



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memoria

A background image of a large, ornate building facade, likely a university building, with a central arched entrance and a prominent triangular pediment at the top. The text is overlaid on this image.

**“DISEÑO DE UNA
MICRO-PLANTA DE
FABRICACIÓN DE
CERVEZA Y ESTUDIO DE
TÉCNICAS Y PROCESOS
DE PRODUCCIÓN”**

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA QUÍMICA por **Rubén Sancho Saurina**

Barcelona, 09 de Junio de 2015

Director: María Pilar Almajano Pablos
Departamento de Ingeniería Química (EQ)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE MEMORIA

Índice memoria	1
Índice figuras	5
Índice de tablas	7
Resum.....	9
Resumen	9
Abstract	9
Agradecimientos	11
Capítulo 1: Introducción	13
1.1. Antecedentes y motivación	14
1.2. Ubicación	14
1.3. Descripción de la planta.....	15
1.4. Origen e historia de la cerveza	15
1.5. Mercado cervecero español actual	18
1.6. La revolución «Craft Beer».....	21
Capítulo 2: Materias primas	23
2.1. Agua	23
2.1.1. Iones disueltos en el agua	23
2.1.2. Valores de pH y dureza del agua	26
2.2. Cebada	27
2.2.1. Estructura del grano de cebada.....	27
2.2.2. Composición química del grano de cebada	28
2.2.3. Evaluación de la cebada	30
2.3. Adjuntos.....	31
2.4. Lúpulo	32
2.4.1. Estructura del cono de lúpulo.....	32
2.4.2. Composición y propiedades de los componentes.....	33
2.4.3. Formas de comercialización del lúpulo.....	36
2.5. Levadura	36
2.5.1. Estructura y composición de la célula de levadura	37
2.5.2. Metabolismo de la levadura	39
2.5.3. Caracterización de las levaduras para cerveza.....	42

Capítulo 3: Fabricación de la malta de cebada	43
3.1. Limpieza, selección del grano y almacenamiento.....	44
3.2. El remojo.....	44
3.2.1. Técnica del remojo	45
3.2.2. Equipos para el remojo	46
3.3. La germinación.....	46
3.3.1. Técnicas de la germinación	48
3.4. El secado	49
3.4.1. Etapas del secado	50
3.5. Eliminación de raíces.....	51
3.6. Almacenamiento de la malta de cebada	51
Capítulo 4: Producción del mosto.....	53
4.1. Limpieza y desinfección de los equipos	54
4.1.1. Proceso de limpieza	54
4.1.2. Medidas de seguridad	56
4.2. Tratamiento del agua	56
4.2.1. Equipo de tratamiento y almacenamiento del agua de proceso....	57
4.3. Molturación de la malta	58
4.3.1. Equipo para la molturar la malta de cebada	59
4.4. Maceración.....	60
4.4.1. Propósito de la maceración	60
4.4.2. Propiedades de las enzimas	60
4.4.3. Degradación del almidón	61
4.4.4. La degradación del β -glucano.....	66
4.4.5. La degradación de sustancias albuminoides	66
4.4.6. Proceso de la maceración	67
4.4.7. Equipo para la maceración y la cocción del mosto.....	69
4.5. Filtración del mosto.....	71
4.5.1. Filtrado del primer mosto	71
4.5.2. Lavado del bagazo.....	72
4.5.3. Proceso de filtración del mosto.....	72
4.5.4. Equipo de filtración del mosto (lauter tun).....	73
4.6. Cocción	74
4.6.1. Los componentes del lúpulo en la cocción.....	75
4.6.2. Polimerización de compuestos formados por polifenoles y sustancias albuminoides	76

4.6.3.	Evaporación del agua.....	77
4.6.4.	Esterilización del mosto.....	77
4.6.5.	Destrucción de las enzimas.....	77
4.6.6.	Descenso del pH	77
4.6.7.	Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas	78
4.6.8.	Adición de lúpulo.....	79
4.6.9.	Proceso de cocción del mosto	81
4.6.10.	Equipo de cocción del mosto	82
4.6.11.	Consumo de energía durante la cocción del mosto	82
4.7.	Filtrado del trub caliente	82
4.7.1.	Equipo de centrifugación	83
4.8.	Enfriado del mosto	84
4.8.1.	Proceso de enfriado y aireación del mosto	84
4.8.2.	Equipo para el enfriado y la aireación del mosto.....	84
Capítulo 5: Fabricación de la cerveza.....		87
5.1.	Transformaciones durante la fermentación y la maduración	88
5.1.1.	La levadura	88
5.1.2.	Metabolismo de la levadura	90
5.1.3.	Metabolismo proteico.....	94
5.1.4.	Metabolismo de hidratos de carbono.....	95
5.1.5.	Productos secundarios de fermentación.....	96
5.1.6.	Otros procesos y transformaciones	98
5.2.	Proceso de fermentación y maduración.....	98
5.3.	Equipos de fermentación y maduración.....	100
5.3.1.	Depósitos cilindrocónicos.....	100
5.3.2.	Equipo de control de temperaturas	100
5.4.	Envasado de la cerveza	101
5.4.1.	Etiquetado de las botellas.....	101
5.4.2.	Embotellado de la cerveza	101
5.4.3.	Taponado de las botellas	102
5.4.4.	Equipos utilizados en el envasado.....	102
Capítulo 6: Control de calidad.....		105
6.1.	Definición de calidad de la cerveza	105
6.2.	Degustación de la cerveza.....	106
6.3.	Control microbiológico	107
6.4.	Análisis de la cerveza	107

6.4.1. Determinación de las densidades original y final y el contenido en alcohol	108
6.4.2. Medida del valor de pH	109
6.4.3. Determinación del contenido de oxígeno en la cerveza	109
6.4.4. Determinación de las unidades de amargor	110
6.4.5. Determinación del contenido en dióxido de carbono.....	110
Capítulo 7: Normativa de la fabricación de cerveza en España	113
7.1. Normativa aplicable a la cerveza en cuanto producto (RTS).....	113
7.2. Normativa aplicable al etiquetado de la cerveza	114
7.3. Normativa sobre los impuestos especiales que gravan la cerveza	114
7.4. Normativa referente a los envases de cerveza	114
7.5. Normativa medioambiental (IPPC)	115
7.6. Normativa relativa a seguridad e higiene	115
Capítulo 8: Conclusiones	116
Capítulo 9: Bibliografía	119
9.1. Bibliografía de consulta.....	119
9.2. Portales de internet consultados	120

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de la población de Albelda	15
Figura 2. El químico francés Louis Pasteur realizando experimentos en su laboratorio.....	17
Figura 3. Imagen de una pequeña fábrica de cervezas actual con todos los depósitos de acero inoxidable.....	18
Figura 4. Producción de cerveza en España en 2013.....	20
Figura 5. Producción de cerveza artesana frente a la cerveza fabricada por las grandes industrias en EEUU de 2007 a 2012.	21
Figura 6. Número de fábricas de cerveza en EEUU desde el año 1887 hasta el año 2013	22
Figura 7. Estructura del grano de cebada.....	28
Figura 8. A la izquierda, estructura de la amilosa; a la derecha, la estructura de la amilopeptina	29
Figura 9. Conos de lúpulo recién recolectados (izquierda) y sección de un cono (derecha)	32
Figura 10. Estructura química de la α -ácidos y los β -ácidos del lúpulo, respectivamente	34
Figura 11. Diferentes partes de una célula de levadura.....	37
Figura 12. Estructura de la membrana celular. (1) fosfolípidos, (2) proteínas acumuladas, (3) proteínas de transporte, (4) trehalosa acumulada..	38
Figura 13. Células de levadura en gemación. Se observan las cicatrices de gemación.....	40
Figura 14. Fases de la propagación de la levadura	41
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de malteado.....	43
Figura 16. Inicio del proceso de malteado en el que se mezcla agua con cebada en el tanque de remojo	46
Figura 17. Granos de cebada en pleno proceso de germinación	48
Figura 18. Detalle de los tornillos sinfín removiendo los granos de cebada germinada	49
Figura 19. Malta de cebada tostada a diferentes temperaturas.	51
Figura 20. Diagrama de flujo del proceso completo de fabricación del mosto. ...	53
Figura 21. Esfera de limpieza CIP.....	55
Figura 22. Filtro de carbón activo con sus características técnicas.	57
Figura 23. Depósito equipado con resistencia eléctrica para el calentamiento del agua y aislado térmicamente.....	58

Figura 24. Detalle de diferentes tipos de rodillos.....	59
Figura 25. Molino de dos rodillos con una producción de 200 kg/h	59
Figura 26. Efecto de la temperatura en la velocidad de la reacción.....	61
Figura 27. Degradación del almidón durante la maceración	63
Figura 28. Temperaturas óptimas de las enzimas (α -amilasa y β -amilasa), porcentaje de azúcares fermentables y porcentaje de dextrinas en 1h de macerado	65
Figura 29. Rangos de temperatura de acción de las principales enzimas durante una maceración	67
Figura 30. Tabla de valores óptimos de pH y temperatura de las diferentes enzimas en el proceso de maceración.....	68
Figura 31. Gráfico de maceración asociado a las recetas a elaborar por el equipo instalado en el presente proyecto.	69
Figura 32. Depósito de maceración – cocción.	70
Figura 33. Caldera de vapor de 100 kg/h de producción.	70
Figura 34. Bombas centrífugas para el trasiego de líquidos	71
Figura 35. Mirilla de visión en el tanque de filtrado.....	72
Figura 36. Detalle de la construcción del falso fondo con varillas triangulares. ..	73
Figura 37. Vista del interior del tanque a través de la apertura lateral, se observa el falso fondo y el agitador formado por “cuchillas”	74
Figura 38. Adición de conos de lúpulo al tanque de cocción	75
Figura 39. Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas en la cocción y la fermentación.....	79
Figura 40. Características que aporta el lúpulo al mosto en función del tiempo de hervido.....	80
Figura 41. Perfil de la cerveza según la densidad del mosto al final de la cocción dependiendo de las unidades de amargor (IBU).....	81
Figura 42. Principio de funcionamiento de un whirlpool.....	83
Figura 43. Depósito de centrifugación o whirlpool	83
Figura 44. Intercambiador de placas de dos fases	85
Figura 45. Difusor de acero inoxidable para la aireación del mosto	85
Figura 46. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la cerveza	87
Figura 47. Esquema de la fermentación alcohólica, según Embden-Meyerhof- Parnas.....	91
Figura 48. Estructura química de una molécula de ATP	93
Figura 49. Formación de un alcohol superior debido a la formación de proteínas propias por la levadura.....	95
Figura 50. Fermentadores cilindrocónicos isobáricos.....	100

Figura 51. Equipo de frío/calor para controlar la temperatura de los depósitos cilindrocónicos.....	101
Figura 52. Llenadora de botellas isobárica.....	103
Figura 53. Taponadora neumática tapón corona.....	103
Figura 54. Etiquetadora semi-automática.....	103
Figura 55. Medida de la densidad con un densímetro.....	109
Figura 56. Medición del pH mediante un pH-metro.....	109
Figura 57. Instrumento para la medida de oxígeno disuelto en la elaboración de cerveza	110
Figura 58. Tabla de presión de la cerveza vs temperatura.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores máximos y mínimos adecuados de los iones en el agua cervecera	26
Tabla 2. Parámetros de calidad de la cebada	31
Tabla 3. Componentes que forman el lúpulo seco, importantes en la fabricación de cerveza.....	33
Tabla 4. Características técnicas del molino.....	60
Tabla 5. Niveles de oxígeno disuelto en cada etapa durante el proceso de elaboración.. ..	110

RESUM

En el present projecte s'ha realitzat un estudi econòmic i tecnològic per a l'implementació d'una fàbrica de cervesa artesana amb una capacitat de producció inicial de 360 hl/any. La planta està situada a Albelda (Osca).

A més a més, s'ha dut a terme un anàlisi exhaustiu de tots els aspectes que influeixen en la elaboració de la cervesa, identificant els punts crítics del procés que finalment determinaran la qualitat del producte final. Per a poder desenvolupar aquests conceptes es compta, des de fa cinc anys, amb una planta pilot de 100 l de capacitat.

La cervesa es una beguda fermentada preparada a partir d'aigua, ordi maltejat i aromatitzada amb flors de llúpul. El procés de fabricació consta de les següents etapes: molta del gra, maceració, filtrat, cocció, centrifugació, refredament, fermentació, maduració i envasat.

RESUMEN

En el presente proyecto se ha realizado un estudio económico y tecnológico para la implantación de una fábrica de cerveza artesana con una capacidad de producción inicial de 360 hl/año. La planta está situada en Albelda (Huesca).

Además, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de todos los aspectos que influyen en la elaboración de la cerveza, identificando los puntos críticos del proceso que finalmente determinarán la calidad del producto final. Para poder desarrollar estos conceptos se cuenta, desde hace 5 años, con una planta piloto de 100l de capacidad.

La cerveza es una bebida fermentada preparada a partir de agua, cebada malteada y aromatizada con flores de lúpulo. El proceso de fabricación consta de las siguientes etapas: molturado del grano, maceración, filtrado, cocción, centrifugación, enfriamiento, fermentación, maduración y envasado.

ABSTRACT

In the present project, it has-been done an economic and technological study with the purpose of creating a craft beer brewery with 360 hl per year as the initial production. The brewery is located in Albelda (Huesca).

Furthermore, it has been done an exhaustive analysis of all of the aspects That Have influence on the beer production, identifying the critical points of the

process that will determinate at the final product quality. In order to develop these concepts, it has available, since 5 years ago, a pilot plant of 100 liters of capacity.

The beer is a fermented drink, made of water, malted barley and aromatized with hops flowers. The fabrication process consist of the following stages: milling the grain, maceration, filtration, cooking, centrifugation, cooling, fermentation, maturation and bottling.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría expresar mi agradecimiento a la directora del presente proyecto, la Sra. María Pilar Almajano Pablos, por permitirme realizar un proyecto con el que he podido profundizar y abordar temas de gran interés personal, facilitándome en todo momento la labor.

Quiero expresar mi agradecimiento y mi gratitud a mi familia que siempre me han ayudado y apoyado en todo lo que me he propuesto, y de forma especial durante el desarrollo de mis estudios universitarios.

Agradezco también a mis amigos, el hecho de que siempre hayamos permanecido unidos en todas las situaciones, disfrutando de incontables buenos momentos y aprendiendo de los no tan buenos.

Para finalizar me gustaría agradecer a los compañeros de la carrera y a los profesores del centro, el hecho de haber podido recorrer este camino juntos aprendiendo día a día.

Rubén Sancho Saurina
Barcelona, 9 de Junio de 2015.

"La posibilidad de realizar un sueño es lo que hace que la vida sea interesante"

Paulo Coelho

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad la instalación de una pequeña fábrica de elaboración de cerveza de forma artesanal y se así como el estudio de las técnicas y procesos que garanticen la calidad de la misma.

La cerveza es una bebida fermentada cuya preparación se realiza a partir de cereales germinados, principalmente cebada (malta), y está aromatizada con flores de lúpulo. Se compone de alcohol, glicerina, anhídrido carbónico, maltosa, dextrina, sustancias nitrogenadas, materias minerales y pequeñas proporciones de taninos, sustancias amargas y ácidos orgánicos.

Su elaboración está ligada a una sucesión de tres procesos bioquímicos:

- La formación de enzimas en el grano de cereal germinante.
- La degradación de almidón a azúcar por parte de estas encimas.
- La fermentación del azúcar a alcohol y CO₂.

Estos procesos eran conocidos desde hace miles de años, sin que se supiera cómo estaban relacionados y como se podían controlar.

La elaboración de cerveza era realizada por la gran mayoría de las civilizaciones antiguas conocidas. Pero no fue hasta el siglo XIV cuando se crearon las primeras industrias cerveceras en los monasterios.

Tras la revolución industrial y tras los avances conseguidos en los siglos XVIII y XIX, se crearon grandes fábricas de cerveza. Estas fábricas comenzaron a elaborar cervezas de baja fermentación o lager, añadiendo adjuntos tales como el maíz o el arroz que son fuentes de almidón mucho más económicas que la cebada malteada. Actualmente son estas grandes fábricas las que producen casi la totalidad de la cerveza consumida en todo el mundo.

En algunos países europeos, se continuaron elaborando estilos tradicionales de cerveza en pequeñas fábricas de carácter local. La mayor parte de estas cervezas correspondían a estilos de alta fermentación o ale. Actualmente están volviendo

a aparecer muchas micro-cervecerías en todo el mundo. Su principal característica reside en que utilizan las técnicas de elaboración y las materias primas que proporcionan mayores cualidades organolépticas a sus productos. Es un mercado muy exigente que está en creciente expansión.

Las fábricas que elaboran este tipo de cervezas deben de ser muy competitivas y elaborar productos de una excelente calidad. De lo contrario, tal y como se ha observado en otros países con mayor trayectoria o actualmente en España, muchas de estas fábricas desaparecen. Es por ello fundamental poder detectar cuando un producto no cumple con los estándares deseados.

1.1. Antecedentes y motivación

Se inició la actividad hace 5 años aproximadamente, con el diseño e instalación de una planta piloto de fabricación de cerveza artesana con capacidad de 100l por lote a modo experimental. Durante este tiempo se han realizado diversas pruebas y se han desarrollado y montando componentes en el equipo de producción que han permitido poner en práctica nuevas técnicas y procesos de producción idénticos a los que se realizan en una pequeña fábrica de cerveza o micro-cervecería. Durante este tiempo, el objetivo principal de todos los experimentos realizados y los datos recogidos ha sido el control de la calidad de la cerveza.

Tras encontrar en estas experiencias una gran pasión por este trabajo y tras los estudios de viabilidad oportunos, se decide dar el paso y ampliar la escala del proceso experimental a una planta industrial con una producción de 1000l/lote. Así pues, el objetivo de este proyecto consiste entre otras cosas, en la instalación de una fábrica de cerveza artesana con una capacidad inicial de 36hl/año.

En los últimos tres años se ha vivido un creciente aumento tanto en número de micro-cervecerías en España, como en lo que a consumo de cerveza artesana se refiere. Pero todavía es un mercado joven, con muchos productores que carecen de formación y de experiencia lo que hace que en muchas ocasiones la calidad de los productos se resienta, pese a ser cada vez un hecho menos habitual. Por ello es fundamental entrar en el mercado con un producto que tenga la mayor estabilidad posible. Este proyecto tiene también como objetivo, abordar todas aquellas técnicas, procesos e ingredientes que garanticen la producción de una cerveza de calidad, destinada a la venta.

El hecho de realizar un proyecto que tiene su aplicación real, promovido directamente por un interés personal hace que la motivación sea máxima.

1.2. Ubicación

La planta está situada en la población de Albelda en la comarca de La Litera, en Huesca. Esta localidad es atravesada por el canal de Aragón y Cataluña, por lo que cuenta con agua potable directamente de la red. Se encuentra a escasos kilómetros de la autovía A-22 (Lérida-Huesca). Está situada a 32km de Monzón y a 34km de de Lérida. El aeropuerto de Alguaire está a 20 km. La localidad está situada en la frontera entre Aragón y Cataluña y la distancia hasta el pirineo aragonés es de 60km aproximadamente.



Figura 1. Mapa de localización de la población de Albelda.
Fuente: <https://www.google.es/maps>

1.3. Descripción de la planta

La planta tiene una superficie total de 172 m², dividida en dos pisos. Está situada entre dos edificios. La fachada, que es donde se encuentran los accesos, da a la Calle Nueva. Tiene un patio adosado de 75 m² y una antigua bodega de piedra de 20 m². La distribución de la planta es la siguiente (de este a oeste): En primer lugar se encuentra el almacén de envases (botellas y barriles) y el almacén de la materia prima, seguidamente está el equipo de producción junto a los filtros de tratamiento del agua, a su lado los fermentadores, al lado de éstos la zona de embotellado, el almacén de producto terminado y por último el aseo. En la planta superior se encuentra una sala de reuniones, unos aseos, un comedor, una oficina y un laboratorio para efectuar los controles de calidad, así como otra sala en la que se guardan elementos de promoción y publicidad. En el patio exterior se encuentra el molino de malta (cubierto por tejado y paredes). El resto del patio puede ser utilizado para el almacenamiento de envases y la bodega será utilizada en un futuro para madurar cerveza en barricas de madera.

1.4. Origen e historia de la cerveza

El origen de la cerveza se remonta a la prehistoria. Probablemente el momento está relacionado con el sedentarismo de los recolectores y cazadores, con el cual se inicia también el cultivo de cereales. El cultivo de la cebada se data aproximadamente entre el año 9000 a.C. y 8000 a.C. Aunque, los restos arqueológicos más antiguos encontrados relacionados con la fabricación de cerveza, se descubrieron en la cueva de San Sadurní en Begues, Barcelona y pertenecen al año 3500 a.C. En España hay otros yacimientos en los que se han encontrado restos de fermentaciones de cerveza en objetos; en Ambrona (Soria), pertenecientes al año 2400 a.C., y en Genó (Lleida) del año 1000 a.C.

La fabricación y despacho de cerveza fueron reglamentados de forma precisa en el conjunto de leyes del rey babilónico Hammurabi (1728 a 1686 a.C.). Existen

también muchas ilustraciones y objetos pertenecientes al antiguo Egipto que muestran que se empezó a elaborar cerveza a gran escala. Estos conocimientos llegaron hasta Europa donde se popularizó esta bebida. En aquellos tiempos ya se conocía que la cerveza estaba libre de gérmenes peligrosos, mientras que el agua podía causar algunas enfermedades. Además contenía una gran cantidad de nutrientes lo que hacía que fuese un importante alimento. Por ello la cerveza – y en algunas zonas el vino- eran las únicas bebidas que eran consumidas tanto por los soberanos como por los trabajadores.

Los germanos, los celtas y los escitas eran pueblos en los que la cerveza era una bebida muy popular. Las mujeres se encargaban de su elaboración como alimento diario en los hogares. En las culturas primitivas tanto la fabricación de cerveza como la panificación eran tareas que desempeñaban las mujeres.

Fue en las cervecerías de los monasterios donde se realizó el paso de la fabricación casera a la industria cervecera a lo largo del siglo XIV. En esta época se comenzó a utilizar el lúpulo como el único saborizante, ya que hasta ese momento se utilizaba una mezcla de diferentes condimentos (artemisa, salvia, regaliz, enebro...) denominada "Grut" en alemán. Actualmente encontramos una cervecería en la ciudad de Gante (Bélgica) que sigue elaborando sus cervezas sin la adición de lúpulo, denominada Gruit.

El 23 de abril del año 1516 se firmó en Alemania la Ley de Pureza Bávara (el "Reinheitsgebot") por los duques Guillermo IV y Luis X, que establecía que los únicos ingredientes que se debían utilizar para la fabricación de cerveza eran: malta, lúpulo y agua. La guerra de los Treinta Años hizo retroceder el desarrollo de la fabricación de cerveza. Durante la revolución industrial, en 1765, James Watt desarrolló la primera máquina de vapor. En el año 1876 se empezó a utilizar la máquina frigorífica que inventó Carl von Linde, permitiendo elaborar y almacenar la cerveza durante todo el año.

El francés Louis Pasteur mostró en el año 1860 que los procesos de fermentación son atribuibles a la actividad de microorganismos y escribió la siguiente frase: "La fermentación es la vida sin oxígeno". Fue sin duda el precursor de la microbiología moderna. En 1883, Emil Christian Hansen desarrolló un método de cultivo de levadura pura que fue mejorado 10 años más tarde por Paul Lindner. Ambos eran trabajadores del Laboratorio Carlsberg en Copenhage. De esta forma se consiguió aislar levaduras puras (*Saccharomyces Carlsbergensis*), disminuyendo la presencia de contaminantes.



Figura 2. El químico francés Louis Pasteur realizando experimentos en su laboratorio. Fuente: <http://www.chemistryexplained.com>

Otra de los cambios revolucionarios en la elaboración de cerveza fue la implementación del filtrado por parte de Lorenz Enzinger en 1879. Los primeros métodos de filtrado utilizados fueron: masa filtrante, kieselgur y otros medios. También se empezaron a utilizar estabilizantes aumentando el tiempo de conservación de la cerveza.

En esta época se produjo un importante desarrollo de la industria cervecera tanto a nivel europeo como a nivel mundial. Se crearon un gran número de industrias cerveceras y la gran mayoría de ellas se centraron en la producción de cervezas claras de estilo "Lager". Algunos ejemplos más representativos son: *Schultheuss Brauerei AG*, en Alemania (1843); *Carlsberg*, en Dinamarca (1847); *Heineken*, en Holanda (1863) y *Budweiser*, en América del Norte (1875). En España, en la región de Cataluña, se fundaron *Estrella Damm* (1876) y *San Miguel* (1890).

A medida que iban desarrollándose estas industrias, también se fueron creando laboratorios y centros de enseñanza que fomentaban el conocimiento que abarcaba la fabricación de cerveza. También se organizaron especialistas para elaborar métodos de análisis estandarizados, dando lugar a organizaciones tales como: la European Brewery Convention (EBC), la American Society of Brewing Chemists (ASBC) y otras. De la misma forma se desarrollaron en casi todos los países gremios cerveceros así como poderosas federaciones cerveceras.

En EEUU las industrias observaron las ventajas económicas que suponía la utilización de harina de maíz y de sémola de arroz junto con la malta. Empezaron a perfeccionar la técnica y la tecnología de procesamiento del grano crudo, creando un nuevo tipo de cerveza, que alcanzó mucha importancia a nivel mundial. Sólo en Alemania, debido a la Ley de la Pureza "Reinheitsgebot", no se aplicó este tipo de procesos e ingredientes.

En 1919, en los EEUU se aprobó la Ley Seca, que prohibía las bebidas alcohólicas. Esto supuso un revés importante para las fábricas de cerveza, pero finalmente, esta ley fue revocada en el año 1933, pudiendo éstas retomar su actividad.

A finales del siglo XIX y durante el siglo XVIII, se inició una transición, en lo que respecta a los materiales de construcción de los equipos de elaboración así como de los recipientes de almacenamiento. Inicialmente el material utilizado era la madera, luego se comenzó a utilizar el hierro, aluminio y el cobre, y finalmente, el acero inoxidable. Esto ha supuesto un paso muy importante a la hora de automatizar la limpieza de los mismos.



Figura 3. Imagen de una pequeña fábrica de cervezas actual con todos los depósitos de acero inoxidable. Fuente: <http://edgebrewing.com/>

También a inicios del siglo XX se empezaron a crear las malterías comerciales. Así pues, cada vez eran menos las fábricas de cerveza que tenían un espacio para elaborar su propia malta. De esta forma se diferenciaban aún más estos dos procesos que poco tienen en común, aunque uno dependa del otro; la fabricación de malta por un lado y la fabricación de cerveza por otro.

1.5. Mercado cervecero español actual

Actualmente, las grandes fábricas son las que controlan casi todo el mercado de la fabricación y distribución de la cerveza, tanto a nivel mundial como a nivel nacional. Las características principales de estas industrias cerveceras son las siguientes:

- La elevada cantidad de hectolitros que elaboran anualmente.
- El estilo de cerveza más elaborado es el de baja fermentación (lager).
- Para su fabricación se utilizan además de la malta de cebada, otros cereales como el arroz y el maíz para abaratar en gran medida los costes de producción.

- Se utilizan estabilizantes y conservantes alargando así la vida útil del producto.
- La cerveza es filtrada y pasteurizada antes de su distribución, con las ventajas e inconvenientes que ello conlleva sobre el producto final.
- Automatización en todas las fases del proceso.
- Campañas publicitarias con presencia en todos los medios y patrocinios a eventos lúdicos, deportivos, etc.

El resto del mercado es compartido por un elevado número de pequeñas fábricas de cerveza, también denominadas *micro-cervecerías* o *craft breweries*. Las principales características de estas empresas son las siguientes:

- La producción anual de todas las micro-cervecerías españolas en hl es el 1,5% del total de hl de cerveza elaborados en 2014.
- Cada fábrica elabora diferentes estilos de cerveza, además de realizar estilos estacionales o incluso colaboraciones con otras micro-fábricas.
- Se utilizan todo tipo de ingredientes con la intención de aportar sabores y matices totalmente diferentes.
- Las técnicas de elaboración varían de un estilo a otro en función de las características que se le quiera otorgar al producto final.
- No se utilizan aditivos químicos.
- Algunas micro-fábricas filtran sus cervezas para aumentar su claridad y estabilidad, pero muy pocas o ninguna pasteuriza ya que esto eliminaría gran parte de los aromas obtenidos durante el proceso.
- Algunas partes del proceso requieren de la mano del hombre puesto que la automatización de algunos procesos sería prácticamente imposible debido a la versatilidad de las diferentes recetas.
- El presupuesto destinado a publicidad y promoción es muy reducido, aunque las nuevas tecnologías y las redes sociales se han convertido en un elemento clave.

En el siguiente gráfico elaborado por el gremio de cerveceros españoles, se puede observar la cantidad de hectólitros de cerveza producidos en España el año 2013, por las diferentes marcas y por las micro-cervecerías nacionales (figuran como *otros* en el gráfico):

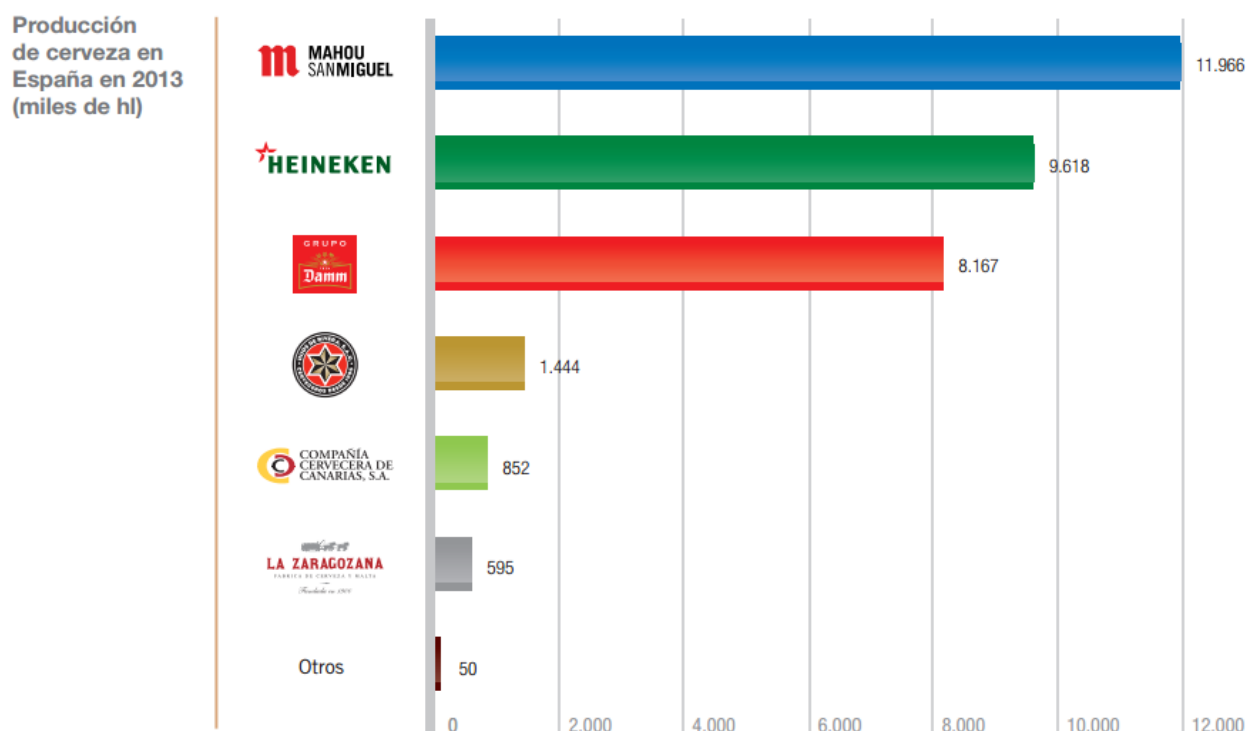


Figura 4. Producción de cerveza en España en 2013. Fuente: www.cerveceros.org

Se observa que se fabricaron un total de 32,7 millones de hectolitros de cerveza en 2013. De los cuáles el 98,5% corresponde a las grandes industrias cerveceras españolas, mientras que solamente el 1,5% corresponde al total de las *craft breweries* que elaboran cervezas artesanas.

Como se puede observar, las diferencias entre estos dos tipos de industrias cerveceras son muy pronunciadas. Éstas se encuentran también en sus productos, mercado, costes de producción, distribución... Siendo prácticamente dos sectores totalmente distintos pese a que ambos elaboran el mismo producto: cerveza.

El mercado de cerveza artesana aumenta año tras año en España, aunque sea de forma lenta. En los últimos 5 años el número de micro-cervecerías ha pasado de ser aproximadamente 10 a más de 200 en la actualidad. El número de negocios de restauración ligados a este producto también ha crecido de forma muy elevada, así como de minoristas y distribuidores que se dedican a su exclusiva comercialización. En los próximos años se continuará experimentando un aumento de este sector según las previsiones de mercado.

1.6. La revolución «Craft Beer»

Si se analiza el fenómeno de las craft breweries a lo largo del mundo, se observa que en algunos países con una extensa tradición y cultura por la cerveza, todavía a día de hoy, se encuentran activas pequeñas fábricas desde hace más de 200 años. En República Checa, Alemania, el norte de Francia, Bélgica, Holanda y Reino Unido existen algunas de ellas. La mayoría son establecimientos denominados brewpubs (bares y/o restaurantes con fabricación propia de cerveza). En los últimos 15 años, han se han instalado en Europa numerosas micro-fábricas en dichos países y en otros como Italia, Suiza, Dinamarca, España... Y cada vez son más las que aparecen en esta denominada "craft beer revolution".

Otros países de gran trayectoria como EEUU, han experimentado un crecimiento muy importante a lo largo de los años en lo que a producción de cerveza artesana se refiere. En aproximadamente 25 años han pasado a ocupar una cota de mercado del 1% al 6,5%, y la tendencia es que siga aumentando en los siguientes años.

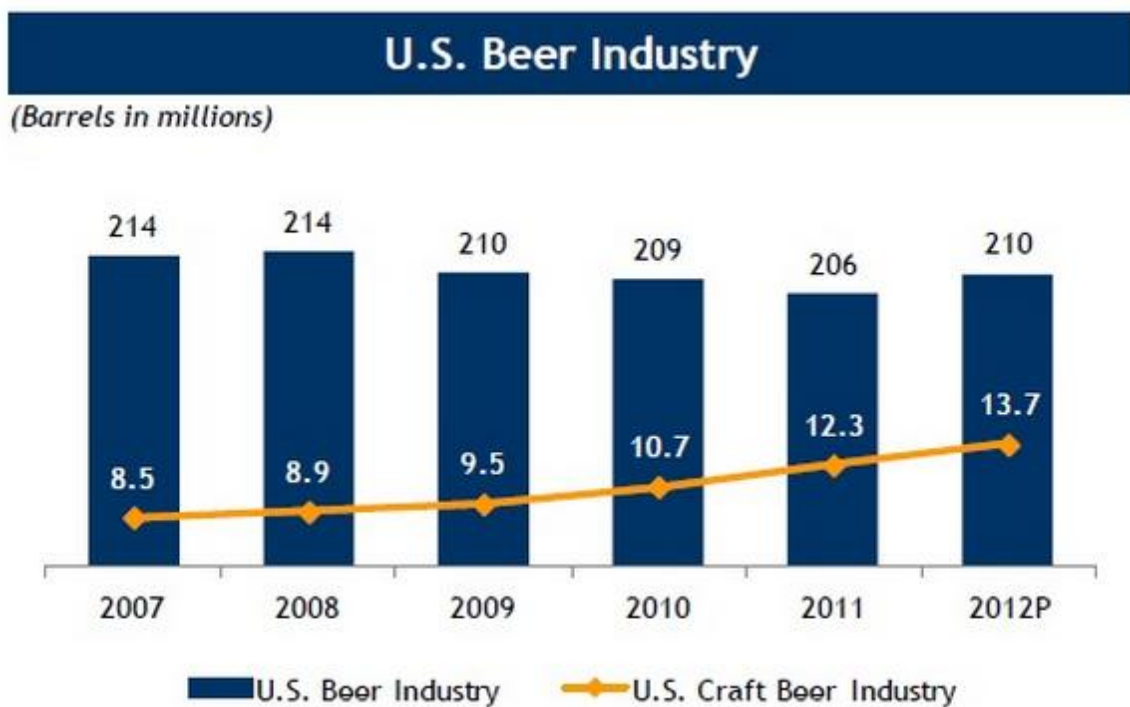


Figura 5. Producción de cerveza artesana frente a la cerveza fabricada por las grandes industrias en EEUU de 2007 a 2012. Fuente: <http://cervezartesana.es/>

Los EEUU son el ejemplo más representativo de la consecución de este movimiento por parte de los cerveceros artesanos. A continuación se muestra otro gráfico en el que se observa el número de cervecerías que han existido en los últimos 126 años.



Figura 6. Número de fábricas de cerveza en EEUU desde el año 1887 hasta el año 2013. Fuente: <https://www.brewersassociation.org/>

El número era bastante elevado hasta que se aprobó la ley seca. Después del final de la prohibición del alcohol, el número de fábricas de cerveza no sólo era menor, si no que fue descendiendo durante los siguientes años. Las fechas, además, coinciden con el mayor crecimiento de las grandes fábricas. A partir de los años '80 se fue revirtiendo esa situación, sobre todo en la década de los años '90. Desde el año 2009, y gracias en gran parte a la difusión en las redes sociales e Internet, se está experimentando el crecimiento más importante de este sector.

En la actualidad, existen *craft breweries* en todos los continentes. Es un sector muy exigente en el que solamente las fábricas que ofrecen productos de mucha calidad y se renuevan constantemente sobreviven. Se organizan campeonatos anuales tanto a nivel nacional, continental o mundial. En estas pruebas se determinan cuáles son las mejores cervezas en función de los diferentes estilos. Solamente los maestros cerveceros con un mayor dominio de las técnicas de elaboración son los que resultan galardonados obteniendo no solo la satisfacción personal sino también una imagen de marca muy prestigiosa.

Para poder elaborar una cerveza de gran calidad; tanto los ingredientes, como los equipos de producción, así como las técnicas utilizadas en la fabricación son fundamentales. Es muy importante también obtener parámetros tanto cuantitativos como cualitativos de estas prácticas y del producto obtenido. Es por ello muy importante establecer una serie de protocolos durante la fabricación y el almacenamiento para poder garantizar la mayor estabilidad posible en estas cervezas especiales que pueden perder sus preciados aromas en cuestión de meses, horas e incluso días.

CAPÍTULO 2:

MATERIAS PRIMAS

Para la fabricación de la cerveza, son necesarios como mínimo el agua, la malta de cebada, el lúpulo y la levadura. Además, se pueden utilizar algunos cereales adjuntos para otorgar diferentes sabores y texturas, así como cualquier ingrediente que se quiera adicionar con la intención de aportar ciertos matices. En el siguiente capítulo se van a describir las diferentes materias primas que se utilizan en la fabricación de la cerveza artesana.

2.1. Agua

El agua es la materia prima en mayor proporción utilizada para la fabricación de cerveza. Sin embargo, solamente una parte de la cantidad de agua requerida es usada directamente en la cerveza, mientras que otra parte se requiere para limpieza, enjuague y otros propósitos. El consumo de agua fresca en las fábricas de cerveza varía en promedio entre 4 y 6 hl/hl de cerveza lista para la venta. Es por ello muy importante reducir el consumo de agua tanto como sea posible, puesto que no es usual que las micro-cervecerías cuenten con una planta depuradora de aguas.

La calidad del agua utilizada en el proceso de elaboración tiene una gran influencia sobre la calidad de la cerveza. Se utilizan aproximadamente entre 1,8 y 2,2 hl/hl de mosto de cerveza en la sala de cocción. Antiguamente, las fábricas de cerveza dependían de las características del agua de la ciudad o zona en la que estaban ubicadas.

2.1.1. Iones disueltos en el agua

Actualmente, existen diferentes técnicas de tratamiento del agua que permiten obtener las concentraciones de las sales disueltas deseadas. Estas sales dado que están muy diluidas en el agua, se encuentran totalmente disociadas en iones, por lo que es más correcto hablar de iones disueltos. Para este estudio, únicamente se tendrán en cuenta los iones químicamente activos, que son los

que reaccionarán con la malta durante el proceso de la maceración. A continuación, se enumeran y explican los más importantes:

- **Calcio (Ca^{+2})**

Los iones de calcio son uno de los elementos con mayor importancia en el agua cervecera. Su presencia influye sobre varios aspectos del proceso de elaboración.

En la maceración, disminuye el pH del mosto favoreciendo la actividad enzimática. Tanto en la maceración como en la ebullición beneficia la degradación y precipitación de proteínas, eliminando la turbidez del mosto y fomentando la proteólisis, que aumenta la concentración de nitrógeno amino libre. Estos compuestos de nitrógeno amino libre son utilizados durante la fermentación por la levadura, para la fabricación de aminoácidos mejorando la vitalidad de la misma. Además, en la fermentación los iones del calcio favorecen la floculación de la levadura.

El rango de la concentración óptima de calcio en el agua cervecera varía entre 50-150 ppm.

- **Magnesio (Mg^{+2})**

El magnesio se comporta de una forma muy similar a la de los iones de calcio, pero con menor eficacia. Es un nutriente muy importante para el metabolismo de la levadura en la reacción de reducción del piruvato descarboxilasa. La malta de cebada contiene suficiente magnesio que es hidrolizado en el mosto durante la maceración. Únicamente en las cervezas que utilizan gran cantidad de adjuntos o azúcares refinados debería tenerse en cuenta la adición de magnesio al agua.

El rango de la concentración óptima de calcio en el agua cervecera varía entre 10-30 ppm.

- **Potasio (K^{+})**

El potasio, al igual que el magnesio, se requiere en niveles de trazas para que las fermentaciones sean satisfactorias (≤ 10 ppm). En concentraciones elevadas otorga un sabor salado. En la malta se encuentra los iones de potasio que son disueltos en el mosto durante la maceración.

- **Sodio (Na^{+})**

En las concentraciones adecuadas contribuye al cuerpo y la sensación en boca de la cerveza, redondea aromas y acentúa la dulzura de la malta. En concentraciones demasiado elevadas (< 150 ppm) imparte sabores indeseables salados y amargos. Los iones de sodio son nocivos para las levaduras. La concentración óptima es de 15 ppm.

- **Bicarbonato (HCO_3^{-})**

Los iones bicarbonato tienen menor capacidad de "buffering" que los iones carbonato. Estos iones son la principal forma de carbonatos en el agua con un pH menor a 8,4. Es por ello, que deben de controlarse en todo momento para que no afecten al valor de pH durante el macerado y el

hervido. Además, en concentraciones muy elevadas afectara tanto a los sabores y aromas, como en los procesos de maceración, cocción o fermentación.

El rango de la concentración óptima de bicarbonato en el agua cervecera varía entre 0-250 ppm, dependiendo del porcentaje de maltas oscuras utilizadas. Esto es porque las maltas, cuánto más tostadas son, más acidifican el mosto. Con la presencia de iones bicarbonato se logra mitigar este efecto. Para cervezas rubias el rango óptimo sería de 0-50 ppm. Y para cervezas negras 150-250 ppm.

- **Carbonato (CO_3^{-2})**

El carbonato es un ión alcalino. Al elevar el pH, neutraliza la acidez. Por lo que actúa como una solución tampón, manteniendo el pH en un valor constante. Es poco común que la concentración de estos iones sea muy elevada siempre que el pH del agua sea igual o inferior a 8.

- **Cloruro (Cl^-)**

El cloruro, en concentraciones inferiores a 250 ppm, acentúan los sabores a malta y la percepción del sabor dulce. Además, aumenta la estabilidad de la cerveza y su clarificación. En concentraciones superiores a 250 ppm, produce aromas y sabores a medicamentos y plástico debido a los componentes del clorofenol.

- **Sulfato (SO_4^{-2})**

Los iones sulfato contribuyen a la dureza permanente y a bajar el valor de pH (ídem Ca^{2+} y Mg^{2+}). Tienen mucha influencia sobre la percepción del lúpulo en la cerveza acabada. Dependiendo del estilo que se vaya a elaborar es recomendable una concentración u otra, que varía desde 10-250 ppm. Estos valores proporcionan a la cerveza un sabor más seco y amargo. Los valores superiores a 400 ppm no son apropiados, puesto que el amargor resultante puede resultar desagradable. Además, el azufre es esencial para el proceso de fermentación.

- **Otros componentes:**

Hay otros componentes además de los expuestos que pueden afectar al sabor y al proceso de fabricación.

Por una parte están los nitratos y nitritos. Los iones nitrato (NO_3^-) en concentraciones superiores a 20 ppm dificultan la fermentación y afectan de manera muy negativa al sabor de la cerveza. Los iones nitrito (NO_2^-) son tóxicos para la levadura y los seres vivos por lo que no deberían estar presentes en el agua.

Por otra parte están los metales y metales pesados. El cobre, hierro, manganeso y zinc deben estar en concentraciones inferiores a 1 ppm. Estos niveles son incluso beneficiosos ya que inhiben la floculación prematura de la levadura. El Sílice debe de encontrarse en concentraciones menores a 50 ppm, para evitar la formación de turbidez.

A continuación se muestra una tabla a modo resumen que muestra los valores máximos y mínimos de las concentraciones de los iones químicamente activos, adecuados para la elaboración de cerveza:

Tabla 1. Valores máximos y mínimos adecuados de los iones en el agua cervecera. Fuente: John Palmer and Colin Kaminski, Water.

Ión químicamente activo	Valor mínimo (ppm)	Valor máximo (ppm)
Calcio (Ca^{+2})	50	150
Magnesio (Mg^{+2})	10	30
Potasio (K^{+})	5	10
Sodio (Na^{+})	5	150
Bicarbonato/Carbonato	0	250
Cloruro (Cl^{-})	0	250
Sulfato (SO_4^{-2})	10	250

2.1.2. Valores de pH y dureza del agua

El valor inicial del pH del agua debe de estar comprendido entre 6,5-8,5. El agua proveniente de la red, cumple con la mayor parte de valores. Durante el proceso se realizarán los ajustes pertinentes según el estilo de cerveza que se vaya a elaborar. Seguidamente y para finalizar este apartado, se van a definir los conceptos de dureza total del agua, dureza temporal y dureza permanente.

La dureza del agua es formada por los iones calcio y magnesio disueltos en la misma. Normalmente se expresa como cantidad equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3). Es decir:

$$\text{Dureza (mg/l CaCO}_3\text{)} = 2,50 \cdot [\text{Ca} + 2] + 4,16 \cdot [\text{Mg} + 2] \quad (1)$$

Donde $[\text{Ca}^{+2}]$ y $[\text{Mg}^{2+}]$ son las concentraciones de ión calcio e ión magnesio expresados en mg/l, respectivamente. Los coeficientes se obtienen de las proporciones entre la masa molecular de CaCO_3 y las masas atómicas respectivas. Los mg/l y las ppm son unidades equivalentes. Los intervalos de los valores de la dureza total del agua cervecera están comprendidos entre 150-500 ppm de CaCO_3 .

La Dureza temporal o alcalinidad total corresponde al contenido total de iones carbonato y bicarbonato disueltos en el agua, que actúan aumentando el valor del pH. Estos iones empeoran el desarrollo de la producción y la calidad de la cerveza.

La Dureza permanente, de no carbonatos, residual o dureza de sulfatos o de yeso; corresponde a la cantidad de iones de calcio y magnesio, formados por cloruro de calcio, sulfato de calcio, cloruro de magnesio y sulfato de magnesio. Estos iones contrarrestan el incremento del valor de pH causado por la dureza de carbonatos.

La determinación de la dureza permanente y de la dureza total se realiza de acuerdo con la norma DIN 17640. Según el estilo de cerveza a elaborar y el valor

de la dureza temporal, deberán eliminarse carbonatos hasta llegar a un valor incluido en el rango óptimo para ese determinado estilo.

2.2. Cebada

La cebada para poder ser utilizada en el proceso de elaboración de la cerveza debe estar malteada. De esta forma el almidón que no puede ser metabolizado por la levadura, es reducido a carbohidratos más simples que si que pueden ser metabolizados. En la actualidad hay muy pocas fábricas de cerveza que dispongan de maltería propia. En este caso, se adquirirá la malta directamente de un distribuidor. Por ello, solamente se van a presentar los conceptos básicos que permitan entender a posteriori el comportamiento de la cebada malteada en el proceso de elaboración.

2.2.1. Estructura del grano de cebada

El grano de cebada tiene una forma alargada y aparece insertado a la espiga por la parte del germen. Está formado por las envolturas, el endospermo y el germen.

En la envoltura se encuentran las siguientes capas (de fuera hacia dentro):

- **Cascarilla**

Capa protectora externa del grano, contiene sílice, hemicelulosas, proteínas, resinas y taninos.

- **Pericarpio y Epicarpio**

Membrana semipermeable que impide el paso de compuestos solubles en agua como las sales y el giberélico. Contiene algunas grasas.

- **Testa**

Es semipermeable, dejando pasar al agua pero no las sales. Contiene flavonoides.

El endospermo está formado por:

- **Aleurona**

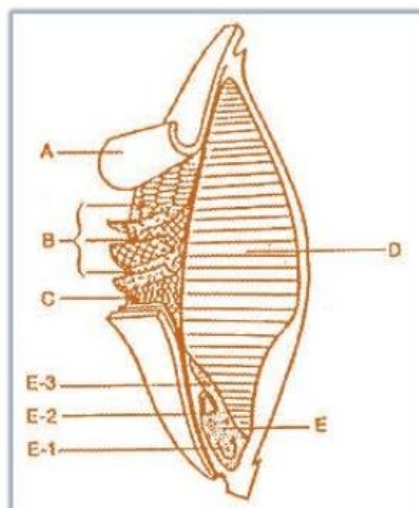
Es rica en proteínas y no contiene almidón. La aleurona es la fuente de enzimas hidrolíticos: β -amilasa, endoproteasas y endo- β -glucanasas.

- **Albumen**

Está formado por unas celdas cuyas paredes celulares están constituidas principalmente por β -glucanos. En el interior están los gránulos de almidón sobre una matriz proteica.

El germen o embrión del grano de cebada está completamente desarrollado y dispuesto a crecer cuando las condiciones del medio sean favorables. Es rico en lípidos, especialmente lecitina.

En la imagen siguiente se pueden observar las diferentes partes de un grano de cebada:



Estructura del Grano de Cebada

- A:** Cáscara
B: Capa del fruto (Pericarpio). Capa de semilla con superficie culinizada interior y exterior (Testa), Pericarpio.
C: Capa de aleurona. Fuente de enzimas.
D: Endospermo.
E: Embrión.
E-1: Raicillas.
E-2: Plúmula.
E-3: Escudillo.

Figura 7. Estructura del grano de cebada. Fuente: <http://es.slideshare.net/vegabner/exposicin-cebada-y-maiz>

2.2.2. Composición química del grano de cebada

La cebada está constituida por los siguientes elementos:

- **Agua**

Varía entre un 11% y un 16%. Carece de importancia cuantitativa en cuanto a su repercusión en la calidad de la malta y la cerveza.

- **Almidón**

El contenido puede alcanzar el 65% de la materia seca. Está constituido por amilosa y amilopectina. La hidrólisis del almidón durante la maceración producirá los azúcares fermentables del mosto y las dextrinas.

- La amilosa está compuesta por 200 a 400 residuos de glucosa, los cuales están unidos en una cadena helicoidal sin ramificaciones, por puentes de oxígeno, en las posiciones 1,4.
- La amilopectina está compuesta por residuos de α -glucosa que están unidos en las posiciones 1,4 por puentes de oxígeno. Sin embargo, en intervalos de 15 a 30 unidades de glucosa hay aparte un enlace 1,6 de manera que las moléculas de amilopectina son comparables en su aspecto a un árbol ramificado el cual puede contener hasta 6000 residuos de glucosa.

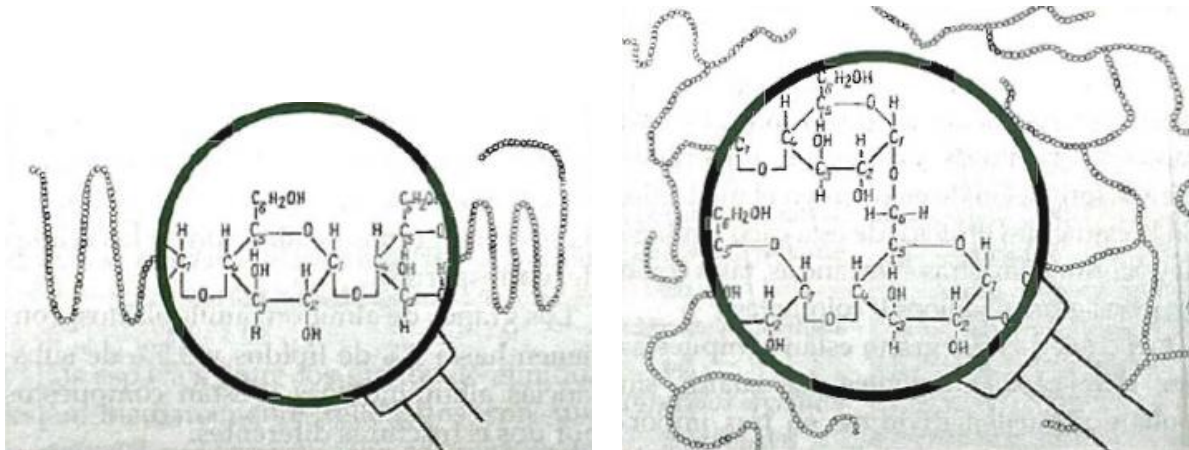


Figura 8. A la izquierda, estructura de la amilosa; a la derecha, la estructura de la amilopectina. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.

- **Celulosa**

Está presente en un 5%. Se encuentra en las envolturas del grano de cebada. Permanece insoluble.

- **Hemicelulosas**

Se presentan en bajas concentraciones formando parte de las paredes celulares. Están compuestas por β -glucanos y pentosanos. La degradación de los β -glucanos en el malteado es de extrema importancia, si no podría verse afectada la calidad del producto final.

Las hemicelulosas son atacadas por las enzimas hemicelulasas produciendo β ,D-xilosas, arabinosa y ácidos urónicos. Después de la rotura de hemicelulosas el grano se vuelve quebradizo, friable.

- **Materia nitrogenada**

La cebada contiene entre un 9% y un 11% de materia proteica. Su presencia es necesaria hasta un determinado nivel puesto que es imprescindible para producir componentes coloreados en la malta y la formación de espuma.

- **Lípidos**

El grano de cebada contiene lecitina, fofolípidos y esteroides, especialmente en el germen y en la aleurona. El germen es eliminado durante el malteo, por lo que el mosto contiene únicamente 10 mg/l de lípidos que si se disuelven afectarán a la formación de espuma.

- **Materia mineral**

Representa un 3%, principalmente son fosfatos, sílice, cloruros, magnesio y potasio.

- **Taninos o polifenoles**

Se encuentran desde fenoles simples hasta antocianos, principalmente en la cascarilla y la capa de la aleurona. Su presencia es favorable en mostos, en la medida que ayudan a precipitar proteínas. No obstante, es preferible que la cerveza no sea excesivamente rica en polifenoles porque resultaría excesivamente amarga y astringente.

- **Enzimas**

El endospermo contiene carboxipeptidasa y β -amilasa en estado latente. En la aulerona hay α -amilasa, endo- β -glucanasa y endo-proteasas. Su actuación será máxima en los procesos de secado de la cebada germinada y en la maceración de la malta.

- **Fitina**

Procede principalmente de la cascarilla y está en forma de sal cálcica o magnésica. Constituye una fuente de fosfatos que ayudarán a regular el pH y participarán en los intercambios energéticos durante la fermentación.

- **Vitaminas**

La cebada contiene compuestos vitamínicos, destacando la vitamina B, la biotina y el nositol. Se encuentra en el germen y la aleurona.

2.2.3. Evaluación de la cebada

Para la elaboración de cerveza artesana se utilizará cebada de dos carreras. La cebada apta para la industria maltera debe cumplir los siguientes parámetros:

Físicamente, la cebada debe tener granos gruesos y redondeados de tamaño uniforme, debe ser de color amarillo claro, con un olor fresco y pajoso, la cascarilla debe ser fina y rizada. Debe estar libre de infecciones de microorganismos y el conjunto no contendrá granos rotos ni semillas de otros cereales.

En el examen mecánico se clasifica la cebada por tamaños tras ser tamizada en tres tamices diferentes, se realizan pruebas de masa (masa de mil granos y masa hectolítrica) y se mide la friabilidad.

Desde el punto de vista bioquímico la cebada deberá tener baja capacidad de letargo, buena capacidad para absorción de agua, capaz de germinar uniformemente y en un tiempo mínimo. La EBC ha elaborado un índice para la evaluación de la cebada desde el punto de vista bioquímico:

- Rendimiento en extracto
- Índice de Kolbach
- Viscosidad
- Poder diastásico (poder enzimático para descomponer almidones en azúcares fermentables)

Mediante tratamiento estadístico, dando a cada factor un peso determinado y partiendo de unos valores de referencia es posible puntuar las cebadas con números enteros entre 1 y 9. Se considera que las cebadas con puntuación inferior a 5 son cebadas para pienso, las puntuaciones entre 6 y 7 indican calidad cervecera moderada y las puntuaciones 8 y 9 indican alta calidad cervecera. A continuación se muestra un ejemplo en forma de tabla del análisis de un tipo de cebada:

Tabla 2. Parámetros de calidad de la cebada. Fuente: John Mallett, Malt.

Parámetro	Valor referencia	Desviación típica	Coef. de ponderación
Rendimiento en extracto	79,87	1,7	0,45
Índice de Kolbach	39,58	4,48	0,10
Atenuación límite	79,80	2,96	0,15
Viscosidad	1,600	0,13	0,25
Poder diastásico	251,90	57,8	0,05

Las industrias malteras realizan una serie de controles a la recepción de la cebada, tales como la variedad, el tamaño, el olor, el color la vitalidad del germen y los contenidos en proteína y humedad, antes de aceptar la cebada.

Conociendo la composición química de la cebada y el proceso de malteado (capítulo 3) de forma resumida, será posible entender cuáles son los factores de la malta de cebada y como afectan a la calidad del producto final.

2.3. Adjuntos

Las grandes industrias cerveceras utilizan grandes cantidades de adjuntos sin maltear tales como maíz y arroz con el fin de abaratar costes de fabricación. Para los cerveceros artesanos, lo más importante son las cualidades que cada ingrediente aporta al producto final.

Los adjuntos son fuentes de almidón o azúcares simples.

- En primer lugar, se distinguirán los cereales que están malteados de los que no. Los cereales adjuntos malteados utilizados en la fabricación de cerveza artesana son el trigo, la avena y el centeno. Todos ellos poseen poder diastásico. El trigo es el único que se utiliza en porcentajes elevados, pudiendo llegar hasta el 75% en cervezas de trigo.
- En segundo lugar, se pueden utilizar estos cereales además del maíz y arroz crudos o en copos. Los granos crudos de maíz y arroz deben ser hervidos en un tanque a parte del macerador debido a sus elevadas temperaturas de gelatinización. El porcentaje máximo de estos adjuntos sin maltear no debe superar el 20% del peso total de los cereales utilizados en la receta, para que todo el almidón pueda ser convertido por las enzimas aportadas por la malta de cebada. En el caso de utilizar malta cebada de seis carreras, que posee mayor poder diastásico se podría llegar hasta el 50% del peso total.

- Por otro lado están los adjuntos líquidos que son los caramelos, jarabes, azúcar invertido, etc. Normalmente se encuentran presentes en ciertos estilos de cerveza, pero no son muy habituales. Normalmente son añadidos después de la maceración durante el proceso de cocción.

En general, los adjuntos se utilizan en proporciones del 5%-10% como máximo, con el objetivo de aportar determinados matices al producto final.

2.4. Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus* L.) es una planta trepadora, perenne, dioica, perteneciente al grupo de las urticáceas y la familia cannabaceae. En la fábrica de cerveza se utilizan únicamente las inflorescencias de las plantas femeninas, también llamadas por su forma conos. Éstas contienen las resinas amargas y los aceites etéreos que le suministran a la cerveza los componentes amargantes y aromáticos.

El cultivo de lúpulo es realizado en zonas especiales, en las cuales están dadas las condiciones para ello. Después de la cosecha, se realiza el secado y el preparado, para evitar pérdidas de valor.

2.4.1. Estructura del cono de lúpulo

A continuación se muestran dos imágenes de las flores femeninas de la planta de lúpulo. En la imagen de la parte derecha se señalan las partes más importantes que conforman la estructura del cono de lúpulo, y seguidamente se definen:



Figura 9. Conos de lúpulo recién recolectados (izquierda) y sección de un cono (derecha). Fuente: propia (imagen izquierda); <http://www.revistamash.com/> (imagen derecha)

1. **Brácteas:** hojas verde-amarillentas ovales, más amarillas en la base que en la punta; las brácteas están ordenadas de manera que forman un cono.
2. **Raquis:** eje con forma de zigzag.
3. **Lupulina:** polvo amarillo, pegajoso, que se encuentran ubicadas entre el raquis y las brácteas. Se forma un cáliz glandular, en el que se secretan resinas amargas y aceites etéreos. El cáliz se recubre con una membrana, a los efectos de impedir un escape de la materia secretada; ante contacto,

el cáliz de la lupulina se quiebra. La lupulina contiene todas las sustancias del lúpulo, las cuales son importantes, salvo los taninos, para la elaboración de la cerveza.

2.4.2. Composición y propiedades de los componentes

La composición del lúpulo tiene una gran influencia sobre la calidad de la cerveza fabricada a partir de éste. En su materia seca, el lúpulo está compuesto por:

Tabla 3. Componentes que forman el lúpulo seco, importantes en la fabricación de cerveza. Fuente: Stan Hieronymus, Fort he love of hops.

Componentes	%
Compuestos amargos	18,5%
Aceite de lúpulo	0,5%-3%
Taninos	3,5%
Proteínas	20,0%
Sustancias minerales	8,0%

Los otros componentes del lúpulo (monosacáridos, ácidos orgánicos y sustancias minerales) carecen de interés para la fabricación de cerveza.

A continuación se van a describir los componentes del lúpulo importantes en la elaboración de cerveza:

- **Compuestos amargos o resinas de lúpulo**

Los α -ácidos o humulonas (presentes entre un 3,5% y un 10%) son los compuestos más importantes para el amargor de la cerveza y están formados por humulona, co-humulona y ad-humulona. Aunque uno de estos compuestos, la co-humulona tiene una función más bien negativa para dicho amargor. Por ello, actualmente las nuevas variedades de lúpulo que se cultivan poseen unas porciones menores que un 20% - 25% de co-humulona del contenido de α -ácidos.

Los α -ácidos son isomerizados durante la cocción del mosto convirtiéndose en iso- α -ácidos solubles. Éstos últimos, salvo las precipitaciones durante el enfriamiento y la fermentación, van a parar a la cerveza terminada y son los causantes del amargor. Los compuestos amargos son muy tensioactivos, mejorando así la estabilidad de la espuma. Además, inhiben el desarrollo de microorganismos en la cerveza.

Por otro lado, los β -ácidos o lupulonas, están formados por lupulona, co-lupulona y ad-lupulona y están presentes en un 6% a 7%. Tienen un amargor unas nueve veces menor que los α -ácidos.

El α -ácido es el factor más importante y determina en gran parte el valor comercial del lúpulo.

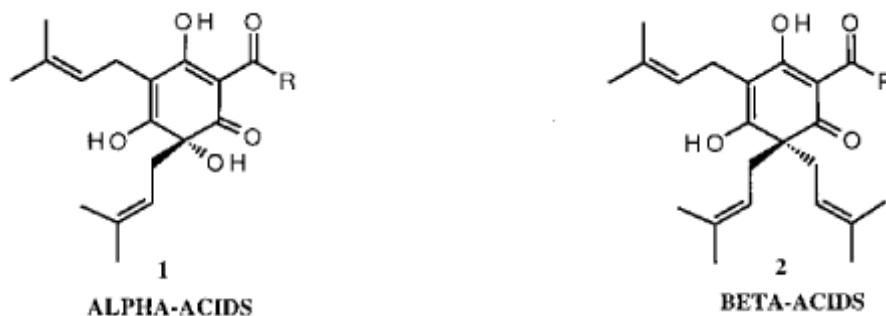
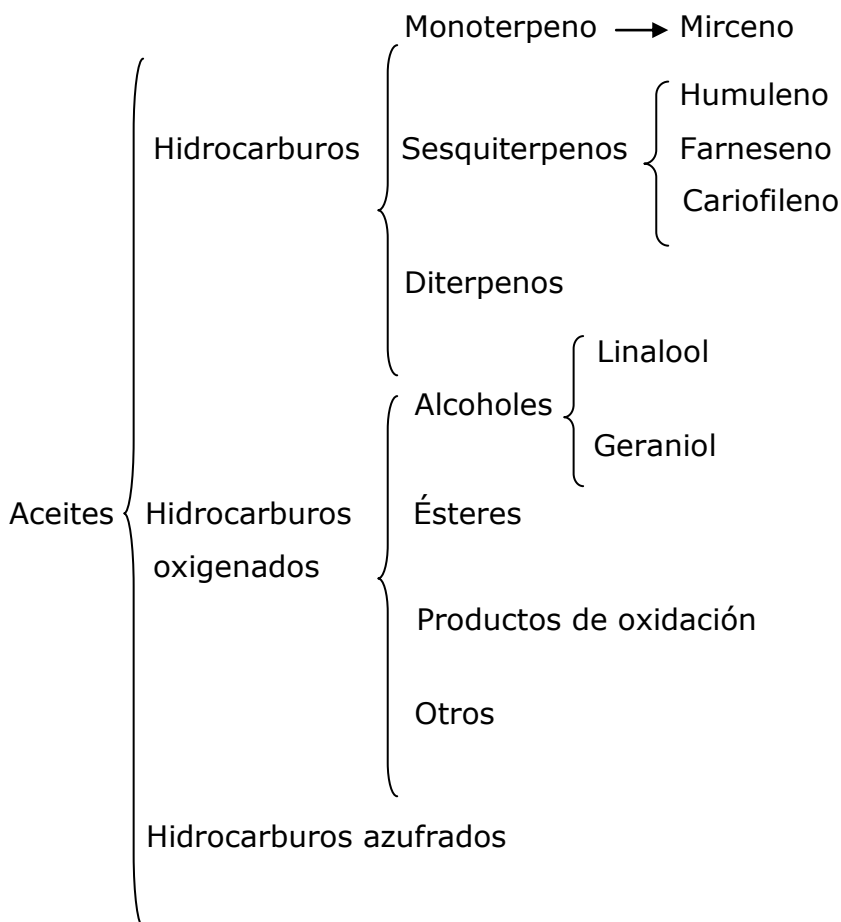


Figura 10. Estructura química de la α -ácidos y los β -ácidos del lúpulo, respectivamente. Fuente: <http://www.scielo.br>

• **Aceite de lúpulo**

El lúpulo contiene 0,5% a 1,2% de aceite de lúpulo con más de 200 sustancias etéreas diferentes. Son secretadas en la lupulina y dan al lúpulo un aroma característico. Las proporciones de los componentes del aceite del lúpulo sólo pueden ser detectadas por medio de ensayos cromatográficos; sin embargo, no se pueden sacar de ello conclusiones algunas sobre la acción combinada de los diferentes componentes aromáticos, que finalmente hacen el aroma total. La diferente composición del aceite de lúpulo es específica para cada variedad. Los aceites esenciales del lúpulo contribuyen de forma considerable al sabor y aroma. A continuación se muestra un esquema con los aceites más importantes:



La mayoría de estos aceites son volatilizados durante la cocción del mosto. Únicamente sobreviven los que son adicionados al final del hervor o añadidos directamente a los tanques de fermentación (técnica conocida como dry-hopping). Los aceites más importantes son los siguientes:

Mirceno: Aporta una determinada acidez al aroma de lúpulo, otorgándole a la cerveza un matiz áspero y desagradable. El contenido de mirceno en los aceites puede variar entre el 20% y el 65%. La concentración es menor en los llamados lúpulos nobles que en las variedades utilizadas para proporcionar amargor (niveles de α -ácidos mayores).

Por el contrario, los sesquiterpenos son considerados componentes aromáticos positivos:

Humuleno: Aporta una fragancia refinada y delicada a la cerveza. Su concentración en los lúpulos nobles es prácticamente igual que la cantidad que poseen de mirceno.

Farneseno: Aporta matices florales. La concentración total puede variar desde el 1% hasta el 20%, siendo mayor en las variedades aromáticas.

Cariofileno: Produce un carácter herbáceo y especiado. Constituye entre un 5% - 15% del total de los aceites esenciales. Generalmente, se encuentra en mayor proporción en las variedades de lúpulo aromáticas.

Se encuentran otros hidrocarburos en el lúpulo que tienen incidencia en el sabor y aroma finales de la cerveza. Éstos proceden en su gran mayoría de la oxidación de los compuestos de los hidrocarburos.

- **Taninos o polifenoles**

Se encuentran situados casi exclusivamente en las brácteas y los raquis. Son solubles en el mosto durante la cocción y tienen la facultad de oxidarse y polimerizarse. Algunas de las propiedades más importantes que poseen para el cervecero son:

1. Tienen un sabor astringente (sensación mixta en la lengua entre sequedad intensa y amargor).
2. Interaccionan con las proteínas grandes del mosto dando lugar a compuestos coloidales que acaban insolubilizándose, formando turbios de calentamiento. Hay otras combinaciones de tanino con proteína de pequeño o mediano peso molecular que se mantienen en solución caliente, pero que precipitan durante el enfriado del mosto.

Los taninos son compuestos más o menos complejos con varios grupos fenilo, por eso se los denomina también polifenoles. Éstos están compuestos por una mezcla de taninos, flavonoles, catequinas y anticianógenos.

Los polifenoles del lúpulo se diferencian de los de la malta sobre todo por su grado de condensación más elevado y por su mayor reactividad.

El xantohumol y el isoxantohumol pertenecen al grupo de los polifenoles presentes en el lúpulo. A estos compuestos se les adjudica una propiedad antioxidante así como también preventiva contra el cáncer.

- **Sustancias albuminoides**

El 12% al 20% de la materia seca del lúpulo son sustancias albuminoides, de las cuales el 30% - 50% llegan a la cerveza. Debido a su cantidad reducida, la proteína del lúpulo no tiene importancia para la fabricación de la cerveza (formación de espuma, paladar intenso).

2.4.3. Formas de comercialización del lúpulo

Para finalizar este apartado se muestran a continuación las diferentes formas en las que se comercializa el lúpulo tras su recolección y secado:

- **Conos o flores**

Las flores de lúpulo recolectadas son secadas mediante aire caliente a 60°C - 65°C durante 12 horas aproximadamente. Después, son compactadas y envasadas al vacío para evitar la oxidación por parte del aire y de la luz.

- **Pellets**

La pelletización del lúpulo es un método muy efectivo para la conservación de sus sustancias contenidas. Para ello, el lúpulo es pulverizado y luego comprimido hasta obtener pellets. Finalmente es envasado al vacío en bolsas metálicas para preservarlo del oxígeno y la luz. El lúpulo en pellet se oxida en un tiempo mayor que el lúpulo en conos, además ocupa menos espacio. Es por ello que será el tipo de lúpulo que se utilizará en la planta, afectando esto al diseño de la caldera de cocción.

- **Extractos de lúpulo**

Bajo extracción se entiende la disolución de componentes particulares de un sólido con ayuda de solventes adecuados. Se utilizan preferentemente CO₂ o etanol como solventes para la fabricación de extracto de lúpulo. Ambos solventes son muy adecuados puesto que disuelven completamente las resinas de lúpulos y aceites. Esta opción se descartará en un principio, aunque igual se utiliza en un futuro, tras realizar las pruebas pertinentes.

2.5. Levadura

Las levaduras son hongos unicelulares que se reproducen por gemación. Es capaz de cubrir su demanda de energía en presencia de oxígeno (aerobio) por respiración y en ausencia de oxígeno (anaerobio) por fermentación. En la fabricación de cerveza, el azúcar del mosto es fermentado por la levadura a alcohol y CO₂. Se utilizan cepas de levadura del tipo *saccharomyces cerevisiae* para tal fin. La levadura, debido a su metabolismo, tiene una gran influencia sobre el sabor y el carácter de la cerveza.

2.5.1. Estructura y composición de la célula de levadura

Las células de levadura tienen una forma redondeada-ovalada, con una longitud de 8 a 10 μ m y un ancho de 5 a 7 μ m. Está compuesta por agua en un 75%, y la materia seca, de forma variable, por: sustancias albuminoides 45% - 60%, hidratos de carbono 25% - 35%, lípidos 4 - 7%. Las sustancias minerales están compuestas por (para cada 100g de materia seca):

- 2000 mg de fosfatos
- 2400 mg de potasio
- 200 mg de sodio
- 20 mg de calcio
- 2 mg de magnesio
- 7 mg de cinc

Además de trazas de hierro, manganeso y cobre. También contienen vitaminas (B1, riboflavina, ácido nicotínico, ácido fólico, ácido pantoténico, piridoxina y biotina).

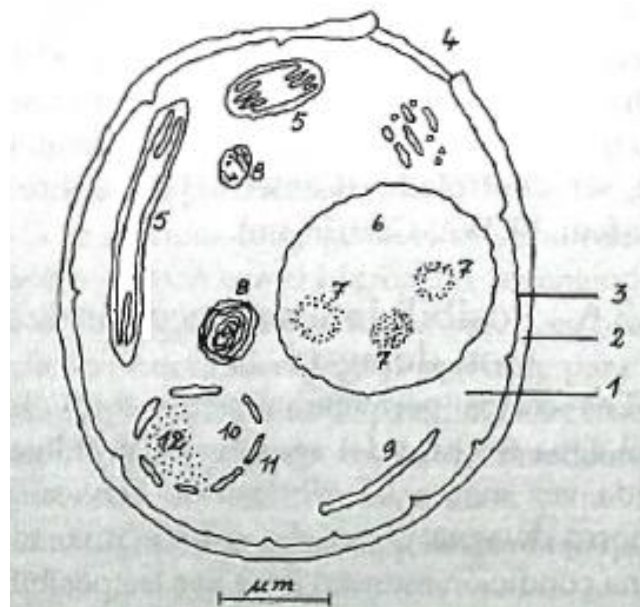


Figura 11. Diferentes partes de una célula de levadura. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.

El plasma celular (citoplasma, citosol) (1) está envuelto por una membrana celular, la plasmalerna (3). El plasma celular aloja una serie de orgánulos, que se encargan de las reacciones metabólicas.

El orgánulo más importante es el núcleo de la célula (10). Éste está rodeado por una membrana nuclear doble, la cual está cerrada en sí misma, pero que, sin embargo, contiene poros. El núcleo celular contiene una sustancia base (plasma), la matriz nuclear y los cromosomas. Cada célula posee con ellos su propio código genético. Los genes están compuestos por una molécula polímera cateniforme, el ácido desoxirribonucleico (ADN) que controla todos los procesos del metabolismo, del crecimiento y del desarrollo en la célula. En el núcleo celular se encuentra alojado también un pequeño cuerpo nuclear (nucléolo), el cual está compuesto por ácido ribonucleico.

La célula de levadura posee una gran cantidad de mitocondrias (5). Las mitocondrias importan el piruvato formado en el citosol y lo convierten por respiración en CO₂ y agua, en etapas parciales complicadas. En este proceso se forma adenosin trifosfato (ATP) y adenosin difosfato (ADP), los cuales actúan por efecto recíproco como portadores de energía. El retículo endoplasmático áspero se encarga de la síntesis de proteínas. El retículo endoplasmático liso sintetiza lípidos y se ocupa de procesos de desintoxicación. Las proteínas que se forman son cerradas y llevadas al lugar previsto, en vesículas y provista de una envoltura. De esta tarea se encarga el aparato de Golgi, el cual representa una especie de estación de maniobras. De esta manera se transportan las vesículas secretorias con las sustancias tóxicas (por ejemplo alcohol) hasta la membrana celular, llevándolas hacia afuera. Los lisosomas son la planta de reciclado de residuos de la célula. Se encargan de la digestión intracelular, degradando moléculas complejas en componentes sencillos que son desprendidos. Los ribosomas sintetizan las proteínas y las distribuyen en la célula, siendo responsables de la producción y la combinación de aminoácidos para formar productos genéticos, de acuerdo con los mensajes del núcleo celular.

La plasmalerna es de especial importancia, dado que no sólo envuelve a toda la célula, sino también a una gran cantidad de orgánulos de la célula. Los componentes esenciales que la forman son fosfolípidos. Éstos muestran dos propiedades contrarias entre sí, mientras que el resto de la glicerina junto con el fósforo y el residuo de aminoácido son hidrófilos, las "colas" de los residuos de ácidos grasos ubicados en la plasmalerna, una junto a la otra y opuestas entre sí, repelen el agua (hidrófobos). De este modo se forma una capa doble (membrana) impermeable, sin que haya enlaces entre las moléculas de fosfolípidos. Todas las membranas celulares en los reinos animal y vegetal están formadas según este modelo. En la siguiente imagen se muestra como está organizada dicha estructura:

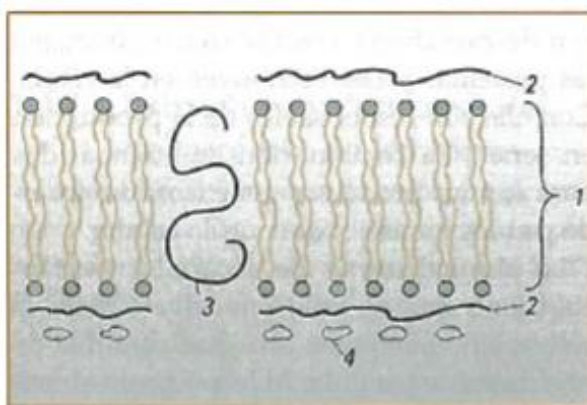


Figura 12. Estructura de la membrana celular. (1) fosfolípidos, (2) proteínas acumuladas, (3) proteínas de transporte, (4) trehalosa acumulada. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.

Durante la propagación de la levadura se debe formar un volumen equivalente de 4 a 5 veces el suyo propio, lo que supone un desgaste importante de energía. La formación de lípidos -que constituyen los componentes principales de la membrana- está ligada a la existencia de oxígeno, llegándose a detener de forma prematura la producción de nuevas células ante una falta de oxígeno.

Sobre la cara interior y exterior de las membranas se encuentran depositadas proteínas periféricas, en la cara interior hay además una capa de trehalosa. Las proteínas de transporte depositadas son únicamente capaces de permitir el paso, a través de la membrana, de los compuestos específicos para ésta (maltosa, péptidos u otros compuestos).

En la cara exterior de la plasmalerna hay depositados residuos de glicolización (glicocalix), que junto a sustancias albuminoides y enzimas, degradan la materia para un transporte de sustancias a través de esta membrana. La totalidad de la envoltura compuesta por la plasmalerna, las capas depositadas y los residuos de glicolización, forman la pared celular.

La pared celular es hermética. La absorción de sustancias diluidas (por ejemplo, azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, sustancias minerales) se realiza selectivamente por medio de proteínas de transporte insolubles, que están integradas en la membrana y que solamente permiten pasar sustancias o grupos de sustancias muy determinados. La separación hacia fuera de sustancias residuales o tóxicas, como por ejemplo el alcohol que se forma, ocurre a través de las vesículas de Golgi hacia la membrana.

El citoplasma (o citosol) representa la parte más importante del interior de la célula. En este espacio se desarrollan la mayoría de los procesos metabólicos de degradación de nutrientes y formación de componentes propios de la célula (glucólisis, formación de ácidos grasos, biosíntesis de proteínas etc.). En un medio acuoso, los ribosomas, las enzimas y los productos de degradación se mueven unos muy junto a los otros en grandes flujos.

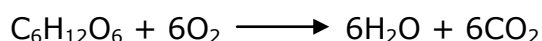
En la célula se encuentran a menudo espacios llenos de un jugo celular ácido y envuelto por una membrana, son las vacuolas. En éstas se depositan determinadas proteínas y sales excedentes. La célula puede regular su presión interior por movilización reversible de los cristales de sales, por ejemplo cuando la presión osmótica externa es incrementada por mayor contenido de extracto o alcohol.

La célula de levadura se propaga por gemación. Después de la disociación de la célula hija, queda una cicatriz en la célula madre. La edad de la célula puede determinarse según la cantidad de cicatrices de gemación.

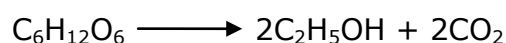
2.5.2. Metabolismo de la levadura

La levadura necesita energía y nutrientes para la realización de sus procesos metabólicos vitales y la formación de nuevas sustancias celulares.

La energía para la realización de estos procesos es obtenida por la levadura preferentemente por respiración. La obtención de energía es muy grande con la respiración, dado que la glucosa es descompuesta a CO₂ y H₂O, sin que queden residuos, de la siguiente manera:



Ante la ausencia de aire, la levadura pasa a la fermentación alcohólica, como único ser vivo capaz de ello. Se forma aquí alcohol (etanol) y CO₂, a partir de la glucosa:



El alcohol que se forma aquí contiene aún mucha energía, por lo que se obtiene mucha más energía por respiración que por fermentación.

La degradación (catabolismo) de la glucosa hasta alcohol, o en caso de la respiración, hasta CO₂ y agua tiene lugar en numerosas etapas de reacción. Cada reacción es catalizada por una enzima especial. Estas enzimas están unidas en la célula de levadura a determinadas estructuras celulares. Así, las enzimas para la glucólisis y la fermentación alcohólica se encuentran en el citoplasma, mientras que la respiración tiene lugar por medio de enzimas en las mitocondrias.

Las sustancias orgánicas necesarias para la respiración o fermentación son absorbidas por las proteínas integradas de la plasmalerna y transportadas a través de la membrana.

La levadura tiene metabolismos de:

- Hidratos de carbono
- Sustancias albuminoides
- Materia grasa
- Sustancias minerales

El metabolismo de hidratos de carbono sirve prioritariamente para la obtención de energía por respiración y fermentación, mientras que una pequeña parte es depositada como reserva, en forma de glicógeno y trehalosa.

El metabolismo de sustancias albuminoides sirve, al igual que el metabolismo de materia grasa y el de sustancias minerales, prioritariamente para la formación de sustancias celulares, debiendo tenerse en cuenta que tanto los procesos de formación como de degradación tienen una importancia esencial.

Estos procesos metabólicos influyen decisivamente sobre la calidad de la cerveza.

La forma típica de la propagación de las levaduras es la gemación. En este proceso, la célula madre forma una pequeña protuberancia vesiculosa, en la cual entran una parte del citoplasma así como también un núcleo hija, formado por división, dando forma a la célula hija completa. En algunas cepas de levadura, las células madre e hijo se separan entre sí, quedando cicatrices de gemación en la célula madre.



Figura 13. Células de levadura en gemación. Se observan las cicatrices de gemación. Fuente: <http://neofronteras.com/>

Cuando se transfieren las células de levadura a una solución nutriente fresca, tal y como sucede en una fábrica de cerveza en el inicio de la fermentación del mosto con la levadura, éstas comienzan a crecer. El crecimiento está caracterizado por determinadas leyes naturales, diferenciándose seis fases:

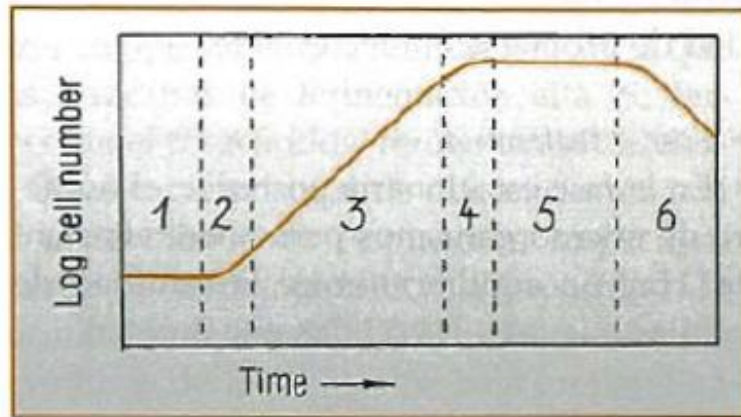


Figura 14. Fases de la propagación de la levadura. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.

1. Fase de latencia o inducción

En la fase de latencia o inducción, tiene lugar una activación del metabolismo. La duración de esta fase varía fuertemente. Depende del tipo de organismo, de la edad del cultivo y de las condiciones de cultivación. La fase de latencia o inducción finaliza con la primera división celular.

2. Fase de aceleración

En la fase de aceleración, que sigue a la fase de latencia, aumenta progresivamente la velocidad de división.

3. Fase exponencial

En la fase de propagación o exponencial o logarítmica, la velocidad de propagación es constante y máxima. El tiempo de generación (período en el que se duplica el número de células) alcanza un mínimo en esta fase. En esta etapa, la levadura tiene su mayor vitalidad.

4. Fase de deceleración

La fase exponencial está limitada temporalmente, debido a diferentes factores, por ejemplo: empobrecimiento del substrato, de nutrientes o enriquecimiento en productos metabólicos que inhiben el crecimiento. Se pasa, de este modo, a una fase de deceleración con velocidad de propagación decreciente.

5. Fase estacionaria

En la fase estacionaria posterior, el número de microorganismos permanece constante. Hay un equilibrio entre la cantidad de células nuevas y las células que mueren.

6. Fase declinante

En esta última fase mueren más células que las nuevas que se forman por propagación. De esta manera, disminuye el número de células.

La duración y la intensidad de cada una de las fases de crecimiento son influidas esencialmente por el substrato, la temperatura y el estado fisiológico de la levadura. El substrato debe contener todos los nutrientes necesarios para el crecimiento. De la misma forma, son decisivos para el crecimiento el contenido de agua, el valor pH (preferentemente ácido) y la concentración de oxígeno del substrato.

La temperatura influye de forma decisiva sobre el crecimiento de los microorganismos. Cada tipo de microorganismo está caracterizado por una temperatura óptima de desarrollo, con la cual la fase de latencia y el tiempo de generación tienen la mayor brevedad. Pero el crecimiento no sólo es posible con la temperatura óptima sino que ocurre dentro de un rango más o menos grande de temperatura (por lo general, entre 0-40°C para las levaduras de la especie *Saccharomyces*). El rango óptimo depende de cada cepa de levadura, estando generalmente comprendido entre 12-30°C.

El estado fisiológico de la célula del microorganismo (edad y estado nutricional) determina esencialmente la duración de la fase de latencia. Un inicio rápido de la fermentación se logra con levaduras que son extraídas en estado de fermentación principal y que son agregadas (sin almacenamiento intermedio) en el mosto al inicio de la fermentación.

2.5.3. Caracterización de las levaduras para cerveza

Dentro del tipo de levadura utilizada predominantemente como levadura de cultivo en la fábrica de cerveza, se diferencian numerosas cepas que se dividen en dos grandes grupos:

- Levaduras de fermentación alta (*Saccharomyces cerevisiae*)

Las levaduras de fermentación alta suben a la superficie en el transcurso de la fermentación, desarrollándose a una temperatura entre 14 y 25°C. En este tipo de levaduras, las células madre e hija permanecen unidas, por lo general, durante un tiempo, formándose cadenas celulares ramificadas. Se caracterizan por desarrollar un metabolismo más marcado de respiración que de fermentación. Generalmente, las cepas de este tipo de levaduras son menos floculantes que las levaduras de fondo o de fermentación baja.

- Levaduras de fermentación baja (*Saccharomyces carlsbergensis*)

Las levaduras de fermentación baja desarrollan la fermentación desde el fondo del depósito fermentador y trabajan a una temperatura entre 4 y 12°C. En estas levaduras, las células madre e hija se separan entre sí, después de que se finalice la propagación. Se caracterizan porque prevalece un metabolismo de fermentación, por encima de la respiración. El poder de floculación de las cepas levaduras de fermentación baja es elevado, obteniéndose una cerveza muy clarificada.

CAPÍTULO 3: FABRICACIÓN DE LA MALTA DE CEBADA

El malteado consiste en la obtención de un grano de cebada rico en enzimas y con una estructura del endospermo que permita el ataque enzimático del almidón. Consta de siete etapas en total, de las que se destacan las siguientes por su mayor trascendencia: remojo, germinación y secado.

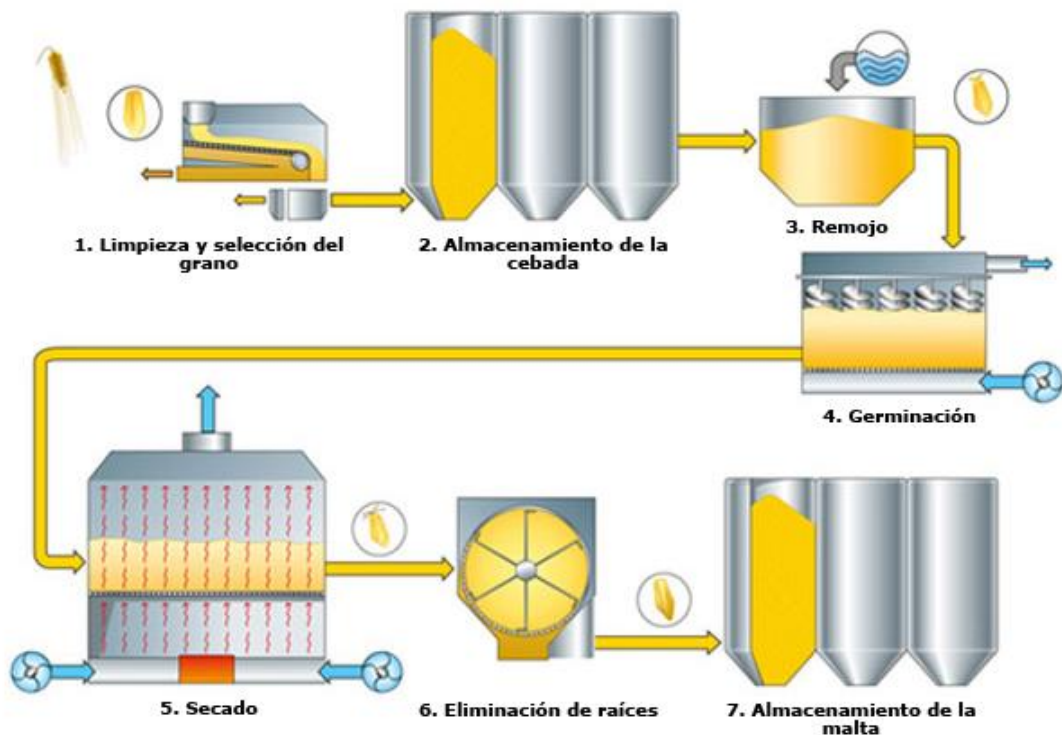


Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de malteado. Fuente: <http://www.jumo.se>

La mayoría de las fábricas de cerveza no poseen maltería o, si la poseen es una planta totalmente independiente de la de fabricación de cerveza. Por ello, solamente se realizará una leve descripción del proceso de malteado, sin entrar en mucho detalle, puesto que la actividad que ocupa el motivo de este proyecto es la de fabricación de la cerveza. Aunque, es importante conocer el proceso de malteado para poder comprender que ocurre durante la fabricación de la cerveza.

3.1. Limpieza, selección del grano y almacenamiento

Una vez la cebada es aceptada y entregada en la maltería, se procede a separarla de suciedades bastas, de granos extraños, piezas metálicas, piedras, arena y polvo. Seguidamente es clasificada según su tamaño y analizada antes de pasar a los tanques de almacenaje. Se almacenaje en silos durante un período mínimo que va de 6 a 8 semanas. Durante este período de reposo vegetativo el grano no tiene las condiciones necesarias para germinar.

3.2. El remojo

El remojo es la etapa del proceso de malteado por la que se comunica al grano la humedad necesaria para la germinación.

El agua es necesaria en germinación para que actúe como vehículo de las sustancias que fluyen por el endospermo para nutrir al embrión. Se considera que la humedad final teórica que debe de adquirir el grano en el remojo es de 45%; no obstante, es una humedad difícil de alcanzar por la lentitud de la etapa final de absorción de agua, quedando generalmente por encima del 40%.

Durante el remojo el grano de cebada, que no es sino una semilla, vive y por tanto se experimentan en él una serie de transformaciones que podemos resumir como:

Respiración, en la que el grano consume azúcares del endospermo y libera agua, anhídrido carbónico y calor.

Fermentación, se producen en el grano la formación de sustancias indeseables originadas por la falta de oxígeno.

Además, el agua actúa como disolvente de algunos compuestos del grano, principalmente de la cascarilla: polifenoles y resinas amargas.

Un buen remojo debe cumplir los siguientes requisitos:

- El grano no debe de adquirir sabores extraños, por lo que el agua utilizada será agua potable.
- Todos los granos deberán de haber sido humidificados en igual medida. Se sabe que el grado de humidificación depende de numerosos factores entre los que destaca la variedad de cebada por la diferencia de permeabilidad del pericarpio, la temperatura que cuando es alta aumenta la velocidad de absorción del agua, el tamaño de los granos según el cual los granos

pequeños se humedecen antes, el contenido en proteína que cuando es alto dificulta la humidificación.

- Hay que evitar los procesos fermentativos, por tanto hay que evitar la acumulación de anhídrido carbónico y aportar el oxígeno necesario para la respiración.
- No se debe de facilitar el desarrollo de microorganismos, por lo que la temperatura deberá de ser ajustada al valor en que, facilitando la absorción de agua, no sea muy favorable al desarrollo de microorganismos. Suele hacerse el remojo a temperatura comprendida entre 15 y 20 °C.

3.2.1. Técnica del remojo

- **Llenado:**

La cebada limpia y clasificada es transferida desde los silos de almacenamiento a los tanques o depósitos de remojo. El llenado de grano y agua puede hacerse simultáneamente o no. Una vez llenado el tanque se realizan reboses de agua para lavar la cebada eliminando las impurezas que flotan.

- **Período húmedo:**

Con el depósito lleno de cebada se conecta un sistema de inyección de aire que evita el desarrollo de fermentaciones y la asfixia del grano.

- **Período en seco:**

Transcurrida una primera parte del remojo se realiza el vaciado del agua, es lo que se denomina el período seco. Durante este período se realiza desde el fondo del tanque una aspiración del anhídrido carbónico que va formándose y se pulveriza la superficie del lecho del grano con agua.

- **Período húmedo:**

Finalmente se vuelve a llenar el tanque con agua y se deja algunas horas. Esta etapa es aprovechada por algunos malteros para añadir ciertos productos al agua; desde antisépticos, activadores de germinación (como el peróxido de hidrógeno) hasta compuestos alcalinos (Na_2CO_3 : 160 g/hl, NaOH : 35 g/hl, CaCO_3 : 10-20 g/hl) que aceleren la disolución de sustancias de la cascarilla.

El final del remojo se detecta por un seguimiento de la humedad o sencillamente por el aspecto del grano. Hay malterías que prolongan más que otras el remojo; las hay que lo detienen en apenas 24h después de iniciar el período hasta las que lo detienen cuando el grano presenta una raicilla claramente visible (48 h aproximadamente). La duración de la siguiente etapa, la germinación, será mayor cuando el remojo haya sido más corto y al revés, será más corta cuando en el remojo del grano ya haya empezado a germinar.



Figura 16. Inicio del proceso de malteado en el que se mezcla agua con cebada en el tanque de remojo. Fuente: <http://www.briess.com>

3.2.2. Equipos para el remojo

El equipo básico es un depósito de acero inoxidable cilíndrico con fondo troncocónico, que cuenta con los siguientes accesorios:

-Inyectores de aire a presión en el fondo que permiten introducir un caudal de 1,5 m³/h tonelada. Los inyectores deben de estar estratégicamente distribuidos para evitar zonas muertas.

Una **rejilla** en el fondo que permita el vaciado de agua de la tina así como la aspiración del carbónico en los períodos en seco.

Rebosaderos para el lavado de la cebada.

Pulverizadores para añadir un poco de agua a los granos de la superficie en los períodos en seco.

Sistema de bombeo que permita el vaciado y transporte de la cebada a las cajas de germinación, haciéndose frecuentemente con agua.

3.3. La germinación

Un grano de cebada con suficiente humedad, con oxígeno disponible y a la temperatura adecuada inicia un período de vida activa con numerosas modificaciones morfológicas, químicas y biológicas, denominado germinación.

Morfológicamente la germinación se caracteriza por las siguientes modificaciones:

- Se desarrolla la radícula formando 3 ó 5 raicillas.
- La plúmula agujerea la testa, pero no las glumelas exteriores.
- Las células del epitelio se hacen menos transparentes.
- Se disuelven las paredes celulares del endospermo que acogían a los gránulos de almidón como consecuencia de la actuación de las hemicelulasas, quedando el grano quebradizo, friable, pudiendo ser aplastado entre los dedos. Es la llamada desegregación del grano.

Bioquímicamente se producen las siguientes modificaciones:

El embrión comienza a segregar enzimas que se difunden por el endospermo. La enzima más característica de la germinación es la hemicelulasa, responsable de la desagregación de la estructura del endospermo. Además, se forman, entre otras enzimas, proteasas, fitasas, amilasas, que actuarán en mayor medida en etapas posteriores del proceso cervecero. La formación de enzimas en la germinación depende de la variedad de cebada, de la humedad, la temperatura y la aireación.

Las hemicelulasas deben de actuar hasta romper totalmente las celdillas que encierran el almidón, de lo contrario quedarían zonas no atacadas cuyo extracto no sería aprovechable.

Las amilasas son responsables de la rotura del almidón en azúcares fermentables. Durante la germinación su actuación está limitada por las bajas temperaturas, desdoblando apenas un 5% del almidón. El grano de cebada ya posee β -amilasas inactivas, mientras que las α -amilasas se forman en esta etapa de germinación.

Las enzimas proteolíticas actúan durante la germinación, tanto las proteasas como las peptasas. La germinación es caracterizada por una importante disolución de materia nitrogenada, mucho más importante que la que se produce cuando se fabrica el mosto. Si se analiza la evolución de las materias nitrogenadas en el transcurso de la germinación se observa un incremento del nitrógeno soluble en los primeros días, momento a partir del cual se sintetizan en igual grado que se consumen.

Además actúan otras enzimas: las lipasas degradando parte de los lípidos, las fitasas produciendo inositol y fosfórico, la catalasa, etc.

La energía necesaria para la formación de enzimas procede del consumo de azúcares y en parte de algunas grasas, concretamente una cuarta parte de las materias grasas se degrada durante la germinación. Este consumo de azúcares y grasas junto con las raicillas constituyen las denominadas mermas del malteado, o sea, pérdidas de peso (en base seca) de la malta con respecto a la cebada. Los procesos de degradación de azúcares, son exotérmicos, por lo que el lecho de cebada en germinación tiende a aumentar espontáneamente su temperatura.

La germinación continuaría hasta el crecimiento de una nueva planta a no ser que el proceso fuese impedido por el maltero modificando las condiciones del grano para evitar que continúe el crecimiento. Efectivamente, cuando se considera que el grano ha adquirido suficiente carga enzimática y el endospermo está desagregado se realiza una reducción de la humedad mediante secado para detener la germinación. Cuanto más ha avanzado la germinación, mayores serán las mermas producidas en el proceso y por tanto, mayores pérdidas en extracto desde el punto de vista industrial.



Figura 17. Granos de cebada en pleno proceso de germinación. Fuente: <http://www.lancasterfarming.com>

3.3.1. Técnicas de la germinación

La germinación se produce cuando se coloca el grano humidificado en un ambiente propicio para la vida activa del germen; es decir, cuando tiene aire disponible y está a la temperatura adecuada.

Para una correcta germinación se tendrán en cuenta que:

En el grano hay un proceso respiratorio y por tanto una liberación de anhídrido carbónico. Por tanto, cuando los granos estén en la caja de germinación habrá que ir renovando el aire, operación que se lleva a cabo insuflando aire desde el fondo de la caja.

La circulación de aire tomado del ambiente a través del lecho de grano produciría una deshidratación superficial del mismo, por ello deberá de hacerse una corrección de la humedad del aire.

En la germinación se libera calor, por tanto se debe refrigerar para corregir la temperatura del lecho del grano. Un calentamiento aceleraría el proceso de germinación por el incremento en la actividad vital del grano. Además podrían darse problemas de desarrollo de microorganismos.

Por todo ello, para que la germinación alcance un buen fin se opera del siguiente modo:

Se llenan las cajas de germinación repartiéndolo homogéneamente la cebada en un lecho de entre 0,7 y 1,5 m de altura. Hay que tener en cuenta que la germinación ahueca el lecho y se produce un aumento en el espesor de la cebada. A través del fondo de la caja se inyecta aire, que previamente habrá pasado por una unidad de refrigeración y por unas duchas de agua para saturar el aire en humedad. Además, también se aplican duchas superficiales desde el

techo de la sala de germinación para mantener la humedad. Cuando se utilizan aditivos se suelen dosificar aprovechando estas duchas. Entre los productos que se pueden añadir destaca el ácido giberélico (0.1 – 0.2 mg/Kg) como activador de la formación de enzimas. También pueden añadir inhibidores del crecimiento de raicillas, para evitar las pérdidas, como el bromato potásico (100-200 mg/kg)

Durante la germinación hay un crecimiento de raicillas que en caso de mantener a los granos en reposo se entrelazarían y apelmazarían el lecho de grano. Para evitarlo se realizan periódicamente unos removidos de la cebada en germinación con unos tornillos sinfín en disposición vertical que avanzan lentamente a lo largo de la caja, o incluso de forma manual en malterías de poca capacidad. Una vez se alcanza el grado de germinación adecuado se realiza el secado del grano.



Figura 18. Detalle de los tornillos sinfín removiendo los granos de cebada germinada. Fuente: <http://www.crispmalt.co>

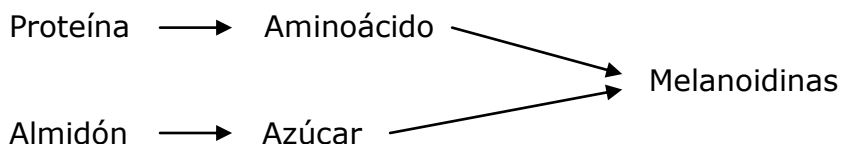
3.4. El secado

Para secar la cebada germinada se hace circular aire caliente a través de la misma hasta alcanzar un 5% de humedad en el grano, por lo que no solo se reduce la humedad, sino que se produce modificación en el color, el sabor y el aroma de la malta.

El secado se hace, por tanto, con dos finalidades:

- Detener la germinación.
- Comunicar a la malta el color, el aroma y el sabor adecuado al tipo de cerveza que se va a elaborar; más o menos oscura, con aromas y sabores a cereal tostado.

La evolución del gusto en el período de secado es compleja y se debe a reacciones a alta temperatura entre compuestos del desdoblamiento enzimático.



El desdoblamiento enzimático se inicia en la germinación y continúa activamente en las primeras etapas del secado, siempre que la temperatura sea moderada y la humedad sea todavía alta. En este momento se formarán aminoácidos y azúcares simples, y cuando en esta misma etapa del secado se alcancen altas temperatura se producirán las transformaciones en melanoidinas e incluso, si la temperatura es muy alta, se producirá una caramelización de los azúcares.

El cómo se desarrolle la evolución de la temperatura y la humedad del grano en el secado es definitivo para la calidad de la malta. Algunos casos particulares son:

- Si la malta se calienta excesivamente cuando todavía está húmeda se producirá una destrucción de enzimas importante. Las enzimas en un medio desecado son termoresistentes, soportan incluso 105 °C, pero si la humedad es alta se destruyen a la temperaturas más bajas (la temperatura de destrucción depende de la enzima).
- En condiciones de humedad y temperatura altas, también se producirán la gelificación y endurecimiento del almidón, lo que se conoce con el nombre de vitrificación. Los granos vítreos tienen zonas del endospermo endurecidas que no son útiles en el proceso cervecero. Como norma no se deberá de aumentar la temperatura del grano por encima de 50°C si la humedad es superior al 10%.
- Si se desean maltas muy pálidas hay que evitar la excesiva actividad proteolítica. Por ello se aplicarán grandes caudales de aire a baja temperatura.
- Si se desean maltas oscuras es recomendable aplicar al final del proceso el llamado golpe de fuego, que consiste en calentar a temperatura de 100 °C durante un cierto tiempo (1-2 horas) al final del secado.

3.4.1. Etapas del secado

1ª Fase: Fase de desecación a temperatura moderada.

Hay actividad enzimática. El calor que recibe el grano se aprovecha en la evaporación del agua.

Temperatura del aire: 50-70 °C; Temperatura de la malta: 25-30 °C

2ª Fase: Fase de calentamiento.

Cuando el grano tiene menos del 10% de humedad la difusión del agua es cada vez más difícil y parte del calor aportado a la malta se emplea en aumentar la temperatura de ésta.

Temperatura de la malta: 60-65 °C

La temperatura del aire se va incrementando y alcanza un valor máximo que depende del tipo de malta que se esté fabricando.

Pálidas: 5 horas a 80 °C

Negras: 5 horas a 100-105 °C

En este último calentamiento se forman las melanoidinas, caracterizadas por su color oscuro, por tener reacción ácida y proporcionar un aroma característico.

Se conoce que las melanoidinas formadas con glicocola y alanina son muy coloreadas, mientras que las formadas con valina son muy aromáticas.



Figura 19. Malta de cebada tostada a diferentes temperaturas. Fuente: <http://www.vvrsaustralia.com.au>

3.5. Eliminación de raíces

La malta seca contiene el germen y algunas impurezas, además está muy caliente.

El germen es muy higroscópico y cuando absorbe un poco de humedad coge elasticidad y resulta difícil de eliminar. Por ello, nada más secarse la malta debe de ser desgerminada.

El desgerminado se hace por fricción en equipos rotatorios. 100 Kg de malta producen de 3 a 5 Kg de raicillas. Las raicillas se recogen y se venden como subproductos, destinándolas principalmente a la fabricación de levadura de panificación o para la industria biotecnológica por su riqueza en enzimas.

Finalmente la malta se limpia. Para la malta industrial la limpieza consiste en eliminar granos vítreos o restos de piedrecillas.

3.6. Almacenamiento de la malta de cebada

La malta es almacenada durante 4 semanas como mínimo en silos o graneros. Durante este tiempo el contenido de agua aumenta lentamente hasta alcanzar un 4%-5%, produciéndose importantes cambios físicos y químicos en el endospermo. Si fuera procesada inmediatamente, la malta causaría dificultades tanto en la filtración como durante la fermentación. Al ser muy higroscópica, debe evitarse el ingreso de aire húmedo. Transcurrido el tiempo mínimo de almacenamiento y tras los ensayos pertinentes que garanticen su calidad, la malta de cebada ya es apta para la elaboración de la cerveza.

CAPÍTULO 4: PRODUCCIÓN DEL MOSTO



Figura 20. Diagrama de flujo del proceso completo de fabricación del mosto. Fuente: <http://beertec.galeon.com/>

El proceso principal en la fabricación de cerveza es la fermentación del azúcar contenido en el mosto, para obtener alcohol y dióxido de carbono. Para ello, es necesario convertir, con la ayuda de las enzimas formadas, los componentes inicialmente insolubles de la malta sobre todo en azúcares fermentables. Este proceso será llevado a cabo en la sala de cocción, obteniéndose el mosto.

La malta es molida por el molino de forma adecuada. Esta malta triturada es mezclada con agua en un depósito o cuba de maceración, para obtener tanto extracto soluble como sea posible. Seguidamente, esta mezcla se dirige a la cuba de filtración o *lauter tun*, donde se separan los extractos solubles del mosto de las sustancias insolubles o bagazo. El mosto es cocido con el lúpulo en el depósito de cocción, otorgándole el sabor amargo a la cerveza. En el whirlpool, el mosto caliente es liberado de las partículas precipitadas, el trub, y se enfría en un intercambiador de calor de placas hasta la temperatura requerida de fermentación.

4.1. Limpieza y desinfección de los equipos

La limpieza y desinfección de los equipos en la elaboración de cerveza es fundamental debido a la existencia de microorganismos que se mezclan con el mosto, cerveza verde o cerveza terminada en todo momento. En cada metro cúbico de aire existen alrededor de 10.000 microorganismos que se multiplicarán aun más en épocas de calor y humedad. Los microorganismos que sobrevivan al proceso de elaboración de cerveza contaminarán el producto final pero no son de carácter patógeno, es decir, no pueden afectar la salud humana; aunque, sí que afectarán de forma muy negativa a la calidad de la cerveza. Hay que tener en cuenta que algunos factores como el pH, el nivel de alcohol, el CO₂ y el amargor, del lúpulo, entre otros, inhiben el crecimiento de la mayoría de los microorganismos.

La fábrica tiene que estar siempre bien ventilada y los tanques y tuberías han de estar secos sin permitir que el agua se quede estancada en ningún sitio. Los tanques que se hayan limpiado deben estar con todas sus puertas (boca hombre) y válvulas abiertas para que el agua restante se seque. Todas las tuberías de conexión tienen que ser auto-vaciantes, es decir, si están todas las válvulas abiertas, el líquido que pueda tener la tubería en cualquier tramo o recodo ha de vaciarse por gravedad.

Hay partes de los equipos que deben de cuidarse mucho más que otras. El intercambiador de placas es el punto más crítico de todos los equipos del proceso. Allí se multiplican las bacterias fácilmente porque no se pueden eliminar bien los líquidos de su interior. El intercambiador acumula también bastante suciedad facilitando la reproducción de los microorganismos.

4.1.1. Proceso de limpieza

Se diferencian dos escenarios distintos dentro de la fábrica a la hora de limpiar. Por un lado está la sala de cocción (macerador – hervidor, filtro, whirlpool e intercambiador de placas) y por otro los depósitos cilíndricos de fermentación y la embotelladora. Todos los depósitos cuentan con una esfera de limpieza CIP instalada en la parte superior para realizar las tareas de limpieza. Éstos se aclararán en primer momento con una manguera a presión para quitar la suciedad y los restos sólidos más voluminosos.



Figura 21. Esfera de limpieza CIP. Fuente: <http://www.tiendainvia.com/>

Para la limpieza de los equipo, se comenzará utilizando una disolución de sosa cáustica (NaOH) al 2% a una temperatura de 80°C, durante un tiempo mínimo de 30 minutos (tiempo óptimo 60 minutos) y recirculando a alta presión con una bomba.

Se comenzará por el tanque de maceración – cocción junto con el intercambiador de calor. Es muy importante limpiar el intercambiador de calor en dirección contraria de flujo a la que ha sido transportado el mosto. De esta forma, la limpieza es mucho más eficiente, pudiendo arrastrar incluso pequeñas partículas depositadas entres las placas. A continuación, una vez finalizado el recirculado, se trasvasará hasta el filtro esta misma solución y se realizará el mismo proceso. Antes de comenzar, se debe desmontar el falso fondo y aclarar con una manguera a presión cualquier resto de malta que haya quedado atrapado. Al finalizar, se trasvasa hasta el whirlpool la solución de limpieza y se repite de nuevo el proceso.

Tras cada limpieza se debe usar una linterna para comprobar que todo esté perfectamente limpio, si no lo está, habrá que limpiar a mano los recodos o tuberías de acceso al tanque por las que no haya recirculado la solución. La solución debe ser recirculada por todas las tuberías de entrada y salida. Cada recodo, cada entrada de sensores de temperatura, cada junta de boca hombre, etc. ha de ser limpiada con esmero.

Una vez terminado de limpiar el whirlpool, la solución de sosa habrá bajado de temperatura a unos 50 o 60 grados. Esta solución debe de calentarse hasta algo más de 80°C para la limpieza de los depósitos cilindrocónicos. Los fermentadores son la fuente de contaminaciones más corriente. Como se encuentran refrigerados, lo ideal es desconectar el flujo de agua helada del tanque en cuestión, limpiarlo recirculando la solución de sosa ya caliente y dejar después que el agua de la camisa de frío vuelva a temperatura ambiente antes de conectar de nuevo el flujo de agua helada.

Los tanques de fermentación deben de limpiarse con mucho esmero. Las juntas hay que desmontarlas cada vez e introducirlas en una solución de ácido peracético para eliminar el olor a levadura que van absorbiendo poco a poco durante las fermentaciones. Si siguen oliendo a levadura hay que remojarlas de nuevo hasta que los olores desaparezcan. Si los tanques tienen alguna rosca en la toma de muestras o en el acceso del sensor de temperatura o en cualquier otro sitio, hay que desmontarlas siempre en cada limpieza del tanque y limpiarlas a mano con un cepillo. Si no se hace, bastaran unas semanas para que

los microorganismos se introduzcan en la rosca y se multipliquen con el calor y la humedad.

Hay que tener en cuenta que también hay que limpiar las mangueras. Si se dispone de varias mangueras, se pueden poner en línea para limpiarlas a la vez que el hervidor. Estas mangueras han de soportar el vacío y las altas temperaturas además de ser tipo alimentario. Muchas de ellas tienen unos recodos entre la parte plástica o de goma de la manguera y el racor. Allí también se introducen microorganismos, por lo que hay que desmontarlas a menudo. Es posible montar los racores de manera que no entre ningún tipo de organismo utilizando abrazaderas a presión dobles. Cuando las mangueras no se usen hay que colgarlas siempre desde su punto central para que el agua en su interior escurra hacia el suelo y estén siempre secas. Toda la valvulería y racorería que se utilice durante las cocciones, trasvases y limpiezas han de sumergirse en un baño de solución de ácido peracético y luego dejarlo secar en una mesa limpia.

Una vez hecha la limpieza con la solución de sosa lo ideal es aclarar recirculando agua limpia y luego volver a realizar el mismo proceso con una solución de ácido peracético a 60 o a 80°C. El ácido servirá para anular cualquier resto de sosa que haya quedado en el circuito o en los tanques. El ácido peracético en solución no es necesario aclararlo por completo.

Hay que tener en cuenta que las soluciones alcalinas en su mayoría son para limpiar incrustaciones de cualquier tipo, también desinfectan, pero hay microorganismos que son resistentes. Las soluciones ácidas en su mayoría no limpian incrustaciones, solo desinfectan y hay también otros microorganismos que son resistentes. Lo ideal, es limpiar primero con sosa y después con ácido siempre antes/después de cada producción de cerveza. Nunca al revés.

Una vez aclarada la solución ácida con agua hay que dejar los tanques con todas sus válvulas y puertas abiertas para que se aireen. No hay que conectar las camisas de frío de los fermentadores que no se vayan a usar inmediatamente porque el frío producirá condensaciones si las puertas están abiertas y la humedad será un nuevo cultivo de microorganismos.

4.1.2. Medidas de seguridad

Es muy importante ser consciente de la peligrosidad del uso de soluciones alcalinas o ácidas a 80 grados de temperatura y a presión. Cualquier ruptura de una manguera o de una abrazadera producirá un chorro descontrolado de líquido corrosivo muy caliente. Es imprescindible usar siempre gafas y guantes protectores así como una vestimenta y calzado adecuados. Hay que ser muy cuidadoso y mantenerse siempre lo más alejado de las bombas y mangueras que trabajan a altas temperaturas con soluciones de limpieza.

4.2. Tratamiento del agua

El agua utilizada para elaborar el mosto procederá de la red pública y debe ser fresca, no almacenada durante días. Se utilizarán filtros de carbón activo justo antes de su uso. Es muy importante sustituir el carbón activo periódicamente, así como seguir las instrucciones para su limpieza. Estos filtros servirán principalmente para eliminar el cloro y compuestos orgánicos presentes en el agua de red.

El agua contiene siempre un mínimo de oxígeno disuelto. Para eliminar este oxígeno disuelto que posteriormente favorecería la oxigenación en caliente, se añadirán 5g de ácido ascórbico en polvo por cada hectolitro de agua. Éste reaccionará con el oxígeno y lo metabolizará, haciéndolo desaparecer como reactivo.

El agua no puede tener deficiencias en calcio puesto que es un ión esencial para que la levadura pueda llevar a cabo una fermentación de forma adecuada y sedimente al finalizar la misma (evitando turbidez). Si presenta carencias de calcio, la cerveza resultante tendrá sabor a levadura y será algo dulzona.

Para lograr una mayor calidad en el producto será necesario añadir al agua sales en pequeñas proporciones según la receta que se quiera elaborar y la calidad del agua de red. Para ello, en primer lugar se realizará un estudio del agua de red a partir de los datos facilitados por las entidades correspondientes, para conocer los parámetros medios y si varían mucho dependiendo de las diferentes estaciones o en diferentes años. Las sales a añadir serán cloruro de calcio (cervezas con mayor carácter de malta), sulfato de calcio (cervezas con mayor carácter de lúpulo) y ácido fosfórico, para regular el pH; todas ellas de grado alimentario.

Se debe ajustar el pH del agua utilizada para lavar el grano posteriormente a la maceración a 5,7, para evitar extraer sustancias indeseadas de la malta que aportarían sabores ásperos y desagradables.

4.2.1. Equipo de tratamiento y almacenamiento del agua de proceso

- **Filtros de carbón activo**

Se dispone de un filtro de carbón activo para declorar y filtrar el agua de red, que va a ser utilizada como ingrediente del proceso de elaboración de la cerveza. Se deberá cambiar periódicamente el carbón activado de cáscara de coco (material filtrante).



SERIE AUTOMÁTICA SEMI-INDUSTRIAL

- Botella de poliéster reforzado con fibra de vidrio
- Válvula KERAMIS K67B1 de 1" en modelos automáticos (A)
 - Programador cronométrico electrónico con display LED
 - Programación de lavados en horas y días
 - Conexión de salida auxiliar libre de potencial para bomba de lavado
 - Sistema de distribución hidráulica con cierres cerámicos
 - Retención de datos en memoria no volátil
 - Bloqueo automático del teclado
 - Conexión múltiple de equipos. Sistema interlock
- Elementos hidráulicos interiores en PVC diseñados en función del caudal máximo
- Temperatura máxima del agua: 45°C
- Presión de trabajo hasta 6 bar
- Alimentación eléctrica: 230-110V 50/60Hz

CÓDIGO	MODELO	CAUDAL max. (m ³ /h)	DIAM. CONEXIONES	ÁREA FILTRACION m ²	C. ACTIVO Litros	MODELO VÁLVULA	MEDIDAS Ax B mm	PESO Kg
A-530000	CA-85 A	0,34	1"	0,03	8,5	Keramis K67B1	582x214	7,5

Figura 22. Filtro de carbón activo con sus características técnicas.

Fuente: <http://www.aquagan.com/>

- **Tanque agua caliente**

El tanque o depósito de almacenamiento del agua utilizada para el proceso, es un depósito de acero inoxidable de calidad alimentaria con una capacidad total aproximada un 25% mayor a los litros de cerveza que se pretendan fabricar, o sea 1.250l en este caso. Está recubierto por una capa de material aislante para disminuir las pérdidas de temperatura. Lleva incorporada una resistencia eléctrica para calentar el agua de red filtrada hasta 80°C, y adicinarla posteriormente durante la maceración y el lavado del grano.



Figura 23. Depósito equipado con resistencia eléctrica para el calentamiento del agua y aislado térmicamente. Fuente: <http://www.tiendainvia.com/>

4.3. Molturación de la malta

Se debe molturar la malta de cebada para posibilitar que las enzimas que contiene actúen sobre sus componentes, descomponiéndolos durante la maceración. La molturación es un proceso de trituración mecánica, en el que, las cáscaras deben ser tratadas cuidadosamente, dado que se las necesita como material filtrante del mosto. Es importante molturar la malta justo antes de mezclarla con el agua en la maceración para evitar la oxidación de los ácidos grasos.

La molturación se puede realizar en seco o húmeda. Dado que existen diferentes procesos de molturación también existen diferentes tipos de molinos para ello. En el caso de una pequeña fábrica de cervezas, los molinos que se suelen instalar operan en seco y son de dos rodillos. Son molinos económicos, compactos y duraderos y de la capacidad adecuada. Por el contrario, se producen algunas pérdidas en el rendimiento de la malta, aunque son insignificantes en comparación al ahorro que supone este tipo de molinos. El grano, al pasar entre los rodillos, es aplastado y descascarado. Los rodillos son comúnmente estriados para aumentar la fricción y ruedan en sentido contrario uno del otro. La capacidad y la eficacia de un molino dependen de la longitud, diámetro, velocidad y separación de los rodillos. El aplastado tiene dos efectos, la compresión y el pelado del grano. La compresión está relacionada con la distancia entre los rodillos, y el pelado o descascarado depende de la velocidad

de rotación de los mismos. Generalmente la distancia entre los dos rodillos debe de ser de 1mm, de esta forma se conserva la cáscara intacta, aunque es ajustable ya que puede variar según el tipo de malta o cereal.

A continuación se muestra una imagen en la que aparecen diferentes características constructivas que pueden presentar los molinos de dos rodillos dependiendo de su diámetro o su longitud:

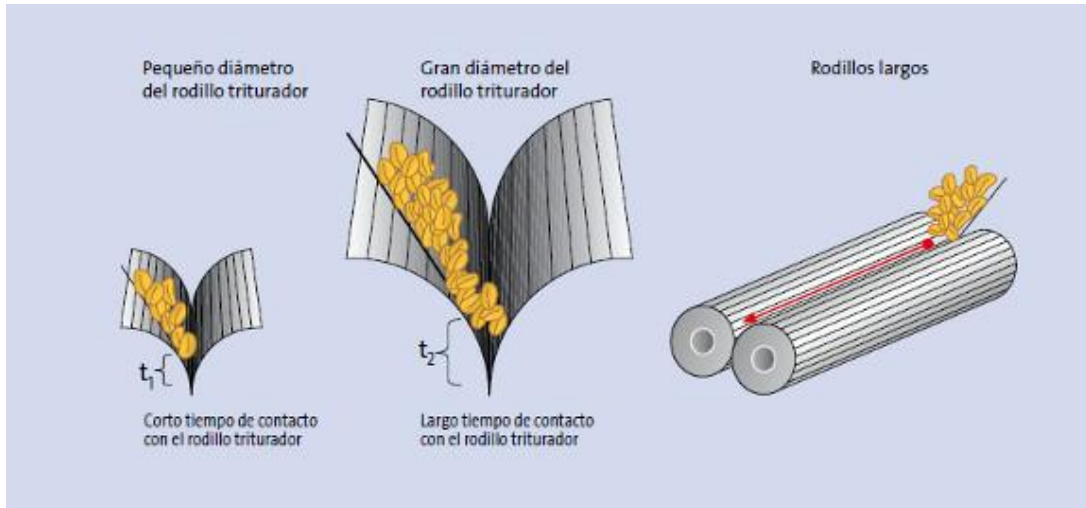


Figura 24. Detalle de diferentes tipos de rodillos. Fuente: <http://www.krones.com/>

4.3.1. Equipo para la molturar la malta de cebada

En primer lugar, se tendrá en cuenta la capacidad de procesamiento mínima necesaria que debe tener el molino de malta. Para ello se estima que será necesaria una cantidad media de 200kg de malta de cebada por lote, para elaborar la mayoría de las recetas. En algunas recetas esta cantidad puede ser superior. El tiempo de molturado será de 1h aproximadamente. En este caso, los sacos de malta se transportarán y se verterán al macerador de forma manual; en un futuro si se aumentase la producción se estudiaría transportar el grano molido hasta el tanque de maceración mediante un sinfín. Se instalarán unas ruedas bajo los soportes para poder transportarlo fácilmente de un sitio a otro.



Figura 25. Molino de dos rodillos con una producción de 200 kg/h. Fuente: <http://micro-cervecerías.cervezartesana.es/>

Las características técnicas del molino son las siguientes:

Tabla 4. Características técnicas del molino. Fuente: <http://micro-cervecerías.cervezartesana.es/>

Características técnicas	
Potencia	1,5 kW
RPM	950 rpm
Producción	200 kg/h
Tolva	60 kg
Dist. Rodillos	0 - 2,6 mm
Peso	119 kg
Medidas	420x620x400

4.4. Maceración

La maceración es el proceso más importante en la fabricación del mosto. Aquí, la molienda y el agua son mezclados entre sí (macerados). Los componentes de la malta entran así en solución y, con ayuda de las enzimas, se los obtiene como extractos. Las transformaciones durante la maceración tienen una importancia decisiva.

4.4.1. Propósito de la maceración

Solamente una pequeña parte de los componentes de la molienda son solubles. Pero a la cerveza solamente pueden pasar sustancias solubles. Por ello es necesario, que las sustancias insolubles de la molienda sean convertidas en sustancias solubles durante la maceración. Las sustancias que entran en solución son denominadas extracto.

Son solubles los azúcares, las dextrinas, las sustancias minerales y determinadas proteínas. Son insolubles el almidón, la celulosa, una parte de las proteínas con alto peso molecular y otros compuestos que formarán parte del bagazo.

Es importante conseguir la mayor cantidad de extracto posible por motivos económicos. Por eso, el propósito de la maceración es la degradación completa del almidón para la obtención de azúcares y dextrinas solubles. La cantidad principal de extracto se consigue durante la maceración, por la actividad de las enzimas, las cuales deben actuar con sus temperaturas óptimas.

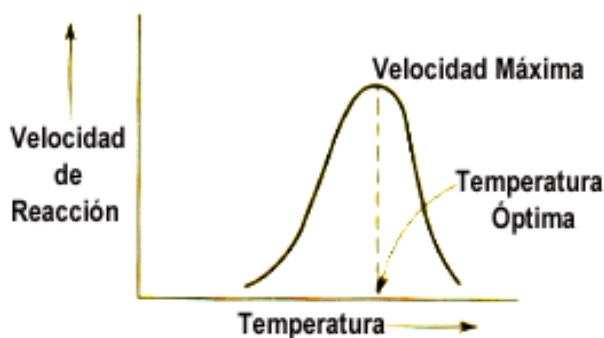
4.4.2. Propiedades de las enzimas

La propiedad más importante de las enzimas es su actividad en la disociación de los substratos. Esta actividad depende de varios factores:

Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura

La actividad de las enzimas depende en primer lugar de la temperatura. Aumenta con temperatura creciente y alcanza un valor óptimo específico para cada enzima, a la temperatura óptima. A mayores temperaturas tiene lugar una inactivación en rápido aumento, debido a un desdoblamiento de la estructura

tridimensional de la enzima (desnaturalización). La inactivación y eliminación de la actividad enzimática es tanto mayor, cuanto más hacia arriba es excedida la temperatura óptima. Las enzimas trabajan también a menor temperatura, pero entonces notablemente más lento. A continuación se muestra un gráfico en el que se observa como varía la velocidad de la reacción en función de la temperatura a la que trabaja la enzima.



*Figura 26. Efecto de la temperatura en la velocidad de la reacción.
Fuente: <http://www.ehu.es/>*

La actividad enzimática típica para una determinada temperatura no es modificable. En tanto que, a bajas temperaturas, la actividad se conserva casi ilimitadamente, ésta disminuye rápidamente con el tiempo, a temperatura creciente. (Figura 3.23).

Dependencia de la actividad enzimática del valor pH

Dado que la estructura tridimensional de las enzimas se modifica también en dependencia del valor pH, resulta de ello una dependencia de la actividad enzimática del valor pH. La actividad enzimática alcanza un valor óptimo con un valor pH, que es específico para cada enzima, y disminuye con mayores y menores valores pH.

La influencia del valor pH sobre la actividad enzimática no es, por lo general, tan grande como la influencia de la temperatura.

Los procesos de degradación de sustancia importantes para el cervecero son:

- La degradación del almidón
- La degradación d β -glucano
- La degradación de sustancias albuminoides

4.4.3. Degradación del almidón

El componente más importante de la cerveza es el alcohol formado durante la fermentación de los azúcares. Es por ello necesario que el almidón sea degradado predominantemente a maltosa. Aparte de ello, siempre se forman productos intermedios, las dextrinas límite, que no son fermentados.

El almidón debe ser degradado completamente a azúcares y a dextrinas límites no coloreables con yodo. La degradación completa hasta ese estado de reacción normal al yodo es necesaria por motivos económicos. Además, los restos de almidón no degradado causan un "enturbiamiento de almidón" en la cerveza.

La degradación de almidón ocurre en tres etapas, cuyo orden no es modificable, pero que se funden una en la otra:

- El engrudamiento
- La licuefacción
- La sacarificación.

El engrudamiento

En solución caliente y acuosa, una gran cantidad de agua es incorporada por las moléculas de almidón. De este modo, tiene lugar un aumento de volumen, el cual causa que los granos de almidón, unidos fuertemente entre sí, se hinchen y finalmente revienten. Se forma una solución viscosa (espesa); el grado de la viscosidad depende de la cantidad de agua incorporada y difiere entre los distintos tipos de cereales. Así, por ejemplo, el almidón del arroz se hincha mucho más que el almidón de la malta. Este proceso, en el que no tiene lugar degradación alguna de sustancia, se denomina engrudamiento. Es una parte importante de la elaboración diaria de comidas (por ejemplo la cocción de flan, el espesamiento de sopa o salsa).

Dado que el almidón engrudado ya no se encuentra ligado en los granos sólidos de almidón, pueden actuar directamente sobre el mismo las enzimas contenidas en el líquido. Por el contrario, la degradación de almidón sin engrudar dura varios días.

Por engrudamiento se entiende el hinchamiento y la acción de reventar de los granos de almidón en solución caliente y acuosa. Las moléculas de almidón liberadas en esta solución viscosa son mucho mejor atacadas por las amilasas que el almidón no engrudado.

Las temperaturas de engrudamiento difieren para cada tipo de cereal:

Los almidones de malta y de cebada engrudan en presencia de amilasas a 60 °C, mientras que por ejemplo el almidón de arroz engruda a temperaturas de 80 a 85 °C.

La licuefacción

Las cadenas largas del almidón, formadas por residuos de glucosa (amilosa y amilopectina), son rotas muy rápidamente por las α -amilasas, en cadenas más pequeñas (Figura 27. Degradación del almidón durante la maceración. Fuente: <http://www.revistamash.com/>). Por esto, la viscosidad de la templa engrudada disminuye muy rápidamente. La β -amilasa sólo es capaz de degradar lentamente las cadenas largas desde el extremo que no reduce, de manera que la degradación únicamente por parte de esta enzima duraría días enteros.

Así pues, se entiende por licuefacción a la disminución de la viscosidad del almidón engrudado, por parte de la α -amilasa.

La sacarificación

La α -amilasa rompe las cadenas de la amilosa y de la amilopectina progresivamente hasta obtener dextrinas con 7 a 12 residuos de glucosa. La β -amilasa disocia dos residuos (maltosa) de los grupos terminales de las nuevas cadenas formadas (Figura 27. Degradación del almidón durante la maceración. Fuente: <http://www.revistamash.com/>). Con esto, la α -amilasa forma asimismo con cada disociación dos cadenas terminales, que pueden ser atacadas por la β -

amilasa, al disociar maltosa. Debido a la diferente longitud de las cadenas, se forman, aparte de maltosa, otros azúcares, tales como glucosa y maltotriosa. En todos los casos, la degradación de sustancias se detiene 2 a 3 residuos de glucosa antes de los enlaces 1,6 de la amilopectina, dado que estos enlaces 1,6 no pueden ser rotos por la α -amilasa ni por la β -amilasa. Estas dextrinas límite siempre se encuentran presentes en un mosto normal, aunque un exceso de éstas producirá enturbiamiento de la cerveza final.

En la siguiente figura se muestran estos procesos:

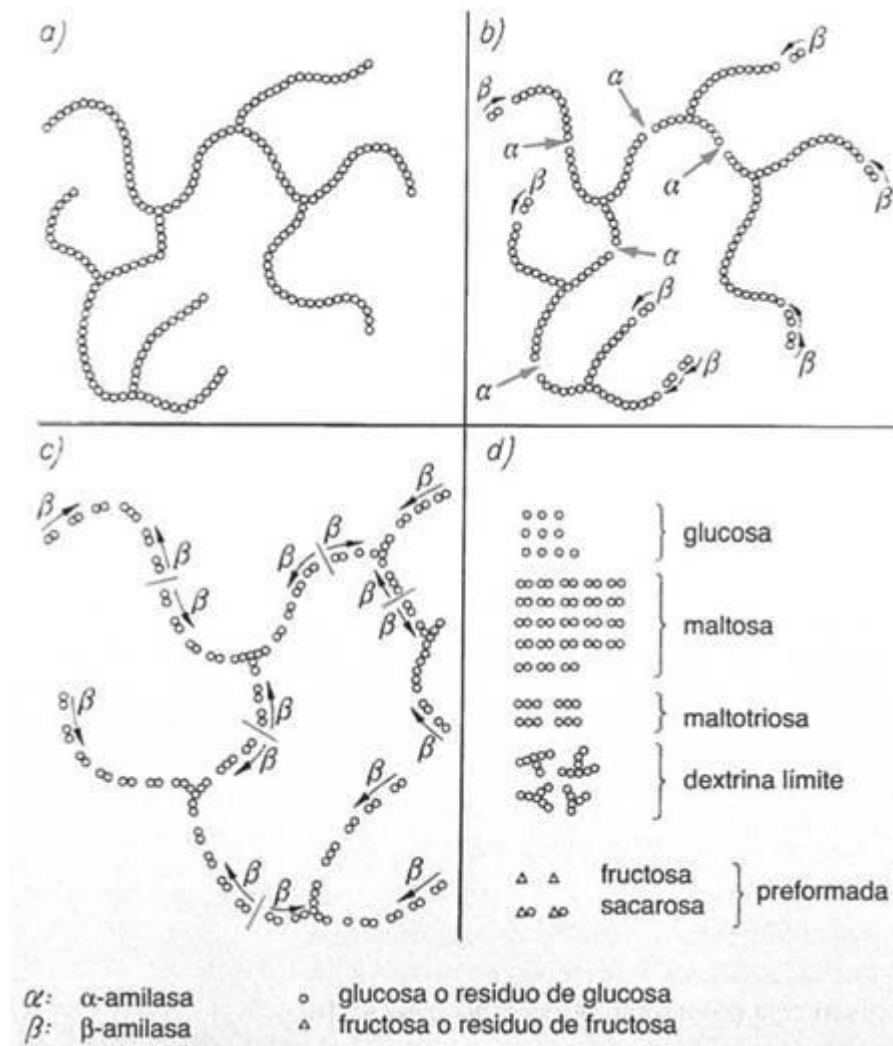


Figura 27. Degradación del almidón durante la maceración. Fuente: <http://www.revistamash.com/>

Así pues, las amilasas degradan el almidón de la siguiente forma:

- La α -amilasa degrada las cadenas largas de almidón a dextrinas más pequeñas. Actúa de forma óptima a temperaturas de 72 a 75°C y es destruida rápidamente a 80°C. El valor de pH óptimo se encuentra de 5,6 a 5,8.
- La β -amilasa disocia maltosa de los extremos de cadena no reducidos, pero también se forman glucosa y maltotriosa. Actúa de forma óptima a temperaturas de 60 a 65°C y es muy sensible a las temperaturas mayores, siendo inactiva a 70°C. El valor de pH óptimo es de 5,4 a 5,5.

Es importante controlar la degradación del almidón, dado que si no se consigue su degradación causa un enturbiamiento en la cerveza. En un proceso usual de maceración, se puede esperar que aproximadamente el 65% de los azúcares que entran en solución están compuestos por maltosa, aproximadamente el 18% por maltotriosa e igual porcentaje de sacarosa, glucosa y fructosa. El control de la degradación del almidón se realiza por medio de tintura de yodo. El examen se llama ensayo de yodo y se realiza siempre con la muestra enfriada de mosto. La solución de yodo produce una coloración de azul a rojo con almidón y dextrinas mayores, mientras que todos los azúcares y dextrinas menores ya no causan una coloración en la tintura de yodo, siendo el resultado de color amarillo-marrón. La degradación de las moléculas de almidón hasta el estado de reacción normal al yodo se llama sacarificación.

Seguidamente, se van a describir las diferencias que existen entre los distintos productos de la degradación del almidón, en lo referente a su fermentabilidad por la levadura de cerveza:

- Dextrinas límite: No son fermentadas
- Maltotriosa: Es fermentada por todas las cepas de levadura de fermentación alta, en el momento en el que toda la maltosa está fermentada. Esto es, en durante el proceso de maduración.
- Maltosa: Estos disacáridos son rápidamente fermentados por la levadura (azúcar de fermentación principal).
- Glucosa: Es la primera en ser utilizada por la levadura (azúcar de inicio de fermentación).

La fracción porcentual de azúcares fermentables en el extracto total del mosto determina la atenuación límite. Por medio de la atenuación límite, se establece el contenido alcohólico de la cerveza y con ello se influye decisivamente sobre el carácter de la cerveza.

La proporción de azúcares fermentables es determinada por la actividad variable de las enzimas. La composición del mosto depende en gran medida de la maceración, influyendo tanto sobre el desarrollo de la fermentación como sobre la calidad de la cerveza. Los factores de mayor influencia sobre la degradación del almidón son:

- **Temperatura durante la maceración**

Macerando a temperaturas de 62 a 64°C se obtiene el contenido más alto posible de maltosa y la mayor atenuación límite. Los mostos ricos en maltosa fermentan más rápidamente y mantienen durante más tiempo la levadura en suspensión.

Macerando a temperaturas de 72 a 75°C se obtienen cervezas ricas en dextrinas con baja atenuación límite.

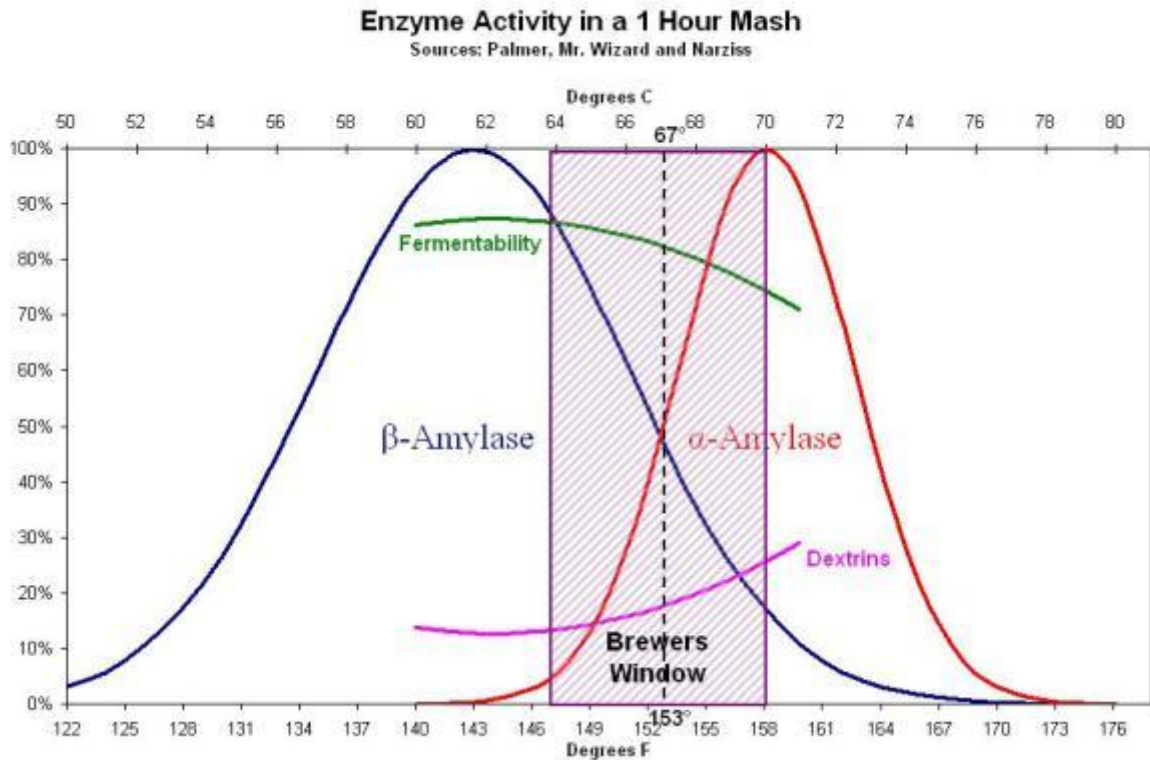


Figura 28. Temperaturas óptimas de las enzimas (α -amilasa y β -amilasa), porcentaje de azúcares fermentables y porcentaje de dextrinas en 1h de macerado. Fuente: <http://brewmasters.com.mx/>

La influencia de las temperaturas de maceración es extremadamente grande, de manera que durante la maceración se mantienen siempre reposos a las temperaturas óptimas de las enzimas.

• Duración de la maceración

Las enzimas no actúan de forma uniforme durante el proceso de maceración. Se distinguen dos etapas en la actividad de las enzimas dependientes del tiempo:

1. El máximo de actividad enzimática es alcanzado luego de 10 a 20 minutos. El máximo de la actividad enzimática es mayor a temperaturas entre 62 a 64°C que a 67 a 68°C.
2. Luego de 40 a 60 minutos, la actividad enzimática disminuye primeramente de forma rápida, pero la reducción de actividad decrece de forma continua.

De esto se concluye que la influencia de las temperaturas de maceración sólo puede ser considerada en relación con la duración de la maceración. El proceso de maceración dura entre 60 y 90 minutos.

• Valor de pH de la maceración

Tal y como se ha visto, la actividad de las enzimas depende del valor de pH. El rango óptimo del pH es de 5,4 a 5,6 en la maceración, para ambas amilasas, incrementando el contenido de extracto ya que se forman más azúcares fermentables y aumenta la atenuación límite.

- **Valor del empaste (Relación kg agua : kg malta)**

El empaste es la relación entre kg o litros de agua : kg de malta de cebada del primer mosto. En las maceraciones con una proporción de kg de malta más elevada, las enzimas están más protegidas de una inactivación térmica demasiado rápida. De esta manera, aumenta la cantidad de azúcares fermentables y con ello la atenuación límite. Pero cabe destacar, que esta influencia de las concentraciones de empaste sobre la degradación del almidón es menor que la influencia de los otros factores. Los valores más habituales de empaste son de 2,5:1 a 3:1. Concentraciones de 2:1 retrasarían el proceso de filtración.

4.4.4. *La degradación del β -glucano*

Los β -glucanos de mayor peso molecular fueron degradados en su mayor parte durante el malteado. Se encuentran contenidos en las hemicelulosas de las celdillas de los granos de cebada y malta. Durante el macerado, pueden ser degradados entre 45 y 50°C, por las enzimas endo- β -glucanasa. Los β -glucanos son como gomas que pueden llegar a dificultar la filtración de la maceración, de aquí la importancia de comprar una malta de cebada en la que hayan sido correctamente degradados. Para ello, es fundamental pedir un análisis completo de la malta que se vaya a adquirir para poder escoger una malta de calidad que facilite el proceso de elaboración y que garantice la calidad de la cerveza. Las malterías controlan la degradación de los β -glucanos por medio del control de la friabilidad de los granos de malta y de la viscosidad del mosto producido en el laboratorio.

4.4.5. *La degradación de sustancias albuminoides*

Durante la cocción del mosto son precipitadas todas las proteínas de alto peso molecular, con excepción de reducidas cantidades. Llegando a la cerveza únicamente productos de degradación que son absolutamente necesarios para la propagación de la levadura y una rápida fermentación.

La manipulación de la degradación enzimática de las proteínas, tiene dos objetivos:

- Eliminar un exceso de proteínas para evitar que se formen turbiedades en la cerveza final.
- Mantener las proteínas para conseguir que la cerveza final disponga de cuerpo y de espuma estable.

A temperaturas de 45 a 55°C se forman productos de degradación de proteínas de bajo peso molecular, en especial péptidos y aminoácidos. Aunque un reposo prolongado a este rango de temperaturas produce siempre una espuma pobre.

A temperaturas de 60 a 70°C se forman más productos de degradación de alto peso molecular, que son responsables de la estabilidad de la espuma. Las proteínas positivas para la formación de la espuma son las que provienen de la fracción de hordeína y de glutelina.

Generalmente, las pequeñas fábricas de cerveza empiezan las maceraciones a 60°C puesto que al no filtrar el producto para eliminar la levadura son cervezas con turbiedad natural y, el hecho de que las proteínas provoquen algo de turbiedad no es importante. Un exceso de proteínas no provocará inestabilidad

del sabor de la cerveza a largo plazo debido a que las micro-cervecerías actúan en mercados locales vendiendo la cerveza en menor cantidad de tiempo que una gran industria. El exceso de estas proteínas ayudará a que las cervezas tengan cuerpo y espuma cremosa que las diferenciará de estas cervezas de tipo industrial. Finalmente, el hecho de que haya una mayor o una menor cantidad de proteínas dependerá de la cantidad contenida inicialmente en la malta.

Aunque, hay que tener en cuenta que en el momento que la distribución alcance largas distancias e incluso se comience a exportar producto, independientemente del tamaño de la fábrica de cerveza, sería recomendable realizar una etapa de descanso en la maceración de aproximadamente 50°C, entre 10-20 minutos.

En este gráfico se observa el comportamiento de la temperatura durante el transcurso de una maceración, en la que se degradan en primer lugar, los β -glucanos (45°C), en segundo lugar las proteínas (52°C), en tercer lugar el almidón con las enzimas β -amilasa (63°C) y α -amilasa (72°C), finalizando la maceración a 78°C.

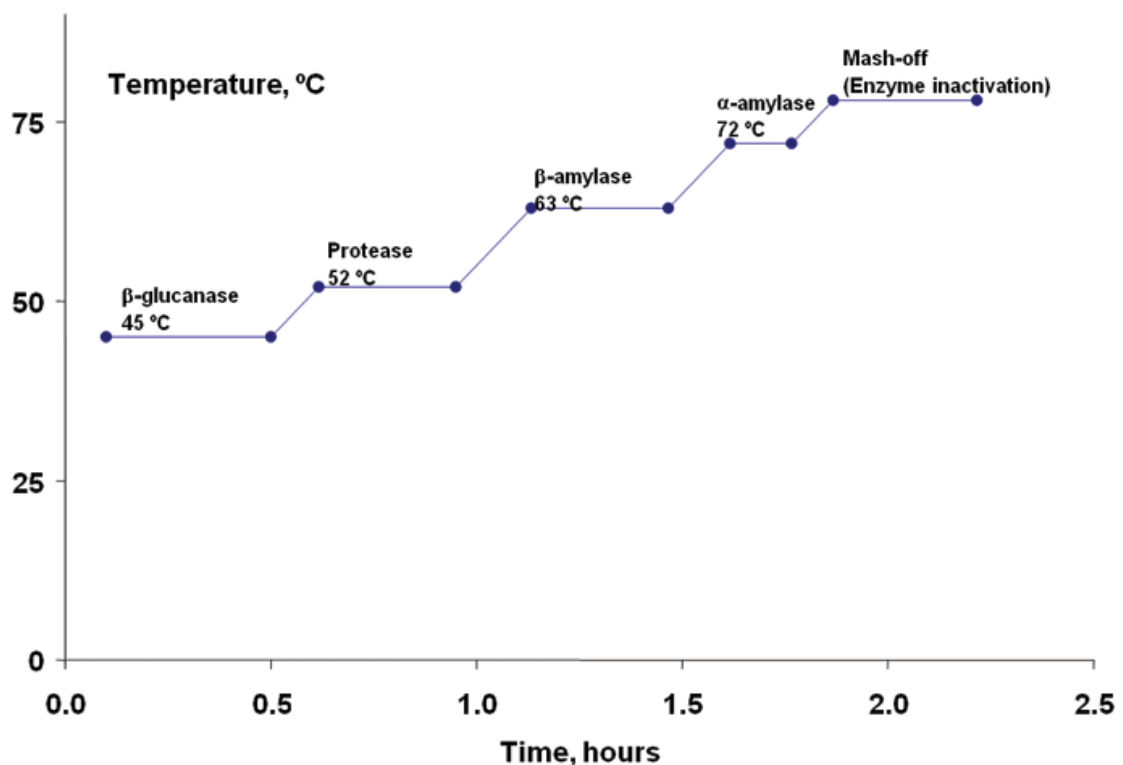


Figura 29. Rangos de temperatura de acción de las principales enzimas durante una maceración. Fuente: <http://brewmasters.com.mx/>

4.4.6. Proceso de la maceración

Aunque ya se han visto los diferentes propósitos de la maceración y la forma de llegar a conseguirlos, se va a realizar un pequeño resumen de las condiciones en las que se debe realizar la maceración para obtener un primer mosto de calidad.

El primer paso es mezclar la malta molida con el agua tratada dentro del tanque de maceración. Debe de realizarse de manera que el agua y la molienda sean mezcladas íntimamente entre sí y sin que se formen grumos. Para ello el agitador girará a bajas revoluciones, en el caso de que se detecten grumos

deberán “romperse” con la pala de forma manual. Es importante en este punto evitar la inclusión de oxígeno junto con la malta entrante.

Una vez esté todo mezclado debe ajustarse el pH a un valor siempre mayor de 5,2. Para acidificar la mezcla se añadirá ácido fosfórico en cantidades muy pequeñas, chequeando el pH hasta llegar al pH objetivo. Hay que tener en cuenta que las maltas acidifican el mosto, siendo las maltas especiales las que mayor variación producen por lo que se debe tener precaución con la cantidad que se adiciona. A continuación se muestra un gráfico con los valores óptimos de temperatura y pH de las diferentes enzimas encargadas de la maceración:

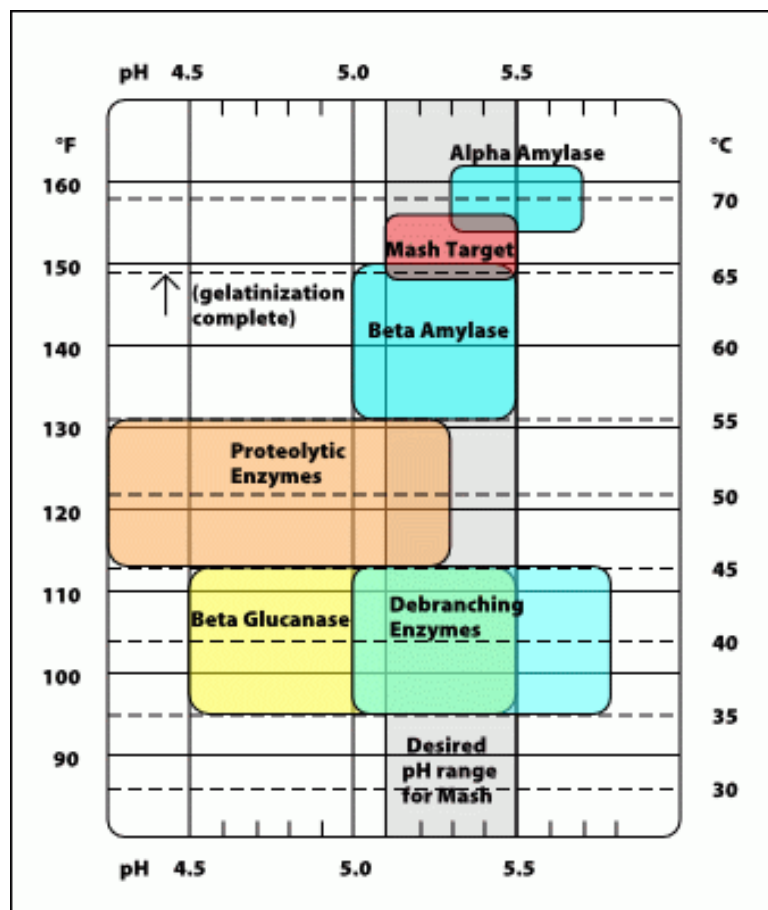


Figura 30. Tabla de valores óptimos de pH y temperatura de las diferentes enzimas en el proceso de maceración. Fuente: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/>

Una vez ajustado el pH, comienza el proceso de maceración en el que se debe incrementar la temperatura de la mezcla hasta alcanzar las temperaturas óptimas de las enzimas que se desea dejar actuar, así como mantener los tiempos de reposo a esa temperatura.

Hay múltiples escalas diferentes de temperaturas según estilos de cerveza y gustos. No se debe macerar más de 120 minutos ni aumentar las temperaturas de las diferentes escalas o etapas a más de 1°C por minuto. El agitador debe de girar constantemente pero sin llegar a hacer un remolino. Teniendo en cuenta los estilos de cerveza que se quieren desarrollar en las instalaciones aquí descritas (cervezas de alta fermentación); que se distribuirán por toda la península y que en unos años se pretende exportar parte de la producción, se realizarán las siguientes etapas de macerado:

- 1ª etapa: Temperatura entre 50 y 55°C durante 10-20 minutos para metabolizar las proteínas.
- 2ª etapa: Temperatura de 66°C (68°C si se quiere una cerveza más dulce o con más cuerpo) durante 30 minutos.
- 3ª etapa: Temperatura de 72°C durante 30 minutos y al finalizar se aumenta hasta 78°C para facilitar la filtración con la menor densidad del mosto.

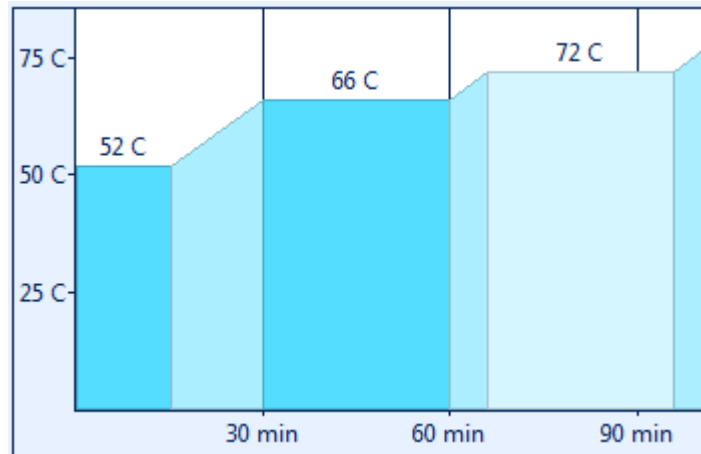


Figura 31. Gráfico de maceración asociado a las recetas a elaborar por el equipo instalado en el presente proyecto. Fuente: Software Beer Smith 2.0.

Una vez finalizado el escalonado de temperatura, se procederá a trasegar toda la mezcla hasta el tanque de filtrado o *lauter tun*.

4.4.7. Equipo para la maceración y la cocción del mosto

- **Depósito de maceración - cocción**

El depósito de maceración será el mismo que se utilizará para el proceso de cocción. La capacidad será de un 35% mayor que la cantidad de cerveza que se quiera conseguir por lote elaborado. En este caso el depósito de maceración tendrá un volumen de 1375l y estará construido en acero inoxidable de calidad alimentaria (304 o 316). El fondo será cónico (15°). Tendrá una apertura superior (boca hombre) y diferentes válvulas para la entrada y salida del mosto. En la parte superior tendrá una entrada conectada a una esfera de limpieza CIP.

Constará de una camisa aislada por la que circulará vapor hasta 3 bares de presión (vapor a 130-140°C), para regular la temperatura durante los escalonados en la maceración hasta realizar el proceso de cocción. Una sonda de temperatura PT-100 medirá la temperatura del mosto y un PLC se encargará de controlar el flujo de vapor, pudiéndose programar diferentes recetas con diferentes escalados de temperaturas según el perfil que se quiera conseguir.

Dispondrá de un agitador lo más largo posible con dos palas que no lleguen a tocar la parte inferior ni las paredes del depósito. El motor eléctrico deberá tener alrededor de 1/2 caballo de potencia, una caja reductora de 100:1 y un controlador de velocidad VFD (*Variable Frequency Drive*).



Figura 32. Depósito de maceración – cocción. Fuente: <http://ingenieriacervecera.weebly.com/>

- **Caldera de vapor**

Será necesario aportar calor para los procesos de maceración y de cocción. Para ello, se administrará vapor a 3 bares de presión (140°C) para aumentar la temperatura en los escalados y a 1,5 bares de presión (130°C) para mantener la ebullición. El caudal de vapor a aportar para un proceso de 1000l de producción será de 100 kg/h.



Figura 33. Caldera de vapor de 100 kg/h de producción. Fuente: <http://www.calderasnaves.com/>

- **Bombas centrífugas**

Se necesitarán dos bombas centrífugas tanto para el trasiego del mosto durante el proceso de fabricación, como para la limpieza del equipo. Son bombas para altos caudales (18.000 l/h) con una elevada presión de trabajo (8 bares). Su caudal es regulado mediante el variador de frecuencia. Todos los componentes que están en contacto con el mosto son de acero inoxidable de calidad alimentaria y aguantan temperaturas de hasta 120 °C debido a que llevan juntas de vitón.



Figura 34. Bombas centrífugas para el trasiego de líquidos. Fuente: <http://inviashop.invia1912.com/>

4.5. Filtración del mosto

Al finalizar el proceso de la maceración, se obtiene una mezcla acuosa de sustancias disueltas y no disueltas. La solución acuosa de los extractos se denomina mosto, mientras que las partes no disueltas se denominan bagazo. El bagazo está compuesto principalmente por las cáscaras, los embriones y otras sustancias que no entraron en solución durante la maceración. Para la fabricación de cerveza se utiliza solamente el mosto, por ello debe ser separado del bagazo. Esta operación de filtrado se realiza en la cuba de filtración.

En la filtración del mosto, el extracto debe ser recuperado, en lo posible de forma total. Las cáscaras del bagazo cumplen el papel de material filtrante. Por ello, es fundamental que se realice un proceso correcto de molturación del grano, sin llegar a romper la cáscara.

El proceso de filtración del mosto ocurre en dos fases, que se suceden de forma separada, una tras otra:

- Filtración del primer mosto
- Lavado del bagazo (o sparging)

4.5.1. Filtrado del primer mosto

El mosto que se escurre del bagazo se denomina primer mosto. Aunque en éste queda extracto contenido. Este extracto debe ser recuperado para obtener un rendimiento más óptimo. Por este motivo, el bagazo es lavado con agua caliente para extraer el extracto soluble, tras haber sido descargado el primer mosto.

El primer mosto deberá tener un contenido en extracto del 4 al 6% mayor que la cerveza a fabricar, puesto que, el lavado para la extracción diluye cada vez más el mosto.

Para filtrar el mosto, se recircula sacándolo por la válvula inferior y reingresándolo por la parte superior del tanque. Se controla su claridad a través de una mirilla colocada justo detrás de la bomba que recircula el mosto.



Figura 35. Mirilla de visión en el tanque de filtrado. Fuente: <http://forum.northernbrewer.com/>

4.5.2. Lavado del bagazo

El extracto retenido por el bagazo es extraído mediante el lavado con agua caliente. Este proceso se denomina riego o lavado del grano. A este mosto más diluido también se le llama mosto secundario.

Tal y como se vio (apartado 4.2 Tratamiento del agua), el pH del agua del lavado debe ser de 5,8 para evitar la extracción sustancias indeseadas (taninos y compuestos amargos de la cáscara, ácido silícico...). Para reducir el pH del agua de lavado se adiciona comúnmente ácido fosfórico de grado alimentario.

La temperatura del agua de lavado debe ser de 78°C, dado que la α -amilasa es destruida a 80°C y se necesita para transformar el almidón no disuelto remanente en el bagazo. El agua será añadida en dos o tres tandas y la cantidad total a añadir será la misma en litros que de mosto obtenido tras el primer filtrado (primer mosto).

4.5.3. Proceso de filtración del mosto

En primer lugar se llena el tanque de filtración de agua declarada a 78°C justo por encima de la rejilla de filtración y se comienza a transferir la mezcla procedente del depósito de maceración. Una vez termina el trasiego del macerador al tanque de filtración se comienza a recircular el mosto desde la salida inferior (bajo la rejilla filtrante) a través de la bomba hasta la parte superior del tanque. Se controlará la claridad del mosto a través de la mirilla y la recirculación terminará cuando el mosto sea claro. Esta operación tarda aproximadamente unos 45 minutos en total. La velocidad de recirculación será de 20 l/min durante los 2 primeros minutos para lograr arrastrar las partes más

gruesas que se hayan colado por debajo de la rejilla filtrante, pasando a ser de 10 l/min el resto del proceso. No se debe modificar esta velocidad o el mosto se enturbiará de nuevo y habrá que volver a comenzar.

Mientras se recircula el mosto, se debe limpiar el depósito de maceración con agua a presión para eliminar cualquier sólido o cascarilla. Cuando el mosto comience a salir con claridad suficiente se tiene que transferir de nuevo al depósito de maceración, que a partir de ese momento pasará a ser el depósito de cocción, por la válvula inferior para evitar salpicaduras y oxigenación. La velocidad a la que se debe transferir el mosto es la misma que la de recirculación.

Cuando la malta vaya asomarse por encima de la superficie del mosto, se debe adicionar el agua del lavado (agua filtrada con el pH de 5,7) dos o tres veces. Se tienen que añadir unos 600l para una producción de 1000l. Durante la filtración hay que hacer girar las chuchillas de vez en cuando para evitar que el mosto circule solo por determinadas áreas. Al girar las cuchillas se enturbiará el mosto filtrado y habrá que recircular de nuevo durante unos 5 minutos aproximadamente. El proceso completo de filtración tardará entre 2 y 3 horas.

El filtrado finalizará cuando todo el mosto haya sido transferido al depósito de cocción.

4.5.4. Equipo de filtración del mosto (lauter tun)

La cuba de filtración es un depósito con un mayor diámetro con respecto a la altura y con una capacidad de aproximadamente del 80% del total de litros que se pretende producir, o sea, 800l. El suelo es plano y tiene una salida inferior en el centro. Posee un falso fondo desmontable, formado por unas varillas triangulares en forma de "v". De esta forma es muy difícil que se atasque el filtro, reduciendo el tiempo de filtrado. Este falso fondo está formado de varias piezas para facilitar el desmontado a la hora de la limpieza.

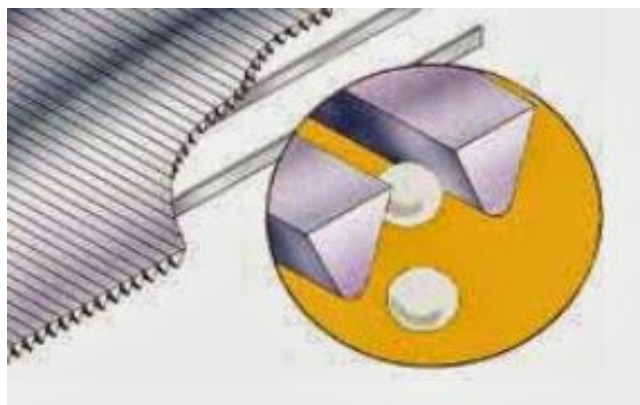


Figura 36. Detalle de la construcción del falso fondo con varillas triangulares. Fuente:

<http://maestrosceveceroshispanoparlantes.blogspot.com.es/>

Dispondrá también de un agitador formado por unas cuchillas colgantes que permitan "cortar" la cama de grano filtrante de forma uniforme. El motor eléctrico tendrá una reducción 100:1 y se dispondrá de un variador de frecuencia para regular la velocidad (rpm) del agitador. Tiene una apertura superior y una lateral a la altura de la criba para poder sacar el grano una vez concluido el

proceso de filtrado así como desmontar y retirar el falso fondo para su limpieza. También incluye una bola de limpieza CIP en la parte superior.

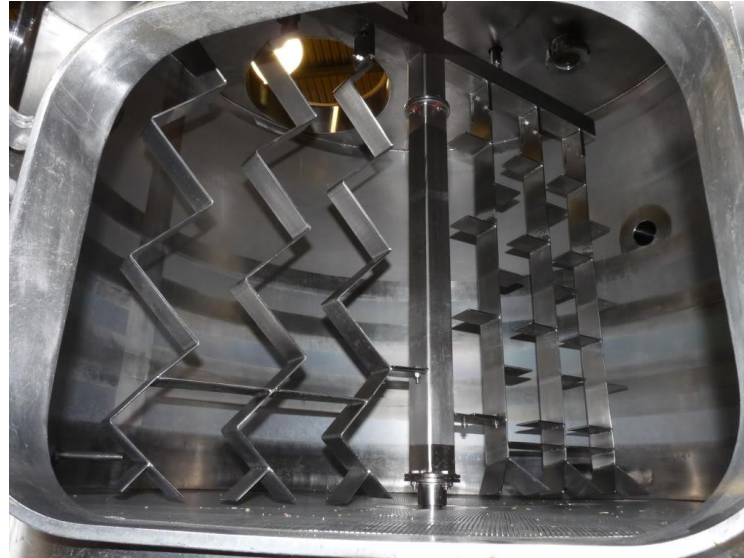


Figura 37. Vista del interior del tanque a través de la apertura lateral, se observa el falso fondo y el agitador formado por "cuchillas". Fuente: <http://pinpicsnow.com/>

4.6. Cocción

El mosto obtenido se cuece entre 60 y 90 minutos. Durante este tiempo se realizan diferentes adiciones de lúpulo. Al agregar el lúpulo mientras el mosto hierve, éste le transfiere componentes amargos y aromáticos, al isomerizarse los α -ácidos insolubles en iso- α -ácidos solubles. Al mismo tiempo van precipitándose sustancias albuminoides.

Durante la cocción del mosto ocurren los siguientes procesos de especial importancia:

- Disolución y transformación de componentes del lúpulo
- Formación y precipitación de proteínas y polifenoles
- Evaporación de agua
- Esterilización del mosto
- Destrucción de todas las enzimas
- Reducción del pH del mosto
- Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas



Figura 38. Adición de conos de lúpulo al tanque de cocción. Fuente: <http://kettlehouse.com/>

4.6.1. Los componentes del lúpulo en la cocción

Los componentes más importantes del lúpulo en la fabricación de cerveza son: las resinas o compuestos amargos, los aceites esenciales y los taninos.

Las resinas o los compuestos amargos son los componentes más importantes puesto que le otorgan a la cerveza su característico sabor amargo. Los α -ácidos son completamente insolubles en mosto frío. En el mosto en cocción ocurren cambios en la estructura de los α -ácidos denominados isomerización. Los compuestos iso que se forman son mucho más solubles que éstos compuestos originales.

Solamente un tercio del total de los α -ácidos agregados con el lúpulo durante la cocción, son isomerizados. El rendimiento de isohumulona en la cocción y consecuentemente el amargor de la cerveza dependen esencialmente de:

1. La naturaleza de la isohumulona

Los diferentes componentes de los α -ácidos son isomerizados con diferente intensidad. La cohumulona da los mejores rendimientos de isohumulona. Utilizando variedades de lúpulo con mayor proporción de cohumulona se obtiene un mayor amargor en la cerveza con una menor cantidad de lúpulo.

2. La duración de la cocción

Cuanto más dura la cocción, mayor es el rendimiento de isohumulona. La mayor parte de los α -ácidos es isomerizada al inicio de la cocción, creciendo el rendimiento cada vez más lentamente, a medida que aumenta la duración de la cocción. Después de 1h de cocción, la mayor parte de los compuestos amargos está isomerizada.

3. El valor del pH

Un valor de pH más alto da siempre como resultado una mejor isomerización, pero el amargor obtenido a un pH más bajo siempre es considerado más balanceado y más fino.

4. La precipitación de isohumulonas con el trub de cocción

Una parte considerable de la isohumulona es absorbida por el trub de cocción (sustancias precipitadas de desecho).

5. El grado de trituración del lúpulo

La trituración (lúpulo en pellets) incrementa la velocidad de extracción y con ello el rendimiento de los compuestos amargos.

Los aceites esenciales del lúpulo son muy volátiles, tanto más cuanto más tiempo hierve el mosto en su presencia. Por ello, dependiendo del perfil aromático que se quiera aportar a la cerveza, se agregará el lúpulo en un tiempo u otro. Si se desea retener estos aceites esenciales para otorgar sus aromas a la cerveza, se deberá agregar el lúpulo aromático entre los últimos 15-20 minutos antes de bombear el mosto caliente.

Los polifenoles del lúpulo son solubles en agua y entran inmediatamente en solución. A estos polifenoles de lúpulo pertenecen los antocianógenos, los taninos y las catequinas. Tienen una participación esencial en la floculación. Los polifenoles contribuyen al cuerpo y al amargor de la cerveza, aunque el amargor que proporcionan no es muy deseado. Los antocianógenos pueden poner en peligro la estabilidad de la cerveza puesto que polimerizan con elevada intensidad en el desarrollo posterior de la cerveza.

4.6.2. Polimerización de compuestos formados por polifenoles y sustancias albuminoides

Las proteínas (sustancias albuminoides) están relacionadas en la cerveza con la espuma, la formación de la turbidez y la nutrición de la levadura. Poseen una gran afinidad con los polifenoles (taninos) para formar compuestos que precipitan.

Se conoce como trub de cocción a los flóculos formados en el mosto durante la cocción. El maestro cervecero deberá intentar que precipiten la totalidad de estos compuestos. La precipitación es favorecida por:

- Una mayor duración de la cocción (90 minutos es lo adecuado)
- Un movimiento intensivo durante la cocción favorece la reacción entre las proteínas y los polifenoles.
- Un valor bajo de pH (5,2 es el valor óptimo).

Algunos compuestos de degradación de taninos y proteínas permanecen en solución durante la cocción del mosto y precipitan durante el enfriamiento del mosto como trub en frío. Estos compuestos tienen un elevado peso molecular y son formadoras potenciales de espuma. Es por ello, que es interesante no precipitar todas estas proteínas para mejorar la retención y formación de espuma, pero debe tenerse en cuenta que el riesgo de turbidez es más elevado.

4.6.3. Evaporación del agua

La cuota de evaporación de agua se sitúa entre el 5-10% durante el proceso de cocción. Cuanto más se evapora, mayor se ha podido regar en la etapa de filtración aumentando el rendimiento. Pero no vale la pena cocer durante más tiempo por un aumento del rendimiento puesto que costos de energía son mayores que la ganancia en extracto.

Dado que solamente se evapora agua debe crecer el contenido de extracto en el mosto. La concentración de mosto al inicio de la fermentación se conoce como concentración de mosto original.

4.6.4. Esterilización del mosto

Junto con el polvo de la malta entran muchas bacterias y mohos durante la maceración y en el caso de no ser destruidos, ponen agria a la cerveza o pueden modificar su sabor. Durante la cocción del mosto son destruidos todos los microorganismos contenidos en el mismo y es esterilizado. Es el último momento que se trabaja con el producto esterilizado. A partir de aquí en adelante deben tomarse las mayores precauciones biológicas.

4.6.5. Destrucción de las enzimas

Debido a la cocción del mosto se destruyen totalmente las pocas enzimas todavía presentes. De esta forma, no es posible una modificación posterior descontrolada de la composición del mosto. En el caso de que se debiera realizar alguna modificación del mosto, se debe agregar más tarde la infusión de malta para degradar totalmente el almidón hasta el estado de reacción normal al yodo o hasta azúcares fermentables.

4.6.6. Descenso del pH

El mosto se acidifica levemente, por ser ácidas las melanoidinas formadas durante la cocción y porque el lúpulo también contribuye con algo de ácido. El valor óptimo del pH durante la cocción del mosto está entre 5,0-5,2.

Muchos procesos importantes se desarrollan mejor o más rápidamente con un valor de pH más reducido, tales como:

- Precipitación de los compuestos formados por proteínas y polifenoles
- Se minimiza el aumento de coloración del mosto
- Amargor de lúpulo más fino y más noble
- Mayor dificultad para que se desarrollen microorganismos no deseados

4.6.7. Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas

En el mosto están contenidas una serie de sustancias aromáticas más o menos volátiles, que en parte no ejercen una buena influencia sobre el aroma de la cerveza. A los efectos de lograr establecer un perfil aromático óptimo, es necesario quitar del mosto estas sustancias aromáticas indeseadas. Estas sustancias aromáticas indeseadas incluyen, a parte del sulfuro de dimetilo (DMS), también productos de degradación de grasas, como el hexanal, algunos aldehídos de Strecker, como el 2-metilbutanal, el cual es un indicador de una pobre estabilidad de sabor, y productos de Maillard, como el furfural.

El control principal se dirige hacia la disociación térmica del precursor del DMS y a la purga del DMS libre, el cual, en caso contrario, puede dejar en la cerveza aromas de sabor a verduras. Durante el malteado se debe conseguir una disociación exhaustiva del precursor y una purga del DMS libre, dado que no es posible reparar durante la cocción una purga insuficiente de DMS causada durante la fabricación de la malta. Es importante por ello, que el contenido de precursor de DMS en la malta no sea mayor que 5mg/kg de malta.

Con el aumento de la duración de la cocción se impulsa la disociación térmica del precursor de DMS, la S-metilmetionina y se purga el DMS libre. En el caso de un acortamiento de la duración de cocción, aparece una posformación de DMS libre después de la finalización de la cocción.

Se debe prestar especial atención a la purga del DMS libre formado posteriormente. Esto es necesario para obtener una buena espuma en la cerveza y una buena estabilidad del sabor. Para ello, la eficiencia de evaporación debe de ser buena para evitar sabores atípicos tanto en la cerveza fresca como en la cerveza madura.

Otra buena medida a adoptar consiste en refrigerar el mosto antes del Whirlpool, a una temperatura aproximada de 85°C, para evitar la formación de DMS libre por disociación térmica. Esto se consigue instalando un intercambiador de calor de placas entre la salida del depósito de cocción y la entrada al Whirlpool.

También durante la fermentación se separa todavía DMS libre con los gases de fermentación. Aunque en lo esencial, el contenido de DMS del mosto al inicio de la fermentación se encuentra nuevamente en la cerveza terminada.

A continuación se muestra un gráfico en el que se observa el lavado o depuración de S-metilmetionina y DMS en los procesos de cocción y fermentación en minutos (cocción) y en horas (fermentación).

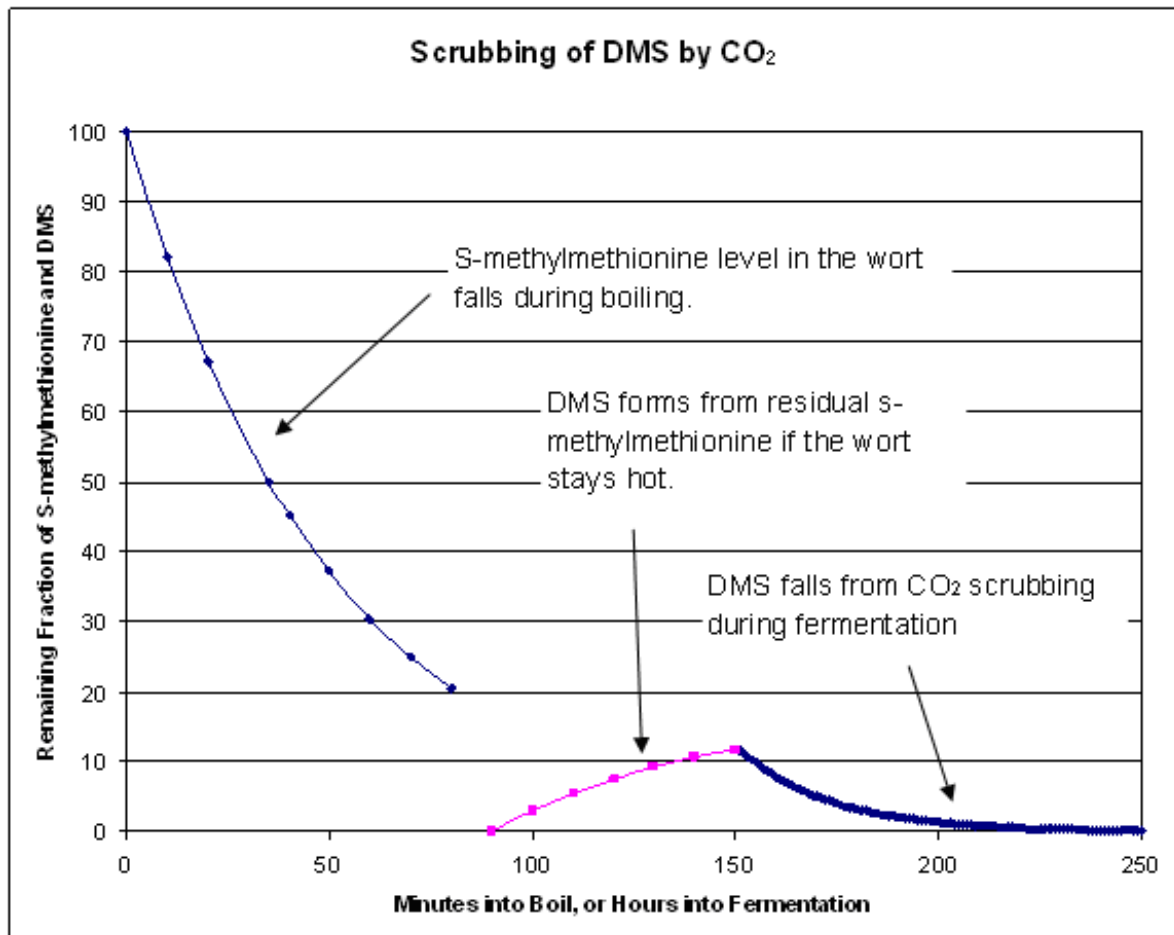


Figura 39. Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas en la cocción y la fermentación. Fuente: <http://www.picobrewery.com/>

4.6.8. Adición de lúpulo

Durante la cocción del mosto se agrega el lúpulo y se deja hervir con el mosto, produciéndose la isomerización de los α -ácidos, otorgando amargor a la cerveza. Dependiendo de la cantidad de lúpulo, de la densidad del mosto y del tiempo que éste hierva se obtendrá un amargor mayor o menor o incluso se logrará retener algunos de sus aromas volátiles.

El amargor se expresa en las unidades de amargor IBU (International Bitterness Unit), en las que 1 IBU equivale a 1 mg de α -ácidos por litro de cerveza. Cada estilo de cerveza tiene un rango de valores de IBU determinados. A continuación se muestran valores típicos de unidades de amargor en diferentes estilos de cerveza:

- 10 - 20 IBU cervezas de Trigo
- 20 - 25 IBU cervezas tipo Bock
- 20 - 25 IBU cervezas caramelizadas, märzenbier...
- 23 - 30 IBU cervezas tipo Lager no industriales
- 30 - 40 IBU cervezas tipo Pilsen
- 35 - 60 IBU cervezas tipo Stout

Se puede estimar de forma aproximada el valor del amargor, utilizando la siguiente fórmula empírica:

$$\text{IBU's} = (\text{Wh} \cdot \text{AA}\% \cdot \text{Uaa}) / (\text{Vw} \cdot 1,34) \quad (2)$$

Dónde:

W_h : Peso del lúpulo en gramos

AA%: Porcentaje de α -ácidos/100

U_{aa} : Fracción de α -ácidos que se isomerizan en iso- α -ácidos (depende del tiempo de cocción, de la densidad del mosto, así como intensidad del hervor etc.)

V_w : Volumen después del hervor en litros

El valor de 1,34 es un parámetro que corresponde al factor de utilización

Seguidamente, se muestra en un gráfico como afecta el tiempo de hervido del mosto al adicionar el lúpulo:

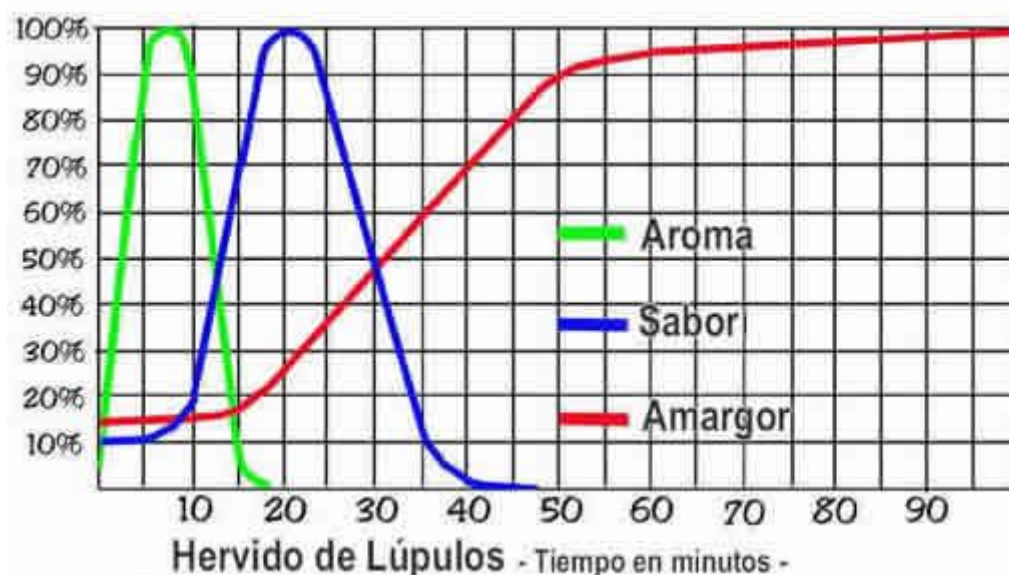


Figura 40. Características que aporta el lúpulo al mosto en función del tiempo de hervido. Fuente: <http://www.revistamash.com.ar/>

Se observa que a medida que el lúpulo hierve por más tiempo en el mosto, se pronuncia el amargor; mientras que, cuanto menos tiempo está hirviendo mayor es el sabor y el aroma que permanece en el mosto.

A continuación se muestra en otro gráfico como se percibe el amargor en IBU's en la cerveza terminada, dependiendo de la densidad del mosto después del hervor:

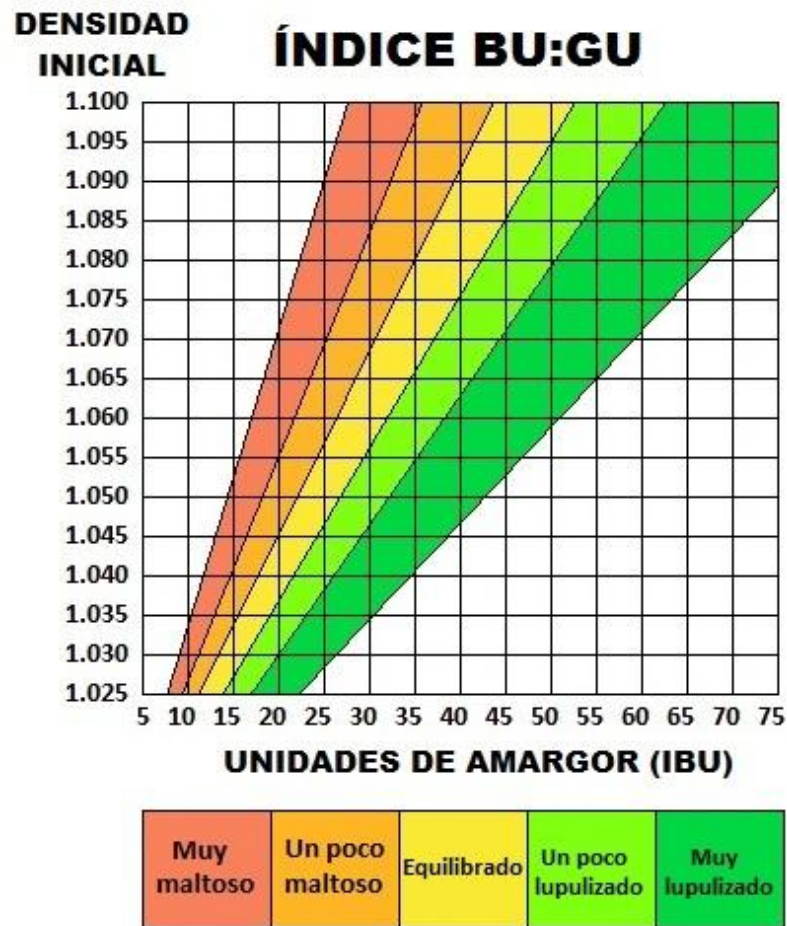


Figura 41. Perfil de la cerveza según la densidad del mosto al final de la cocción dependiendo de las unidades de amargor (IBU). Fuente: <https://cervezomicon.wordpress.com>

Se observa que es fundamental tener en cuenta la densidad del mosto al finalizar el hervor para poder estimar de forma más precisa cual será el perfil final otorgado por el lúpulo a la cerveza.

4.6.9. Proceso de cocción del mosto

A medida que el mosto va entrando en el hervidor se comienza a calentar para que empiece justo a hervir en el momento que acabe la filtración. En el momento que el mosto alcance una temperatura por encima de 85°C se puede hacer la primera adición de lúpulo. Puede añadirse algún lúpulo aromático en este momento, esta técnica se conoce como *First Wort Hopping* (primera lupulización), puesto que al no hervir el mosto aún, algunos de los componentes aromáticos del mosto se enlazarán con otras moléculas y no se volatilizarán cuando comience la cocción.

La ebullición durará 90 minutos y debe ser vigorosa. De esta forma se consigue eliminar gran parte del turbio causado por las proteínas y los polifenoles. Para dar amargor, generalmente se emplearán lúpulos con elevados niveles de α -ácidos y hervirán como mínimo 60 minutos. Para aportar sabor a lúpulo, éste se debe agregar entre 20 y 5 minutos antes del final del hervor. Si se quiere potenciar el aroma, se tiene que agregar lúpulo con alto contenido en aceites esenciales entre 5 y 0 minutos antes del final del hervor.

4.6.10. Equipo de cocción del mosto

El tanque o depósito de cocción es el mismo que el utilizado para la maceración (Ver apartado 4.4.7). En el caso de que se quieran hacer dos cocciones al día, bastaría con añadir otro depósito macerador – hervidor para poder comenzar la segunda elaboración en tan sólo 2 horas de diferencia con la primera.

4.6.11. Consumo de energía durante la cocción del mosto

La cocción del mosto es el proceso en el que se consume la mayor cantidad de energía en toda la fabricación del mosto. Por ello es importante diseñar un sistema que sea lo más eficiente posible reduciendo al máximo las pérdidas de calor al ambiente.

Los combustibles comerciales poseen los siguientes valores caloríficos aproximados:

Gas natural: 9,02 kWh/m³

Gasóleo: 10,18 kW/l

Propano: 14,08 kW/kg

Pellets: 5,81 kW/kg

Se estima un rendimiento de la energía del 80% en la sala de cocción.

Cuando se ingresa el mosto en el tanque de cocción la temperatura de éste es de 78°C aproximadamente. Para calentarlo hasta 100°C se requieren aproximadamente 3 kWh/hl = 10,5 MJ

Si se hierve el mosto durante 90 minutos a 100°C, alcanzando con ello una evaporación total de 12%, se requiere aproximadamente 14 kWh (12000 kcal) por cada 1hl de mosto caliente.

4.7. Filtrado del trub caliente

El mosto caliente es bombeado hasta el Whirlpool o centrifugadora. Debe evitarse a toda costa que se introduzca oxígeno durante el bombeo. Para ello se realizará una purga con agua en todas las mangueras y componentes que se encuentren en el camino del mosto. Como se ha visto anteriormente, se coloca un enfriador de placas para descender la temperatura del mosto hasta 85°C durante el camino hasta el whirlpool.

En este momento deben eliminarse los sólidos presentes junto al mosto (restos de lúpulo y polímeros de proteínas y polifenoles). El whirlpool es un recipiente cilíndrico sin piezas interiores, en el cual el mosto es introducido tangencialmente por bombeo. De este modo, se produce un flujo rotatorio en el recipiente que causa que el trub caliente sedimente formando un cono en el centro del recipiente. Finalmente el mosto es extraído lateralmente, dejando el cono de trub en el centro del recipiente. Este proceso conocido como centrifugación, tardará 45 minutos aproximadamente. El trasiego durará 30 minutos pero en ese momento deben esperarse otros 15 minutos para que las partículas que sigan en suspensión decanten poco a poco. Si estos sólidos fueran trasegados junto al mosto a los tanques de fermentación, la calidad de la cerveza se vería afectada gravemente de forma negativa.

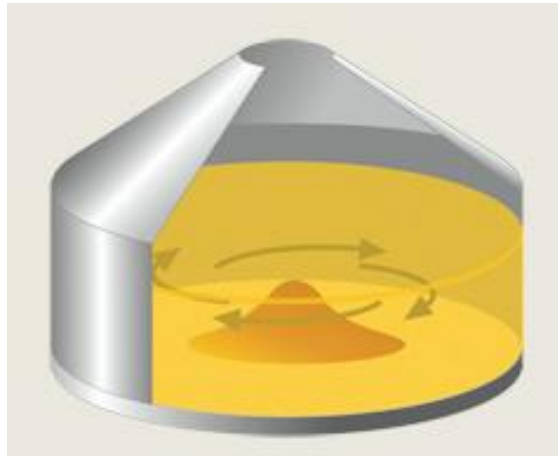


Figura 42. Principio de funcionamiento de un whirlpool. Fuente: <http://www.hofbraupcb.com/>

Una vez transcurrido el tiempo de decantación se comenzará a drenar el mosto del tanque con la bomba hacia el intercambiador de calor. Es importante no arrastrar sólidos junto al mosto. Los primeros dos litros que salen del whirlpool deben ser desechados ya que probablemente estén turbios. A medida que avanza el trasiego se debe disminuir la velocidad de bombeo para evitar que parte de los sólidos acumulados en el cono central se mezclen con el mosto saliente.

4.7.1. Equipo de centrifugación

El whirlpool o centrifugadora es un depósito de acero inoxidable, preferiblemente aislado, con el fondo plano. Su diámetro es como mínimo el doble de su altura. Tiene una válvula entrada tangencial situada a una altura de 1/3 de la altura total del depósito. La válvula de salida está situada en un lateral del fondo del tanque. Está provisto de una esfera de limpieza CIP en la parte superior.



Figura 43. Depósito de centrifugación o whirlpool. Fuente: <http://www.kinnek.com/>

4.8. Enfriado del mosto

Dado que la levadura sólo puede fermentar a bajas temperaturas, se debe enfriar el mosto caliente lo más rápidamente posible. Durante este proceso el mosto primeramente brillante se enturbia, debido a la formación del trub en frío que debe ser separado. Para una rápida realización de la fermentación se le debe suministrar de forma óptima aire a la levadura, sólo cuando este se encuentre a baja temperatura, de lo contrario se oxidaría el mosto, significando una importante pérdida de calidad de la cerveza final.

4.8.1. Proceso de enfriado y aireación del mosto

El mosto que sale por el lateral del whirlpool ya limpio, debe ser enfriado de los 85°C a los que se encuentra hasta la temperatura de fermentación (20°C para ales y 12°C para lagers) en menos de 45 minutos. Para ello, se hará circular a través de un intercambiador de placas de dos fases. Se utilizará agua de red (temperatura entre 8 y 20°C) a través de la primera fase, que permitirá enfriar el mosto hasta 25-35°C aproximadamente y se utilizará agua procedente de un enfriador de agua glicolada (temperatura de 0°C) para alcanzar la temperatura óptima de fermentación. El circuito entre el mosto y el agua refrigerante funcionará a contracorriente para obtener un rendimiento mucho mayor.

El agua procedente de red saldrá por el otro extremo del intercambiador a una temperatura aproximada de 60°C, una vez hecho el intercambio calorífico. Se almacenará en algún depósito para su uso posterior en la limpieza y desinfección de equipos.

En este momento, con el mosto ya enfriado a la temperatura de fermentación, es muy importante airearlo. Esto se consigue a través de un difusor de acero inoxidable instalado en la salida del intercambiador de placas, mediante un compresor de aire y un filtro para el aire de 0,2 micrones. Es importante que el aire entre en contacto con el mosto en forma de pequeñas burbujas, de ahí el hecho que se necesite un difusor.

4.8.2. Equipo para el enfriado y la aireación del mosto

Se instalará un intercambiador de placas desmontables de acero inoxidable para el enfriado del mosto. Constará de dos fases, para proporcionar un enfriado más eficiente.



Figura 44. Intercambiador de placas de dos fases. Fuente: <http://www.inoxpa.es/>

Para airear el mosto, se instalará una piedra difusora como está a la salida del intercambiador y se conectará a un compresor de aire. El aire será previamente filtrado antes de ser añadido al mosto. Generalmente, se colocará una mirilla justo después del difusor para poder observar la formación de micro burbujas cuando se oxigene el mosto.



Figura 45. Difusor de acero inoxidable para la aireación del mosto. Fuente: <http://www.brewandgrow.com/>

CAPÍTULO 5: FABRICACIÓN DE LA CERVEZA



8- FERMENTACION Y MADURACION

Figura 46. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la cerveza.

Fuente: <http://beertec.galeon.com/>

Para la transformación del mosto en cerveza, los azúcares contenidos en el mosto deben ser fermentados, por las enzimas de la levadura, a etanol y dióxido de carbono.

Se forman en este proceso subproductos de fermentación, que influyen de forma substancial sobre el sabor, el olor y otras propiedades de valoración de la cerveza. La formación y la degradación parcial de estos productos

secundarios están íntimamente ligadas con el metabolismo de la levadura y sólo pueden ser consideradas en conexión con este último. La fermentación y maduración de la cerveza ocurren en muchas fábricas de cerveza, de acuerdo con los procesos denominados clásicos, en la cava de fermentación y en la bodega de maduración. La fermentación y la maduración son llevadas a cabo en tanques cilindrocónicos.

5.1. Transformaciones durante la fermentación y la maduración

El proceso más importante es la fermentación de los azúcares contenidos en el mosto a etanol y dióxido de carbono por parte de la levadura. Las reacciones en la fermentación se pueden dividir en reacciones de fermentación principal y reacciones de maduración, pero las reacciones se solapan entre sí. Es por ello necesario considerar las reacciones de fermentación y de maduración como un proceso continuo.

Juega en esto un papel especial el hecho de que, debido al metabolismo de la levadura, se formen durante la fermentación productos secundarios y que algunos de ellos sean degradados nuevamente de forma parcial. Estos productos secundarios de fermentación determinan de forma decisiva, junto con los componentes del lúpulo, el sabor y el aroma de la cerveza. Por ello, es particularmente importante saber cómo se forman y como se degradan.

5.1.1. La levadura

La masa de levadura de color marrón claro está compuesta por muchos millones de células individuales de levadura, las cuales llevan una vida propia de forma totalmente independiente entre sí. Adquirieron esta vida propia a través de un desarrollo, que duró miles de millones de generaciones y que se encuentra almacenado en sus genes.

Lo que debe hacer la levadura no es determinado por el maestro cervecero, sino que debe manejar los factores que regulan el trabajo de la levadura. No debe olvidarse que los intereses de la célula de levadura son de un tipo totalmente diferente de los del cervecero: mientras el cervecero está particularmente interesado en los productos finales alcohol y CO₂, justamente estos últimos son venenos celulares, de los cuales debe deshacerse nuevamente la célula de levadura, excretándolos. Para la célula de levadura sólo es importante la ganancia de energía, para poder vivir y formar nueva sustancia celular, bajo la recepción de nutrientes.

De esta forma, solamente pueden lograrse valores óptimos para la fabricación de cerveza si también se crean condiciones óptimas para la célula de levadura. A esto se agrega que la calidad de la cerveza es influenciada de forma decisiva por la levadura y sus productos metabólicos.

A continuación, se describen en un breve resumen los procesos en la levadura durante la fermentación y la maduración.

Luego del inicio de la fermentación, la célula de levadura debe acostumbrarse primeramente a su nuevo ambiente, el cual en primera instancia tiene un efecto

chocante sobre ella: otra temperatura, otro valor pH, elevada concentración de azúcares, etc. Por algunas horas excreta aminoácidos y nucleótidos, pero reabsorbe pronto una parte. Cuanto mayor es la temperatura, tanto más se excreta. Pero el proceso de acostumbramiento dura en total sólo un tiempo breve. Pero antes de que entre en contacto más íntimo con el nuevo medio ambiente, la célula de levadura toma primeramente sustancias de reserva almacenadas, las cuales le suministran la primera energía.

Pero, debido a la oferta sobre enriquecida de azúcares fermentables en el mosto, la célula de levadura comienza luego rápidamente con la degradación del azúcar. Dado que además también se absorbe oxígeno del aire disuelto, se inicia simultáneamente la respiración, la cual conduce a una gran ganancia de energía en las mitocondrias, que son las centrales de energía de la célula.

Debido a este empuje de energía, le es posible a la levadura no sólo comenzar con la fermentación, sino simultáneamente formar nueva sustancia celular y propagarse por gemación. Del mosto toma la materia necesaria para la formación de nuevas sustancias celulares. El cervecero se debe encargar únicamente de que estén presentes en el mosto los elementos constituyentes necesarios, por ejemplo:

- **Aminoácidos** para la formación de nuevas sustancias celulares (aunque, la levadura puede sintetizar sus propios aminoácidos sin problemas también a partir de otras fuentes de nitrógeno).
- **Fosfatos** para el enlace en el ATP (adenosin trifosfato) y en la doble capa de fosfolípidos de la membrana celular (plasmalerna) y membranas en el interior de la célula.
- **Ácidos grasos** para la formación de membranas celulares.
- **Azúcar** para la constitución de hidratos de carbono de reserva.
- **Sales y oligoelementos** (por ejemplo cinc).
- **Oxígeno suficiente** para la respiración y una serie de transformaciones.

La mayoría de estas sustancias está presente casi siempre en cantidad suficiente o pueden ser sintetizadas por la levadura misma. Pero en el caso de deficiencia de algunas de las sustancias pueden ocurrir perturbaciones en la fermentación. El cervecero debe considerar esto cuando modifica sus materias primas o cuando sustituye una parte de su carga por adjuntos (sin maltear) o por azúcar, el cual por ejemplo no aporta aminoácidos o sales.

En esta fase extremadamente activa para la célula de levadura, en la que aún hay presentes en el mosto muchos nutrientes en forma de azúcares fermentables, la levadura forma un depósito de hidratos de carbono de reserva (glicógeno y trehalosa), a los efectos de tener una reserva para la ganancia de energía, en el caso de deficiencia de nutrientes.

Esta fase logarítmica es en la fermentación la sección más importante, en la cual desaparece el sabor a mosto y son establecidos los parámetros cualitativos esenciales de la futura cerveza a través de un metabolismo muy diferenciado de la levadura.

Tan pronto como ha sido consumido por respiración el oxígeno suministrado, la levadura debe restringir nuevamente su administración energética de forma total

a la glicólisis anaerobia y debe vivir con una ganancia mínima de energía, debida a la fermentación de azúcar a alcohol y CO₂.

La fase logarítmica llega lentamente a su fin, dado que la oferta de azúcares fermentables ha disminuido fuertemente, no quedando finalmente casi nada más para fermentar. La fermentación ha finalizado. La levadura comienza a flocular, la propagación se ha detenido y el alcohol y el CO₂ estorban progresivamente, como venenos celulares, a la célula de levadura. Dado que las turbulencias en el tanque durante la intensiva fermentación principal han disminuido o finalizado totalmente, las células de levadura descienden lentamente hacia el fondo, donde se las puede cosechar. Viene ahora un periodo malo para la levadura, porque comienza a haber una deficiencia en el suministro de energía, debiendo ella hacer uso de sus propias reservas.

Aún con la baja temperatura de almacenamiento en frío, la levadura necesita, de forma muy reducida, energía para mantener sus procesos vitales. Ella comienza con la degradación de hidratos de carbono de reserva y otras sustancias y excreta cada vez más productos metabólicos. Finalmente, la célula de levadura puede morir. Las enzimas de digestión liberadas comienzan entonces a disolver el interior de la célula, la pared celular es dañada y el contenido celular de la célula en disolución (en autólisis) pasa a la cerveza. De esta manera, son afectados de forma sustancial la espuma y el sabor, se incrementa el valor pH en la cerveza, y las sustancias que entran en solución son medios nutritivos bienvenidos para los contaminantes. Por ello, el maestro cervecero debe encargarse a tiempo y repetidamente de la cosecha de levadura.

Pero también con una cosecha de levadura a tiempo, el cervecero debe continuar ocupándose de la levadura. Ésta debe ser almacenada en frío y de tal manera que pueda desarrollar sus actividades en una nueva fermentación lo antes posible.

Es muy importante crear las condiciones óptimas a la levadura para que pueda realizar la fermentación de forma correcta y poder alcanzar resultados también óptimos en la calidad de la cerveza.

5.1.2. Metabolismo de la levadura

El conocimiento del metabolismo de la levadura es de importancia fundamental para el maestro cervecero, dado que es un factor que influencia decisivamente en la calidad de la cerveza. Los puntos más importantes son:

- La fermentación de los azúcares y el metabolismo de los hidratos de carbono.
- El metabolismo proteico.

Fermentación del azúcar

La levadura es el único ser vivo, que es capaz de sustituir la respiración intensiva en energía por la fermentación. Debe aclararse ahora en qué consiste la particularidad de la fermentación alcohólica y cómo son las relaciones energéticas.

Fermentación alcohólica como glicólisis anaerobia

Como todos los otros seres vivos, la célula de levadura requiere de energía para todos los procesos dependientes de ésta, por ejemplo:

- La formación de nuevas sustancias celulares.
- La absorción y asimilación de sustancias del medio ambiente.
- La degradación y excreción de compuestos innecesarios o dañinos.
- El transporte de sustancias dentro de la célula.

La mayoría de los seres vivos obtiene la energía necesaria por respiración. El proceso comienza con la degradación de glucosa en el citoplasma (citosol) (Figura 47. Esquema de la fermentación alcohólica, según Embden-Meyerhof-Parnas. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.. Se forma en esto, luego de una serie de etapas intermedias complicadas, piruvato (ácido pirúvico), el cual es finalmente transformado en etanol (alcohol) y CO₂.

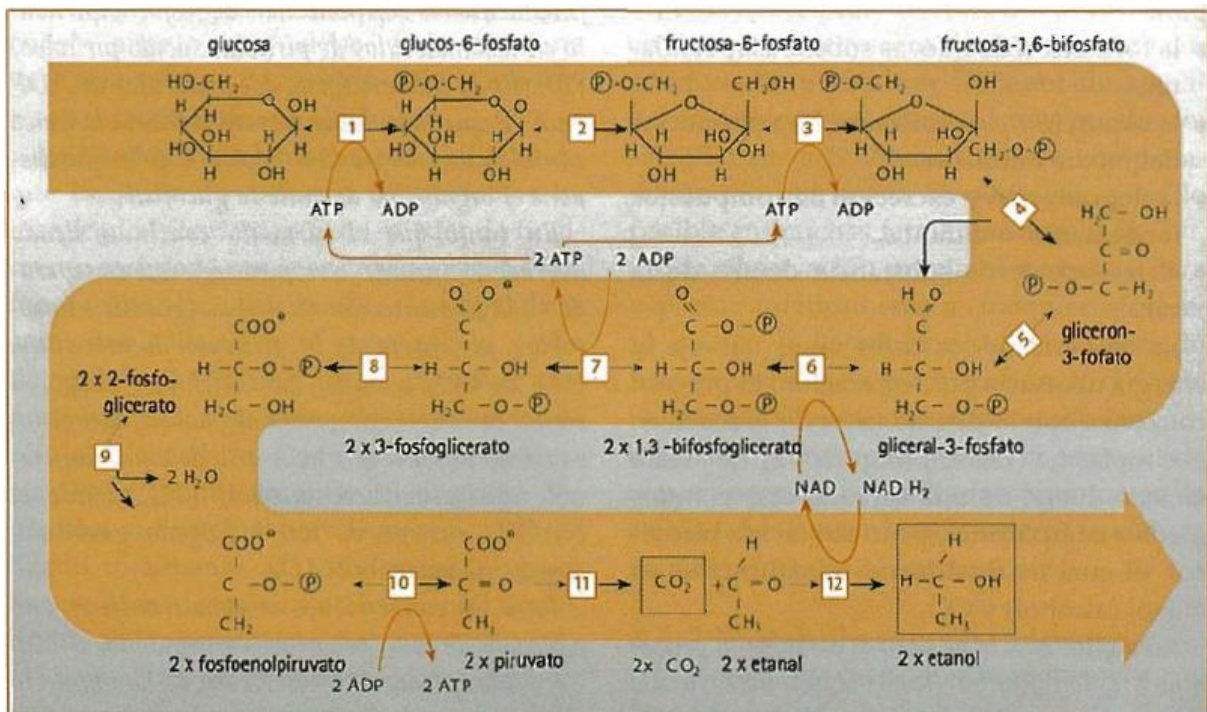


Figura 47. Esquema de la fermentación alcohólica, según Embden-Meyerhof-Parnas. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.

En la glicólisis, la glucosa es combinada primeramente con fósforo (fosforilada). Esto sucede por recepción de un átomo de fósforo de ATP (adenosin trifosfato) y la transformación de este último en ADP (adenosin difosfato) (1). Se forma glucosa-6-fosfato, que a continuación es transformada en fructosa-6-fosfato (2), con ayuda de la isomerasa de glucosa-fosfato. A continuación ocurre una nueva fosforilación por pasaje de otro átomo P de ATP por parte de la 6-fosfofructoquinasa. Se forma fructosa-1,6-bisfosfato (3).

A continuación ocurre una disociación en dos triosa-fosfatos isómeros por la fructosa-bisfosfatoaldolasa (4). El glicerol- y glicerol-3-fosfato (5) formado es reducido ahora por la deshidrogenasa de glicerol-3-fosfato a 2 moléculas de 1,3-

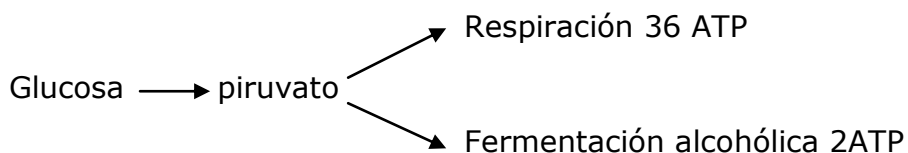
bifosfoglicerato (6) y al mismo tiempo es ligado un ion hidrógeno por NAD. Luego ocurre una doble desfosforilación, por la fosfogliceratoquinasa, a dos moléculas de fosfoglicerato (7). En esto, el fósforo es ligado nuevamente dos veces por conversión de ADP en ATP (en 1 y en 3) y se lo suministra con ello nuevamente al ciclo.

A través de la fosfoglicerato-mutasa (8), el 3- fosfoglicerato es convertido en 2- fosfoglicerato y transferido por la fosfopiruvato-hidratasa (9) a fosfoenolpiruvato. La piruvatoquinasa convierte finalmente las dos moléculas de fosfoenolpiruvato en dos moléculas de piruvato (ácido pirúvico) (10). En la conversión de dos moléculas de ADP en ATP, que tiene lugar en esto, se libera la única cantidad de energía ($2 \times 30,5$ kJ), de la que dispone el organismo durante la glicólisis.

En tanto que el piruvato continúa siendo degradado durante la respiración, éste es separado en la fermentación alcohólica (glicólisis anaerobia), por parte de la piruvato decarboxilasa (11), en CO_2 y etanal (acetaldehído). Luego, el etanal es convertido por la alcoholdehidrogenasa (bajo la presencia necesaria de cinc) en etanol (alcohol etílico) (12), donde el NADH_2 entrega su ion hidrógeno guardado, siendo nuevamente NAD.

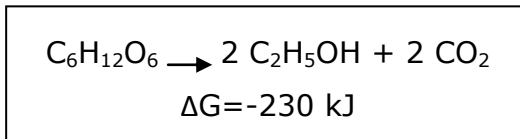
Para las conversiones se debe transferir una molécula de hidrógeno (ver conversiones 6+12). Para tales procesos de reducción, se ha impuesto en la naturaleza la transferencia a través del compuesto nicotinamida adenina dinucleótido (NAD), el cual impide la liberación de gas hidrógeno peligroso. Las curvas con las denominaciones $\text{NAD} \rightarrow \text{NADH}_2$ aluden a esto. Si se observa de cerca el rendimiento ATP/ADP, la conversión ATP/ADP de las etapas de reacción 1 + 3 y de la etapa 7 es reconvertida nuevamente. De esta manera se forma un ciclo ininterrumpido. La ganancia de energía en sí tiene lugar en la etapa 10 con una doble desfosforilación y una doble conversión de $\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}$.

La conversión de la glucosa en 2 piruvatos, a través de 10 etapas intermedias, se denomina glicólisis. Tiene lugar en todas las células de plantas, animales y seres humanos. Posteriormente, se conduce aquí el piruvato a las mitocondrias y se lo degrada (se consume por respiración) completamente, a través del ciclo de ácido cítrico y la cadena de respiración, en muchas etapas intermedias a CO_2 y H_2O , con una enorme ganancia de energía (36 ATP/mol). La levadura es el único ser vivo que, bajo determinadas circunstancias, como la ausencia de aire, puede conmutar a fermentación alcohólica, partir del piruvato:



En ausencia de oxígeno, la levadura es capaz de fermentar el piruvato. Sin embargo, en presencia de oxígeno, la fermentación es fuertemente restringida o impedida completamente (efecto Pasteur). Si, por otro lado, hay azúcar presente en concentraciones mayores que 0,1 g/l, el complejo de enzimas de respiración es inhibido en sí mismo y al mismo tiempo ocurre fermentación parcial (efecto Crabtree).

Resumiendo, la fermentación alcohólica se expresa, según la fórmula de Gay-Lussac:



Si se calculan cuantitativamente los productos formados según su masa atómica, resultan las siguientes relaciones:

De 1 mol de glucosa = 180g se forman durante la fermentación alcohólica 92 g de alcohol y 88 g de CO₂. Es decir, que el azúcar es separado en partes casi iguales en masa de alcohol y CO₂. En esto, la porción volumétrica del dióxido de carbono es incomparablemente más grande que la del alcohol, dado que los gases tienen una densidad substancialmente menor.

Ganancia de energía durante la fermentación

El ATP que se encuentra en todos los seres vivos, está compuesto por la base purina (aquí adenina), un residuo de azúcar con cinco átomos de carbono (aquí ribosa) y tres residuos de fosfatos.

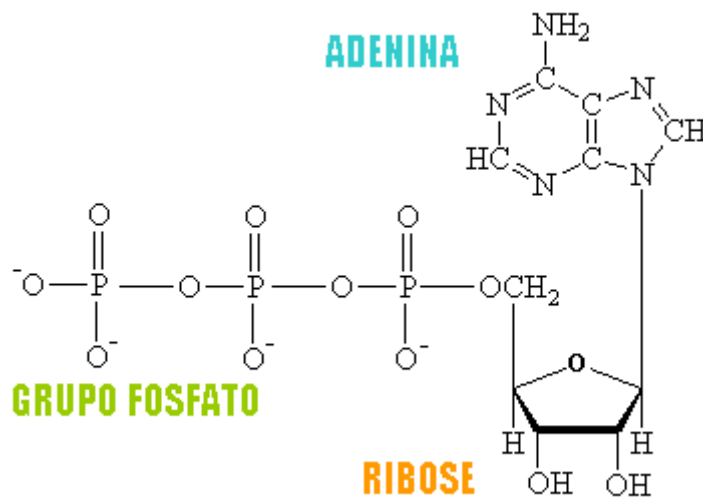
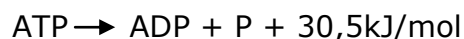


Figura 48. Estructura química de una molécula de ATP. Fuente: <http://www.lookfordiagnosis.com/>

El enlace entre los átomos de fósforo extremo y medio es particularmente rico en energía. Si este enlace es roto, se forman adenosin difosfato (ADP) y fosfato, pero también 30,5 kJ por mol de ATP:



Quedando a disposición del organismo, como energía.

Al revés, se requiere naturalmente la misma cantidad de energía para convertir nuevamente ADP en ATP. Con esto, el ATP pasa a ser una especie de "unidad monetaria de energía", la cual saben usar todas las células animales y vegetales. El ATP pasa a ser el proveedor directo de energía para la gran cantidad de procesos dependientes de la energía. El proceso debe tener lugar permanentemente. No es posible el almacenamiento de grandes "bombas de

energía". Si se detiene el suministro de glucosa u otras sustancias que pueden ser metabolizadas, ya no se puede ganar más energía, y finalmente la célula muere.

En todos los seres vivos de mayor desarrollo, el piruvato (ácido pirúvico) formado en el citoplasma es transportado luego a las "centrales de energía" de la célula, las mitocondrias, siendo allí, en contacto con oxígeno, degradado completamente a CO₂ y agua y consumido por respiración. La ganancia de energía producida en esto es 38 ATP/mol de glucosa, considerablemente mayor que en la glicólisis. Por ello, en el caso de suministro de oxígeno, la levadura pasa inmediatamente a la respiración, que es energéticamente más rica y la cual le es posibilitada por sus mitocondrias.

5.1.3. *Metabolismo proteico*

La célula de levadura está compuesta en un 35 a 60% (de la materia seca) por proteínas. Para la formación de nuevas sustancias celulares, requiere por ello de muchas fuentes de nitrógeno, las cuales están presentes en el mosto en forma de aminoácidos.

Estos aminoácidos son absorbidos por la levadura en una determinada secuencia, la cual sin embargo no puede ser influenciada por el cervecero. Son absorbidos únicamente los aminoácidos de bajo peso molecular, de hasta cuatro átomos de carbono. Para la levadura es importante aquí el grupo libre de NH₂, el grupo amino, el cual ella extrae y utiliza para la formación de proteínas propias de la célula (FAN). Se forma en esto, a partir del aminoácido, por desaminación (extracción y transposición del grupo amino), descarboxilación (extracción de CO₂) y reducción (extracción de oxígeno) un alcohol superior, el cual es nuevamente excretado (mecanismo Ehrlich) como producto secundario de fermentación. A continuación se muestra la representación de esta transformación, siendo la R (radical) una cadena de longitud variable (CH₂)_n+H.

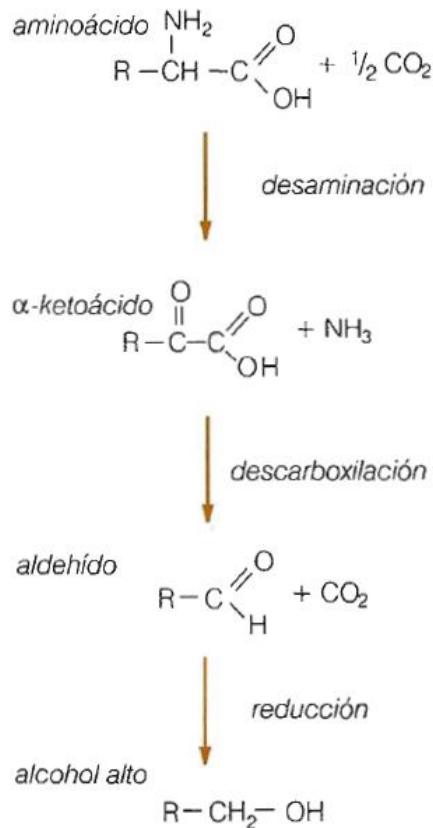


Figura 49. Formación de un alcohol superior debido a la formación de proteínas propias por la levadura. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.

Una medida para un buen abastecimiento con aminoácidos es un contenido de 200 a 230 mg/l de α -aminonitrógeno libre (FAN). Este valor se alcanza siempre en mostos de maltas bien modificadas. Los mostos que son producto de la co-utilización de adjuntos o azúcar requieren ser controlados al respecto (es recomendable un mayor reposo proteico durante la maceración). La absorción de aminoácidos del mosto ocurre a través de las proteínas de poros de la pared celular. Primeramente son acumulados y enriquecidos en un pool externo. Posteriormente, los aminoácidos son conducidos, según requerimiento, a un pool interno, que tiene un tamaño constante. Aquí ocurre luego la conversión (la transaminación) y la incorporación de las proteínas propias de la célula.

5.1.4. Metabolismo de hidratos de carbono

La levadura absorbe los monosacáridos (glucosa y fructosa) y los disacáridos (maltosa y sacarosa) contenidos en el mosto, así como el trisacárido maltotriosa y los fermenta en ese orden. Se puede contar con que se fermenta aproximadamente el 98% de los azúcares y se consume por respiración sólo el 2%.

El glicógeno (hidrato de carbono de reserva) presente en la célula de levadura es utilizado antes del inicio de la fermentación por la célula de levadura, como fuente primaria de energía. Es por ello que el contenido de glicógeno disminuye considerablemente en las primeras diez a doce horas para aumentar luego nuevamente. Con el curso de la fermentación, el contenido puede aumentar hasta aproximadamente 30% de la materia seca de levadura. Durante el

almacenamiento de la levadura, el contenido de glicógeno disminuye considerablemente, y tanto más cuanto más caliente y prolongadamente se almacena la levadura. En el caso de un almacenamiento frío de la levadura, el contenido de glicógeno se mantiene ampliamente. Esto es de gran importancia para el mantenimiento de la actividad fermentativa.

Los hidratos de carbono de reserva, en especial el glicógeno, tienen una gran importancia para la levadura. La célula de levadura puede metabolizar estas sustancias de reserva, tan pronto como haya finalizado el suministro externo de nutrientes. De esta manera, ella es capaz de cubrir su requerimiento de energía y de mantener las funciones metabólicas elementales. Esto corresponde en especial a la situación al final de la fase de almacenamiento en frío en el tanque y el almacenamiento de la levadura hasta el próximo inicio de fermentación.

5.1.5. *Productos secundarios de fermentación*

Durante la fermentación, una serie de productos de metabolismo son pasados por la levadura, a la cerveza. Algunos de estos productos reaccionan entre sí o se modifican en cantidad y composición. Estos productos secundarios de fermentación tienen una influencia decisiva sobre la calidad de la cerveza en desarrollo. Por esto, el metabolismo de la levadura y la formación y degradación de los productos secundarios de fermentación deben ser considerados de forma conjunta. Si aun así los productos secundarios de fermentación son tratados separadamente, ello debe ser visto especialmente bajo el aspecto de que el cervecero debe tratar de mantener su contenido dentro de un límite óptimo, a través de medidas tecnológicas apropiadas.

Los subproductos que se forman en la fermentación son los siguientes:

- Diacetilo
- Aldehídos
- Alcoholes superiores
- Ésteres
- Compuestos de azufre

Se pueden clasificar como:

Sustancias de bouquet de cerveza verde (diacetilo, aldehídos, compuestos de azufre)

Éstas le otorgan a la cerveza un sabor y un olor impuro, joven, inmaduro, inarmónico y en alta concentración afectan negativamente la calidad de la cerveza. Pueden ser extraídas nuevamente de la cerveza durante el desarrollo de la fermentación y la maduración por medios bioquímicos. En ello reside el objetivo de la maduración de la cerveza.

Sustancias de bouquet (alcoholes superiores, ésteres)

Éstas determinan de forma esencial el aroma de la cerveza y su presencia es, bajo determinados rangos de concentración, una precondition para una cerveza de calidad. Al contrario de las sustancias de bouquet de cerveza verde, las sustancias de bouquet no pueden ser extraídas nuevamente de la cerveza por medios tecnológicos.

- **Diacetilo**

El diacetilo es la sustancia de bouquet de cerveza verde más importante. Le otorga a la cerveza, al exceder el índice de perceptibilidad, un sabor impuro, dulzón hasta desagradable, el cual en elevada concentración es responsable del aroma a mantequilla. Dado que también la pentadiona actúa de igual manera, pero con un índice de perceptibilidad considerablemente más alto, se denomina a estas sustancias como dicetonas vecinales, por tratarse ambas sustancias de dicetonas con grupos adyacentes cetónicos.

La degradación de estas dicetonas vecinales se desarrolla durante el proceso de maduración de cerveza paralelamente a otros procesos de maduración y se la considera por ello hoy en día como criterio esencial (sustancias indicadoras) para el grado de maduración de una cerveza.

- **Aldehídos (carbonilos)**

El aldehído más importante es el acetaldehído, el cual se forma como producto intermedio normal durante la fermentación alcohólica. El acetaldehído es excretado por la levadura durante los tres primeros días en la cerveza verde. Es responsable del sabor "verde" de la cerveza joven, el cual también es denominado sabor de cava o a moho.

Durante el desarrollo de la fermentación, la concentración de acetaldehído disminuye por la degradación. Así, el sabor a cerveza verde decrece continuamente. En la cerveza verde el contenido de acetaldehído es aproximadamente 20 a 40 mg/l, disminuyendo a valores por debajo de 8 a 10 mg/l en la cerveza terminada.

- **Alcoholes superiores**

Los alcoholes superiores o "aceites fusel" pertenecen a las sustancias de bouquet. Éstos se forman aproximadamente un 80% durante la fermentación principal. En la fase de maduración se produce sólo un reducido aumento. Los alcoholes superiores formados ya no pueden ser reducidos con medidas tecnológicas. Por ello, el ajuste de la concentración de alcoholes superiores debe ser realizado durante la fermentación por medio del control.

- **Ésteres**

Los ésteres son sustancias de bouquet más importantes de la cerveza y determinan de forma esencial el aroma de la cerveza. Sin embargo, concentraciones muy elevadas de ésteres pueden otorgar a la cerveza también un sabor desagradable, amargo y a frutas. Los ésteres son formados durante la fermentación por esterificación de ácidos grasos y en menor grado, por la esterificación de alcoholes superiores.

Su concentración aumenta principalmente en la fase intensiva de la fermentación. En la fase de maduración, depende de la fermentación secundaria (maltotriosas) y puede llegar hasta una duplicación de la cantidad de ésteres en el caso de una prolongada fermentación secundaria.

Se han encontrado más de 60 ésteres diferentes en la cerveza, de los cuáles solamente aproximadamente 6 son de mayor importancia para las propiedades de sabor de la cerveza: el acetato etílico, el isoamilacetato, el acetato isobutílico, el β -fenilacetato, el etilcaproato y el etilcaprilato.

Las cervezas de alta fermentación (ale) tienen hasta 80 mg de ésteres/l; mientras que las de baja fermentación (lager) tienen hasta 60 mg de ésteres/l.

- **Compuestos de azufre**

Debido al metabolismo de la levadura se forman compuestos volátiles de azufre como H₂S, mercaptano y otros compuestos. Al exceder su índice de perceptibilidad, otorgan a la cerveza un sabor inmaduro y joven.

5.1.6. Otros procesos y transformaciones

Aparte de la formación de subproductos, se presentan durante la fermentación una serie de otros procesos y transformaciones:

- Cambio de la composición de las proteínas (Conducen a la autólisis)
- Disminución del valor del pH (pH entre 4,2 y 4,4 en la cerveza terminada)
- Cambio en las propiedades redox de la cerveza (aumento de la fuerza reductora)
- Aclarado del color de la cerveza (Se aclara hasta 3 unidades EBC)
- Precipitación de compuestos amargos y taninos
- Disolución de CO₂ en la cerveza
- Clarificación de la cerveza (floculación de la levadura)

5.2. Proceso de fermentación y maduración

Esta parte del proceso es denominada también como fría, debido a la temperatura del mosto que sale del enfriador y atraviesa sistema de aireación, dirigiéndose hasta el fermentador donde se produce la fermentación. Todos los errores cometidos durante el proceso de elaboración del mosto comenzarán a notarse a partir de ahora. Es un momento crítico puesto que el mosto puede verse afectado por cualquier tipo de contaminación si no se han limpiado y esterilizado correctamente los equipos. Es muy importante controlar las temperaturas ideales de fermentación y maduración a partir de este momento para obtener un producto de calidad.

Se introducirá la levadura dentro del tanque de fermentación al inicio del llenado del depósito. La levadura puede ser liofilizada (debe hidratarse previamente) o líquida. Siempre que sea posible se trabajará con levadura líquida puesto que es de mayor calidad.

Es imprescindible que la fermentación sea rápida y potente a la temperatura adecuada. Cuanto mayor sea la temperatura de fermentación más potente será ésta, pero se producirán aromas no deseados. Si por el contrario la fermentación tarda en arrancar, los pocos microorganismos que se hayan colado tendrán la oportunidad de multiplicarse y de cambiar el perfil de aroma y sabor de la cerveza con los nutrientes disponibles y la ausencia de alcohol.

Una vez el fermentador este completamente lleno con el mosto a la temperatura adecuada, se debe controlar con bastante precisión que la temperatura esté siempre al nivel óptimo. En cervezas de tipo lager (baja fermentación), con una levadura en buenas condiciones debería de fermentar un grado plato al día; mientras que en cervezas ale (alta fermentación) pueden llegar a fermentar hasta 4 grados plato al día. Si estos tiempos son mayores, es muy posible que las células queden en suspensión aportando un sabor a levadura que no será posible eliminar, esto ocurrirá también si se utilizan aguas con niveles de calcio por debajo de 50 ppm.

Se puede añadir lúpulo durante la fermentación en el fermentador, metabolizándose una parte de los aceites esenciales con el mosto en fermentación aportando aroma a la cerveza.

Antes de finalizar la fermentación, se debe ajustar una válvula de escape de presión que permita tarar la presión a un nivel determinado para que escape el CO₂ restante. De esta forma, se puede cerrar el tanque para que los últimos azúcares fermentables (entre 1 y 1,5 grados plato) produzcan el CO₂ que quedará finalmente disuelto en la cerveza, ajustando el nivel de carbonatación deseado. Se puede carbonatar también con botellas de CO₂ de calidad alimentaria a través de piedras de difusión de acero inoxidable instaladas en los depósitos.

Cuando la fermentación acaba, se debe eliminar la levadura por la válvula inferior del fermentador cilíndrico. Esto debe hacerse en varias tandas (20 aproximadamente); hay que eliminar la levadura, dejar que decante de nuevo, eliminarla de nuevo y continuar repitiendo el proceso hasta que salga la cerveza sin casi levadura. Si no se elimina la levadura, ésta comenzará a autorizarse produciendo aromas y sabores no deseados. La cerveza no tendrá oxígeno disuelto excepto los radicales libres que se hayan unido a otras moléculas durante la producción del mosto. Si se realiza algún trasiego en este punto o durante el embotellado entrara algo de aire en contacto con la cerveza, ésta se oxidaría en cuestión de días o semanas, sobre todo los aromas frutales a lúpulo. Una cerveza oxidada no tiene el mismo frescor y facilidad de trago que una cerveza de alta calidad.

Se baja la temperatura de la cerveza hasta 14°C en el caso de realizar dry-hopping (adición de lúpulo durante la fermentación durante 3-5 días) o hasta la temperatura de maduración (entre 0 y -1,5°C dependiendo del porcentaje de alcohol). Hay que tener en cuenta que dependiendo de la temperatura a la que se encuentre la cerveza, está contendrá más o menos CO₂ disuelto.

El proceso de maduración podrá durar entre una semana y tres meses dependiendo del estilo de cerveza que se elabore. Durante este proceso decantarán las proteínas que se formaran por la aplicación de frío. Si la cerveza sigue turbia al final de la maduración significará que existe algún problema de contaminación o de exceso de polifenoles.

En el momento que finalice la maduración de la cerveza, ésta debe ser envasada. Para realizar el trasiego hasta la embotelladora es importante realizar purgas de CO₂ en tanque vacío y con agua las mangueras de trasiego. El trasiego se realizará empujando con CO₂ procedente de una bombona de calidad alimentaria.

5.3. Equipos de fermentación y maduración

5.3.1. Depósitos cilindrocónicos

En este tipo de depósitos es posible realizar el proceso de fermentación y el de maduración en el mismo tanque, ocupando menos espacio. Son tanques de acero inoxidable con forma cilíndrica pero que en la parte inferior tienen un cono con una inclinación de 60°. Es imprescindible que posean una camisa de refrigeración y una sonda de temperatura PT-100 que permitan controlar las temperaturas de fermentación a partir de un PID. Deben de ser isobáricos, y como mínimo aguantar presiones de 3 bares. Disponen de diferentes válvulas de entrada y salida y de una boca hombre situada, o bien en la parte superior o en la parte lateral del cilindro. Dispondrán de una esfera de limpieza CIP en la parte superior. Inicialmente se instalarán 3 fermentadores de capacidad útil de 1000l (1300l en total), en el momento que aumente la demanda bastará con adquirir más fermentadores.



Figura 50. Fermentadores cilindrocónicos isobáricos. Fuente: <http://ingenieriacervecera.weebly.com/>

5.3.2. Equipo de control de temperaturas

Se instalará un equipo compacto para el control de temperaturas de fermentación y maduración, con capacidad de control de hasta 4 depósitos cilindrocónicos. El equipo consta de una bomba de recirculación y de un compresor que enfría agua glicolada, además incluye una resistencia eléctrica para calentar el fluido refrigerante para épocas del año en las que sea necesario aportar calor para llevar a cabo la fermentación. Unas electroválvulas serán las

encargadas de abrirse y cerrarse en función de la temperatura en el interior de los depósitos.



Figura 51. Equipo de frío/calor para controlar la temperatura de los depósitos cilindrocónicos. Fuente: <http://www.tiendainvia.com/>

5.4. Envasado de la cerveza

5.4.1. Etiquetado de las botellas

Se comenzará la línea de envasado, etiquetando las botellas de cerveza vacías de 33cl. Estas botellas no tendrán ningún uso anterior, por lo que únicamente serán enjuagadas antes de su llenado. El hecho de que se comience por el etiquetado es debido a que al envasar la cerveza en frío (0-1°C) se producirá condensación en la botella siendo imposible que se peguen. Las etiquetas, suministradas en bobinas, deben de ser impermeables para evitar que se deterioren durante el proceso.

5.4.2. Embotellado de la cerveza

El envasado de la cerveza debe ocurrir de tal manera que las propiedades se mantengan de forma durable y completa. La cerveza es una bebida que se caracterizan por tener un elevado contenido de CO₂, que debe mantenerse intacto hasta llegar al consumidor. Además, es vulnerable frente a microorganismos. Por ello, las botellas deben ser aclaradas con agua a altas temperaturas.

Para el llenado de botellas de cerveza se utilizan llenadoras de contrapresión. El funcionamiento de estas llenadoras es el siguiente:

En primer lugar se realiza un barrido con CO₂ procedente de una bombona, para eliminar el oxígeno contenido en el aire de la botella. La cerveza es muy sensible frente a cualquier traza de O₂. Hay una válvula de presión tarada que deja salir el aire hasta que poco a poco ya solamente sale CO₂. La presión alcanzada en la botella es de aproximadamente 2 bares.

A partir de este momento, se deja de ingresar CO₂ en la botella y comienza a llenarse con la cerveza. Para ello, la cerveza procedente del depósito cilindrocónico debe estar a una presión superior a 2 bares para que se produzca el transporte por diferencia de presiones hasta la botella. Hay que

tener en cuenta que se perderá parte de la carbonatación en la cerveza durante el proceso de llenado, por ello, es conveniente que la cerveza contenga más CO₂ disuelto del deseado para compensar estas pérdidas.

Se utilizan llenadoras de contrapresión para el envasado de todas las bebidas que contienen CO₂. Si se envasaran bebidas que contienen CO₂ bajo presión normal, éstas comenzarían a espumar inmediatamente y no se lograría llenar botella alguna.

Temperatura de envasado

En la limpieza de botellas, éstas alcanzan temperaturas muy elevadas. Luego de un rociado caliente de enjuague de las botellas, deben ser enfriadas con agua estéril a 10°C aproximadamente. De esta forma las botellas tienen una temperatura de 12-15°C en el momento del envasado.

Para envasar la cerveza se realiza en frío (0-1°C). Para ello, se enfrían las botellas con agua fresca entre 12 y 13°C se pueden enfriar las botellas a aproximadamente a 15°C, antes del proceso de llenado. Cuanto menor es la diferencia de temperatura entre ambas, tanto menor es el riesgo de espumado durante el llenado.

5.4.3. Taponado de las botellas

Para taponar las botellas se utilizan tapones corona de 26mm. Las botellas se taponarán justo después de ser llenadas, para evitar la intrusión de oxígeno, la pérdida de carbonatación o el ingreso de bacterias o microorganismos.

5.4.4. Equipos utilizados en el envasado

En primera instancia, se instalarán equipos de envasado semi-automáticos con lo que se alargarán los tiempos de envasado. Lo ideal sería instalar equipos automáticos con los que prácticamente no se necesita mano de obra y se agiliza el proceso. Esto se hace de esta forma por dos motivos:

- Para evitar un desembolso excesivo al inicio de la actividad.
- Para tener un equipo más simple, con menor tendencia a averías de forma que, en el momento que se instale un equipo automático y haya una avería, se tenga esta maquinaria que permita seguir con las tareas de embotellado.

A continuación se muestran los equipos instalados en esta primera fase:

- **Llenadora de botellas isobárica:** Funciona de forma manual el ingreso de botellas y tiene una capacidad para 4 botellas y una producción aproximada de 900 botellas/hora o 300l/h.



Figura 52. Llenadora de botellas isobárica. Fuente: <http://www.decavi.com/>

- **Taponadora neumática:** Funciona con un botón pulsador. Tiene un pequeño recipiente donde se almacenan los tapones. Su producción es aproximadamente de 1000 botellas/hora.



Figura 53. Taponadora neumática tapón corona. Fuente: <http://micro-cervecerías.cervezartesana.es/>

- **Etiquetadora semi-automática:** Posee un sensor que detecta la botella cuando ésta se encuentra en la posición adecuada y realiza la acción de etiquetado. Su producción aproximada es de 900 botellas/hora.



Figura 54. Etiquetadora semi-automática. Fuente: <http://micro-cervecerías.cervezartesana.es/>

CAPÍTULO 6:

CONTROL DE CALIDAD

Las fábricas de cerveza deben de garantizar la calidad de su producto a sus consumidores. De lo contrario, la imagen de una fábrica puede verse muy dañada hasta el punto que, en algunos casos, puede acabar desapareciendo tal y como se está produciendo en la actualidad. Invertir en calidad se traduce tanto en la consecución de un producto con unas mejores cualidades organolépticas, así como en una mejor imagen de marca. Es por ello, fundamental trabajar estos aspectos para poder posicionarse en el mercado como una de las marcas referentes.

6.1. Definición de calidad de la cerveza

La calidad de una cerveza se basa en:

- consistencia del producto de un lote a otro
- ausencia de sabores desagradables
- equilibrio en el sabor (ingredientes y técnicas de elaboración)

Aunque parezcan, a simple vista, conceptos muy simples y obvios, son verdaderamente complejos de conseguir y controlar en una pequeña fábrica.

Durante todos los apartados explicados anteriormente, se han descrito los parámetros de los ingredientes y las técnicas de elaboración más adecuados para trabajar de forma óptima y poder obtener la mayor calidad en el producto.

A continuación se van a describir las acciones para realizar una verificación cualitativa de la cerveza terminada, bajo tres aspectos diferentes:

- Por degustación de la cerveza
- A través de un control microbiológico
- A través de un examen químico-técnico

6.2. Degustación de la cerveza

Algunas propiedades de la cerveza se pueden medir de forma concreta, como por ejemplo:

- **La cantidad y la retención de espuma:** Un ensayo a efectuar es el de medir la distancia de espuma formada al verter una botella de cerveza en un vaso. El tiempo que tarde en desvanecerse esta corona de espuma se asociará a la retención de la espuma. Para ello, debe utilizarse siempre el mismo procedimiento controlando las distintas condiciones: tipos y formas de los vasos, lavado de estos, temperatura cerveza, temperatura ambiente, distancia y posición de servicio... De esta forma pueden obtenerse datos concluyentes. Hay dispositivos para medir con mucha precisión estos parámetros, pero son inviables económicamente para una planta de estas características.
- **El color de la cerveza:** El color de la cerveza se determinará en un primer momento a partir de un software de simulación del proceso que, según algunos parámetros tales como: maltas utilizadas, cantidad de agua, temperaturas de proceso, rendimiento, tipo de fermentación... estimará a partir de modelos matemáticos, el color final de la cerveza terminada. Otra forma consiste en comparar con unas plantillas que contienen las escalas de colores y compararlo en un sitio con una buena iluminación y con el mismo fondo. Existen otros métodos más precisos de ensayo, pero económicamente no son viables para una pequeña fábrica de cervezas.
- **El grado de turbidez de la cerveza:** Para ello se podrá realizar una inspección visual tras servir en un vaso la cerveza y realizar algunas fotografías con las que se pueda dejar constancia de la turbidez, utilizando siempre el mismo procedimiento, luz y fondo. También se puede adquirir un turbidímetro y realizar las medidas, pero el precio de éste es demasiado grande para el valor que aporta esta información.

Finalmente, la pureza del sabor de la cerveza, el olor, la presencia o la delicadeza de su amargor son factores que no pueden ser registrados analíticamente. Sin embargo, justo estos son los factores que interesan en primer lugar al consumidor.

Para registrar estos criterios determinantes para la calidad, la cerveza debe ser degustada examinando su olor y sabor de acuerdo con diferentes aspectos. Si en esto se quiere llegar a conclusiones concretas, se debe realizar la degustación según un orden establecido, y las personas degustadoras deben ser elegidas y formadas previamente. Se requiere que sean personas con una muy fina capacidad de diferenciación en sabor y olor.

Para la realización de la degustación existen indicaciones concretas. Así, se vierte la cerveza sin espuma en vasos de ensayo de 200 ml de color oscuro y se degusta a una temperatura entre 8 y 14°C. Esta temperatura debe ser alcanzada por la cerveza ya durante la noche previa. La sala de degustación, su temperatura, la ubicación de los degustadores etc., están exactamente establecidas a los efectos de alcanzar resultados completamente neutrales. Una vez se desarrolla la degustación, cada degustador rellena unas fichas de degustación en las que transcriben toda la información captada.

Dado que las degustaciones siempre son efectuadas por varios degustadores, se puede sacar las conclusiones necesarias de los resultados promedio de las características de ensayo. En estas degustaciones se deberían incluir también muestras más antiguas a fin de comprobar objetivamente a partir de cuándo se puede establecer un deterioro de sabor. La degustación es un criterio muy importante para la evaluación de una cerveza.

Pero, por otro lado, hay mucho interés en saber cómo es recibido cada producto por el consumidor. Para ello se hacen ensayos de preferencias con clientes. Dado que se trata aquí de público en general y de personal no entrenado, se utilizan para esto métodos de ensayo lo más sencillos posible.

6.3. Control microbiológico

Es posible que entren microorganismos extraños a la cerveza (contaminantes) en el recorrido del mosto y de la cerveza hasta el producto terminado. Si estos contaminantes se propagan, forman un sedimento leve en la cerveza, hasta que finalmente la enturbian y, a través de la formación de sus productos de metabolismo de tipo diferente, la modifican, la empeoran o hasta la hacen imbebible en lo que respecta a su sabor.

Por ello, debe hacerse todo lo necesario para detectar tan tempranamente como sea posible, tales microorganismos extraños, descubrir los lugares en que ingresan al mosto o la cerveza, y tomar medidas para que no puedan propagarse. Ésta es la tarea del control biológico de planta.

Esta tarea consiste en controlar en lo posible en muchos lugares, y tan frecuentemente como sea posible, a los efectos de comprobar dónde y cómo ingresan microorganismos al mosto o a la cerveza. Estos organismos extraños se llaman organismos de contaminación o contaminantes. Es decisivo registrar la presencia de estos contaminantes tan tempranamente como sea posible para poder tomar medidas e intentar solucionarlo en el menor tiempo posible.

Las tomas de muestras se realizan según un plan establecido para la planta, se toman muestras de mosto y de cerveza en diferentes lugares (especialmente en los puntos críticos del proceso) y se las controla. Se separan el área de producción y el área de envasado en dos etapas diferentes.

En una micro-fábrica, se realizarán cultivos en placas petri periódicos para observar si crecen cultivos y observarlos al microscopio para intentar obtener la máxima información. En el momento que se produzca una contaminación, todos estos cultivos deberán ser enviados a un laboratorio cualificado para analizar el tipo de microorganismo causante y poder elaborar un plan de acción para eliminarlo y evitar que se vuelva a desarrollar en un futuro.

6.4. Análisis de la cerveza

Si se desea fabricar buena cerveza de calidad constante, se debe controlar permanentemente una serie de parámetros:

- La determinación de la densidad original y la densidad final con la determinación del contenido de alcohol.
- La determinación del valor de pH.

- La determinación del contenido de oxígeno disuelto en la cerveza.
- La determinación de las unidades de amargor.
- La determinación del contenido de CO₂.

El valor de todos estos parámetros será estimado inicialmente antes de comenzar con el proceso, a partir de una hoja de cálculos y de un software, ambos con los modelos matemáticos oportunos. Esto facilitará la faena a la hora de empezar con recetas nuevas o en el momento que se realice algún cambio sustancial.

6.4.1. Determinación de las densidades original y final y el contenido en alcohol

Se utilizará un densímetro o hidrómetro de precisión con una escala que varíe desde 1,000 g/ml hasta 1,100 g/ml, para medir la densidad en cervezas con un contenido alcohólico normal (< 7% en vol.). Para cervezas de mayor graduación se utilizará otro densímetro con una escala mayor. La densidad indicará la cantidad de azúcar disuelta en el agua. Debe tenerse en cuenta la temperatura a la que se realizan las medidas, puesto que el densímetro suele estar calibrado entre 20 y 25°C. En caso de no realizar las medidas la temperatura a la que está calibrado, se debe corregir mediante los valores de una tabla estandarizada.

La densidad original del mosto se medirá justo a la salida del enfriador de placas y nos dará un valor del total de azúcares disueltos en el mosto con respecto al valor de la densidad del agua. La densidad final será la obtenida con el hidrómetro, justo al final de la maduración (se irá midiendo en diferentes tiempos para ver cómo evoluciona la fermentación). Este valor de densidad no es exacto debido a la presencia de CO₂ en la cerveza, y sobre todo, a la presencia de alcohol que tiene una densidad menor que la del agua. Por ello este valor de densidad final será un valor aparente y no real.

Se puede utilizar un refractómetro para obtener el valor de la densidad, pero se cometerá un error mayor en la medida. Es útil para obtener información en momentos tales como durante la elaboración del mosto, para controlar la densidad en las diferentes etapas; y para controlar el proceso de fermentación.

Finalmente, a partir de una fórmula matemática se estimará el valor del alcohol (en gramos o en volumen) gracias a la diferencia entre las dos densidades, antes y después de la fermentación.



Figura 55. Medida de la densidad con un densímetro. Fuente: <http://brewmasters.com.mx/>

6.4.2. Medida del valor de pH

En el análisis de la cerveza se mide también siempre el pH. La medición del pH es muy importante, porque de este dependen considerablemente todos los procesos enzimáticos y también los microorganismos en lo que a su comportamiento respecta. Para medir el pH se utilizará un pH-metro que disponga como mínimo de dos decimales de precisión.



Figura 56. Medición del pH mediante un pH-metro. Fuente: <http://www.ehu.eus/>

6.4.3. Determinación del contenido de oxígeno en la cerveza

Uno de los controles más importantes durante la fabricación de cerveza es el monitoreo del contenido de oxígeno. Valores altos de oxígeno tienen una influencia muy negativa sobre la calidad de la cerveza y sobre su estabilidad de sabor. Deben evitarse todas aquellas operaciones en las que se pueda introducir aire, para evitar el ingreso de oxígeno.

Tabla 5. Niveles de oxígeno disuelto en cada etapa durante el proceso de elaboración. Fuente: Chris White, Yeast.

Proceso de elaboración cerveza	Niveles de oxígeno disuelto
Mosto	6-14 ppm
Fermentación	< 30 ppb
Cerveza en la llenadora	1-200 ppb
Envasado botella final	50-450 ppb

Para medir la cantidad de O₂ disuelto en el mosto o la cerveza, se utiliza un medidor de oxígeno disuelto. Su precio es bastante elevado por lo que será adquirido en el momento que la empresa empiece a crecer.



Figura 57. Instrumento para la medida de oxígeno disuelto en la elaboración de cerveza. Fuente: www.hannainst.com.

6.4.4. Determinación de las unidades de amargor

La determinación de las unidades de amargor es un control importante, puesto que el amargor influye considerablemente el sabor de la cerveza. La determinación de las unidades de amargor (según EBC/ASBC) se realiza a partir de espectrofotometría, según un proceso el cual no se entrará en detalle aquí. Una pequeña fábrica no puede permitirse el contar con equipos de espectrofotometría por lo que deberán enviarse muestras a un laboratorio externo para conocer los resultados.

6.4.5. Determinación del contenido en dióxido de carbono

El contenido en CO₂ disuelto en la cerveza es un criterio de calidad importante, puesto que afecta directamente al sabor de ésta. Para determinar la cantidad de CO₂ disuelto, bastará con la observación de la presión que indique el manómetro instalado en el fermentador y a partir de la temperatura a la que se encuentre la cerveza, se obtendrá el valor deseado. La tabla es la siguiente:

		Temperatura °C															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Carbonatación Volúmenes CO ₂	1.5			0.08	0.16	0.25	0.34	0.43	0.53	0.62	0.72	0.82	0.92	1.03	1.13	1.24	1.35
	1.6		0.06	0.15	0.24	0.34	0.43	0.52	0.62	0.72	0.82	0.93	1.04	1.14	1.26	1.37	1.48
	1.7	0.04	0.13	0.22	0.32	0.42	0.51	0.61	0.72	0.82	0.92	1.04	1.15	1.26	1.38	1.49	1.61
	1.8	0.11	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.71	0.81	0.92	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.62	1.74
	1.9	0.17	0.27	0.37	0.48	0.58	0.69	0.80	0.91	1.02	1.14	1.26	1.38	1.50	1.62	1.75	1.87
	2.0	0.24	0.34	0.45	0.56	0.66	0.78	0.89	1.01	1.12	1.24	1.36	1.49	1.61	1.74	1.87	2.00
	2.1	0.31	0.41	0.52	0.63	0.75	0.86	0.98	1.10	1.22	1.35	1.47	1.60	1.73	1.86	2.00	2.13
	2.2	0.37	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07	1.20	1.32	1.45	1.58	1.71	1.85	1.99	2.12	2.26
	2.3	0.44	0.55	0.67	0.79	0.91	1.04	1.16	1.29	1.42	1.56	1.69	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39
	2.4	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08	2.23	2.38	2.52
	2.5	0.57	0.69	0.82	0.95	1.08	1.21	1.35	1.48	1.62	1.76	1.91	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65
	2.6	0.63	0.76	0.89	1.02	1.16	1.30	1.44	1.58	1.72	1.87	2.01	2.16	2.32	2.47	2.63	2.78
	2.7	0.70	0.83	0.97	1.10	1.24	1.38	1.53	1.67	1.82	1.97	2.12	2.28	2.43	2.59	2.75	2.91
	2.8	0.76	0.90	1.04	1.18	1.32	1.47	1.62	1.77	1.92	2.07	2.23	2.39	2.55	2.71	2.88	3.04
	2.9	0.83	0.97	1.11	1.26	1.41	1.56	1.71	1.86	2.02	2.18	2.34	2.50	2.67	2.83	3.00	3.17
3.0	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49	1.64	1.80	1.96	2.12	2.28	2.45	2.61	2.78	2.95	3.13	3.30	

Presiones en bares

Figura 58. Tabla de presión de la cerveza vs temperatura. Fuente: <http://www.cerveceros-caseros.com/>

Para poder cuantificar el CO₂ que se pierde desde el fermentador hasta el proceso de embotellado, se podrá ver a partir de medidores de CO₂ para botellas. Una vez obtenido el valor se deberá carbonatar unas unidades de más según la carbonatación que se desea finalmente.

CAPÍTULO 7: NORMATIVA DE LA FABRICACIÓN DE CERVEZA EN ESPAÑA

La cerveza es un producto alimentario y, como tal, está sujeto a múltiples controles de tipo legislativo. En este apartado se pretende mostrar, con la mayor simplicidad posible, el marco legal básico que rodea a la cerveza y que abarca desde su fabricación hasta su puesta en el mercado. En los artículos citados en cada apartado, se detalla en que documento de marco legal se encuentra definida con mayor detalle esta normativa.

7.1. Normativa aplicable a la cerveza en cuanto producto (RTS)

La cerveza se encuentra regulada mediante el Real Decreto 53/1995, de 20 de enero del Ministerio de la Presidencia, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de la cerveza y de la malta líquida (BOE nº 34, de 9 de febrero de 1995).

El objeto de esta norma es definir qué se entiende por cerveza a efectos legales y fijar sus normas de elaboración, circulación y comercio, y, en general, su ordenación jurídica. Obliga a todas aquellas personas naturales o jurídicas que dediquen su actividad profesional a la obtención de la cerveza, así como a los importadores y comerciantes de la misma.

7.2. Normativa aplicable al etiquetado de la cerveza

El Reglamento (UE) Nº 1169/2011 de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor establece las condiciones generales de etiquetado para todos los productos alimenticios destinados a ser entregados sin ulterior transformación al consumidor final, así como los aspectos relativos a su presentación. También se aplica a los productos alimenticios destinados a ser entregados a los establecimientos de restauración.

La cerveza, como producto alimenticio, está sujeta a las disposiciones de este Reglamento, con las particularidades que se establecen en su propia Reglamentación Técnico-Sanitaria.

7.3. Normativa sobre los impuestos especiales que gravan la cerveza

La sujeción de la cerveza a la ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales (BOE nº 312, de 29 de diciembre de 1992), responde a la armonización de estos impuestos a escala comunitaria, configurándose como impuestos indirectos que recaen sobre el consumo de determinados bienes, gravando su fabricación o su importación. La repercusión obligatoria del impuesto produce el efecto de que el gravamen sea soportado por el consumidor, además de lo que lo hace el IVA en su condición de impuesto general (al tipo del 21% para la cerveza).

El Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, establece las condiciones detalladas de aplicación de la Ley en forma de Reglamento (BOE nº 179, de 28 de julio de 1995), habiendo sido modificado por Real Decreto 112/1998, de 30 de enero (BOE nº 27, de 31 de enero de 1998), por Real Decreto 1965/1999, de 23 de diciembre (BOE nº 312, de 30 de diciembre de 1999) y por Real Decreto 1739/2003, de 19 de diciembre (BOE nº11, de 13 de enero de 2004).

Los tipos impositivos se actualizan mediante la Ley General de Presupuestos del Estado.

7.4. Normativa referente a los envases de cerveza

Los envases de cerveza se encuentran sujetos a las siguientes normas:

- Contenido efectivo: Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre (BOE nº 266/2008).
- Características de las botellas como recipientes medida: Real Decreto 703/1988, de 1 de julio (BOE nº 172/1988).
- En tanto que se convierten en residuo: Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de envases (BOE nº 99/1997) y su reglamento -Real Decreto 782/1998, de 30 de abril (BOE nº 104/1998).

Cerveceros de España es uno de los miembros fundadores del Sistema Integrado de Gestión ECOVIDRIO y ocupa actualmente su Presidencia.

7.5. Normativa medioambiental (IPPC)

La industria cervecera se encuentra sujeta al cumplimiento de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (BOE nº 157, de 2 de julio de 2002), que articula un procedimiento para la concesión de las autorizaciones ambientales integradas para las instalaciones industriales sujetas a la misma, donde deberán constar los límites máximos de emisión autorizados en función de las mejores técnicas disponibles en cada caso. Como referencia respecto a las mejores técnicas disponibles por sectores, se han elaborado en el IPTS (Instituto de Prospectivas Tecnológicas) de Sevilla unos documentos llamados BREF.

Tomando este BREF como punto de partida, Cerveceros de España ha colaborado con el Ministerio de Medioambiente en la redacción de una Guía de Mejores Técnicas Disponibles en el sector cervecero español, para cuya redacción se contó con el Centro Tecnológico AINIA. Se ha pretendido que la Guía constituya una herramienta sencilla y práctica en su uso, recogiendo la información necesaria y disponible, expuesta y descrita con la claridad, extensión y precisión conveniente, para facilitar así la comprensión y el trabajo de las Comunidades Autónomas, ya que corresponde a sus órganos ambientales la coordinación de los trámites de concesión de las Autorizaciones Ambientales Integradas.

A escala comunitaria, la Asociación de Cerveceros de Europa ha consensuado una guía para la aplicación de mejores técnicas que se ha facilitado al IPTS, como parte del documento BREF que está elaborando para toda la industria agroalimentaria europea.

7.6. Normativa relativa a seguridad e higiene

El Reglamento UE nº 178/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, que es directamente aplicable sin necesidad de transposición a nuestra normativa nacional, establece los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y fija procedimientos relativos a la seguridad alimentaria (Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 31, de 1 de febrero de 2002).

Dicho Reglamento se basa sobre dos pilares de extraordinaria importancia: el análisis de riesgos y la trazabilidad.

Es de aplicación, además, desde el 1 de enero de 2006, el Reglamento UE nº 853/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios.

Cerveceros de España presentó en octubre de 1996 su primer manual de Aplicación del Sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos en el Sector Cervecero Español (Plan de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico, según la más reciente terminología), con la aprobación del Ministerio de

Sanidad y Consumo. Tras la aprobación por Cerveceros de Europa de un documento sobre la gestión de la seguridad alimentaria en la industria cervecera europea mediante los principios del APPCC y en vista de la entrada en vigor del Reglamento 852/2004, Cerveceros de España ha modificado su documento, que siguiendo la terminología actual, se denomina "Guía para la aplicación del sistema de análisis de peligros y puntos de control crítico en el sector cervecero español".

Por otro lado, Cerveceros de España, con objeto de cumplir con la legislación existente en materia de trazabilidad y mejorar significativamente la eficiencia en la cadena de suministro solicita a sus proveedores que, para beneficiarse todos del uso de herramientas comunes, apliquen de manera correcta a sus productos y agrupaciones las Normas EAN de Codificación conforme se indica en el cuaderno de carga para proveedores.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

Tras varios años realizando diversas experiencias relacionadas con el proceso de fabricación de la cerveza artesana y el diseño de sus respectivos equipos de producción, y tras el estudio detallado realizado en el presente proyecto, se concluye que:

- La cerveza artesana es un producto que está resurgiendo acorde a la tecnología y los conocimientos actuales, haciéndose un hueco en el mercado y diferenciándose en muchos aspectos de la cerveza elaborada por las grandes fábricas.
- La planta ubicada en Albelda iniciará la actividad con una capacidad de 360 hl/año, aumentando ésta en los próximos años en función de la demanda.
- La distribución inicial se realizará de forma local, extendiéndose por toda la península con el paso del tiempo y finalmente exportar parte de la producción a diferentes mercados como el europeo, el asiático o el americano.

- La calidad de los ingredientes, las técnicas de producción adecuadas y el correcto diseño de los equipos, facilitan que la cerveza elaborada mantenga sus cualidades por más tiempo y sea un producto que despierte el interés de los consumidores por sus grandes cualidades organolépticas.
- La composición química del agua es fundamental para que se desarrollen correctamente todos los procesos de producción del mosto y para que la levadura lleve a cabo una fermentación vigorosa.
- La limpieza y desinfección de todos los elementos del proceso, así como de los espacios en los que se desarrolla la actividad son un factor determinante en la calidad de la cerveza final.
- Deben tomarse todas las precauciones posibles para evitar el ingreso de oxígeno durante todos los procesos de fabricación (excepto durante la aireación), que derivarán en la oxidación de la cerveza y la consecuente pérdida de sabores y aromas frescos.
- Económicamente, es un negocio que necesita tiempo para poder amortizarse (9 años) pero a partir de entonces, con unas ventas aseguradas

CAPÍTULO 9:

BIBLIOGRAFIA

9.1. Bibliografía de consulta

- D.E. Briggs, P. A. Brookes, R. Stevens, C. A. Boulton. *Brewing: Science and Practice*. Woodhead Publishing; 1 edition (2004). ISBN-10: 1855734907, ISBN-13: 978-1855734906.
- J.S. Hough. *Biología de la cerveza y de la malta*. Zaragoza: Editorial ACRIBIA, S.A., 1990. ISBN: 84-200-0681-5.
- John Palmer and Colin Kaminski. *Water a comprehensive guide for brewers*. Colorado: Brewers Publications, 2013. ISBN: 978-0-937381-99-1
- Steve Huxley. *La cerveza... poesía líquida: un manual para cervesífilos*. Gijón: Ediciones Trea, 2006. ISBN: 84-9704-232-8.
- George Fix, Ph.D. *Principles of Brewing Science: a study of serious brewing issues.- 2 nd ed.* Editorial: Brewers Publications. A Division of the Brewers Association Boulder, Colorado. 1999. ISBN-13: 978-0-937381-74-8 e ISBN-10:0-937381-74-8 (pbk.).
- Scott R. Russell. *North American Clone Brews. Homebrew Recipes for your favorite American&Canadian Beers*. Editorial: Storey Publishing Edited by Jeanée Ledoux and Brad Ring, 2000. ISBN: 978-1-58017-246-2.
- Gordon Strong. *Brewing better beer*. Editorial: Brewers Publications. A Division of the Brewers Association Boulder, Colorado. 2011. ISBN-13: 978-0-937381-98-4 e ISBN-10:0-937381-98-5.
- Wolfgang Kunze. *Tecnología para cerveceros y malteros*. 1ª ed. Berlín: VLB Berlín, 2006. ISBN: 3-921 690-54-4.
- John Mallett. *Malt, a practical Guide from field to brewhouse*. Editorial: Brewers Publications. A Division of the Brewers Association Boulder, Colorado, 2014. ISBN: 978-1-938469-12-1, ISBN:1-938469-12-7.
- John Palmer and Colin Kaminski. *Water: a Comprehensive Guide for Brewers*. Brewers Pubn (2013). ISBN: 978-0937381991
- Stan Hieronymus. *For the Love of Hops: The Practical Guide to Aroma, Bitterness and the Culture of Hops*. A Division of the Brewers Association Boulder, Newyork, 2012. ISBN-10: 1938469011, ISBN-13: 978-1938469015.

Chris White with Jamil Zainasheff. Yeast. The Practical Guide to Beer Fermentation. Editorial: Brewers Publications. A Division of the Brewers Association Boulder, Colorado. 2010. ISBN:0-937-381-96-9 e ISBN-13: 978-0-937381-96-0.

Bill Owens, Brewmaster, Buffalo Bill's Microbrewery. How to Build A Small Brewery, draft beer in ten days. Editorial: Published by White Mule Press. 2009. ISBN: 978-0-9824055-2-9-

Stan Hieronymus. Elabora cerveza como un monje. Cultura y artesanía en la tradición belga.- Ales Belgas Fuertes, Trapenses y de Abadía y cómo elaborarlas. Editorial: Brewers Publications. A Division of the Brewers Association Boulder, Colorado.

9.2. Portales de internet consultados

Asociación de cerveceros de Europa: <http://www.brewersofeurope.org/>

Asociación de cerveceros de España: <http://www.cerveceros.org/>

Centro de información cerveza y salud: <http://www.cervezaysalud.es/>

Gremio de elaboradores de cerveza artesana y natural: <http://www.gecan.info/>

Revista Mash ciencia cervecera: <http://www.revistamash.com/>

Asociación de cerveceros caseros españoles: <http://www.cerveceros-caseros.com/>

Empresa Cerveza Artesana Homebrew S.L.: <http://cervezartesana.es/>

Asociación de cerveceros caseros americanos: <https://www.homebrewersassociation.org/>

Foro de cerveceros caseros de todos los continentes: <http://www.homebrewtalk.com/>

Blog especializado en micro-cervecerías: <http://maestroscerveceroshispanoparlantes.blogspot.com>

Empresa especializada en diseño de equipos: <http://www.vikingathor.com/>

Página web personal con diferentes experimentos cerveceros: <http://braukaiser.com/>

Grupo maltero: <http://es.malteurop.com/>

Página web personal fabricación cerveza: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/>