

Se realizan muestreos en el primer mosto concentrado (*Vorderwürze*), segundo mosto (*Nachgüsse*) y mosto residual (*Glattwasser*), así como también en el mosto compuesto por los mostos primario y secundario contenidos en el tanque de ebullición y también por el bajo contenido de extracto del mosto residual que no es relevante, ni considerable para el proceso. El mosto residual o *Glattwasser* que todavía quede el tanque de macerado se muestrea para revisar su concentración, dato importante para saber la cantidad de extracto que quedó aún en el grano gastado.

Una vez llenado el tanque de ebullición se realiza la ebullición del mosto y al mismo tiempo se realiza la exclusión del bagazo del tanque de macerado.

En la microcervecerías esto se realiza por acción manual por medio de una pala, abriendo una compuerta y vaciando en carros o sacos.

En el caso de las macrocervecerías la exclusión de bagazo se realiza por medio de rastrillos encontrados en los agitadores de los mismos tanques, se abre en la parte inferior del tanque y por gravedad es recibido por camiones o furgones para poder ser transportados hacia granjas para la alimentación del ganado.

Después de la exclusión total del grano gastado o bagazo en las micro y macrocervecerías, se lava el interior de los tanques por medio de agua a presión para el arrastre total del grano gastado, solamente que en la microcervecería se realiza comúnmente con manguera manualmente y en la macrocervecería por medio de sistema CIP (*Clean in place*).

## 6.12. EBULLICIÓN DEL MOSTO.

El equipo utilizado para la ebullición del mosto es muy similar en la macro y microcervecría; son utilizados tanques enchaquetados con suministro de vapor como sistema de calentamiento, aunque también en la macrocervecría es muy socorrida la utilización de calandria con vapor.

A partir de los datos para el lote propuesto, cuando la caldera de ebullición de mosto se llena aproximadamente a 400 – 500 litros, se abren los circuitos de vapor para empezar a hervir el mosto y tardará de 48 a 60 minutos más para recibir todo el mosto. De esta manera se eleva la temperatura desde aproximadamente 70°C hasta 93°C, temperatura de ebullición en México D.F.

El paso total del mosto del tanque de lixiviación (*Lauter tun*) al tanque de ebullición es aproximadamente de 2 horas 40 minutos, para un lote como el que aquí se considera.

Es muy importante que cuando el mosto llegue a 90°C no se deje correr el vapor sin supervisión constante, ya que al llegar al punto de ebullición del mosto, éste tiende a hervir violentamente con muchas burbujas y espuma. Esto puede causar accidentes por quemaduras. Siempre se debe estar alerta con una manguera para regar la superficie de espuma con agua fría previamente purificada. También se puede bajar la entrada de vapor. Es recomendable agregar uno o dos puños de lúpulos en comprimidos (*pellets*), ya que esto ayuda a bajar la espuma cuando empieza a hervir, esto debido a que el lúpulo tiene propiedades tensoactivas logrando una disminución de la tensión superficial del mosto en ebullición, esto por el contenido de monoglicéridos del lúpulo que interactúan con los grupos hidrofóbicos de las proteínas desnaturalizadas.

## 6.13. ADICIÓN DEL LUPULO.

La diferencia en la selección de lúpulos en la microcervecría con respecto a la macrocervecría, consiste en que la primera se utiliza comúnmente lúpulo en forma de flor ó en forma de comprimidos (*pellets*), siendo la última la más socorrida; en cambio en la macrocervecría se utilizan actualmente extractos resinosos de lúpulo obtenidos por extracciones con CO<sub>2</sub> líquido ó supercrítico con lo que se extrae perfectamente las resinas y aceites esenciales de importancia del lúpulo, a parte de que dichos disolventes no causan toxicidad.

Para la producción de cerveza estilo Vienna en una microcervecría, se puede utilizar el tipo de lúpulo con dos dosificaciones como se muestra en la tabla 6.10. El tipo y cantidad del lúpulo dependen no sólo del tipo de cerveza sino de la propuesta particular del maestro cervecero.

**Tabla 6.10. Dosificación de lúpulo utilizados para  
cerveza estilo Graf Vienna en un lote de  
microcervecería.**

Tipo de Lúpulo	Porcentaje en la dosificación (%)	Cantidad en gramos	Unidades internacionales de amargor (IBU)
Tettnang 4.2 %	23.81	1927	5
Tettnang 4.2%	76.18	2993	8
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>4920</b>	<b>13</b>

Con esta dosificación se podrán obtener 13 IBU, lo que implica un nivel de amargor ligero adecuado para consumidores mexicanos acostumbrados a beber cervezas ligeramente lupuladas. En Europa en cambio, los consumidores exigen cervezas más lupuladas.

La dosificación del lúpulo en la microcervecería se realiza de forma manual abriendo las compuertas e introduciendo manualmente los comprimidos (*pellets*) o la flor del lúpulo.

La intensión de la doble dosificación del lúpulo, como se propone en la tabla 6.10 se basa en que con la primera se logra obtener principalmente el amargor del mosto, y la segunda dosificación permite obtener principalmente el aroma; aquí se debe apagar el extractor de vapor del equipo, dado que se pueden eliminar compuestos volátiles que contribuyen el aroma del lúpulo que se quiere en la cerveza.

En el caso de las macrocervecías, el lúpulo se dosifica una sola vez en forma de extracto resinoso por medio de un dispositivo de inyección neumática ó por succión. El tipo de lúpulo empleado varía de acuerdo a la receta propuesta por el cervecero de la macrocervecería, pero se puede comentar que se usan lúpulos de variedades cruzadas con el mismo rendimiento que la cepa noble a menor costo. Como ejemplo, el uso del lúpulo *Tettnag* (variedad noble) es sustituido comúnmente por otra variedad de una cruz natal americana llamada *American Tettnang*, ó con variedades americanas cruzadas como *Galena*, *Cluster* y *Columbus*.

Regresando al proceso de la microcervecería, si una cerveza se va a hervir por 60 minutos a partir de la ebullición, se agregan los primeros lúpulos, después de 45 minutos se agrega la segunda dosificación de los mismos, que se hervirán por 15 minutos. Después de 60 minutos de ebullición se apaga inmediatamente el suministro de vapor y se acciona un sistema en el interior del tanque llamado *whirlpool* ó remolino durante 15 minutos, el cuál consiste en recircular el mosto con un flujo tangencial. Posteriormente se deja en reposo durante otros 15 minutos para favorecer la sedimentación de precipitados calientes formados por complejos de proteínas-polifenoles (*Hot trub*) ; y otras partículas indeseables como los residuos de lúpulo. En el caso de las

macrocerveceras también se utiliza éste tipo de equipo pero en forma independiente.

Un problema que surge en la adición de lúpulos al mosto es el poder cuantificar la cantidad precisa de lúpulo a usar. Para esto se utilizan modelos matemáticos. Un número importante que se usa como medida de amargor son las Unidades Internacionales de Amargor (IBU).

Además del amargor que imparte los lúpulos es solamente un aspecto de su importancia. Otros aspectos importante son el olor y sabor que cada especie de lúpulo imparte a la cerveza.

Las características básicas del lúpulo que se propuso en la formulación del lote problema son:

- ✓ Variedad: *Tettnang*.
- ✓ Origen: Variedad noble alemana que se desarrolla en el área del mismo nombre.
- ✓ Aroma: Muy fino con un efecto ligeramente especiado.
- ✓ Concentración de  $\alpha$ -ácidos: 3.5-5.5%.
- ✓ Concentración de  $\beta$ -ácidos: 3.5-5.0%.
- ✓ Co-Humulonas: 23-29% de  $\alpha$ -ácidos.
- ✓ Concentración de aceites esenciales: 0.6-1.0 mL/100 gramos de lúpulo.
- ✓ Mirceno: 20-25% de aceite total.
- ✓ Humuleno: 20-25% de aceite total.
- ✓ Cariofileno: 6-10% de aceite total.
- ✓ Farneseno: 12-16% de aceite total.

Las características de cada lúpulo son descripciones de ciertos aspectos que se consideran importantes, aunque no son completas. Para utilizar un lenguaje común y definir al menos una de las características importantes, se puede cuantificar el nivel de amargor, aunque es una dimensión bastante limitada del total de las características que confiere a la cerveza.

La gente tiene diferentes habilidades para detectar el amargor. Algunas personas son mucho más sensibles que otras. Sin embargo, se tiene que establecer un promedio de amargor, olor, y sabor para las recetas cerveceras. Estas recetas para los estilos de cerveza, tienen características y normas que son establecidas a nivel mundial.

### **Cálculo de peso de lúpulo.**

$$P \text{ gramos} = \frac{(IBU) \times (V \text{ litros}) \times (C \text{ densidad})}{(U\%) \times (A\%) \times (1000)}$$

Donde:

**P gramos** = Peso de lúpulo.

**IBU** = Unidades de Amargor.

**V** = Volumen en litros de total de mosto (actualmente IBU se refleja en volumen final de cerveza, no en el mosto total).

**C** = Factor de corrección para mosto más denso que 1.050\*

**U%** = Utilización de  $\alpha$ -ácidos en ebullición (e.g.: 28 % = 0.28)

**A** = Porcentaje de  $\alpha$ -ácidos (ej. 5.0 % = 0.05)

**1000** = Constante para usar fórmula métrica.

**D** = Densidad en gravedad específica, después de la ebullición del mosto\*\*

\*Corrección del factor para mostos más densos que 1.050 g/mL.

$$C = 1 + [(D^{**} - 1.050) / 0.2]$$

\*\* Si la gravedad específica del mosto es < 1.050 g/mL, el factor C = 1.0

\*\* Si la gravedad específica del mosto es > 1.050 g/mL, se usa la fórmula para calcular "C".

La utilización de  $\alpha$ -ácidos en ebullición se relaciona a la eficiencia de extracción y al grado de isomerización que ocurren durante la ebullición, y se calcula de acuerdo a la tabla 6.11.

Utilización (%)	U	Tiempo de ebullición en minutos
34	= 0.34	90
28	= 0.28	60
21	= 0.21	30
14	= 0.14	15

**Ejemplo:**

Cálculo de nivel de amargor del lote problema propuesto:

**Cerveza estilo Graf Vienna.**

- ✓ Gravedad específica del mosto: 1.056 gr/mL
- ✓ Volumen de Mosto: 2,200 L
- ✓ Unidades de amargor propuestas: 13 IBU \*
- ✓ Lúpulo utilizado: *Tettnang* (alemán)

\* Este nivel de amargor para una Graf Vienna se considera baja para este estilo según el Institute for Brewing Studies en Denver Colorado. El rango apropiado se considera entre 20-40 unidades de amargor; sin embargo, como se comentó antes, el gusto del consumidor mexicano requiere bajo niveles de lúpulo

Por el valor de la gravedad específica del lote problema propuesto se sustituye los valores correspondientes en el siguiente modelo matemático:

$$C = 1 + [(1.056 - 1.050) / 0.2 ]$$

$$C = 1.03$$

$$\text{P gramos} = \frac{(5) \times (2200) \times (1.03)}{60 \text{ minutos} \quad (0.14) \times (0.042) \times (1000)}$$

$$\text{P gramos} = 1926.87 = 1927 \text{ g aproximadamente}$$

60 minutos

$$\text{P gramos} = \frac{(8) \times (2200) \times (1.03)}{15 \text{ minutos} \quad (0.14) \times (0.042) \times (1000)}$$

$$\text{P gramos} = 2993.37 = 2993 \text{ g aproximadamente.}$$

15 minutos

Por lo tanto por medio de estos modelos matemáticos se establece los pesos de lúpulo de las dos dosificaciones propuestas para el lote problema reportadas en la tabla 6.10.

## 6.14.UTILIZACIÓN DE ADITIVOS EN LA EBULLICIÓN DE MOSTO.

En la ebullición del mosto se puede realizar la adición de aditivos que puedan aportar beneficios en dicha etapa del proceso. Como anteriormente se ha comentado la utilización de los aditivos es frecuentemente utilizado por las macrocervecerías, ya que en las microcervecerías el uso de los aditivos es poco socorrido por la su apego a la ley de pureza alemana.

A continuación se presentarán los aditivos más utilizados en la ebullición de mosto, como así el fundamento del uso de los mismos:

- ✓ Sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) "*Sal de Gypsum*": En la ebullición se puede realizar nuevamente la adición de esta sal con los mismos objetivos que se establecieron en la maceración y cocción de adjuntos.
- ✓ Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) : El cloruro de sodio es utilizado básicamente para resaltar el sabor básico salado en el producto terminado, provocando así un mejor balanceo de los sabores que aportan las moléculas sápidas encontradas en el mosto hervido. Otra propiedad que aporta esta sal es debida al ión  $\text{Cl}^-$  que refuerza el dulzor de la cerveza y la textura final de la cerveza.
- ✓ Metabisulfito de sodio: Esta sal tiene como propiedad de antioxidante ya que durante la ebullición se producen movimientos convectivos los cuáles generan una oxigenación del mosto, como consecuencia estimula la oxidación de algunos compuestos presentes en el mosto hervido. El metabisulfito de sodio ó potásio en la solución libera el ión sulfito el cuál por la oxigenación del mosto provoca la oxidación de este, impidiendo así la oxidación de otros compuestos de suma importancia que serán requeridos en la fermentación del mosto, como también que determinarán las propiedades sensoriales del producto terminado.
- ✓ Nutrientes de levadura: Un aspecto importante de sumo interés del cervecero es la composición del mosto ya que éste será el sustrato utilizado por la levadura durante la fermentación, por ello se debe de obtener un mosto que aporte todos los nutrimentos necesarios para que la levadura pueda generar la cerveza en forma óptima. Por ello para garantizar el logro de este objetivo, se han creado nutrientes o nutrimentos que puedan ser adicionados en el mosto para garantizar que la fermentación del mosto por la acción de la levadura se realice en forma óptima. La composición de estos nutrimentos depende del proveedor, aunque están compuestos básicamente por sales de amonio, vitaminas (inositol, niacina, piridoxina, riboflavina, ácido fólico, ácido pantoténico, tiamina y biotina), aminoácidos, y iones metálicos que fungen como cofactores en las rutas metabólicas de la levadura como  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ .

- ✓ Musgo irlandés y bentonita: Agentes clarificantes que ayudan a eliminar los precipitados calientes formados durante la ebullición del mosto.

## 6.15. REMOCIÓN DE PRECIPITADOS CALIENTES (COMPLEJOS PROTEÍNA-POLIFENÓLES)

Como anteriormente se comentó al final de la dosificación del lúpulo se procede a la utilización de un sistema encontrado en el tanque de ebullición llamado *remolino* ó *whirlpool*.

El *whirlpool* ó *remolino* es una adaptación importante que inventó la cervecería Molson de Canadá y que consiste en un sistema de recirculación con una placa en la base del mismo a modo de presa y con un ángulo de inclinación de 13° en el fondo del tanque, esto con el propósito de recircular el mosto mediante una salida en el fondo del tanque, y un regreso por una entrada en la pared interna del tanque, provocando así un flujo tangencial del mosto formando un *remolino* y forzando de esta forma la recolección de precipitados calientes como también lúpulo residual en la presa al centro del tanque, que posteriormente se desecharán del mismo, logrando así una cierta clarificación del mosto. Esta tecnología es muy usada en todo tipo de cervecías, tanto en las microcervecías como en las macrocervecías por su gran eficiencia.

Con respecto a los precipitados calientes, estos son formados por complejos estructurados por la interacción entre proteínas y polifenoles; estos polifenoles (Procianidina B<sub>3</sub> y prodeffinidina B<sub>3</sub> principalmente) son sensibles a la oxidación con una fuerte tendencia a la polimerización debido a sus grupos OH<sup>-</sup> que tienden a formar puentes de hidrógeno entre las proteínas permitiendo así su aglomeración.

Un aspecto importante en esta operación es la homogeneización del lúpulo en el mosto, la cual se realiza por fuerzas convectivas generadas por la ebullición y por el flujo del mosto por acción del *remolino*. El flujo debe ser de tal magnitud que no se genere un *vortex* que tenga como consecuencia un flujo laminar que impida una adecuada homogenización del mosto.

Otro factor a utilizar en esta etapa antes de accionar el *whirlpool* es la utilización de agentes clarificantes para excluir las impurezas y turbios calientes no deseables que pudieran quedarse en el mosto lupulado, y que afectan coloidalmente a la cerveza.

Los clarificantes más utilizados son la carragenina (musgo irlandés), y antiguamente la bentonita. Es importante señalar que estos agentes clarificantes no interfieren ó alteran las propiedades sensoriales del mosto lupulado, es decir son inertes al producto tratado.

El musgo irlandés es el nombre de una alga roja (*Rhodospira*), la cuál contiene en gran parte carragenina (fracción  $\kappa$  principalmente) la cuál es un polisacárido sulfatado de un peso promedio de 1 a  $5 \times 10^6$  daltones. Este polisacárido está compuesto por repeticiones de galactosa y 3-6 anhidrogalactosa sulfatada, por uniones conjugadas 1-3 y 1-4 glicosídicas. Este polisacárido al tener grupos sulfatos aporta cargas negativas las cuáles formarán interacciones iónicas con cargas opuestas que tienen las proteínas que están en el medio de solución (mosto), provocando así la formación de núcleos o coágulos de gran tamaño que precipitarán en el fondo del tanque, por lo tanto este agente clarificante favorece la formación de turbios calientes (*Hot trub*) y por ende se realiza una clarificación del mosto que será enfriado posteriormente. La adición de este agente clarificante es recomendable realizarla 15 minutos antes de terminar la ebullición del mosto.

Mientras se realiza la ebullición del mosto y dosificación del lúpulo correspondiente se prepara el tanque de fermentación, el cual recibirá el mosto lupulado.

Es debido monitorear al término de la ebullición del mosto; la concentración del mismo por medio de un hidrómetro calibrado en grados Plato ( $^{\circ}P$ ), peso específico (SG) o grados Balling ( $^{\circ}Ba$ ), como anteriormente se ha comentado en operaciones anteriores a esta. Esto con el objetivo de verificar que se haya obtenido el extracto original que se estableció previamente de acuerdo al tipo de cerveza a elaborar. En la caso del lote problema para cerveza tipo Graf Vienna es de  $13.8^{\circ}P$  (SG 1.056). De igual forma como en las operaciones de maceración y clarificación de mosto también es importante realizar la prueba de yodo para verificar que no se encuentren polisacáridos como dextrinas y almidones que no podrá metabolizar la levadura durante la fermentación.

Una operación importante en esta etapa del proceso es el cálculo de evaporación de mosto durante la ebullición por ende la concentración final del mismo. En el lote problema si partimos de 2200 litros de mosto se obtendrán al final de la ebullición 2100 litros de mosto que se enfriará y se fermentará posteriormente, transformándose este volumen íntegramente en cerveza; por lo tanto se están evaporando 100 litros de agua, ó el 4.54 % del volumen total de mosto, esto está fundamentado por las ecuaciones que a continuación se presentarán:

- **Evaporación durante la ebullición del mosto en la caldera (Ve).**

El volumen de agua evaporado durante la ebullición del mosto en la caldera puede ser calculado. Se recomienda que el volumen de evaporación sea de 4 a 10 % del mosto total. Una valor típico en las macrocervecerías es de 6%.

$$Ve (\%) = [(V_i - V_f) \times V_i^{-1}] \times 10^2$$

Donde:

**Ve (%)** = Por ciento de volumen evaporado.

**Vi** = Volumen inicial ó total de mosto enviado a la caldera antes de la ebullición.

**Vf** = Volumen final ó de mosto total después del la ebullición.

Sustituyendo en la ecuación los datos del lote problema se obtiene:

**Vi** = 2200 L (mosto no hervido).

**Vf** = 2100 L (mosto hervido).

$$\mathbf{Ve(\%)} = [(2200 \text{ L} - 2100 \text{ L}) / 2200 \text{ L}^{-1}] \times 10^2 \%$$

$$\mathbf{Ve(\%)} = 4.54 \%$$

Por lo tanto tenemos un volumen de evaporación de agua en la ebullición de mosto de nuestro lote problema de 4.54%.

- **Velocidad de evaporación.**

$$\mathbf{Velocidad\ de\ evaporaci3n} = [(V_{t_1} - V_{t_2}) / (t_2 - t_1)] = \Delta V / \Delta t$$

Donde:

**V<sub>t<sub>1</sub></sub>** = Volumen inicial de la caldera a un tiempo **t<sub>1</sub>**.

**V<sub>t<sub>2</sub></sub>** = Volumen final de la caldera a un tiempo **t<sub>2</sub>**.

Incorporando los datos de nuestro lote problema en la ecuación se tiene:

$$\mathbf{Velocidad\ de\ evaporaci3n} = [(2200 \text{ L} - 2100 \text{ L}) / (1.5 \text{ hr} - 0 \text{ hr})]$$

$$\mathbf{Velocidad\ de\ evaporaci3n} = 100 \text{ L} / 1.5 \text{ hr} = 66.66 \text{ L/hr}$$

- **% Contenido de extracto ganado en la caldera durante la ebullición del mosto.**

$$\mathbf{Em \%} = [(E_2 - E_1) \times E_2^{-1}] \times 10^2$$

Donde:

**Em%** = % de contenido de extracto ganado en la caldera durante la ebullición del mosto.

**E<sub>1</sub>** = Extracto del mosto en la caldera antes de la ebullición.

**E<sub>2</sub>** = Extracto del mosto en la caldera después de la ebullición.

Para obtener el % de contenido de extracto ganado en la caldera durante la ebullición del mosto del lote problema se tiene:

$$E_1 = 1.053 \text{ kg/L}$$

$$E_2 = 1.056 \text{ kg/L}$$

$$E_1 = 1.053 \text{ kg/L} \times 2200 \text{ L} = 2316.6 \text{ kg}$$

$$E_2 = 1.056 \text{ kg/L} \times 2100 \text{ L} = 2217.6 \text{ kg}$$

$$\text{Em\%} = [(2316.6 \text{ kg} - 2217.6 \text{ kg}) / 2316.6] \times 10^2 \%$$

$$\text{Em\%} = 4.27\%$$

Como se puede observar se ganó 4.27% de extracto en el mosto que será fermentado posteriormente. Este valor depende del extracto original que se establece previamente de acuerdo al tipo de cerveza que se desea laborar, aunque se recomienda que se encuentre en un parámetro de 4-6% de extracto ganado durante la ebullición.

## 6.16. EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE MOSTO.

En este momento se ha producido el mosto lupulado que será utilizado integralmente para la elaboración de la cerveza a partir de la fermentación que realizará la levadura posteriormente. Por ello es importante conocer la eficiencia que se obtuvo durante todo el proceso de la producción del mosto, esto con el objetivo de saber el rendimiento de la operación en general comparando los valores obtenidos con los arrojados por el laboratorio en el análisis de los ingredientes fermentables utilizados.

La eficiencia de la producción de mosto puede ser determinada mediante las siguientes ecuaciones:

$$\eta = \frac{P \times SG \times V_t}{EAT}$$

$$EAI = KI \times EMI$$

$$EAT = \Sigma EAI_1 + EAI_2 + EAI_3 + \dots EAI_n$$

Donde:

- $\eta$  = Eficiencia de la producción de mosto (%)
- $^{\circ}\text{P}$  = Grado Plato obtenido en el mosto lupulado (%)
- $\text{SG}$  = Peso específico proporcional a  $^{\circ}\text{P}$  (kg/L)
- $\text{Vt}$  = Volumen total de mosto lupulado obtenido (L)
- $\text{EAT}$  = Extracto aprovechable total (kg)
- $\text{EAI}$  = Extracto aprovechable de cada ingrediente fermentable.
- $\text{KI}$  = kg requeridos de cada ingrediente fermentable.
- $\text{EMI}$  = Extracto en molienda fina de cada ingrediente fermentable.

Incorporando los valores obtenidos en el lote problema en las ecuaciones se obtiene lo siguiente:

- 1) Cálculo del extracto aprovechable de cada ingrediente fermentable utilizado en el lote problema:

$$\text{EAI} = \text{KI} \times \text{EMI}$$

Con respecto a los valores para KI y EMI para el lote problema estos son reportados en la table 6.12.

<b>Variedad</b>	<b>Peso en kg para 2100 litros de cerveza Graf Vienna</b>	<b>Extracto en molienda fina (m.f.) % b.s. (mínimo)**</b>
Americana 2H	123	79.0
Nacional 6H	101	75.6
Munich	101	75.0
Carapils	73	71.5
Caramelo	67	71.5
Malta de trigo	23	80.0
Negra	8	60.0
Total	496	-

**\*\* Datos obtenidos de la tabla 6.5**

Por lo tanto tenemos para el lote problema:

$$\text{EAI Americana 2H} = 123 \text{ kg} \times 0.79 = 97.17 \text{ kg}$$

$$\text{EAI Nacional 6H} = 101 \text{ kg} \times 0.756 = 76.35 \text{ kg}$$

$$\text{EAI Munich} = 101 \text{ kg} \times 0.75 = 75.75 \text{ kg}$$

$$\text{EAI Carapils} = 73 \text{ kg} \times 0.715 = 52.19 \text{ kg}$$

**EAI Caramelo** = 67 kg x 0.715 = 47.90 kg

**EAI Malta de trigo** = 23 kg x 0.8 = 18.4 kg

**EAI Negra** = 8 kg x 0.6 = 4.8 kg

2) Cálculo del extracto aprovechable total del lote problema.

$$EAT = \Sigma EAI_1 + EAI_2 + EAI_3 + \dots EAI_n$$

$$EAT = 97.17 \text{ kg} + 76.35 \text{ kg} + 75.75 \text{ kg} + 52.19 \text{ kg} + 47.90 \text{ kg} + 18.4 \text{ kg} + 4.8 \text{ kg}$$

$$EAT = 372.56 \text{ kg}$$

3) Cálculo de la eficiencia de producción de mosto del lote problema.

$$\eta = \frac{\%P \times SG \times Vt}{EAT}$$

$$\eta = \frac{13.8 \% \times 1.056 \text{ kg/L} \times 2100 \text{ L}}{372.56 \text{ kg}}$$

$$\eta = 82.14 \%$$

Por lo tanto se tiene una eficiencia de producción de mosto del lote problema de 82.14%, siendo un valor aceptable para una microcervecería, esto dado a los valores recomendados por la AHA (American Homebrewing Association), la cuál reporta un rango de 75 – 90% de eficiencia de producción de mosto para microcervecerías. Estos valores son considerablemente bajos en comparación a los obtenidos en las microcervecerías, las cuáles obtienen una eficiencia de producción de mosto en un parámetro de 95-99%, valores reportados por la MBBA (Master Brewing Association of America), esto es debido a que éste nicho de mercado tiene como objetivo optimizar al máximo todo el proceso de la elaboración de cerveza por medio de la selección de materia prima (malts bien modificadas y utilización de adjuntos), tecnología de equipo que ofrezca mayor eficiencia en el proceso y la adición de aditivos que ayuden a obtener mejores rendimientos en la elaboración de cerveza.

## 6.17. ENFRIAMIENTO DEL MOSTO

Teniendo el fermentador listo para recibir el mosto lupulado, se realiza el enfriamiento del mismo haciéndolo pasar por un intercambiador de calor de placas, reduciendo la temperatura del mosto desde 85°C\* hasta 13°C.

\* Valor obtenido por el descenso de temperatura del mosto lupulado durante el termino de la ebullición y la remoción de precipitados calientes por acción del whirlpool o remolino.

En este punto es muy importante cuidar la temperatura, porque así la levadura mantendrá las condiciones óptimas para la fermentación del mosto lupulado.

En el caso de macrocerveceras es utilizado básicamente el mismo equipo, es decir un intercambiador de calor de placas por su gran eficiencia de enfriamiento.

Esta operación unitaria está fundamentada por el siguiente modelo matemático:

$$\mathbf{M_p C_p (T_{pb} - T_{pa}) = M_f C_f (T_{fb} - T_{fa})}$$

**M<sub>p</sub>** = Flujo de mosto lupulado.

**C<sub>p</sub>** = Calor específico del mosto lupulado.

**T<sub>pa</sub>** = Temperatura final del mosto lupulado.

**T<sub>pb</sub>** = Temperatura inicial del mosto lupulado.

**M<sub>f</sub>** = Flujo del fluido de enfriamiento.

**C<sub>f</sub>** = Calor específico del fluido de enfriamiento.

**T<sub>fb</sub>** = Temperatura inicial del fluido de enfriamiento.

**T<sub>fa</sub>** = Temperatura final del fluido de enfriamiento.

De acuerdo a esta ecuación para el lote propuesto se desea enfriar los 2100 litros de mosto lupulado de 85 °C hasta 13 °C \*\*, en un intercambiador de calor de placas en el cuál circula a contracorriente agua helada que entra a 4°C, alcanzando una temperatura de 75°C durante el intercambio de calor con el mosto lupulado con un flujo de 2500 L/hr. La superficie de intercambio es de 14.3 m<sup>2</sup> y el coeficiente global de transferencia es de 2.000 Wm<sup>-2</sup>·C<sup>-1</sup>.

\*\* Esta temperatura (13°C) es la utilizada para la fermentación para obtener la cerveza aquí propuesta y de acuerdo al volumen manejado en el lote problema, tardaría aproximadamente 45 minutos. En general, las cervezas tipo *lager* enfrían a temperaturas de 5-13°C.

Para obtener el flujo del mosto lupulado durante el enfriamiento se considera los siguientes datos para el lote problema:

**C<sub>p</sub>** = 3.9 kJ/kg °C

**T<sub>pb</sub>** = 85°C

**T<sub>pa</sub>** = 13 °C

**M<sub>f</sub>** = 2500 L/hr

**C<sub>f</sub>** = 4.18 kJ/kg°C

**T<sub>fb</sub>** = 4 °C

**T<sub>fa</sub>** = 75°C

**M<sub>p</sub>** = ?

$$M_p C_p (T_{pb} - T_{pa}) = M_f C_f (T_{fb} - T_{fa})$$

Despejando  $M_p$  tenemos:

$$M_p = \frac{M_f C_f (T_{fb} - T_{fa})}{C_p (T_{pb} - T_{pa})}$$

$$M_p = \frac{2500 \text{ L/hr} \cdot 4.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (4^\circ\text{C} - 75^\circ\text{C})}{3.9 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (85^\circ\text{C} - 13^\circ\text{C})}$$

$$M_p = \frac{2500 \text{ l/hr} \cdot 4.18 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} (-71^\circ\text{C})}{3.9 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} (72^\circ\text{C})}$$

$$M_p = \frac{741950 \text{ L/hr}}{280.8}$$

$$280.8$$

$$M_p = 2642.27 \text{ L/hr}$$

Por lo tanto se requiere un flujo del mosto lupulado de 2642.27 L/hr para obtener su enfriamiento de 85°C hasta 18°C.

## 6.18. AIREACION DEL MOSTO.

En la microcervecería el mosto frío se airea inyectando sobre la línea del intercambiador de calor al fermentador una cantidad pequeña de oxígeno por medio de un sistema Lamsen, el cual consiste en una vela de cerámica porosa que está conectada a un tanque de oxígeno en la línea de transporte.

Esta vela de cerámica porosa es muy utilizada en las microcervecerías por su gran eficiencia y por su fácil manejo.

La necesidad de la aireación del mosto está fundamentada en favorecer la fermentación primaria del mosto (también llamada fermentación rápida) por acción de la levadura.

La concentración de oxígeno inyectado se realiza en la microcervecería en forma empírica, observando el burbujeo en el mosto lupulado en una mirilla conectada a la línea que lleva el mosto lupulado al tanque de fermentación; la inyección se lleva a cabo a una presión de 0.1kg/cm<sup>2</sup> en promedio. Esta operación favorece la viabilidad, la tolerancia al alcohol, la producción de biomasa y la síntesis de niacina y esteroides (lanosterol, ergosterol y zimosterol); estos últimos son determinantes para la síntesis de la membrana celular de la levadura.

Una concentración adecuada de oxígeno en el mosto para iniciar la fermentación es de 8-9 mg/L (valores de saturación) es decir 16.8 gramos para 2100 litros de mosto lupulado, el cuál es el volumen del lote problema a producir.

En el caso de la macrocervcería la aireación del mosto se realiza por medio de otros equipos, desde plantas de aireación empleando pipas Venturi ó empleando mezcladores estáticos, hasta mezcladores de centrifuga. Hoy en día comúnmente se utilizan plantas de aireación empleando pipas Venturi con una serie de deflectores para aumentar la turbulencia del líquido y así eficientar la disolución del oxígeno en el mosto.

En el caso de absorción de gases en líquidos como el mosto lupulado mediante burbujeo de gas, la resistencia total está representada por la película del líquido. La concentración de oxígeno cuando se logra la concentración de saturación en el líquido es  $C^*g$  (8-9 mg/L), y la concentración del oxígeno en el seno de la solución es  $CL$ , la cuál puede tener un valor entre 0 y  $C^*g$ . Es posible, por lo tanto, tener un coeficiente de transferencia de oxígeno en la fase líquida,  $kL$  y un área interfacial  $a$ ; sustituyendo todos estos parámetros expresados por unidad de volumen tenemos:

$$Na = kL a (C^*g - CL)$$

Donde :

**Na** = Velocidad total de transferencia de oxígeno por unidad de volumen.

**kL** = Coeficiente de transferencia de oxígeno en la fase líquida.

**a** = Area interfacial.

**$C^*g$**  = Concentración de oxígeno en el líquido saturado. (8-9 mg/L)

**CL** = Concentración del oxígeno en el seno de la solución.

Quando se evalúa la transferencia de oxígeno en la fermentación del mosto lupulado es necesario calcular las resistencias a la transferencia que encuentra el oxígeno antes de llegar a la célula de la levadura.

En el mecanismo total de la transferencia se consideran los siguientes factores: la transferencia difusional del oxígeno a través de las películas de gas y líquido que rodean las burbujas de aire, la migración en la solución a través de la película de líquido que rodea a la célula, y la transferencia del oxígeno al interior de la misma.

## 6.19. OBTENCIÓN DE LA LEVADURA MADRE.

La levadura para la elaboración de cerveza generalmente viene en tres presentaciones: liofilizada, líquida, o sembrada en un tubo de ensayo con agar inclinado.

A continuación se explicará como estas fuentes pueden proveer una adecuada cantidad de levadura para inocular en forma óptima :

**I. Levadura liofilizada.** La mayoría de los paquetes de levadura liofilizada son vendidos para microcerveceras, los cuales contiene 7 gramos de levadura, y algunos contiene hasta 15 gramos. Aproximadamente estos paquetes contienen una cantidad de  $20 \times 10^9$  células por gramo de material seco.

La levadura liofilizada no es la mejor presentación con relación a la viabilidad de las células, dado que se puede tener 10. a 20 % de viabilidad como máximo.

**II. Levadura líquida.** Los cultivos líquidos ofrecen al cervecero una variedad muy extensa de levadura fresca de la cual puede escoger. Existen dos presentaciones de cultivo líquido que ofrece el mercado para la microcervecera. En una los paquetes incluyen la levadura y un mosto esterilizado denominado "mosto iniciador ó *starter*", los cuales son mezclados para incrementar la viabilidad y la cantidad total de células y hacer una levadura lista para inocular en el lote a producir. La segunda presentación incluye solo la levadura en un medio líquido, y el cervecero debe realizar su propio mosto iniciador o *starter* para preparar su levadura para inocular.

Existen actualmente marcas comerciales de laboratorios que venden levadura líquida desde hace varios años, estando entre los más importantes los siguientes:

- Hefebank Weihenstephan, 0850 Freising, Alemania
- Versuchs und Lehranstalt für Brauerei in Berlin, Seestraße 13, 1000 Berlin, Alemania
- Wyeastlab, Oregon, E.U.A [www.wyeastlab.com](http://www.wyeastlab.com)
- J.E. Siebel Son's Company Inc., 4055 West Peterson Ave. Chicago, IL 60646 USA

Estos proveedores ofrecen en sus productos un mínimo de  $2.5 \times 10^9$  células por paquete al ser abierto el mismo.

**III. Levadura por siembra.** Esta levadura es obtenida a partir de una siembra en un tubo de ensayo con agar inclinado. La levadura desarrollada sobre la superficie del agar, puede ser fácilmente almacenada y transportada.

A partir de un tubo con agar inclinado se obtiene una cantidad de  $50 \times 10^6$  ufc/mL en un mosto iniciador ó *starter*.

## 6.20. INOCULACIÓN DE LA LEVADURA.

Primeramente se inocula la levadura en el tanque de fermentación o en línea durante la transferencia del mosto lupulado enfriado hacia el fermentador; en esta etapa se debe tener cuidado, ya que se tiene que realizar en condiciones de asepsia dado que esta etapa del proceso es muy propensa a ser contaminada por microorganismos de los género *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Obesumbacterium*, *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Enterobacter*, *Zymomonas*, *Pectinatus* y levaduras silvestres.

Se ha observado que cada una de estas bacterias tiene preferencia por una etapa del proceso. Así, el género *Lactobacillus* puede encontrarse en el mosto durante la maceración y la fermentación y etapas posteriores del proceso causando turbiedad, y aumento de viscosidad por producir un velo tixotrópico compuesto por unidades de glucosa, manosa y ácidos nucleicos. El género *Pediococcus* se desarrolla en el mosto lupulado, en la fermentación, en la maduración y en el embotellado dando un aumento de acidez, turbiedad y pérdida de sabor. El género *Obesumbacterium* puede desarrollarse durante el enfriamiento del mosto, confiriéndole un sabor a la cerveza de chirivía (olor y sabor muy parecido al pepino). El género *Enterobacter* produce en el mosto sabores semejantes al apio, calabaza cocida y a sulfhídrico, se desarrolla principalmente en el mosto lupulado y al principio de la fermentación. El género *Zymomonas* es el género bacteriano más importante como contaminante durante el proceso de la elaboración de la cerveza, sus productos secundarios como el acetaldehído y el ácido sulfhídrico constituyen un problema serio, ya que ocasionan en la cerveza un sabor y aroma a manzanas podridas. Este género es encontrado comunmente durante la fermentación hasta el embotellado en la producción de cerveza. Las bacterias productoras de ácido acético se desarrollan en el mosto o en la cerveza, sobre todo cuando estos se exponen al aire libre durante el proceso. Estos microorganismos no se ven afectados en su crecimiento por la disminución del pH durante la fermentación y tampoco se afecta su desarrollo por la presencia de los antisépticos del lúpulo y mucho menos por el alcohol ya que consituye su fuente de carbono para su metabolismo. Los principales exponentes de este grupo de bacterias son los géneros *Gluconobacter* y *Acetobacter*, el primer género causa un aumento de acidez, pérdida de sabor en la cerveza y turbiedad por la formación de películas gruesas de celulosa. El segundo género requiere poco aire para desarrollarse y provoca una viscosidad en la cerveza debido a la formación dextranas. El género *Pectinatus* se desarrolla en cerveza almacenada o

embotellada, formando cantidades considerables de ácido sulfhídrico, acético y propiónico que aumentan la acidez de la cerveza.

Existe también otro tipo de microorganismos ajenos a la producción de la cerveza que provocan alteraciones del producto en las diferentes etapas de su elaboración como son las levaduras silvestres. Algunas de éstas son del género *Saccharomyces cerevisiae* o de otras especies del mismo género; otras pertenecen a los géneros *Candida*, *Pichia*, *Hansenula* o *Torulopsis*. Estos géneros de levaduras silvestres son encontradas durante la fermentación y maduración hasta el embotellado de la cerveza, provocando bouquets y aromas anormales o turbiedad difícil de eliminar y algunas producen velo en la superficie del líquido.

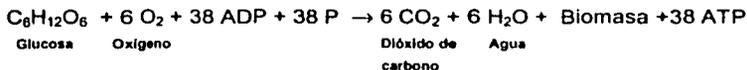
La inoculación de la levadura se realiza de la siguiente manera en la microcervecería: La levadura se puede transportar de un tanque fermentador en el cual se realizó una fermentación previa al tanque en el cual se realizará la fermentación del nuevo lote. Este proceso es denominado inoculación por "slurry" y se realiza por medio de una manguera previamente sanitizada, dicha manguera se encuentra conectada a la salida del primer tanque y se dirige hacia la entrada del segundo tanque ó tanque fermentador asignado para la fermentación. Otra forma de inoculación es por medio de cubetas o garrafones donde se transfiere la levadura; estos envases son lavados previamente con ácido peracético (2-3%) ó ácido fosfórico (3-4%), ya que las bacterias no pueden resistir esas concentraciones, además no afecta la salud del consumidor, según lo establecido por la F.D.A. (Food and Drugs Administration). Este método es muy riesgoso, ya que la levadura se puede contaminar, por lo que debe realizarse rápidamente y con el mayor cuidado posible, es decir con buenas prácticas de manufactura.

Es importante mencionar que el tanque es previamente sanitizado, aunque esto se comentará, más adelante.

En el caso de la macrocervecería se realiza la inoculación con la levadura al mismo tiempo que se bombea el mosto lupulado enfriado al tanque de fermentación, es decir, que ambos son inyectados por presión positiva en línea al mismo tiempo con sus relaciones correspondientes de mosto lupulado e inóculo de levadura.

En algunas macrocervecerías utilizan en la inoculación del mosto enfriado un método auxiliar denominado "Draufflassen", el cuál consiste en inocular el mosto aireado en un 50 a 75% del volumen total del fermentador, este se deja fermentado en un periodo de 8 a 12 horas permitiendo la realización de la fase de adaptación y la fase lag o fase de aceleración de la curva de crecimiento de la levadura. En la fase adaptación no se observa ningún crecimiento de la levadura ya que esta reajusta sus sistemas enzimáticos por el consumo rápido del oxígeno presente en el mosto para tener la síntesis de ácidos grasos insaturados (ergosterol principalmente) y empieza a consumir los azúcares fermentables (glucosa, fructosa, maltosa, isomaltosa)

y aminoácidos esenciales (arginina, asparagina, ác. aspártico, glutamina, lisina, serina, trionina), posteriormente inicia la fase lag donde el metabolismo de la levadura es realizado en forma más rápida y generando biomasa (2 a 3 veces del volumen original), en ese momento se adiciona mosto fresco para acabar de rellenar el volumen total del fermentador provocando así una fermentación eficiente en menor tiempo. Sin embargo este procedimiento se debe de cuidar la concentración de oxígeno presente en la adición del segundo mosto ya que la levadura se encuentra en condiciones anaeróbicas, lo que podría provocar una alteración en las células de levadura, que comunmente se presenta en una enlongación de las mismas, como también se puede generar durante la fermentación un suceso denominado "*Efecto Pasteur*", el cuál consiste en que en presencia de oxígeno en estado de anaerobiosis (fermentación), la levadura renueva el proceso de respiración en el que produce biomasa, agua y CO<sub>2</sub> por el consumo de oxígeno sin generar alcohol de la siguiente forma:



Otro aspecto a considerar es que debido a las características de este método es necesario tener una producción continua de cerveza, ya que si se realiza en forma periódica se tendría que realizar dos lotes en forma independiente para la realización de este método siendo contraproducente en referencia a los gastos de inversión.

También en la etapa de inoculación, la macrocervecería utiliza comunmente agentes antiespumantes, esto con el objetivo de abatir la espuma generada por el mosto lupulado fermentado por la levadura, ya que la espuma reduce el capacidad neta del tanque siendo así una perdida importante de volumen de cerveza que puede ocuparse en dicho espacio.

Los agentes antiespumantes utilizados en la macrocervecería pueden ser de varios orígenes pero comunmente los más utilizados son aceites de polisiloxano, y sales como esterato de calcio y palmitato de magnesio. Cabe señalar que estos agentes antiespumantes no alteran la actividad metabólica de la levadura, ni las características sensoriales del producto terminado, ya que estos son adsorbidos por la levadura al final de la fermentación.

Regresando a la inoculación comunmente se usa un valor estandarizado de 1 litro de levadura/hL de mosto lupulado aproximadamente; esta cifra es manejada para ambas micro y macrocervecerías; con base en esto podemos decir que para el lote producido de cerveza Graf Vienna, se utilizarán 21 litros de levadura por 2100 litros de mosto lupulado o 21 hectolitros. Como se puede apreciar, se considera 1% de levadura inoculada con respecto al volumen total de cerveza producido, la cuál debe tenerse una concentración mínima de células vivas de 12 a 18 x 10<sup>6</sup> ufc/mL para realizar una fermentación vigorosa. Cabe señalar que la relación del volumen del mosto lupulado y el volumen de

levadura es también determinada por el contenido y modificación del extracto del mosto lupulado en el lote producido y por último por el estado fisiológico y de salud de la levadura; por ello a continuación, se presentará el siguiente modelo para la comprensión de esta etapa del proceso.

**Cálculo de la población inicial de levadura en el mosto con base en la concentración de extracto** (Narziss, 1985).

Este modelo para el cálculo de la concentración inicial de levadura se desarrolló bajo la experiencia empírica y se practicó con gran éxito en la Universidad Técnica de München-Campus Weihenstephan en Alemania por el Dr. Emérito Ludwig Narziss, el cuál dice que la población de levadura en el mosto debe tener una concentración de aproximadamente  $1.25 \times 10^6$  células de levadura por mL de mosto por °P según la ecuación:

$$Y \text{ ufc/mL} = (1.25 \times 10^6) \cdot \text{°P}$$

Donde:

**Y ufc/ml** = Número de unidades formadoras de colonia/mL de levadura en mosto.

**°P** = Gravedad específica original del mosto en grado Plato.

Sustituyendo los valores de lote problema se tiene:

$$Y \text{ ufc/mL} = (1.25 \times 10^6) 13.8 \text{ °P} = 17.25 \times 10^6 \text{ ufc/mL}$$

Por lo tanto se requiere de un inóculo de  $17.25 \times 10^6$  ufc/mL para la fermentación de mosto del lote problema. Esto puede ser determinado tomando una muestra del inóculo y realizar un conteo microbiológico en placa.

Un factor muy importante y determinante es la selección de la cepa a utilizar; en el caso del lote problema propuesto, que es la cerveza Graf Vienna, se trata de una cerveza tipo *lager* por la cuál se usará una cepa de levadura para cervezas *lager*, es decir una cepa de *Saccharomyces carlsbergensis*, también llamada *Saccharomyces uvarum*.

Las diferencias de los dos tipos de levadura para la producción de cerveza estilo *ale* ó *lager* han sido comentadas en el capítulo 4, aunque es importante comentar las características más importantes de la cepa seleccionada para comprender su comportamiento y sus propiedades que serán reflejadas en su funcionamiento en la producción del lote problema.

Las características fundamentales que debe cumplir una levadura *lager* para producción de cerveza estilo Graf Vienna son:

- ✓ Producir un bajo contenido de diacetilo.
  - ✓ Tener una floculación media.
  - ✓ Tener un grado atenuación de 72 a 75%.
- Otra consideración que se debe de tomar para la inoculación de la fermentación es:

- **Manejo de la levadura.**

El manejo de la levadura en la cervecería en general, básicamente consiste de tres etapas:

**1.- Cosecha de la levadura.** Al término de la fermentación la levadura floculante deberá ser separada de la cerveza. La decisión para la reutilización de la levadura debe ser basada en lo siguiente:

- ✓ La levadura debe estar libre de contaminación.
- ✓ En la última fermentación la levadura debió respetar las características sensoriales de la cerveza producida.
- ✓ El número de veces que la levadura ha sido utilizada (máximo 13 veces, dependiendo el estado fisiológico de la levadura).

Una vez que la levadura ha sido separada de la cerveza es importante inocularla lo más pronto posible.

**2.- Almacenamiento de la levadura.** Es importante almacenar la levadura entre la cosecha y el siguiente inóculo en el menor tiempo posible, pero si se necesita almacenar la levadura, está será examinada y está sujeta a las siguiente condiciones:

- ✓ Enfriamiento de aproximadamente a 4°C.
- ✓ Exclusión del aire.
- ✓ Guardar la levadura en condiciones asépticas.

**3.- Inoculación de la levadura.** Para lograr las fermentaciones consistentes, es importante inocular la misma cantidad de levadura dentro en cada lote si se cambia la cantidad de inóculo se alterará la fermentación primaria y producirá cambios de sabores.

## **6.21. FERMENTACIÓN PRIMARIA (PRODUCCIÓN DE CERVEZA VERDE).**

Una vez transportado e inoculado el mosto lupulado al tanque de fermentación la levadura empieza a realizar la fermentación del mosto; en dicha fermentación la levadura fermenta los azúcares derivados del almidón principalmente maltosa, así como también azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa, transformándolos en alcohol y CO<sub>2</sub> principalmente.

Al ser generado el CO<sub>2</sub> en la fermentación, este gas va a ejercer una presión interna en el tanque por lo que se debe abrir una válvula de alivio (*airlock*) para la purga del mismo, de no ser así, la levadura por el mismo CO<sub>2</sub> que genera haría una condición de autoestrés y el tanque fermentador se deformaría por la gran presión interna generada por la fermentación, por esto la válvula se mantiene abierta durante todo el tiempo que dura la fermentación primaria, esta operación es denominada "Blow off". Posteriormente se cierra la válvula de alivio para retener el CO<sub>2</sub> generado en la fermentación secundaria, que se produce en menor proporción que en la primaria por la reducción de fuentes de carbono, aunque en esta etapa se debe mantener una presión constante (1 kg/cm<sup>2</sup>) que debe ser regulada con una purga del gas en forma continua.

Al ser abierta la válvula de escape del CO<sub>2</sub> al ambiente, se acostumbra en las microcerveceras colocar una trampa de I<sub>2</sub> con una cubeta la cual contiene una solución de yodo a una concentración al 2% para evitar la entrada de microorganismos contaminantes, dicha concentración respeta los límites máximos establecidos por la F.D.A.

La fermentación comienza desde el momento de la introducción del mosto lupulado al tanque de fermentación previamente inoculado con la levadura.

La fermentación primaria consiste en la fermentación donde se generará principalmente el contenido alcohólico o volumen alcohólico de la cerveza estipulado en la etiqueta, como también la formación de CO<sub>2</sub> en concentraciones considerables a partir de los azúcares fermentables que serán metabolizados por la levadura. Estos azúcares fermentables son metabolizados por la levadura según la ecuación de Gay Lussac:



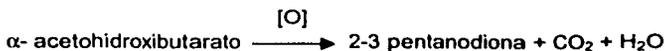
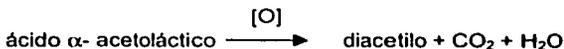
Esta ecuación muestra que la glucosa rinde pesos casi iguales de dióxido de carbono y etanol, además de liberar energía para su utilización en las actividades celulares. No toda la energía liberada puede ser utilizada de un modo coordinado y parte se disipa en forma de calor, consideración que ofrece importancia al llevar a cabo la fermentación a gran escala, siendo esto observado en la energía libre de Gibbs de la reacción teniendo un valor de -230 kJ. Este valor nos indica al ser negativo una pérdida de energía que es liberada al sistema por lo cuál es una reacción exotérmica catabolizada por la levadura.

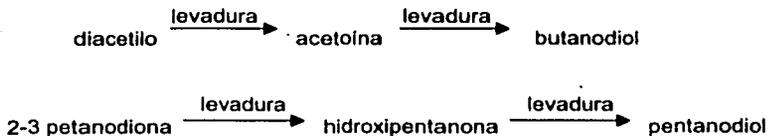
Es importante mencionar que las condiciones de tiempo, presión y temperatura durante todas las etapas de la fermentación son específicas de acuerdo al estilo de cerveza que se desea elaborar y de las propiedades sensoriales que desea el maestro cervecero lograr en su cerveza.

La fermentación primaria dura aproximadamente de 4 a 10 días. Para la cerveza estilo Graf Vienna, lote problema propuesto dura de 4 a 7 días aproximadamente, en los que la cerveza se mantiene a  $13 \pm 0.5^\circ\text{C}$  y 1 a 2 días a  $14-14.5^\circ\text{C}$ , éste último rango de temperatura es para eliminar el diacetilo y la 2-3 pentanodiona, compuestos generados durante la fermentación, los cuáles no son deseables a altas concentraciones en la cerveza (máximo 0.1 mg/L) por su contribución sensorial dándole sabores a mantequilla no deseados en cervezas *lager*, aunque sí en algunas cervezas estilo *ale*. Es importante mencionar que este tiempo de 1 a 2 días a  $14-14.5^\circ\text{C}$  es denominado "*periodo de eliminación de diacetilo*" y es comúnmente realizado a  $\frac{1}{4}$  partes de la disminución de la gravedad específica original del mosto a la gravedad específica final de la cerveza que se estableció originalmente de acuerdo al tipo de cerveza a producir, esto es para garantizar el estado metabólico de la levadura sea el óptimo permitiendo estar en la velocidad máxima en la fase exponencial de la curva de crecimiento de la misma. El diacetilo y la 2-3 pentanodiona son los compuestos más importante de aroma de la cerveza inmadura. Estos compuestos son referidos como dicetonas vecinales y dan un sabor a dulzor revoloteado, el cual en concentraciones altas es responsable de sabor a mantequilla en la cerveza.

En el interior de la levadura se produce el metabolismo de los azúcares asimilados por medio de la vía glicolítica de Embden-Meyerhof-Parnas, en la cual se transforma una molécula de glucosa (unidad de los azúcares fermentables) por dos moléculas de ácido pirúvico, éste a su vez sufre una descarboxilación formando una molécula de acetaldehído en relación ácido pirúvico/acetaldehído 1:1. Posteriormente el acetaldehído puede seguir dos vías, siendo la primera a la formación de una molécula de alcohol o la segunda en la formación de una molécula de ácido  $\alpha$ -acetoláctico y  $\alpha$ -hidroxibutirato. El ácido  $\alpha$ -acetoláctico es formado para la síntesis del aminoácido valina, mientras el  $\alpha$ -hidroxibutirato es formado para la síntesis de isoleucina.

El ácido  $\alpha$ -acetoláctico y el  $\alpha$ -acetohidroxibutirato sufren una descarboxilación oxidativa de origen químico produciendo dicetonas vecinales (diacetilo y 2-3 pentanodiona) durante las 24 horas siguientes a la inoculación de la levadura, estos compuestos son absorbidos nuevamente por la levadura, la cuál realiza una reducción de los mismos, transformandolos a acetolína e hidroxipentanona y posteriormente a butanodiol y pentanodiol respectivamente; compuestos que no alteran las propiedades sensoriales de la cerveza a producir. A continuación se expresan las reacciones comentadas:





La exclusión de diacetilo y 2-3 pentanodiona es dependiente de la temperatura e incrementa en forma considerable con el incremento de la misma. Por lo tanto, al aumentar la temperatura a 14-14.5 °C se favorece la eliminación de estos compuestos.

Este comportamiento está basado en la ley de Arrhenius sobre las velocidades de reacción, el cual está expresado como:

$$K = A e^{-E_a/RT}$$

Donde:

- K** = Velocidad de reacción.
- A** = Constante de proporcionalidad.
- E<sub>a</sub>** = Energía de activación.
- R** = Constante de los gases.
- T** = Temperatura.

Como podemos observar, este modelo propone que al aumentar la temperatura del sistema, la velocidad de reacción aumenta. Esto es lógico si definimos a la temperatura como el promedio de las energías cinéticas de las moléculas de un cuerpo, por lo que al aumentar la misma provoca un aumento de la velocidad de reacción.

Cabe señalar que es importante controlar la temperatura en el periodo de eliminación de diacetilo ya que si excede de los parámetros establecidos puede desviarse las rutas metabólicas presente de la levadura, siendo favorecido la formación excesiva de aldehídos a partir de aminoácidos presentes en el medio por el mecanismo de Erlich en el cuál se generará una desaminación, descarboxilación y reducción de dichos aminoácidos. Estos aldehídos obtenidos a partir de los aminoácidos a su vez formarán alcoholes superiores denominados "Aceites fusef" los cuáles pueden exceder su concentración a valores mayores de 60-90 mg/L y ésteres 60 mg/L (concentraciones óptimas para una cerveza Graf Vienna). Otra ruta metabólica que se puede favorecer al no controlar la temperatura en el periodo de eliminación de diacetilo es la formación de ésteres a partir de la esterificación de ácidos grasos por etanol y también en pequeñas cantidades por esterificación de alcoholes superiores.

Al terminar esta fermentación, el producto es considerada como cerveza, joven denominada "cerveza verde". Esta etapa es monitoreada a través del cambio de densidad, que se mide con un hidrómetro, el cuál se expresa en peso específico ó en grados Plato (°P). La intención de monitorear la fermentación es observar su comportamiento y establecer el momento en que se llega a la atenuación límite de la levadura.

En la fermentación primaria la cantidad de CO<sub>2</sub> generada es muy grande y reprime la actividad de la levadura impidiendo una fermentación primaria óptima; además, la pureza del CO<sub>2</sub> obtenido en esta etapa no es alta por la presencia del aire en el interior del tanque que fue atrapado durante la introducción del mosto lupulado hacia el fermentador por lo cual se debe realizar el purgado del mismo hasta obtener una mayor pureza del CO<sub>2</sub> para posteriormente utilizarlo en la carbonatación.

En la macrocervecería la cantidad de CO<sub>2</sub> generada es muy grande por los volúmenes industriales que se manejan, por lo que se vende a industrias de bebidas refrescantes, además de utilizarlo en la carbonatación de la propia cerveza.

## 6.22. DETERMINACIÓN DE GRADO DE ATENUACIÓN.

Una palabra muy usada en cervecería es el "grado de atenuación". Esta palabra se usa para expresar la diferencia entre la gravedad específica original o extracto original del mosto antes de la fermentación, y la gravedad específica final después de fermentación, siendo un valor que refleja en forma indirecta el contenido de alcohol producido en relación al consumo de azúcares fermentables del mosto por la levadura durante la fermentación. Este valor se expresa normalmente en porcentaje. El grado de atenuación se calcula usando la siguiente fórmula:

$$AG = \frac{(E'-E) \times 100}{E'}$$

Donde:

**AG** = Grado de atenuación (%)

**E'** = Gravedad específica original en °P

**E** = Gravedad específica final en °P

Para el lote problema se sustituyen los siguientes valores:

$$E' = 1.056 = 13.8 \text{ °P}$$

$$E = 1.014 = 3.57 \text{ °P}$$

$$AG = \frac{13.8 - 3.5}{13.8} \times 100 = 74.13 \%$$

13.8

Por lo tanto tenemos un grado de atenuación de 74.13% para el lote problema propuesto de cerveza tipo Graf Vienna, estando este valor dentro de los parámetros establecido originalmente para este tipo de cerveza (valores reportados en la tabla 6.1)

## 6.23. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE ALCOHOL DE LA CERVEZA.

Un factor muy importante que el cervecero debe tener en consideración antes de realizar un lote de cerveza de un estilo definido como el lote propuesto en este capítulo es el contenido de alcohol presente en su cerveza. Por esto se propone una fórmula muy sencilla, la cuál puede predecir el porcentaje de alcohol en la cerveza. Cabe señalar que esta fórmula ofrece resultados aproximados a los reales, por lo que es aconsejable realizar la determinación del porcentaje de alcohol de la cerveza en un laboratorio bajo determinaciones válidas y estandarizadas mundialmente como también aprobadas por la legislación del país. La determinación de alcohol en bebidas alcohólicas carbonatadas en México se realiza eliminando el CO<sub>2</sub> mediante agitación previa y/o ultrasonido ya que este gas puede interferir en la determinación; posteriormente se destila la bebida y el contenido de alcohol se determina mediante un alcoholímetro.

La ecuación propuesta para la predicción del contenido de alcohol en la cerveza a producir es la siguiente:

$$AP = \frac{(0.8192) \times (OE-AE)}{2.0665 - (0.010665 \times OE)}$$

Donde :

AP = Porcentaje de alcohol (p/p).  
OE = Extracto original (°P).  
AE = Extracto final. (°P).

Susituyendo en la formula los valores de nuestro lote tenemos:

$$AP = \frac{(0.8192) \times (13.8 \text{ °P} - 3.5 \text{ °P})}{2.0665 - (0.010665 \times 13.8 \text{ °P})}$$

$$AP = 8.3880416$$

$$1.919323$$

$$AP = 4.366 = 4.4 \% p/p = 5.5 \% v/v$$

Por lo tanto podemos esperar a partir del valor de %p/p se puede obtener el contenido volumétrico de alcohol en tablas; para este caso el valor es de 5.5%v/v para la cerveza Graf Vienna propuesta. Con base a la tabla de las características de este tipo de cerveza (Tabla 6.1) cumple con la especificación reportada en la literatura.

## 6.24. FERMENTACIÓN SECUNDARIA (MADURACIÓN O REPOSO DE LA CERVEZA VERDE).

Al terminar de obtener 90-92% de la disminución de la gravedad específica original a la final se baja la temperatura de fermentación desde la temperatura del periodo de eliminación de diacetilo hasta 2 a 5 °C para cerveza *lager* y 4 a 10 °C para cervezas *ale*; esto depende del estilo de cerveza a producir, en el caso del lote propuesto de cerveza tipo Graf Vienna se maneja una temperatura de 3 a 5°C, esto es para disminuir la actividad metabólica de la levadura debido a que esta ya obtuvo casi en su totalidad la atenuación límite deseada, es decir ya realizó la transformación de todos azúcares fermentables presentes en el mosto en alcohol durante la primera fermentación dejando cierto contenido de extracto que será degradado por la levadura durante el reposo para garantizar un metabolismo óptimo durante esta etapa.

La duración de esta etapa es de 20 a 40 días dependiendo el estilo de cerveza a producir. Es de suma importancia para poder garantizar la fermentación secundaria de forma óptima tener presente una población de levadura de 3 a  $7 \times 10^6$  ufc/mL, como también se debe de realizar la disminución de temperatura del periodo de eliminación de diacetilo en forma paulatina con una relación de 1°C por día hasta llegar a la temperatura de maduración o reposo, esto es debido a que si realizará en forma súbita se provocaría un choque térmico a la levadura, dando como consecuencia la muerte de gran parte de la población celular de levadura ó realizando un daño irreversible en su estado fisiológico de células vivas que por ende alteraría su metabolismo teniendo como resultado una fermentación secundaria deficiente.

Para una cerveza estilo Graf Vienna siendo el lote problema propuesto se requiere un tiempo de maduración o reposo 20-28 días de maduración, siendo este valor reportado en la tabla 6.1.

También esta etapa es cerrada la válvula de alivio (*airlock*), haciendo que el CO<sub>2</sub> que sigue generando la levadura permanezca en el tanque, provocando la carbonatación y evitando una fermentación exhaustiva que puede provocar alteraciones al sabor producto. Esta segunda fermentación es

también conocida como maduración o reposo de cerveza verde (*lagerung*), dado que en esta fermentación ya no se obtienen cantidades importantes de etanol y CO<sub>2</sub>, sino que se realiza una serie de síntesis e interacciones de moléculas de origen orgánico e inorgánico, que van a contribuir las características sensoriales de la cerveza. Estas moléculas o compuestos son llamados compuestos congenéricos que contribuyen a las propiedades sensoriales de la cerveza, son básicamente compuestos volátiles con aroma, éstos son presentados en la tabla 6.13.

**Tabla 6.13.**  
**Compuestos congenéricos más importantes encontrados en la cerveza.**

Compuestos	Concentración mg/L	Aroma
✓ <b>Alcoholes superiores ó aceites de Fussel</b>		
2 – metil butanol	5 – 20	alcohol
2 – metil butanol	10 – 20	alcohol
3 – metil butanol	35 – 70	alcohol, plátano
2 – fenil etanol	10 – 40	rosas
✓ <b>Ésteres</b>		
Acetato de etilo	5 – 30	frutal, caramelo
Acetato de isobutilo	0.1	frutal, plátano
Acetato de isoamilo	0.5 – 2.5	frutal, plátano
Butirato de etilo	0.3	papaya, manzana
Hexonato de etilo	0.1 – 0.3	manzana, frutal
Dodecanoato de etilo	0.02	jabonoso estérico
Lactato de etilo	0.1 – 0.5	frutal, fresa
✓ <b>Ácidos orgánicos</b>		
Ácido butírico	0.2 – 0.6	rancio, queso
Ácido isovalérico	0.5 – 1.2	queso, lúpulo viejo
Ácido octanóico	3 – 10	aceitoso
Ácido dodecanóico	0.8	rancio
Ácido decanóico		
✓ <b>Diacetonas vecinales</b>		
Diacetilo	0.1	dulce, no placentero
Acetoína	3	frutal
✓ <b>Compuestos sulfurosos</b>		
Dimetilsulfuro	0.3 – 0.12	vegetales, musgo

Otros compuestos no volátiles que contribuyen al sabor de la cerveza son aminoácidos, péptidos, nucleótidos, fosfatos y trazas de iones metálicos

Otro aspecto por el cual se realiza esta segunda fermentación, tomando en cuenta las variables que se han modificado en relación a la primera fermentación, es evitar la autólisis, que se refiere a la digestión de células muertas por sus propias enzimas. Los productos de autólisis le dan a la cerveza sabores salados, amargos y aroma a levadura. Dicha autólisis depende de las condiciones en que está la levadura en el tanque de fermentación, como podría ser principalmente la disminución de fuentes de carbono (sustrato), por lo cual empieza a utilizar sus propios componentes como fuentes de carbono y de energía para su subsistencia.

En el caso de las microcervecías y macrocervecías este proceso es casi igual respecto al procedimiento, condiciones de fermentación y uso de equipo, que comúnmente es la misma tecnología, solo que difieren los volúmenes a producir. Ambos utilizan actualmente tanques tipo CCV's (cilindrocónicos) o también llamados unitanques que funcionan como tanques de fermentación y reposo en una sola unidad ofreciendo grandes ventajas a la producción de cerveza desde el punto de vista de contaminación microbiana, mejor control de proceso, ahorro de espacio y de gasto de energía por ende económico, aunque cabe señalar que aún en algunas macrocervecías y en mayor caso en microcervecías se utilizan tanques de fermentación abiertos y tanques reposo independientes.

Los fermentadores abiertos tienen grandes desventajas en el punto de vista tecnológico e higiénico en el proceso, esto es debido a que al estar al contacto la cerveza con el medio ambiente es más propensa a contaminarse por microorganismo ajenos al proceso, por lo que se debe realizar una remoción constante de la capa generada en la superficie del líquido formada por la espuma producida durante la fermentación. Cabe señalar que esta espuma acarrea una parte importante de isohumulonas del lúpulo por atracciones hidrofóbicas generadas entre las isohumulonas del lúpulo; hidrocaburos de carácter hidrofóbico y la fracción hidrofóbica de las glicoproteínas que constituyen la matriz de la espuma generada teniendo como resultado una disminución de unidades de amargor en la cerveza producida, por lo que se debe de considerar esta pérdida en la adición del lúpulo durante la ebullición del mosto.

Con respecto a los tanques de reposo tradicionales éstos son herméticos como un tanque CVV's protegiendo así a la cerveza de una contaminación microbiana y una fotooxidación por el contacto de la luz con la cerveza, aunque estos equipos ofrecen problemas en el proceso, como serían una mayor probabilidad de contaminación de la cerveza por el paso de la misma en la línea del fermentador hacia al tanque de reposo si no hay unas buenas prácticas de manufactura durante esta etapa del proceso, esto es aún más propenso a la contaminación microbiana en las microcervecías por tener mayor contacto manual del producto por la asepsia y armado de las mangueras

que fungen como líneas en esta etapa del proceso. Otro aspecto a considerar respecto a la transferencia de la cerveza de los fermentadores hacia los tanques de reposo es el gasto de energía generado por dicha transferencia, como también puede realizarse una oxidación de la cerveza debido a que si la transferencia es realizada de forma vigorosa puede provocar una agitación de la cerveza que da como consecuencia una oxigenación de la misma.

Regresando a la utilización de los tanques tipo CCV's ya anteriormente comentados contienen un sistema de enfriamiento por serpentines o son encaquetados en los cuales pasa el fluido de enfriamiento que es controlado automáticamente; dicho fluido de enfriamiento comúnmente es agua helada agua glicolada y/o amoniaco.

Con respecto a la capacidad de los tanques de fermentación y reposo en el caso de las microcervecías varían desde 10 hL hasta 1,000 hL de capacidad, en cambio, en las macrocervecías utilizan tanques de capacidad muy grande como podría llegar a ser hasta de 5,000 a 15, 000 hL.

En las microcervecías y en menor caso para las macrocervecías se utiliza a menudo un método auxiliar fermentativo denominado "*Kräusen*" (Coliflor en alemán), el cual consiste en la adición de cerveza verde ó joven en el punto máximo de la actividad metabólica de la levadura en la fermentación a cerveza que está en maduración ó reposo (*Jagerung*). Esta adición debe ser de 10 a 20% del volumen total de llenado del tanque de reposo. El estado de *Kräusen* de la cerveza es obtenido en un período de 60 a 72 horas posteriores a la inoculación del mosto, esto es observado en el aspecto físico de la espuma generada en la fermentación de la cerveza, la cuál tiene un aspecto de coliflor, por ello la atribución del nombre de este método, aunque cabe señalar que debe realizarse debidamente un conteo de células de levadura en la cerveza la cuál debe alcanzar un valor de  $60-80 \times 10^6$  ufc/mL para garantizar la velocidad máxima de crecimiento de la levadura.

Esta adición tiene varias intenciones pero principalmente el que contribuye a dar propiedades sensoriales a la cerveza dando un carácter delicado y fino a la misma, como también dar una mejor carbonatación por la fermentación de la cerveza en estado de *Kräusen* rico en contenido de extracto en relación a la cerveza en estado de maduración, por lo cual este método es considerado como un método auxiliar en la fermentación exclusivamente, pero actualmente es muy socorrido en las cervecías por la contribución que da en las propiedades de la cerveza, aunque se debe considerar que es un método energéticamente costoso.

La operación de fermentación está fundamentada en modelos matemáticos que se describen posteriormente:

Una vez que se dan las condiciones necesarias a la levadura, las células empiezan a crecer y a producir algunos metabolitos de interés. La transformación de nutrientes en células y productos se denomina metabolismo.

En un cultivo microbiano generalmente, todas las partes están sujetas a las mismas condiciones de temperatura, pH, concentración de nutrientes, etc. Se ha dividido el crecimiento en fases; las cuales reflejan cambios en la concentración de biomasa y metabolitos. Después de un periodo de adaptación (lag), el crecimiento ocurre a la máxima rapidez y finalmente cesa, ya sea por carencia de un nutriente o por acumulación de un producto inhibitorio o algún cambio en el ambiente fisicoquímico. Posteriormente de que la biomasa alcanza su máximo, aparece generalmente una fase estacionaria durante la cual la biomasa permanece constante; más adelante ésta disminuye como consecuencia del metabolismo de mantenimiento ó por autólisis de la misma.

La duración de la fase exponencial de crecimiento depende parcialmente de la concentración inicial del sustrato limitante; lo anterior implica que el cultivo pasa de un estado en el cual crece con exceso de sustrato a otro de carencia de sustrato, la cuál es la fase de retardo.

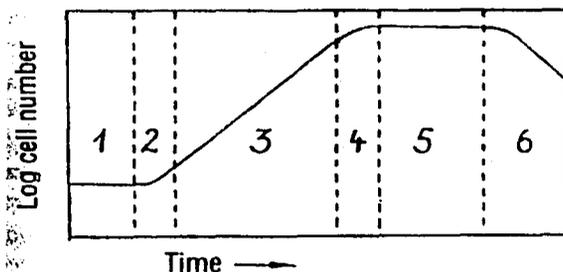


Fig.6.1 Curva de crecimiento de la levadura.  
 Time = Tiempo, Log cell number = Log número de células  
 1. Fase lag , 2. Fase de aceleración, 3. Fase exponencial, 4. Fase de retardo, 5. Fase estacionaria, 6. Fase de declinación.

Los estudios cinéticos son necesarios para entender el comportamiento de cualquier fermentación, y en general, consisten en la medición ó estimación de las velocidades de síntesis celulares, de formación de productos y de los efectos del medio ambiente sobre estas velocidades.

El crecimiento en una fermentación por lotes (batch) está limitado por la cantidad de sustrato suministrado inicialmente, como es el caso en la producción de cerveza por la utilización de mosto lupulado como fuente de sustrato por la levadura *Saccharomyces carlsbergensis* y puede ser expresado en términos de concentración celular  $X$ , de sustrato limitante  $S$  y de un inhibidor

I. También debe considerarse que las condiciones de temperatura, fuerza iónica y pH se establecen al principio de la fermentación, y es muy probable que varíen durante el transcurso de la misma, a no ser que se controlen externamente; lo anterior puede tener un efecto notable en el crecimiento celular. Un expresión general es:

$$\frac{dx}{dt} = f(X, S, I, T, pH, \dots \text{etc.})$$

Cuando el crecimiento microbiano en un cultivo por lote sólo está limitado por la cantidad inicial de sustrato como es el caso de la producción de cerveza, la curva de crecimiento puede expresarse en términos de los parámetros de crecimiento.

La ley de Malthus expresa que la velocidad de crecimiento ( $\Delta X/\Delta t$ ) es función de la concentración de biomasa.

**X**= Biomasa = Número de células.

**t**= Tiempo de crecimiento.

$$\ln X_t = \ln X_o + \mu t$$

**X<sub>o</sub>** = Biomasa inicial = inóculo

**X<sub>t</sub>** = Biomasa generada a un tiempo determinado.

**μ** = Velocidad específica de crecimiento. ( $\text{hr}^{-1}$ )

La  $\mu$  ( $\text{hr}^{-1}$ ) es obtenida como la pendiente de la gráfica  $\ln X$  vs  $t$  (hr), por lo tanto se debe de hacer la gráfica completa de curva de crecimiento y ahí se debe identificar la fase de crecimiento exponencial (log) para así poder calcular la velocidad específica de crecimiento ( $\mu$ ) y la cantidad de biomasa generada a un tiempo determinado ( $X_t$ ).

Existen tablas reportadas de las velocidades específicas de crecimiento de ciertos tipos de microorganismos donde se encuentra para la levadura *Saccharomyces carlsbergensis* de:

$$\mu = 0.26 \text{ hr}^{-1}$$

(Velocidad específica de crecimiento para *Saccharomyces carlsbergensis*, reportada por Hough J.S. 1990)

Retomando los datos del lote problema tenemos lo siguiente:

**V<sub>o</sub>** = 21 litros (Volumen inicial ó volumen de inóculo)

Un mL de levadura del inóculo contiene  $17.25 \times 10^6$  de células o UFC, por lo tanto.

$$21 \text{ L} \times \frac{17.25 \times 10^8 \text{ de células ó ufc}}{1 \times 10^{-3} \text{ L}} = 3.62 \times 10^{11} \text{ células o ufc} \\ \text{iniciales}$$

Sabiendo el volumen total de levadura (21 litros) y mosto en el tanque (2100 litros) expresamos la relación:

$$\frac{3.62 \times 10^{11} \text{ células ó UFC}}{2100 \text{ L}} = 17.25 \times 10^7 \text{ células ó ufc/L .}$$

**Por lo tanto:**

$X_0 = 17.25 \times 10^7$  células ó ufc/L (Concentración inicial de inóculo)

$t = 5$  días ( $13^\circ\text{C}$ - $14^\circ\text{C}$ ) = 120 horas. (Tiempo de fermentación)

$X_t = ?$  (Concentración total de levadura)

Sustituyendo nuestros datos del lote problema en la formula general despejada en forma lineal tenemos:

$$\ln X_t = \ln 17.25 \times 10^7 \text{ ufc/L} + (0.26 \text{ hr}^{-1})(120 \text{ hr})$$

$$\ln X_t = 18.965 \text{ ufc/L} + (31.2)$$

$$\ln X_t = 50.165 \text{ ufc/L}$$

$$X_t = e^{50.165} = 6.1148 \times 10^{21} \text{ ufc/L}$$

Ahora bien, considerando que este valor es por litro, el total de levadura en un volumen de 2100 litros totales contenidos en el tanque de fermentación es:

$$6.1148 \times 10^{21} \text{ UFC/L} \times 2100 \text{ L} = \mathbf{1.284 \times 10^{25} \text{ ufc ó células totales.}}$$

Por lo tanto se producen  $1.284 \times 10^{25}$  ufc ó células totales en la fermentación primaria del lote problema en un tiempo de 5 días ó 120 horas.

## 6.25.REMOCION DE TURBIEDAD DE LA CERVEZA EN MADURACIÓN (*CHILLPROOFING*).

Durante la maduración de la cerveza se generan turbiedades no deseables en la cerveza, las cuales son de diferente origen.

- I. **Turbiedad permanente (*Permanent haze*):** Esta turbiedad está caracterizada por uniones fuertes de tipo covalente en los cuales los atomos involucrados forman electrones disponibles para lograr un estado de energía más estable. Esta turbiedad surge invariablemente de errores técnicos en la elaboración de la cerveza. Lo más importantes son debido por el almidón no transformado a azúcares fermentables durante la maceración, como también por contaminación microbiológica durante todo el proceso, y por último por la extracción exhaustiva de  $\beta$ -glucanos durante la clarificación del mosto. La turbiedad permanente está clasificada en tres grupos:
  - ✓ **Turbiedad química:** Causada por la formación de oxalatos de calcio formados durante la fermentación por la interacción de iones calcio y ácido oxálico originario de la malta; este compuesto es también denominado "piedra de la cerveza".
  - ✓ **Turbiedad de carbohidratos:** Generada por la presencia de gomas formadas por  $\beta$ -glucanos presentes en la cerveza no degradados durante la maceración. Este carbohidrato es insoluble en frío ocasionando una inestabilidad coloidal de la cerveza.
  - ✓ **Turbiedad biológica:** Formada por contaminación de bacterias y levaduras salvajes anteriormente comentadas o por mutación de la levadura no presentando floculación durante la fermentación dando como consecuencia una distribución de ésta en todo el tanque provocando así una turbiedad considerable.
  
- II. **Turbiedad temporal:** Esta turbiedad está generada básicamente por la turbiedad en frío o también llamada "*Chill haze*" causada por la interacción de proteínas de alto peso molecular (fracción de hordeína proveniente de la malta) que contienen una alta proporción de aminoácidos hidrofóbicos, los cuales se combinan con los polifenoles principalmente antocianógenos y catequinas. Los complejos generados por esta interacción son solubles a altas temperaturas pero llegan a ser insolubles en frío por formación de puentes de hidrogeno debiles.

Esta turbiedad puede ser disminuida durante el proceso considerando los siguientes puntos:

- ✓ Seleccionando un método de maceración que permita un periodo de proteólisis óptimo (decocción) para obtener compuestos de origen protéico de bajo tamaño molecular.
- ✓ Seleccionado granos de bajo contenido protéico.
- ✓ Favorecer en la ebullición y en tanques *whirlpool* la remoción de complejos proteína-polifenoles en forma eficiente.
- ✓ Uso de agentes clarificantes en la ebullición y en la maduración de la cerveza.

Existen métodos y uso de agentes clarificantes que ayudan a la remoción de turbiedad temporal "*Chill haze*" y turbiedad biológica generada por levadura no floculante. Cabe señalar como anteriormente se ha comentado en la macrocervecería es generalmente utilizado este tipo de auxiliares en el proceso para efficientar el mismo, mientras que en las microcervecerías evitan la utilización de los mismos, esto debido a que éstas están apegadas a la ley de pureza alemana que no permite la utilización de ningún aditivo durante la elaboración de la cerveza, aunque esto no quiere decir que este nicho del mercado cervecero no esté exento de utilizar estos auxiliares en la elaboración de sus productos. A continuación se presentarán los métodos y los agentes clarificantes utilizados para la remoción de la turbiedad temporal (*Chill haze*) y turbiedad biológica provocada por la mutación de levadura no floculante:

**1. Sedimentación por gravedad.** Este método es el más utilizado a través de los años por los cerveceros, el cual consiste en disminuir la temperatura de la cerveza en maduración cerveza de -2°C hasta 3°C en un tiempo de 24 a 48 horas previas a la filtración de la misma, esto provoca la sedimentación de la mayor parte de la levadura suspendida no floculante y complejos proteína-polifenoles hacia el fondo del tanque de maduración. Este método es sencillo y eficiente para reducir la turbiedad, aunque se ha descubierto que tiene ciertas desventajas, esto debido a que se puede producir la autólisis de la levadura por ser sometida a las bajas temperaturas utilizadas en este método dando sabores objetables a la cerveza.

**2. PVPP (Polivinilpirrolidona) (Polyclar®).** Este agente clarificante consiste en un polímero insoluble en agua, con enlaces intermoleculares transversales por sus anillos de pirroles que contribuyen por su similitud estructural con la prolina (proteína endógena de la malta) la interacción con polifenoles formando puentes de hidrogeno generando así un complejo de gran peso molecular que tiende a sedimentarse generando así el efecto de remoción y clarificación deseado.

**3. Isinglass.** Este clarificante es extraído de la vejiga natatoria de peces tropicales de la familia *Polynemoidea* y *Siluridae*. Está constituido basicamente de colágeno, por lo tanto tiene largas cadenas polipeptídicas, las cuales se enrollan, formando una superhélice para constituir la

molécula proteica. Las cadenas polipeptídicas ofrecen frecuentes y acusados cambios de dirección, debido a la presencia de iminoácidos, prolina e hidroxiprolina adyacentes que se unen para formar la superhélice por puentes de hidrógeno. Tienen una carga neta global positiva, pero ofrecen regiones en las que la carga puede ser negativa. Este efecto ocasiona la interacción de proteínas y células de levadura, las cuales contienen cargas negativas en la solución que interactúan con las cargas positivas del clarificante provocando un complejo de alto peso molecular que al igual que el agente anterior éste tiende sedimentarse.

**4. Silica gel.** Este gel es obtenido acidificando silicato de sodio en forma controlada para obtener partículas esponjosas con una enorme área superficial, durante dicho proceso puede regularse la relación área superficial/volumen y tamaño de poro. Lo anterior da la posibilidad de tener diferentes preparaciones, desde hidrogeles que tienen un contenido de agua del 70% hasta xerogeles que se desecan hasta un contenido de agua de 30%. Estas silicas por sus características fisicoquímicas absorben las proteínas precursoras de los complejos proteína-polifenoles que generan la turbiedad temporal. Comúnmente la silica gel es utilizada en filtración por tierras diatomeas ya que se inyecta normalmente al flujo de la cerveza antes de llegar al filtro, la silica gel se mezcla rápidamente con la tierra filtrante sin alterar adversamente las características de la filtración, ya además continua adsorbiendo proteínas mientras permanece en el filtro.

## 6.26. FILTRACIÓN DE LA CERVEZA.

Después de haber realizado la maduración de la cerveza ésta es filtrada aunque existe sus excepciones de acuerdo al tipo de cerveza que se está produciendo, aunque invariablemente toda cerveza es actualmente filtrada o decantada de partículas ó impurezas generadas o acarreadas durante la elaboración de la cerveza como podrían ser residuos del lúpulo, de la levadura autolisada (células muertas), oxalatos de calcio, complejos proteínas-polifenoles, complejos orgánicos, etc. que pueden dar un aspecto físico a la cerveza estéticamente no deseable, como también pueden aportar atributos sensoriales que pueden enmascarar o dar efectos negativos a la cerveza. Otro objetivo de la filtración es la clarificación de la cerveza, esto depende del tipo de cerveza a producir ya sea de característica cristalina o no.

Los mecanismos o efectos mediante los cuales se lleva a cabo la filtración, son los siguientes:

- ✓ **Efecto de tamizado:** Esto quiere decir que todas las partículas de mayor tamaño que el diámetro de los poros del medio filtrante serán retenidas, y este efecto se mantendrá vigente hasta que los poros estén completamente tapados.

- ✓ **Efecto de profundidad:** Las partículas finas o de tamaño pequeño serán retenidas dentro de los canales formados, a través de la profundidad o espesor del medio filtrante.
- ✓ **Efecto de adsorción:** Las partículas finas que son mucho más pequeñas que el diámetro de poro de los elementos filtrantes, serán retenidas por efecto de adsorción, el cuál es originado por atracción electrostática entre el medio filtrante y el líquido turbio. Por ejemplo, se ha demostrado que las bacterias y levaduras que normalmente tienen carga negativa, son detenidas por la carga positiva de las fibras de asbesto.

La filtración a nivel microcervecero se realiza comúnmente por un filtro de marco de placas que se ajusta por acción mecánica comprimiendo una serie de filtros de celulosa; dichos filtros tienen diferentes tamaños de poro. La selección del tamaño de poro depende de las características del tipo de cerveza a producir y de las características del proceso, esto se refiere principalmente a la utilización de pasteurización del producto terminado, para este caso en la elaboración de cerveza no pasteurizada es utilizado comúnmente filtros de tamaño de poro de 0.5-1.0 micras (microfiltración) para garantizar la eliminación mayoritaria de microorganismos en la cerveza terminada, mientras en elaboración de cerveza pasteurizada se utiliza filtros de tamaño de poro de 3-5 micras. Para el lote propuesto de cerveza estilo Graf Vienna se utilizan 39 filtros de celulosa de tamaño de poro de 3 micras, este diámetro es muy fino dado que es importante que en la cerveza estilo Vienna no haya compuestos que den turbiedad al producto, dado que las cervezas *lager* tienen como característica ser cervezas translúcidas, cualidad que detecta a primera instancia el consumidor.

Es recomendable que antes de realizar la filtración de la cerveza se disminuya la temperatura del tanque de maduración o el tanque cilíndrico (CC'V) 24 a 48 horas antes a una temperatura de -2 a 3 °C. Esto como anteriormente se ha comentado es para provocar la sedimentación de la levadura por gravedad por baja temperatura, para que al momento de la filtración disminuya el paso de la misma al filtro. También se provoca la precipitación de partículas no deseables de gran tamaño molecular, principalmente lo que se conoce turbios fríos (*Chill haze*) formados por los complejos polifenol-proteicos que puedan obstruir seriamente los filtros, y como consecuencia, hacer que el paso de la cerveza por el equipo de filtración sea muy lento ó casi nulo.

La operación de la filtración de cerveza por medio de filtro de marco de placas inicia por la asepsia previa de las líneas de paso que conectan el tanque de maduración ó tanque cilíndricos (CC'V) hacia el sistema de filtración y posteriormente hacia el tanque de gobierno o "*Serving*". Esta operación involucra la asepsia los filtros de celulosa u otro material filtrante que son insertados en el equipo de filtración, dicha asepsia se realiza en las microcerveceras comúnmente por medio de introducción de agua caliente de 85 a 93 °C, que además lava los filtros que pueden contener impurezas y

posteriormente estos son enfriados por agua fría o a temperatura ambiente previamente purificada para no provocar un cambio de temperatura brusco a la cerveza que puede alterar las propiedades sensoriales de la misma.

Antes de transferir la cerveza filtrada hacia el tanque de gobierno o tanque "*Serving*" éste debe ser previamente saturado con CO<sub>2</sub> en su interior ya que en esta etapa del proceso es sumamente dañino el contacto de oxígeno para la calidad de la cerveza, ya que el oxígeno presente en el interior del tanque puede provoca la oxidación de la cerveza filtrada dando como resultado una alteración de sus propiedades sensoriales como también la reducción de la vida útil "*Shelf life*" del producto terminado. Esta saturación es realizada mediante la introducción del CO<sub>2</sub> desde la parte inferior del tanque; éste gas al ser más denso que el oxígeno empuja a éste hacia la parte superior del tanque al mismo tiempo se abre la válvula de alivio del tanque de gobierno para poder liberar el oxígeno presente. A nivel microcervecero es realizado empíricamente por medio del picador que genera el CO<sub>2</sub> en el olfato.

Otra operación a realizar antes de iniciar la filtración de la cerveza es la interconexión de las salidas de CO<sub>2</sub> del tanque de maduración o reposo y el tanque de gobierno o "*Serving*" para dar un equilibrio de presiones entre ambos tanques para cuando se realice el bombeo no se genere succión de aire en el tanque de maduración que impida el paso del fluido hacia el sistema de filtración y de forma más importante evitar que el tanque de maduración se colapse siendo esto una pérdida del equipo.

Teniendo la línea de transferencia del tanque de maduración-sistema de filtración-tanque de gobierno en condiciones de asepsia, como también la saturación de CO<sub>2</sub> en el interior del tanque de gobierno o "*Serving*" se procede a la operación de la filtración de cerveza por medio del bombeo de la cerveza a hacia el sistema de filtración y posteriormente hacia el tanque de gobierno o "*Serving*". En esta operación debe ser controlada la presión generada por el flujo de la cerveza hacia los filtros con una diferencia de presión entre la entrada de la cerveza hacia los filtros y la salida de la cerveza de los mismos de 1 a 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, ya que si excede ésta diferencia de presiones puede provocar la obstrucción de los poros del filtro de celulosa por el taponamiento de éstos por la aglomeración de levadura o partículas de proteínas-polifenoles principalmente, este fenómeno es denominado "*fouling*", por lo que el paso de la cerveza sería muy lento hasta llegar a ser nulo.

Una vez terminada la filtración de la cerveza, los filtros de celulosa utilizados en el equipo de filtración de marco de placas deben ser excluidos del sistema de filtración y tratados para que no provoquen ninguna contaminación ambiental posteriormente cuando son desechados.

En el caso de las macrocerveceras el proceso de filtración es realizado con otro tipo de tecnología más avanzada, que ofrece mayor rendimiento en el proceso y menor pérdida del producto elaborado. Los equipos utilizados por la

macrocervecería son básicamente sistemas por filtración con infusorios (tierras diatomeas), pulpa (celulosa) ó por discos de membrana.

La operación de filtración de cerveza está determinado por el siguiente modelo matemático:

$$Nw = (\Delta P - \Delta \pi) Aw$$

$$Nw = \text{Flux de permeado (kg/s} \cdot \text{m}^2)$$

$$\Delta P = \text{Diferencia de presiones (kg/cm}^2)$$

$$Aw = \text{Permeabilidad de la membrana al permeado. (kg/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm)}$$

$$\Delta \pi = \text{Diferencia de presión osmótica (kg/cm}^2).$$

Este modelo pretende establecer un equilibrio de la velocidad del fluido ó flujo de la cerveza con respecto a la resistencia generada por los filtros de membrana, presión osmótica del sistema, y la concentración de polarización ó retorta de filtrado, es decir la concentración de gel ó retorta que permanece en la superficie del filtro de membrana que ofrece resistencia al flujo del líquido en este caso la cerveza, y que posteriormente provoque una saturación del mismo dando así un taponamiento ó *fouling*, impidiendo el paso del fluido a través de la membrana. Cabe señalar que son varios factores que contribuyen al comportamiento de esta operación, por lo cual la ecuación requiere de multiples variables involucradas en dicha operación; aunque aquí se expone la ecuación casi completa en forma práctica para la resolución de esta operación unitaria se consideran las variables más determinantes de la misma.

Introduciendo a esta ecuación los datos propuestos para la elaboración del lote problema para la producción de cerveza Graf Vienna obtenemos lo siguiente:

$$\Delta P = 1.5 \text{ Kg/cm}^2 = 21.335 \text{ psi}$$

$$Aw = 1.37 \times 10^2 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm}$$

$\Delta \pi$  = La presión osmótica es sumamente pequeña por lo que se considera despreciable en estas condiciones.

Sustituyendo estos datos a la ecuación propuesta obtenemos:

$$Nw = (21.335 \text{ kg/cm}^2)(1.37 \times 10^2 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm}) (1 \text{ atm}/14.69 \text{ psi})$$

$$Nw = 0.019897 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2 = 0.0199 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$$

Para saber el volumen de cerveza filtrada es necesario dividir el resultado por la densidad de la cerveza del lote problema (1.014 kg/L) . Por lo tanto tenemos:

$$\frac{0.0199 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2 \times 3600 \text{ s/1h}}{1.014 \text{ kg/L}} = 70.65 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$$

$$1.014 \text{ kg/L}$$

Como podemos observar se requiere una velocidad de fluido ó flujo de 70.65 L/h·m<sup>2</sup> para obtener el mayor rendimiento de la filtración del lote problema.

La facilidad relativa de filtración de un líquido, dependerá no solamente de la cantidad de sólidos presentes (en algunas cervezas el contenido llega a ser hasta del 5%), sino también de las características de los sólidos en suspensión como son: el tamaño individual de las partículas (en cerveza van desde 0.5 a 100 micras), solidez de las partículas (blandas y dúctiles como la levadura, hasta duras como los cristales de oxalato), y el comportamiento de las partículas ya sea por la tendencia a conglomerarse o a sedimentar.

## 6.27. CARBONATACIÓN DE CERVEZA TERMINADA EN TANQUE DE GOBIERNO O "SERVING".

Teniendo la cerveza en el tanque de gobierno o "Serving", la cerveza tiene un bajo contenido de CO<sub>2</sub> parcial por lo cuál se le debe de inyectar CO<sub>2</sub> de forma externa para poder dar la carbonatación ideal para el tipo de cerveza a producir.

La carbonatación consiste en impregnar con CO<sub>2</sub> a la cerveza fría hasta su saturación parcial, ya sea por medios mecánicos, o como resultado de una fermentación secundaria. La carbonatación realza el sabor de la cerveza y es necesaria para una apropiada formación de la espuma. También se sabe que el contenido de gas actúa como antiséptico suave que ayuda en la estabilización y preservación del sabor de la cerveza en su vida de anaquel.

La presencia de CO<sub>2</sub> tiende a promover suavidad de sabor en la cerveza. La carbonatación excesiva puede provocar una homogeneización sin redondeo de los sabores esenciales en las características sensoriales del producto, siendo más notable en los compuestos volátiles del lúpulo que son reprimidos por dicha carbonatación excesiva.

La solubilidad del CO<sub>2</sub> en cerveza se basa en la ley de Henry, que rige la solubilidad de los gases en líquidos y establece que la solubilidad de un líquido es directamente proporcional a la presión que ejerza dicho gas sobre el líquido, a temperatura constante. O sea que a una misma temperatura, a mayor presión parcial de CO<sub>2</sub>, mayor será su solubilidad en la cerveza. La solubilidad de los

gases es afectada también por la temperatura y su variación es inversamente proporcional a la temperatura del líquido, por lo tanto un incremento en ésta, ocasionará una disminución en la solubilidad del CO<sub>2</sub>. De lo anterior se deduce que para mantener el nivel de carbonatación deseado, es necesario fijar las condiciones de presión y temperatura apropiadas.

El contenido de CO<sub>2</sub> disuelto puede ser expresado como volúmenes de gas (vol) el cual está expresado como:

**1 vol = 1L de CO<sub>2</sub> por litro de cerveza**

La carbonatación de la cerveza puede ser realizada por los siguientes métodos:

- ✓ **Carbonatación por fermentación secundaria:** Consiste en transferir la cerveza antes de que termine la fermentación primaria, para tener aún extracto fermentable de 0.5 a 1.0 °P. El tanque de maduración se mantiene con una contrapresión de 12 a 15 psi de CO<sub>2</sub>. La fermentación del extracto remanente generará el suficiente gas carbónico para saturar la cerveza hasta el valor de equilibrio (aprox 2.7 vol de CO<sub>2</sub> a la contrapresión mencionada) que dependerá de la temperatura; a una más baja temperatura se tendrá un mayor contenido de CO<sub>2</sub>.
- ✓ **Carbonatación por "Kräusen":** Como fue explicado consiste en mezclar la cerveza fermentada con mosto en estado de *Kräusen* para efectuar una segunda fermentación a baja temperatura.
- ✓ **Carbonatación por acondicionamiento en barril o "Priming":** Es usada en cerveza de barril y consiste en adicionar un porcentaje bajo de levadura y mosto fresco o azúcares fermentables a la cerveza contenida en el barril, antes de sacarla de la cervecería para realizar una carbonatación natural por la fermentación del porcentaje de mosto adicionado.
- ✓ **Carbonatación en línea:** Durante la transferencia de la cerveza a través de la línea hacia el sistema de envasado se inyecta CO<sub>2</sub> a la cerveza con un difusor de acero inoxidable. El difusor crea burbujas muy finas de CO<sub>2</sub> (10 a 100 micras) que ingresan fácilmente dentro de la solución, siempre que la cerveza no esté saturada de CO<sub>2</sub>. A veces se coloca una restricción o venturi en la línea inmediatamente después de la inyección, para crear una alta presión momentánea y acelerar el ingreso del CO<sub>2</sub> dentro de la solución.
- ✓ **Carbonatación en tanque:** Mientras la cerveza está almacenada en el tanque de gobierno o "serving", puede inyectarse CO<sub>2</sub> a través de un difusor que está en el fondo del tanque, hasta que se alcance una contrapresión dada. Este sistema se denomina "*Lamsen o de Piedra*". Puede alcanzarse el equilibrio más fácilmente si se deja escapar una cierta cantidad de CO<sub>2</sub>

por la parte superior del tanque arriba y ayudando a la eliminación de oxígeno y de sustancias que dan aroma indeseable.

A nivel de microcervecería esta operación es realizada por carbonatación en tanque por medio de la utilización de sistema *Lamsen*, ya anteriormente comentado, consiste en la utilización de una vela porosa de cerámica localizada en la parte inferior del tanque para la distribución óptima del CO<sub>2</sub> en el interior del mismo. El CO<sub>2</sub> es suministrado por tanques de estación o independientes de varias capacidades de acuerdo a la cantidad de CO<sub>2</sub> requerido, los cuales van desde 10 kg hasta 70 kg el cual se inyecta a 1 kg/ cm<sup>2</sup> de presión. En el caso de las macrocervecerías se realiza la carbonatación de la misma forma aunque también es muy socorrido la carbonatación en línea.

Para fines prácticos existen tablas reportadas del contenido de CO<sub>2</sub> en solución con base en la presión y temperatura; en este caso la solución es la cerveza. Cabe señalar que es muy importante que la carbonatación se realice a 0°C o menos, dado a que es la temperatura de solubilización máxima del CO<sub>2</sub> en un líquido.

Para el lote de cerveza Graf Vienna se desea tener un volumen de CO<sub>2</sub> de 2.5-3.5 para lograr la carbonatación óptima del producto y tenga una de las características genuinas del mismo.

Se ha reportado que se requiere de un mínimo de tiempo de carbonatación de 1 hora para lograr una óptima solubilización homogénea del CO<sub>2</sub> en la cerveza en todo el tanque, independientemente de la capacidad del mismo, siempre y cuando se respete la carbonatación requerida de acuerdo a la temperatura del producto.

Para el lote problema se tiene que al buscar el valor requerido en la tabla reportada por Zahm & Nagel (Tabla 6.14) a una temperatura de 0 °C (32 °F) para una presión de 0.913 kg/cm<sup>2</sup> (13 psi), se obtiene un valor de 3.01 volúmenes de CO<sub>2</sub>, siendo un valor intermedio del rango requerido de carbonatación para este tipo de cerveza (valor reportado en la tabla 6.1).

La determinación de CO<sub>2</sub> en la cerveza terminada es realizada bajo las legislaciones mexicanas e internacionales (AOAC) por medio de la enzima anhidrasa carbónica, enfriando la cerveza a 0 °C o temperaturas inferiores para no tener pérdida de CO<sub>2</sub>; posteriormente es adicionada una alícuota de la cerveza en solución alcalina y se agrega la enzima que es titulada con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 N.

Para fines prácticos la determinación y monitoreo de la concentración del CO<sub>2</sub> presente en la cerveza son realizados en la macro y microcervecería por medio de un instrumento de medio patentado por la compañía Zahm & Nagel, el cuál se mide una alícuota de cerveza la presión generada por el CO<sub>2</sub> de la

misma a una temperatura determinada, proporcionales a la concentración del mismo.

**Tabla 6.14.**  
**Volumenes de CO<sub>2</sub> con base a la temperatura y presión del gas en solución (Zahm & Nagel).**

Pounds per square inch (psi)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
30	1.82	1.92	2.03	2.14	2.25	2.36	2.46	2.56	2.67	2.78	2.88	2.99	3.09																								
31	1.78	1.88	2.00	2.10	2.20	2.31	2.42	2.52	2.63	2.73	2.84	2.94	3.04																								
32	1.75	1.85	1.95	2.05	2.15	2.27	2.36	2.46	2.56	2.66	2.76	2.86	2.96	3.01																							
33		1.81	1.91	2.01	2.12	2.23	2.33	2.43	2.53	2.63	2.74	2.84	2.94																								
34		1.78	1.88	1.97	2.07	2.18	2.28	2.38	2.48	2.58	2.68	2.79	2.89	3.00																							
35			1.83	1.93	2.03	2.14	2.24	2.34	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.93	3.02																						
36			1.79	1.88	1.98	2.08	2.20	2.29	2.39	2.47	2.57	2.67	2.77	2.86	2.96																						
37				1.84	1.94	2.04	2.15	2.24	2.34	2.43	2.52	2.62	2.72	2.82	2.92	3.00																					
38				1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.29	2.38	2.47	2.57	2.67	2.75	2.85	2.94																					
39					1.86	1.96	2.05	2.15	2.25	2.34	2.43	2.52	2.61	2.70	2.80	2.89	3.00																				
40					1.82	1.92	2.01	2.10	2.20	2.29	2.37	2.46	2.55	2.64	2.73	2.82	2.91	3.01																			
41					1.87	1.97	2.06	2.14	2.24	2.33	2.43	2.52	2.60	2.70	2.79	2.87	2.96																				
42					1.83	1.93	2.02	2.12	2.21	2.30	2.39	2.47	2.56	2.65	2.74	2.82	2.91	3.00																			
43					1.89	1.99	2.08	2.17	2.25	2.34	2.43	2.52	2.60	2.69	2.78	2.86	2.95																				
44					1.85	1.95	2.04	2.13	2.21	2.30	2.39	2.47	2.56	2.64	2.73	2.81	2.90	3.00																			
45					1.82	1.91	2.00	2.08	2.17	2.26	2.34	2.42	2.51	2.60	2.68	2.77	2.85	2.94	3.02																		
46						1.88	1.98	2.06	2.15	2.22	2.30	2.38	2.47	2.55	2.63	2.72	2.80	2.89	2.98																		
47						1.84	1.93	2.02	2.10	2.20	2.28	2.36	2.44	2.52	2.60	2.68	2.77	2.85	2.94	3.02																	
48						1.89	1.98	2.07	2.15	2.24	2.32	2.40	2.48	2.56	2.64	2.72	2.80	2.87	2.96																		
49							1.85	1.93	2.01	2.10	2.18	2.25	2.34	2.42	2.50	2.58	2.66	2.75	2.83	2.91	2.99																
50							1.82	1.90	1.98	2.06	2.14	2.21	2.30	2.38	2.45	2.54	2.62	2.70	2.78	2.86	2.94	3.02															
51							1.87	1.95	2.02	2.10	2.18	2.25	2.34	2.41	2.49	2.57	2.65	2.73	2.81	2.89	2.97																
52								1.84	1.91	1.99	2.06	2.14	2.22	2.30	2.37	2.45	2.54	2.61	2.69	2.76	2.84	2.93	3.00														
53								1.89	1.96	2.03	2.11	2.18	2.26	2.33	2.41	2.49	2.57	2.64	2.72	2.80	2.88	2.95	3.03														
54								1.85	1.93	2.00	2.07	2.15	2.22	2.29	2.37	2.44	2.52	2.60	2.67	2.75	2.83	2.90	3.00														
55									1.82	1.89	1.97	2.04	2.11	2.18	2.25	2.33	2.40	2.47	2.55	2.63	2.70	2.78	2.85	2.93	3.01												
56										1.88	1.93	2.00	2.07	2.15	2.21	2.28	2.36	2.43	2.50	2.58	2.65	2.73	2.80	2.88	2.96												
57										1.83	1.90	1.97	2.04	2.11	2.18	2.25	2.32	2.40	2.47	2.54	2.61	2.69	2.76	2.84	2.91	3.00											
58										1.89	1.96	1.94	2.00	2.07	2.14	2.21	2.29	2.36	2.43	2.50	2.57	2.64	2.72	2.80	2.88	2.94	3.01										
59											1.83	1.90	1.97	2.04	2.11	2.18	2.25	2.32	2.39	2.46	2.53	2.60	2.67	2.75	2.81	2.88	2.96	3.03									
60											1.89	1.97	2.04	2.11	2.21	2.29	2.35	2.42	2.49	2.56	2.63	2.70	2.77	2.84	2.91	2.99											

Degrees Fahrenheit

## **6.28. ALMACENAMIENTO DE CERVEZA TERMINADA EN TANQUES DE GOBIERNO O "SERVING".**

En este momento podemos considerar la culminación de la producción de cerveza, la cual se puede destinar a ser embotellada, embotellada, enlatada, o simplemente servida en un vaso o tarro de cerveza en la microcervecería.

En esta etapa se controla la temperatura de forma estandarizada a 0°C con una tolerancia de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ .

En las macrocervecerías se adiciona en esta etapa otros aditivos como ácido ascórbico y/o metabisulfito de sodio como antioxidantes dado que los productos que ofrece este mercado son distribuidos en muchos lugares lejanos del lugar de producción por lo que deben tener una vida útil mayor, por ende una mayor estabilidad a la oxidación, en relación a las cervezas producidas en las microcervecerías, las cuales tienen una vida útil o "*Shelf life*" mucho más reducida por lo que se acostumbra a ser consumidas en el lugar de producción o en lugar cercanos al mismo.

El efecto de deterioro más importante en la cerveza terminada es la oxidación del producto, este efecto puede aparecer en el almacenamiento de la cerveza terminada en el tanque de gobierno o "*Serving*" y en la residencia de la cerveza en la botella, lata o barril a ser envasada, esto es debido a que en estos recipientes no son llenados totalmente de cerveza, dando así un espacio vacío de los mismos denominado "*Headspace*", este espacio puede contener en su atmósfera una cierta cantidad de oxígeno que puede interactuar con el producto y más aún si este fue agitado. Por ello es debido garantizar la mínima concentración de oxígeno encontrado en el interior del tanque de gobierno y de la cerveza envasada para poder tener una vida útil óptima del producto terminado.

## **6.29. UTILIZACIÓN DE ADITIVOS EN CERVEZA TERMINADA.**

Durante el almacenamiento de la cerveza terminada en los tanques de gobierno o "*Serving*" se puede realizar la adición de aditivos que contribuyen a la estabilidad de la misma. Como se ha reiterado ésta práctica es realizada comúnmente por la macrocervecería para garantizar la estabilidad de la cerveza producida durante su vida de anaquel (*Shelf life*). Con respecto a la microcervecería; ésta no realiza la adición de aditivos debido a que respetan la ley de pureza alemana (*Reinheitsgebot/Biersteuergesetz*) que prohíbe la adición de todo aditivo durante la elaboración de la cerveza.

A continuación se presentan los aditivos más utilizados en esta etapa del proceso:

- ✓ **Acido ascórbico.** Este compuesto es utilizado como agente antioxidante para proteger de la oxidación de las isohumulonas del lúpulo, como también la oxidación de ácidos grasos que genera la formación de aldehídos que provocan alteraciones de las propiedades sensoriales del producto. Se ha encontrado que el ácido ascórbico a concentraciones altas puede actuar como prooxidante por ello se realiza comúnmente la adición de éste con metabisulfito de sodio (KMS), ya que actúan en forma sinérgica. La mezcla de estos antioxidante se realiza en una relación 40:60 metabisulfito de sodio (KMS) y ácido ascórbico.
- ✓ **Alginato de propilen glicol (PGA).** Este aditivo es el único aceptado por las legislaciones internacionales como estabilizante de espuma para la cerveza. El fundamento de la utilización de este aditivo consiste en la interacción electrostática de los grupos carbonilos del alginato de propilen glicol con los grupos aminos de los peptidos involucrados en la formación de la espuma de la cerveza.
- ✓ **Papaína.** Esta proteasa originaria de la papaya (*Carica papaya*) es utilizada como clarificante de la cerveza terminada contra la turbiedad temporal provocada por complejos de proteína-polifenol. Esta proteasa tiene gran afinidad por el aminoácido tirosina (tyr) y se inactiva por pasteurización, oxidación o por presencia de iones metálicos.

### **6.30. ENVASADO (EMBARRILADO, EMBOTELLADO, ENLATADO).**

Como se ha comentado anteriormente en las microcervecías puede haber terminado el proceso de la producción de cerveza en el tanque de gobierno o "Serving" porque una de sus características es la de ofrecer un centro de consumo de sus productos en el mismo lugar de producción, aunque también se ha comentado que existen microcervecías que tienen como objetivo exclusivo producir cervezas envasadas para su distribución sin ofrecer un centro de consumo para las mismas. Por ello es debido incluir esta operación como una etapa más del proceso.

Esta etapa consiste en darle a la cerveza un envasado final para poder ser distribuida a otros lugares designados fuera del tanque de gobierno ó "Serving". A continuación se presentarán los tres tipos de envasado más importantes en la industria cervecera:

#### **I. Embarrilado.**

El embarrilado es tipo de envasado más antiguo utilizado a través de la existencia de las cervecías. Este tipo de envase es más utilizado por las

microcervecerías en relación con las macrocervecerías. La operación de embarrilado consiste básicamente de las siguientes operaciones:

Los barriles vacíos devueltos a la cervecera son automática o manualmente despaletizados y sometidos a descompresión ya sea antes de o durante el destaponeo. Los barriles son transportados desde este punto hacia la lavadora. La operación de lavado es presentado en la tabla 6.15:

<b>Tabla 6.15</b>	
<b>Operación de lavado de barriles.</b>	
a. Ingreso a la lavadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enjuague externo con agua fría.</li> </ul>
b. Primera estación (Prellenado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llenado parcial con agua tibia a 49-60 °C.</li> <li>• Enjuague externo con agua tibia.</li> </ul>
c. Segunda Estación (Limpieza con cepillos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A medida que el barril rota, se enjuaga su interior, el exterior se limpia con cepillos y se enjuaga.</li> </ul>
d. Tercera estación. (Drenaje)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deja drenar el barril enjuagado.</li> </ul>
e. Cuarta estación. (Enjuague con cáustico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavado interior con cáustico caliente con un solución de 2.5 a 3 % a 77 °C.</li> <li>• Enjuague externo con cáustico de la válvula del sifón.</li> </ul>
f. Quinta estación (Agua caliente)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El interior del barril es enjuagado bajo presión con agua a 49-60 °C.</li> <li>• La válvula del sifón es abierta automáticamente, ya sea por agua a alta presión o mecánicamente. Tanto la válvula como el tubo dentro del barril se limpian con agua caliente a 82-93 °C.</li> </ul>
g. Sexta estación (Agua fría)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El interior y exterior del barril son enjuagados con agua fría.</li> </ul>
h. Séptima estación (Drenaje)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deja que drene el barril.</li> </ul>

Cada barril al ser descargado de la lavadora es inspeccionado visualmente tanto por dentro como por fuera para determinar si ha sido debidamente limpiado. Después de pasar por la estación de inspección, el barril es transportado mediante banda transportadora a la llenadora. Aquí por medio de un tubo llenador se presuriza cada barril a una presión de (1-1.5 kg/cm<sup>2</sup>) de CO<sub>2</sub> y luego es llenado de cerveza. El tubo llenador se retira una vez que el barril está lleno y con un mazo de madera se coloca manualmente en el agujero del barril un tapón de madera; generalmente hecho con madera de álamo comprimido o plástico. Antes que se descargue el barril se

comprueba cuidadosamente que no haya escapes por el agujero. Es preciso realizar muestras biológicas en los barriles como en la cerveza contenida en los mismos. Los buenos procedimientos de sanidad y limpieza son de máxima importancia ya que la cerveza en barril a diferencia de la cerveza embotellada normalmente no está pasteurizada y por lo tanto es muy susceptible a la descomposición biológica. Después que se ha llenado el barril es transportado al paletizador donde es colocado horizontalmente encima de un palet. Cada barril debe examinarse nuevamente durante la paletización para detectar escapes en el orificio, en las válvulas de la tapa y en el barril mismo. Una vez paletizados los barriles llenos son transferidos ya sea por una banda transportadora o por un montacargas al almacén en frío (aproximadamente a 4-5 °C) donde permanecen hasta que son despachados para su consumo.

## II. Embotellado.

El embotellado consiste básicamente en los siguientes puntos:

La temperatura de embotellado es la misma que la de almacenamiento en tanques de gobierno o "Serving" ( $0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ). La cerveza encontrada en el tanque de gobierno es enviada a un equipo de embotellado; en el caso de microcervecerías es introducida en un tazón de 50-1000 litros que tiene alrededor inyectores para botellas con una cierta presión estandarizada para inyectar un determinado volumen de llenado para las botellas de distintas capacidades desde 325 ml, 500 ml, hasta de 1 litro. Dicho tazón cuenta con un conjunto de inyectores llamados "carrusel", estos tienen a su vez un aditamento para inyectar al mismo tiempo que la cerveza, un volumen de  $\text{CO}_2$ ; esta sobrepresurización es de aproximadamente de  $5 \text{ kg/cm}^2$  y tiene como objeto eliminar el oxígeno antes de cerrar la botella.

Las botellas utilizadas para el embotellado son pasadas por una transportador de bandas a un enjuagador de botellas, el cual tiene el objetivo de enjuagar con agua a temperatura ambiente para quitar el polvo, cristales u otras partículas extrañas que puedan encontrarse en las botellas vacías. Terminada esta etapa, las botellas son transportadas por la misma banda hacia el carrusel para ser llenadas con cerveza.

Terminado el llenado de las botellas, éstas son pasadas por la misma banda a un coronador en el cual son colocadas las corcholatas por una tolva encontrada en la parte superior. Dicho encorcholado es realizado por compresión de material deformable y elástico. Una vez que la corcholata hace contacto con el vidrio de la botella se produce la máxima presión sobre la mínima superficie de contacto, por lo cual un cierre se comportará correctamente si está en la posición adecuada con respecto al recipiente.

Una vez llenadas y cerradas, las botellas serán pasadas por la misma banda a un lavado por aspersión con agua a temperatura ambiente, esto es

para lavar la botella en la que se ha derramado cierta cantidad de cerveza en la parte exterior de la misma, ya que puede dar una mala imagen al producto.

En comparación, la microcervecería embotella desde  $1 \times 10^3$  hasta  $10 \times 10^3$  hL anuales, con respecto a las macrocervecerías que embotellan desde  $300 \times 10^3$  hL hasta  $100 \times 10^6$  hL anuales.

La operación y sistema de embotellado es igual tanto para la microcervecería como en la macrocervecería, solo que difieren en los volúmenes de cerveza a embotellar y esta última somete a la cerveza a pasteurización después del embotellado; dicho método de saneación es para aumentar la vida útil del producto.

En el caso de las microcervecerías no pasteurizan el producto terminado ya que se atribuye a que la pasteurización genera en la cerveza sabores a cartón y/o cocido, esto es debido al favorecimiento de la oxidación de la cerveza por dos factores; el primero por la presencia de oxígeno en el espacio libre de la botella "*Headspace*" y el segundo por el tratamiento térmico que es sometido el producto, sabiendo que a mayor temperatura es favorecida las reacciones de oxidación. Cabe mencionar que se han realizado estudios en los que se ha demostrado que otra razón que provoca las propiedades sensoriales generadas por la pasteurización es debido a la presencia del compuesto Trans-2-nonenal formado por la condensación aldólica de aldehídos de cadena corta generados durante la maduración de la cerveza, esta formación es favorecida por los dos factores anteriormente comentados.

Los pasteurizadores utilizados más frecuentemente en la actualidad son los tipos de espreas horizontal automático. Los envases son llevados en posición vertical por medio de un transportador horizontal a través de un túnel largo y por esto se le denomina "pasteurizador de túnel". Los envases pasan a través de varias zonas y son rociados con agua progresivamente más caliente y luego más fría; que elevan la temperatura de la cerveza dentro del envase, la sostienen y luego la enfrían. Las temperatura son cuidadosamente calibradas para evitar choques térmicos.

Durante el proceso de pasteurización, el calentamiento y enfriamiento del producto se lleva a cabo a través de las paredes del recipiente. La transferencia de calor en el producto es una combinación del calor de convección transferido del agua de riego al envase. El calor de conducción es transferido de las paredes del recipiente por convección natural o libre hacia la cerveza. La convección natural es el resultado de la diferencia de densidades generadas por los gradientes de temperatura dentro del producto. Próximo al fondo de la botella está un punto, el cuál será el último en recibir el efecto de calentamiento. Esta zona se le conoce como "punto frío", y debe ser considerado cuando se establecen las condiciones mínimas de pasteurización.

El sistema gradual de calentamiento y enfriamiento de los envases minimiza el riesgo de choque térmico, el cuál puede causar daños a las

botellas. Como una regla general, una diferencia estrecha de temperatura entre el agua de riego y el contenido de las botellas debe ser de 22 °C a 25 °C durante el calentamiento y de 18 °C a 22 °C durante el enfriamiento.

Otro factor que debe ser considerado, es la presión generada en la botella durante y por la pasteurización. Esta presión dependerá del volumen de gas sobre el nivel del líquido referido como espacio libre o "Headspace", el cual como regla general, deberá ser de un mínimo de 3% del contenido de la botella. Para calcular la transferencia de calor en la pasteurización, los fabricantes utilizan un simple de cálculo, el cuál asume que el rango de incremento de temperatura depende de la diferencia en las temperaturas entre el agua de riego y el contenido de la botella; la constante obtenida de forma empírica, caracteriza el comportamiento de un recipiente en particular:

$$\Delta T / \Delta t = K_p (T_w - T_p)$$

Donde:

$\Delta T$  = Temperatura máxima del producto

$\Delta t$  = Intervalos de tiempo para llegar a la temperatura máxima.

$T_w$  = Temperatura del agua de riego.

$T_p$  = Temperatura del producto.

$K_p$  es un coeficiente para un recipiente en particular, el cual incorpora el coeficiente de calor transferido, el área de transferencia de calor, así como el volumen, densidad y calor específico del producto.

$$K_p \text{ para la cerveza} = 0.0033 \text{ s}^{-1} \text{ ó } 0.0035 \text{ s}^{-1} \text{ (Frydkaev-1990)}$$

Con estas ecuaciones se puede calcular el tiempo necesario para cada zona de temperaturas del pasteurizador.

### III. Enlatado.

Otro tipo de envasado utilizado para la cerveza es el enlatado, este es utilizado exclusivamente por la macrocervecería debido al costo del equipo y del material de envase. La operación de enlatado consiste básicamente los mismos procedimientos que el embotellado aunque existen diferencias provocadas por el tipo de material del envase que afecta directamente el método de llenado y cierre del mismo como también el diseño de los equipos involucrados en dichas operaciones.

A continuación se presenta las ventajas más importantes que ofrece las latas como tipo de envase:

- ✓ Son más ligeras que las botellas.
- ✓ Son fáciles de transportar.
- ✓ Son fáciles de abrir sin herramientas.

- ✓ Ocupan menos espacio que las botellas.
- ✓ Son fácilmente decoradas.
- ✓ Son impermeables a la luz
- ✓ La cerveza puede ser pasteurizada fácilmente.
- ✓ Son más económicas como contenedores de cerveza.

## 6.31. ETIQUETADO

El objetivo de esta etapa es identificar el producto desde el punto de vista de la denominación de la bebida alcohólica, el estilo de la misma, el productor, los ingredientes de elaboración que deben ser declarados, así como el contenido alcohólico y también la imagen que produzca una atracción para su consumo. Las especificaciones mexicanas requeridas para la cerveza Graf Vienna producida son las siguientes:

Estas especificaciones se encuentran establecidas por la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-142-SSA1, 1995. BIENES Y SERVICIOS. BEBIDAS ALCOHÓLICAS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS. ETIQUETADO SANITARIO Y COMERCIAL.**

### ↳ DISPOSICIONES GENERALES.

La información contenida en las etiquetas de las bebidas alcohólicas preenvasadas debe presentarse y describirse en forma clara, evitando que sea falsa, equivocada o que induzca un error por parte del consumidor con respecto a la naturaleza y características del producto.

La etiqueta debe presentarse descrita o empleando palabras, ilustraciones u otras representaciones gráficas que se refieren al producto, permitiéndose la descripción gráfica de la sugerencia de uso, empleo preparados a condición de que aparezca una leyenda alusiva.

### ↳ REQUISITOS DE INFORMACIÓN.

En las etiquetas de las bebidas deberán aparecer las siguientes leyendas:

- Nombre o marca comercial del producto.
- Nombre o denominación genérica del producto.
- Indicar la cantidad conforme a la **NORMA 030-SCFI-1993.**
- Nombre, denominación o razón social y domicilio fiscal del productor o responsable de la fabricación para productos nacionales.

Leyenda que identifique el país de origen del producto o gentilicio, por ejemplo: "producto de \_\_\_\_\_", "Hecho en \_\_\_\_\_", "Manufacturado en \_\_\_\_\_", u

otros análogos, sujeto a lo dispuesto en los tratados internacionales. Tratándose de productos importados: nombre, denominación o razón social y domicilio fiscal del importador. Esta información puede incorporarse al producto en territorio nacional, antes de la comercialización del producto.

- Indicar el por ciento de alcohol en volumen a 20°C, debiendo usarse para ello la siguiente abreviatura % Alc. Vol.
- Lote: cada envase debe llevar grabado o marcada la diferencia del lote al que pertenece con una indicación en clave.
- Presentación de la información: las bebidas alcohólicas preenvasadas deben ostentar la información de la etiqueta en español.
- Deben aparecer en la superficie principal de exhibición cuando menos la marca y la denominación de la bebida alcohólica, así como, la indicación de la cantidad. El resto de la información a que se refiere esta norma puede incorporarse en cualquier otra parte de la etiqueta o envase.

El etiquetado se realiza comúnmente en la microcervecería de forma manual con un etiquetador. Por lo cual el operario es el que determina la localización de la etiqueta en la botella. Aunque también hay microcervecerías que tienen un etiquetador mecánico integrado al equipo de embotellado.

En el caso de las macrocervecerías esta operación se realiza por medio de una máquina de etiquetado, que consiste básicamente de un sistema rotatorio de cuatro rotores cilíndricos.

## 6.32. EMBALAJE.

Esta etapa es realizada con el objetivo de dar protección al producto terminado para su manejo en la distribución, como también de los aspectos físicos como la luz que puede provocar la oxidación del producto. El embalaje de las cervezas producidas por una microcervecería es realizado en forma manual, desde la introducción de las botellas y/o latas, el cierre de la caja y la codificación de la misma.

Esto no es muy común en las microcervecerías dado a que ofrecen su producto al consumidor en el mismo centro de producción como es en el caso de los *Brewpubs*, aunque en las microcervecerías que exclusivamente producen cervezas para su distribución tienen que emplear esta etapa del proceso, para prolongar la vida de anaquel de sus productos.

En el caso de las macrocervecerías, el embalaje de las cervezas envasadas se realiza por paletizadoras mecánicas que dan mayor eficiencia en menor tiempo.

Cada embalaje debe llevar como mínimo los datos requeridos para el etiquetado, incluyendo además: número de piezas, nombre del artículo y todos

aquellos que se juzguen convenientes, tales como las precauciones que deben tenerse en el manejo y uso del producto.

### **6.33. VIDA UTIL DEL PRODUCTO TERMINADO (SHELF LIFE).**

La estabilidad de la cerveza puede describirse como la capacidad que tiene una cerveza de conservar su calidad, tanto en apariencia como el sabor durante su almacenamiento "*Shelf life*" con respecto a los atributos que tenía cuando fue envasada. En consecuencia, la estabilización de cerveza se ocupa del retardamiento de los cambios debidos al envejecimiento.

El grado de estabilización que requiere una cerveza, depende de su vida de anaquel y de las condiciones de almacenamiento después de ser envasada. Aquellas cervezas que requieren tener una prolongada vida de estante o "*Shelf life*" requieren de una estabilización química. No es deseable remover completamente a las proteínas ni los polifenoles, ya que las proteínas son necesarias para la estabilidad de la espuma y un sabor más completo y los polifenoles son importantes por ser una protección natural contra la oxidación de la cerveza.

En el periodo de almacenamiento máximo de la cerveza está condicionada por numerosos factores, el más importante es el tiempo en que se espera ser consumida

La venta de la cerveza en una microcervecería, como ha sido comentado, es realizada en el mismo lugar de producción, ó distribuida algún lugar asignado.

Las condiciones óptimas que debe de tener el producto terminado es de 3 a 5°C, con una vida de anaquel de aproximadamente 90 días a partir del día de emboteillado. Esto se debe a la transformación que puede sufrir la cerveza en dicho periodo, como consecuencia de cambios fisicoquímicos y biológicos por la ausencia de aditivos que puedan prolongar la vida útil del producto terminado, ya que las microcervecerías normalmente se apegan a la ley de pureza alemana "*Reinheitsgebot/Biersteuergesetz*". Es por eso que el producto se debe cuidar de factores que puedan provocar dichas transformaciones como la temperatura y la exposición a la luz, sólo por citar algunos ejemplos.

En el caso de la macrocervecería la vida útil del producto debe ser lo mayor posible, dado que tiene grandes canales de distribución desde el mismo país productor hasta otros países del mundo, por lo cual debe ofrecer una vida de anaquel larga que mantengan las características sensoriales del producto. Comúnmente las macrocervecerías ofrecen una garantía del producto al consumidor hasta de 1 año.

## 6.34. SANEACIÓN Y LIMPIEZA.

La saneación en una cervecería es la mayor importancia en todos los aspectos en la elaboración de la cerveza y especialmente de la levadura, ya que esta se puede contaminar por bacterias u otros microorganismos que igualmente se consumen los azúcares en el mosto y causan un fracaso y desperdicio total de la cerveza.

Los productos de limpieza y saneación que se usan en la microcervecería y en una macrocervecería son básicamente los mismos para combatir y eliminar los microorganismos ajenos al proceso. Estos productos funcionan principalmente por medio del rompimiento de las membranas de las células, causando su muerte.

La asepsia también se logra con agua caliente ó vapor para y desinfectar superficies y tubería de una cervecería. En la microcervecería comúnmente no se usa vapor por el riesgo de quemaduras, aunque se puede adaptar el uso de la caldera para desviar vapor a 15 psi (1 kg/cm<sup>2</sup>) para esterilizar contenedores y tanques sellados, como fermentadores. La temperatura de vapor a 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión es de 125°C.

### ✓ EFECTOS DE LA TEMPERATURA.

- **Vapor:** La regla es de 15 minutos a 125°C de vapor (1 Kg/cm<sup>2</sup>) que es suficiente para esterilizar casi todas las superficies.
- **Agua caliente:** Todos los organismos viven y reproducen óptimamente dentro de un rango de temperatura. Unos organismos pueden sobrevivir a temperaturas extremosas. Hay ciertos organismos que pueden sobrevivir a una temperatura de agua caliente mayor a 80°C, por lo que se debe tener cuidado en esta etapa del proceso. Un tiempo de contacto de 20 minutos a 60°C es suficiente para matar la mayoría de los microorganismos. Un tiempo de contacto de 20 minutos arriba de 77°C mata a todos los microorganismos en superficies que no tienen depósitos impenetrables.

**Tabla 6.16**  
**Sustancias utilizadas para limpieza y saneación en**  
**cervecería.**

<b>Tipo</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Función</b>	<b>Dilución del concentrado</b>	<b>Temperatura adecuada</b>	<b>Tiempo de contacto</b>
Alcalino	Alcalina cáustica	Disuelve y remueve proteínas y grasas.	40 mL/L de agua (2000 mL/50 L agua).	20 – 80°C	30 minutos CIP. Hasta libre de depósitos.
Ácido	Ácido	Disuelve sales e incrustaciones.	5% al 10% por volumen (2500 mL a 5000 mL/50 L agua).	20 – 60°C	30 minutos CIP. Hasta libre de depósitos.
Esterilizantes	Yodo	Saneación del equipo.	2 mL/L agua	20°C (temperatura ambiente)	2 minutos o más.
	Ácido peracético	Saneación del equipo.	0.3% al 1.5%v/v (3 – 15 mL/L agua) (150 – 750 mL/50 L agua).	0 – 40 °C	20 – 30 minutos CIP.
	Amonia cuaternaria	Saneación del equipo.	2 mL/L agua (100 mL/50 L agua).	20°C (temperatura ambiente).	2 minutos o más

CIP: proceso de lavado en sitio.

## Capítulo 7. Conclusiones.

Con base en los capítulos expuestos durante este trabajo, se puede destacar lo siguientes puntos, cumpliendo con los objetivos propuestos al inicio del mismo:

Actualmente en México ha resurgido el nicho de mercado cervecero denominado "Microcervecería". Este nicho de mercado ha sufrido una evolución respecto a la modernización del mismo, en la selección de materias primas, como también en la tecnología empleada para la fabricación de sus productos, las variedades y los tipos de presentación de los mismos.

Otros factores a considerar y puntos claves a señalar son el impacto, desarrollo y alcances futuros de la "Microcervecería" en México.

El impacto y desarrollo que hoy vive este mercado es creciente, con miras de expansión en todo el territorio nacional. Cabe destacar que esta expansión es dirigida actualmente a la sociedad de clase media y alta; esto es debido a que este segmento elabora productos menos convencionales de alta calidad, tanto por sus materias primas como por la elaboración, y el hecho de que ofrece estilos de cerveza menos convencionales dando un énfasis a la elaboración artesanal. Esto da un mayor valor agregado a dichos productos con menor volumen de producción que es reflejado en el precio de venta en comparación a los productos generados por el otro nicho de mercado cervecero, la "Macrocervecería". Este, por su gran volumen de producción en el país y en el mundo, genera una reducción del valor agregado de sus productos.

El mercado microcervecero moderno es un mercado relativamente joven respecto al otro mercado cervecero conocido como "Macrocervecería". La "Microcervecería moderna" ha resurgido a mediados de los 90's como un mercado dirigido especialmente a jóvenes, con conceptos extranjeros, como europeos y norteamericanos, ya que este producto ha tenido un gran desarrollo en dichos países desarrollados.

En menos de seis años, la "Microcervecería moderna" ha logrado un rápido desarrollo manifestándose en aproximadamente diez microcervecerías en el territorio nacional, alcanzando un número de variedades de cerveza de hasta quince o más.

Es importante mencionar, que las microcervecerías establecidas en México tienden a dos vertientes: como *Brewpubs*, cuando se ofrece un lugar para el consumo de cerveza en el mismo sitio donde es elaborada; o como Microcervecerías cuando se produce y se distribuye exclusivamente a consumidores externos al lugar de producción.

En el trabajo presente se han expuesto las diferencias entre las microcervecerías antiguas y modernas, considerando a las primeras como tales, desde la época monacal y a las modernas como las expuestas actualmente al consumidor. Estas últimas tienen como objetivo rescatar los principios de las primeras, como el aspecto artesanal y las variedades de cerveza ofrecidas, aunque se han incorporado como diferencias, como el equipo, la tecnología y las materias primas para obtener mayores rendimientos, así como también dar un toque característico de acuerdo a la región donde se produce y la intención del maestro cervecero.

Respecto a la comparación de la selección de materias primas y procedimientos operacionales para la producción de cerveza entre la microcervecería y la macrocervecería expuesto durante este trabajo los puntos más relevantes fueron los siguientes:

La microcervecería plantea como parámetros de calidad de sus productos básicamente la selección minuciosa de su materia prima y las variedades de cervezas elaboradas. Por otro lado, las macrocervecerías presentan como factores importantes el volumen de producción y la homogeneidad de proceso que se desarrolla para la obtención de sus productos, así como una amplia distribución que ofrecen de los mismos.

También se ha expuesto fundamentar cada una de las operaciones unitarias que se llevan a cabo durante la elaboración de cerveza en una microcervecería, mediante modelos matemáticos y utilizando el ejemplo del lote problema de cerveza Graf Vienna, dando así una explicación sencilla y universalmente aplicable para la realización de dichas operaciones. Sin embargo, no hay que olvidar que estos modelos proporcionan resultados aproximados a los reales, ya que pueden presentarse variaciones tanto en el equipo, el tratamiento al cual es sometido el producto durante el proceso, así como el comportamiento físico, químico y biológico del producto, y la habilidad del cervecero.

Finalmente es importante tener en consideración que hay una gran variedad de cervezas en el mercado microcervecero, cada una con características muy peculiares y comprometidas que las hace ser diferentes entre ellas y a su vez diferentes a las producidas por las macrocervecerías, teniendo siempre presente que el mercado microcervecero busca objetivos distintos al macrocervecero, ya que en el primero, siempre se tratará de conservar la tradición artesanal y una alta calidad en su selección de materias primas de los productos elaborados, mientras que en el segundo, la producción en mayor volumen, es lo más importante.

Las cervezas elaboradas por las microcervecerías tienen un toque especial, complejo y único, que las hace diferentes de las producidas por las macrocervecerías, sin embargo, el paladar mexicano no está acostumbrado a este nuevo tipo de variedades de cerveza, por ello está centrado a un grupo reducido de consumidores que se podrá ampliar en el futuro en la medida en

**que haya mayor exposición de éstos productos y el consumidor se familiarice con las nuevas variedades de cerveza.**

## **Bibliografía.**

- ALLEN, FAL y CANTWELL, DICK. 1998. Barley wine. Classic Beer Style Serie. Vol.11. Editorial Brewer Publications. Boulder,Colorado, E.U.A. 1998.
- ARAMBULA, GUSTAVO. 1998. La Anatomía de una Microcervecería. Santa Fe Beer Factory. Bebidas Mexicanas. 36: 45-48
- ASOCIACIÓN DE MAESTROS CERVECEROS DE LAS AMERICAS (MBAA). 1977. El cervecero a la práctica. Un manual para la industria cervecera. 2ª Edición. Madison, Wisconsin, E.U.A.
- BERGER, CHRISTIAN y DUBOE-LAURENCE, PHILIPPE. 1988. El Libro del amante de la cerveza. Editorial Robert Laffont. Barcelona, España. pp. 83-88
- BU'LOCK, J. y KRISTIENSEN, B. 1987. Basic Biotechnology. Editorial Academic Press. San Diego,CA, E.U.A. pp. 75-99.
- CARMONA LAGOS, H.A. y HERNANDEZ VALDEZ, R. 1989. Elaboración de un producto en base a una mezcla de cerveza y una bebida carbonatada con sabor. U.N.A.M. Facultad de Química. pp. 129-147
- DANIELS, RAY. 2001. Designing Great Beers. Editorial Brewer Publications. Boulder,Colorado, E.U.A.
- DANIELS, RAY y LARSON, GEOFFREY. 2000. Smoked Beers. Classic Beer Style Serie. Vol.18. Editorial Brewer Publications. Boulder,Colorado, E.U.A.
- DANIELS, RAY y PARKER, JIM. 1998. Brown Ale. Classic Beer Style Serie. Vol.14. Editorial Brewer Publications. Boulder,Colorado, E.U.A.
- DIETZSCH, MICHAEL..1994. Mexicanische Industrie und Handelskammer. Das Deutscher Bier. (Rheinheitsgebot). Cooperación. Abril. pp. 10-14
- DIXON, BRIAN. 1998. Tools for recipe conversion. All grain to extract- Extract of all grain. Brewing Tecniques. The art and science of small scale brewing. 6 (2): 43-48
- DORNBUSCH, HORST. 1998. Altbier. Classic Beer Style Serie. Vol.12. Editorial Brewer Publications. Boulder,Colorado, E.U.A.
- DORNBUSCH, HORST. 2000. Bavarian Helles. Classic Beer Style Serie. Vol.17. Editorial Brewer Publications. Boulder,Colorado, E.U.A.
- EDGERTON, JEFFREY. 2001. A primer yeast propagation technique and procedures. Technical Quartely. 38 (3): 62-68

ESCHENBACH, ROLF. 1994. Gasthausbrauereien/Pub Breweries. Editorial Verlag Hans Carl. Nürnberg, Alemania.

EVERS, HARTMUT y MANGER, HANS-J. 2001. Druckluft in der Brauerei. Editorial. Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

Fachwörterbuch der Brauerei und Abfüllpraxis. 2001. Editorial Verlag Hans Carl Getränke Fachverlag. Nürnberg, Alemania.

FINCH, CHRISTOPHER. 1989. Beer; a connoisseur's guide to the world best. Ed. Abbeville. New York, E.U.A. pp. 38-42

FIX, GEORGE. 1989. Principles of Brewing Science. Editorial Brewer Publications, Boulder, Colorado E.U.A.

FIX, GEORGE y FIX, LAURIE. 1991. Vienna, Märzen, Oktoberfest. Classic Beer Style Serie. Vol.4. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

FONTAINE, JOSEF. 2000. Entwicklung eines EDV-gestützten Verfolgungssystems für Faßbier. Editorial Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

FOSTER, TERRY. 1999. Pale Ale. Classic Beer Style Serie. Vol.16. 2ª Edición. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

FOSTER, TERRY. 1992. Porter. Classic Beer Style Serie. Vol.5. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

FRAZIER, W.C. y WESTHOFF, D.C. 1993. Microbiología de los alimentos. 4ª Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 449-453 y capítulo 27.

GARCIA GARIBAY, M., QUINTERO RAMIREZ, R. y LOPEZ MUNGUIA, A. 1993. Biotecnología Alimentaria. Editorial Limusa. D.F. México. pp. 263-288

GEHRING, B., OECHSLE, D. y KOTTKE, V. 1997. Optimized Beer Filter with an Increased Performance. Brewers Digest. 35 (1):10-13

GLOVER, BRIAN. 1997. The world encyclopedia of beer. Editorial Lorenz Books. London, Inglaterra. Hops. pp. 36-39

GUINARD, JEAN XAVIER. 1990. Lambic. Classic Beer Style Serie. Vol.3. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

HARDWICK, WILLIAM. 1995. Handbook of brewing. Ed. Marcell Decker. New York, E.U.A. pp. 247-499

HEISS, R. 1997. Principios de envasado de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 143-147

HEYSE, KARL-ULLRICH. 1983. Handbuch der Brauerei-Praxis. Hans Carl Verlag. Nürnberg, Alemania. pp. 1-272

HIND, H. LLOYD. 1950. Brewing science and practice. 4ª Edición. Ed. Chapman & Hall Ltd. London, Inglaterra. pp. 400-410

HOLLE, STEPHEN R. y SHAUMBERGER, MANFRED. 1999. The Reinheitsgebot. "One Country" Interpretation of Quality Beer. Brewing Techniques. The art and science of small scale brewing. 7(2): 16-29

Hop variety characteristics. 1999. Hopunion U.S.A. Inc. Yakima, Washington, U.S.A. pp. 7-50

HOSENEY, R. CARL. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 181-195

HOUGH, J.S. 1994. Biotecnología de la malta y la cerveza. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 9-183

JACKSON, MICHAEL. 1994. El libro de la cerveza. Editorial Blume. Barcelona, España. pp. 30-247

KEISTER, DOUGLAS C. 1990. Foods and Beverage control. 2ª Edición. Ed. Prentice Hall. New Jersey, E.U.A. pp. 390-395

KORZONAS, AL. 1997. Homebrewing Volume I. 2ª Edición. Editorial Sheaf & Vine. Palos Hills, Illinois, U.S.A. pp. 5-507

KRAUSE, UDO. 1996. Bier Brauen. 2ª Edición. Südwest Verlag. München, Alemania. pp. 26-120

KRÜGER, E. 1989. Einführung in die anorganische Chemie für die Lehrberufe Brauer und Mälzer sowie Müller und Bäcker. 2ª Edición. Editorial Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

KRUGER, E. 1991. Ernährung und Lebensmittel Grundlagen für Brauer, Mälzer, Müller und Bäcker. 2. erw. und ergänzte Aufl. überarbeitet von Dr. A. Angermann und C. Borchert. Editorial Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

KUNZE, WOLFGANG. 1999. Technologie Brauer und Mälzer. 2a Edición. Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania. pp. 19-601

LABORATORY METHODS FOR CRAFT BREWERS. 1997. The American Society of Brewing Chemists. St. Paul. Minnesota, U.S.A. pp. 1-153

La cerveza y la industria cervecera mexicana. 1978. Impreso en Galas de México, S.A.

LEMMENS, GERARD. 1998. The Breeding and Parentage of Hop Varieties. *Brewers Digest*. pp.16-26.

LENSE, KARL. 1996. *Katechismus der Brauerei Praxis*. Hans Carl Getränké Verlag, Nürnberg, Alemania. pp. 1-48

LEWIS, J.MICHAEL. 1995. *Stout. Classic Beer Style Serie*. Vol.10. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

LEWIS, J.MICHAEL. 2001. Who needs malt? Endosperm mashing. *Tecnical Quartely*. 38 (2): 36-48

LINTNER CARL. 1877. *Das Malz, Sud und Gahrverfahren*. Ed. Enke Verlag. Stuttgart, Alemania. pp. 746-747

LOPEZ LEE, SALVADOR. 1978. *Apuntes sobre cerveceria. Cerveceria Modelo S.A. de C.V. México, D.F.*

LÜCK, WOLFGANG. 1994. *Informationswesen in der Brauwirtschaft*. MM. Wiss Verlag. München, Alemania. pp. 1-123

LUTZEN, KARL F. y STEVENS, MARK. 1996. *Brew ware. How to find, adapt and Build Homebrewing Equipment*. Editorial Storey Publishing. Vermont, E.U.A. pp 17-209

MANGER, HANS-J. 2000. *Maschinen, Apparate und Anlagen der Gärungs- und Getränkeindustrie, Teil 1: Rohstoffbehandlung in the Mälzerei Brauerei und Getränkeindustrie*. Editorial. Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

MANGER, HANS-J. 1999. *Planung von Anlagen für die Gärungs- und Getränkeindustrie*. Editorial Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

METZ, DAVID. 1995. *Prospero's Beer Bottling Handbook*. 3ª Edición. Editorial Prospero Equipment Corporation. Pleasantville, New York, E.U.A. pp.10-27

MILLER, DAVID. 1990. *Continental Pilsener. Classic Beer Style Serie*. Vol.2. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

NARZISS, LUDWIG. 1992. *Technologie der Würzebereitung*. 6ª Edición. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Alemania. pp. 92-193

NARZISS, LUDWIG. 1995. *Abriß der Bierbrauerei*. 6ª Edición. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Alemania. pp. 90-274

- NARZISS, LUDWIG.** 1995. *Technologie der Malzbereitung.* 6ª Edición. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Alemania. pp. 23-112
- NOONAN, GREGORY J.** 1993. *Scotch Ale. Classic Beer Style Serie.* Vol.8. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.
- NORMA OFICIAL MEXICANA.** 1995. *NOM-142-SSA 1-1995.* Bienes y Servicios. Bebidas Alcoholicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado Sanitario y Comercial.
- POWER, JOE y LYNKRUGER, A.** 1997. *Fundamentals of brewing microbiology.* Siebel Institute of Technology. Seattle, E.U.A. pp. 2-18
- RAJOTTE, PIERRE.** 1992. *Belgian Ale. Classic Beer Style Serie.* Vol.6. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.
- RICHMAN, DARRYL.** 1994. *Bock. Classic Beer Style Serie.* Vol.9. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.
- RINKE, W.** 1967. *Das Bier.* 1ª Edición. Paul Parey Verlag. Berlin, Alemania. pp. 87-181
- ROTH, JÜRGEN y RUDOLF, MICHAEL.** 1997. *Bier!* 1ª Edición. Editorial Reclam Verlag Leipzig. Leipzig, Alemania.
- SANTILLAN, MARIA DEL CARMEN y GARCIA GARIBAY, MARIANO.** 1998. *Biosíntesis de congenéricos durante las fermentaciones alcohólicas.* Revista Latinoamericana de Microbiología. 40 (1-2): 109-119.
- SCHWARZ, ALJOSCHA y SCHWEPPE, RONALD.** 1998. *Die Bier-Apotheke.* Editorial Verlagsgesellschaft. Köln, Alemania.
- SENDRAY, JOSE MA. & CARBONELL, JOSE.** 1999. *Evaluación de las propiedades nutritivas, funcionales y sanitarias de la cerveza en comparación con otras bebidas.* Escuela Superior de Cerveza y Malta. Madrid, España.
- STEWART, GRAHAM.** 2001. *Yeast Management the balance between fermentation efficiency and beer quality.* Tecnical Quartely. 38 (1). pp.12-24
- SUTULA, DAVID.** 1999. *Mild Ale. Classic Beer Style Serie.* Vol.15. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.
- THAUSING, J.E. ET AL.** 1845. *The theory and practice of the preparation of Malt and the fabrication of beer.* Editorial. Henry Carey Baird & Co. Londres, U.K.

TEICH, MIKULAS. 2000. Bier, Wissenschaft und Wirtschaft in Deutschland. Ein Beitrag zur deutschen Industrialisierungsgeschichte. Editorial. Böhlau Verlag. Wien, Austria. pp. 33-79

VANBELLE, M., DECLERK y VERVACK, J. 1972. El nutritif del aspect del la bieré et sa valeur dans la lutte contre l' la Asociación el des de Royale Anciens Etudiants de Brasserie de l' Université de Louvain. Louvain. Belgie. 68: 81-94

VERSUCH UND LEHRANSTALT FÜR BRAUEREI IN BERLIN. 1996. Untersuchung der Struktur- und Eigenschafts Beziehungen von beta-Glukan bei der Bierherstellung. Editorial Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

VERSUCH UND LEHRANSTALT FÜR BRAUEREI IN BERLIN. 1997. Handbuch für die Reinigung von Mehweg-Glasflaschen. Herausgegeben vom Biebelrieder Kreis. Editorial Versuch und Lehranstalt für Brauerei in Berlin. Berlin, Alemania.

WARNER, ERIC. 1992. German Wheat Beer. Continental Pilsener. Classic Beer Style Serie. Vol.7. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

WARNER, ERIC. 1998. Kölsch. Classic Beer Style Serie. Vol.13. Editorial Brewer Publications. Boulder, Colorado, E.U.A.

WEYERMANN-SPECIALITY MALTING. 2001. Weyermann Malt.. Bamberg, Alemania.

WILSON, RICHARD J.H. 2001 Improving hop utilization and flavor control through the use or preisomerized products in the brewery kettle. Technical Quartely. 38 (1): 21-33

YOUNIS O., STEWART G. 1999. Effect of Malt Wort, Very High Gravity Malt Wort, and Very High Adjunt Wort on Volatile Production in *Saccharomyces cerevisiae*. Journal of American Society of Brewing Chemist. 57 (2): 39-45,

## Artículos de referencia en línea.

DELBRUCK, M. & ROMMEL, W. (2001) Jarhbuch Versuchs und Lehranstalt für Brauerei in Berlin [en línea] disponible en [www.vlb-berlin.de](http://www.vlb-berlin.de)

GÓMEZ, L. (2001) Cervecerías en México [en línea] disponible en [www.geocities.com](http://www.geocities.com)

GONZÁLEZ, G. (2001) Tipos de cerveza [en línea] disponible en [www.cervezasosaco.com](http://www.cervezasosaco.com)

LOGSON, D. (2001) Yeast Pitching Guidelines [en línea] disponible en [www.wcastlab.com](http://www.wcastlab.com)

NARZISS, L. (1993) Beer Quality [en línea] disponible en [www.weihenstephan.de](http://www.weihenstephan.de)

PAPAZIAN, C. (1992) Introducing Beer Style Guidelines [en línea] disponible en [www.thenewbrewer.com](http://www.thenewbrewer.com)

PRAHL, J. (2002) Tipos de Cerveza [en línea] disponible en [www.beerfactory.com](http://www.beerfactory.com)

RICHMAN, D. (1994) Bock and Doppelbock In Brewing Style [en línea] disponible en [www.brewingtechniques.com](http://www.brewingtechniques.com)

TREVIÑO, A. (2000) Historia de Especialidades Cerveceras [en línea] disponible en [www.cervezacasta.com.mx](http://www.cervezacasta.com.mx)

UNK, C. (1995) Pitching Rates [en línea] disponible en [www.beertown.com](http://www.beertown.com)

VARGAS, H. (2001) [en línea] disponible en [www.sicramadrebrewing.com](http://www.sicramadrebrewing.com)

WACKERBAUER, K. & METHNER, F.J. (1988) The Microorganisms of Berliner Weissbier and their Influence on the Beer Flavor [en línea] disponible en [www.mebak.de](http://www.mebak.de)