

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**RECOPILACION BIBLIOGRAFICA PARA EL ESTUDIO DEL PROCESO
GENERAL DE ELABORACION DE CERVEZA.**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS
PRESENTA:**

ISAAC ISMAEL RAMOS CUEVAS

ASESOR: DRA. SUSANA PATRICIA MIRANDA CASTRO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias a:

Dalila y a mi hijo que son mi necesidad de vivir y mi felicidad los amo.

Agradecimientos.

Doy gracias a Dios por todo lo que me ha dado, por lo que no me ha dado y por todo lo que me dará, le pido siempre estar en su gracia, le pido que me de fe cuando ya no la tenga, le pido fuerza cuando la necesite..... gracias Señor por todo lo que me has dado aunque no lo haya merecido.

Padre y Madre.

Gracias por darme su tiempo, gracias por darme su apoyo incondicionalmente, gracias por preocuparse por mi, gracias por educarme, gracias por su amor, gracias por sus recursos económicos, gracias por darme su vida, gracias por no dejarme solo en mis problemas (hasta en estos momentos tan difíciles), gracias por ser mi motor.... Muchas gracias padre y madre, porque todo se lo debo a ustedes, y por todo esto y mas quiero decirles que los Amo.

Dalila.

Tengo tantas cosas que agradecerte en este tiempo.... Y tantas cosas que decirte..... Pero muchas gracias mi amor por estar a mi lado por entender nuestra situación, por echarle muchas ganas , gracias por apoyarme, gracias por manifestar tu amor, gracias por esperarme a recapacitar pero sobre todo gracias por darme a mi hijo que es nuestra esperanza, nuestra ilusión, nuestra nueva vida, nuestro amor compartido.

Mis Hermanos.

Porque siempre serán parte importante dentro de mi vida, Jaime y Laura muchas gracias por apoyarme (en estos momentos).

A mis amigos

A mis amigos les agradezco su amistad sus conocimientos que me enseñaron y todos esos momentos que vivimos en la universidad los cuales marcaron mi vida muchas gracias.....

Claudia, Pablo, Marisol, Carolina, Noemí, Ruth, Nuria, muchas gracias.

Muchas gracias Susivet por apoyarme en mi trabajo y por tu amistad.

A mi asesora.

Dra. Susana Patricia Miranda Castro, gracias por todo su tiempo dedicado en mí, gracias por ser una excelente maestra y por todo lo que me ha enseñado, gracias por sus buenos consejos.

A mis Maestros

Gracias por todo lo que me enseñaron y por ser parte importante de mi formación académica y profesional.

Miriam, Clara Inés, Guadalupe L F, Carolina, Buenrostro, Paco, José Luis V, Saturnino.

Beer Factory

A mi amigo Iván muchas gracias por tu amistad, por tus conocimientos y tus buenos consejos.

Ing. Enrique gracias por haberme dado la oportunidad de haber trabajado en Beer Factory.

MUCHAS GRACIAS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO," por mi raza hablara el espíritu “.

Contenido

	Pág.
Introducción.	1
Objetivo General.	3
Objetivo Particular 1.	3
Objetivo Particular 2.	3
Objetivo Particular 3.	3
Objetivo Particular 4.	3
CAPITULO 1. Historia de la cerveza.	4
1.1. Historia de la cerveza.	4
Mediterráneo: los inicios de una historia.	4
La ebriedad del guerrero.	6
Por los caminos de Asia.	8
Inmemoriales cervezas chinas.	8
El saké, una cerveza de arroz.	11
Los que se beben la selva.	13
Las cervezas precolombinas.	15
Cerveza andina de maíz.	15
Cerveza de mandioca.	18
La cerveza cósmica de los jíbaros.	19
Cervezas Africanas.	20
La tradición de las cervezas de mijo.	20
En el Este, cervezas de centeno.	24
Del cuerno de beber a la caña.	25
La mujer, madre de todas las cervezas.	25
Dichas y desdichas de la cervecera.	26
La cerveza en olor de santidad.	27
Las corporaciones cerveceras.	29
El desarrollo industrial.	30
CAPITULO 2. Propiedades funcionales de las materias primas (cebada, agua lúpulo, levadura) empleados en la elaboración de cerveza.	35
Introducción.	35
2.1. Cebada.	35
Antecedentes.	35
Características de la cebada.	36
La semilla.	37
La planta de cebada.	38

Conceptos de calidad maltera.	41
Aspectos físicos del grano de cebada.	42
Aspectos bioquímicos.	42
2.2. El Agua.	43
Importancia de los iones calcio y bicarbonato.	45
Requerimientos de calidad y seguridad del agua empleada en la fabricación. de cerveza.	46
2.3. El Lúpulo.	48
El mirto y el romero silvestre.	49
El lúpulo, un postergado pleno de futuro.	50
La Planta.	51
Productos de lúpulo.	53
Extractos convencionales o extractos de caldera.	55
Extractos isomerizados.	55
Extractos especiales.	56
Variedades de lúpulo.	57
Constituyentes de lúpulo.	58
Aroma de lúpulo.	60
2.4. Levadura.	65
Necesidades nutritivas de la levadura.	70
Las necesidades para el desarrollo global de las levaduras de cervecería.	70
Metabolismo del carbono.	70
Metabolismo del nitrógeno.	71
Vitaminas.	71
Iones inorgánicos.	72
Azufre.	72
Elementos metálicos.	73
Magnesio.	74
Calcio.	74
Zinc.	75
Manganeso.	75
Sodio.	75
Potasio.	75
Oxígeno.	76
CAPITULO 3. Descripción de los procesos en los que se sustenta la Elaboración de cerveza:	
Proceso de malteo.	
Proceso de elaboración de cerveza.	77
Introducción.	77

3.1. Proceso de Malteo.	79
3.1.1. Limpieza.	79
3.1.2. Acondicionamiento de la malta.	80
3.2. Remojo.	83
3.2.1. Variaciones de algunas condiciones de remojo.	85
3.3. Germinado.	86
3.3.1. Estructura bioquímica de la cebada.	88
Polisacáridos Amiláceos.	88
Polisacáridos no amiláceos.	88
Proteínas (Nitrógeno).	90
Grasas.	90
Fosfatos.	91
Interacciones.	91
Otros constituyentes.	91
3.4. Secado.	92
3.4.1. Principales sucesos bioquímicos durante el malteado	96
3.4.2. Adjuntos.	99
Trigo.	100
Arroz.	101
Avena.	101
Centeno.	102
Maíz.	102
Triticale.	102
Sorgo.	102
3.4.3. Conceptos de calidad cervecera.	104
Aspectos económicos.	104
Aspectos cualitativos en sentido estricto.	105
3.5. Proceso de elaboración de cerveza.	105
3.5.1. Molienda.	108
3.5.2. Maceración.	111
Maceración por infusión.	114
Maceración por decocción.	118
Doble extracción.	120
Separación del macerado.	122
3.5.3. Filtros del macerado.	124
3.5.4. Características del mosto.	127
Composición de carbohidratos.	127
En el mosto dulce existen cuatro fracciones principales de carbohidratos.	127
Compuestos nitrogenados.	128
3.5.5. Ebullición del mosto.	129
3.5.6. Enfriamiento del mosto.	136
3.5.7. Fermentación.	138
Compuestos de reserva.	144
Sistemas de fermentación.	144

Fermentación discontinua.	144
Fermentación continua.	148
3.5.8. Cerveza posfermentación.	149
Cerveza acondicionada en planta.	152
La filtración tiene tres objetivos.	156
3.5.9. Envasado.	159
3.5.10. Control y garantía de la calidad.	159
3.5.11. Microorganismos que producen alteraciones en la planta cervecera.	162
Bacterias Gram - positivas.	162
Bacterias Gram - negativas.	162
Levaduras salvajes.	164
Hongos.	164
Conclusiones.	165
Anexo 1.(Glosario).	166
Anexo 2. (Estilos de cerveza).	170
Bibliografía.	173

Índice de figuras.

Página

Fig. 1. Espiguillas de cebada de seis hileras (izquierda) y dos hileras (derecha).	37
Fig. 2. Sección esquemática del corte por el eje longitudinal de un grano de cebada.	38
Fig. 3. Espiguilla de cebada de la que se han eliminado las glumas estériles.	39
Fig. 4. Vista dorsal y ventral de una semilla de cebada.	40
Fig. 5. Sección longitudinal del ovario de la cebada.	41
Fig. 6. Características del cono femenino.	52
Fig. 7. Estructura de los α - ácidos y β - ácidos.	59
Fig. 8. Terpenos representativos aislados de los aceites de lúpulo.	61
Fig. 9. Diagrama representativo en sección de una levadura en gemación <i>Saccharomyces cerevisiae</i> vista al microscopio electrónico.	67
Fig. 10. Diagrama de proceso de las operaciones comúnmente aplicadas para la limpieza de granos.	81
Fig. 11. Diagrama de proceso industrial de la transformación de cebada en malta.	82
Fig. 12. Tanques de remojo para el proceso de malteo.	84
Fig. 13. Sección vertical de una caja de germinación neumática.	88
Fig. 14. Estructura de la amilasa y la amilopectina.	89
Fig. 15. Torre de secado y malteado de los granos de cebada.	93
Fig. 16. Gráfica que ilustra la pérdida de agua de la malta y su temperatura durante una deshidratación en un tostadero típico de un piso.	95
Fig. 17. Diagrama de flujo de producción de malta.	96
Fig. 18. Heterocíclicos del oxígeno significativos flavorizante presentes en la cerveza.	99
Fig. 19. Diagrama de proceso general de elaboración de cerveza.	106
Fig. 20. Diagrama de flujo del proceso general de elaboración de cerveza.	107
Fig. 21. Molinos de rodillos para malta.	110
Fig. 22. Sistema de molienda húmeda.	111
Fig. 23. Caldera de extracción por infusión.	115
Fig. 24. Cambios térmicos durante la extracción por decocción.	118
Fig. 25. Diagrama de flujo de producción de mosto por decocción	120
Fig. 26. Representación gráfica de los cambios de temperatura durante una operación típica del procesamiento de doble extracción.	121
Fig. 27. Estructura de un filtro de placas.	126
Fig. 28. Caldera para cocción de mosto con calentamiento por vapor indirecto.	130
Fig. 29. Corte longitudinal de un cambiador de calor de dos secciones para el enfriamiento del Mosto.	137
Fig. 30. Ruta glicolítica de Embden – Meyerhof – Parnas para el metabolismo de la glucosa.	141
Fig. 31. Curso de la fermentación alta típica.	143
Fig. 32. Unitank fermentador discontinuo o tanque de guarda.	153
Fig. 33. Tanque de fermentación y maduración cilíndrico.	154
Fig. 34. Detalle de un filtro de láminas para la cerveza (corte vertical).	157
Fig. 35. Principio en que se basa la filtración a través de polvo (tierra).	158

Índice de Cuadros.

Páginas

Cuadro. 1. Dureza en grados hidrotimétricos.	44
Cuadro. 2. Análisis del agua para cinco estilos de cerveza diferentes.	45
Cuadro. 3. Requerimientos de calidad y seguridad del agua empleadas en la fabricación de cerveza.	47
Continuación Cuadro. 3.	48
Cuadro. 4. Categorías de lúpulo y variedades.	57
Cuadro. 5. Composición de los lúpulos comerciales.	58
Cuadro. 6. α – ácidos hallados en el lúpulo.	58
Cuadro. 7. Estructura de los ácidos α e iso α .	60
Cuadro. 8. Clasificación de los componentes del aceite esencial del lúpulo.	60
Cuadro. 9. Algunos compuestos derivados del aceite esencial de lúpulo hallados en las cervezas.	64
Cuadro. 10. Principales géneros fúngicos en los alimentos.	66
Cuadro. 11. Principales azúcares en el mosto.	70
Cuadro. 12. Precisiones sobre el remojo.	85
Cuadro. 13. Variaciones de algunas condiciones del remojo.	86
Cuadro. 14. Algunas especificaciones típicas de color y atributos del sabor para maltas tostadas.	99
Cuadro. 15. Producción de carbohidratos solubles [g (100 ml ⁻¹)] por las amilasas α y β durante la extracción.	115
Cuadro. 16. Influencia de la temperatura de extracción, la concentración y el pH del agua sobre la fermentescibilidad del mosto dulce.	115
Cuadro. 17. Temperatura y pH óptimo para la extracción por infusión.	116
Cuadro. 18. Comparación de la caldera de empastado, infusión, braceado o extracción, las cubas filtro y los filtros de mosto.	120
Cuadro. 19. Comparación entre las técnicas de infusión, decocción doble extracción y programación de la temperatura.	122
Cuadro. 20. Análisis del mosto y de la cerveza en la elaboración de la cerveza.	161
Cuadro. 21. Análisis de la cerveza terminada.	161
Cuadro. 22. Bacterias lácticas que alteran significativamente la cerveza.	163

Introducción

La cerveza no es solamente la bebida alcohólica mas popular y consumida de nuestro planeta, hablar de ella es hacer referencia sobre las tradiciones y costumbres del hombre, pero sobre todo es hablar de su historia.

La antigua civilización sumeria nos ha legado las primeras fuentes escritas conocidas hasta nuestros días que tratan de la cerveza, las tabletas de arcilla grabados con caracteres cuneiformes se remontan a mas de seis mil años, y se ha encontrado en Jérico restos de una bebida fermentada que se remonta al año 7000 a. J.C.

La cerveza ha debido aparecer, en efecto, en la edad neolítica, desde que los primeros hombres comenzaron a recolectar los cereales y a conservarlos para su consumo posterior.

La llamada sikaru, la bebida que consumían los sumerios en sus ciudades se extendía entre el tigris y el Eufrates (en el emplazamiento del actual Irak) era ya un producto complejo, se mencionan mas de veinte variedades, sirviendo tanto para curar a los enfermos como para pagar a los obreros de los campos de construcción de los templos o incluso para honrar a los dioses.

La fabricación de cerveza se compone principalmente de dos procesos, el primero es la transformación de cebada en malta (Proceso de Malteado) el cual consiste en una germinación controlada en donde se va a incrementar considerablemente el contenido de enzimas amilolíticas, las cuales en el procesos de elaboración de cerveza van a convertir el almidón en azúcares fermentables, asegurándose también el suministro adecuado de aminoácidos y de otros nutrientes necesarios para que la levadura pueda llevar acabo su función, el segundo es el proceso de elaboración de cerveza el cual consiste en producir mediante una infusión de la harina de malta, un mosto azucarado que posteriormente lupulado fermentará la levadura dando origen a lo que se le llama cerveza.

México puede considerarse como un país de producción cervecera mas no de tradición, actualmente ocupa el lugar número siete en producción mundial con 47,179 millones de hectolitros y el lugar numero veintitrés como consumidor, teniendo un consumo percápita de 46 litros por habitante.

El presente trabajo hace una recopilación bibliográfica de la descripción de los dos procesos en los que se sustenta la producción de cerveza (Proceso de Malteo y Proceso de elaboración de cerveza), de sus condiciones operacionales, de sus principales reacciones bioquímicas que sufren las materias primas (cebada, agua, lúpulo y levadura) durante el procesamiento y de su historia, con el objetivo de obtener los fundamentos técnicos y científicos que nos introduzcan en el análisis, en la

optimización, en la investigación y en el desarrollo de aspectos relacionados en la industria cervecera.

Objetivo General.

Realizar una recopilación bibliográfica de la descripción de los procesos en los que se sustenta la elaboración de cerveza (Proceso de Malteado y Proceso de elaboración de cerveza) y de los principales cambios bioquímicos que sufren las materias primas (cebada, agua, lúpulo y levadura) durante el procesamiento, con el objetivo de obtener los fundamentos técnicos y científicos que nos introduzcan en la síntesis, en el análisis, en la optimización, en la investigación y en el desarrollo de aspectos relacionados en la industria cervecera.

Objetivo Particular 1.

Documentar la importancia de la cerveza a través de sus antecedentes históricos.

Objetivo Particular 2.

Recopilar las propiedades funcionales de las materias primas (cebada, agua, lúpulo y levadura) empleadas en la elaboración de cerveza.

Objetivo Particular 3.

Describir el proceso de elaboración de malta de cebada por medio de sus principales operaciones unitarias y de sus principios biotecnológicos haciendo énfasis en la interacción existente con el proceso de fabricación de cerveza.

Objetivo Particular 4.

Describir el proceso de elaboración de cerveza por medio de sus principales operaciones unitarias y de sus principios biotecnológicos.

Capítulo 1

Historia de la Cerveza.

1.1. Historia de la Cerveza.

El descubrimiento de la cerveza se pierde en la noche de los tiempos. Si su primer testimonio histórico data de la civilización sumeria, que hace cinco mil años inventó la escritura, para encontrar sus orígenes es menester remontarse a la prehistoria.

Mientras el hombre se dedica a la caza, la mujer prehistórica recoge, conserva, desentierra y descortiza todo lo que sus manos encuentran. El producto de sus recolecciones, puesto a cocer en agua abundante, produce unas sopas claras y fermentadas de gusto muy fuerte, por lo general ácido, amargo y áspero.

Aquello que no se utiliza durante la estación benigna es almacenado para el invierno. Poco a poco, a medida que se desarrolla el cultivo de los cereales y el almacenamiento permite preparar diversos tipos de harina, el gusto se vuelve más exigente y la cocina empieza a refinarse. Los caldos ácidos y transparentes dejan paso a las sopas ásperas de sabor más suaves ⁽⁶⁾.

Así pues, nuestra gourmet del paleolítico, experta en fermentaciones ácidas, no tarda en aplicarse a dominar la fermentación alcohólica. Todo depende de la sopa inicial, de la temperatura ambiente y de las levaduras silvestres que una tras otra va probando. El “kwasz” de los rusos a base de centeno o de alforfón, de trigo o de cebada y la “braga” de los eslavos hecho de mijo no se encuentran muy lejos de aquellas primeras sopas, a medias, pan de beber, a medias cervezas fermentadas, que también conocieron los babilonios.

Hay que destacar que, por una vez, el azar no compareció a la cita. Nada tuvo que ver el cazo de sopa olvidado al sol: desde su mismo nacimiento la cerveza fue cuestión de tecnología. Si los hombres han obtenido preparados de calidad cada vez mayor, fue con la ayuda de la experiencia acumulada y de innumerables tanteos. A partir de este tronco común, cada continente puede enorgullecerse de haber creado su propia variedad ⁽⁶⁾.

Mediterráneo: los inicios de una historia.

Es en Súmer, en la Mesopotamia, donde se encuentran las primeras huellas escritas de la existencia de la cerveza. Numerosas tabletas de arcilla hacen mención, 4000 años AC, de una bebida que se obtiene de la fermentación de granos y se llama “sikaru”.

¡En esta civilización del cereal, el 40 por ciento de la producción de cebada, de espelta, de trigo y de mijo va a parar a la cervecería!

Las mujeres fabrican panes malteados de cebada que luego dejan fermentar en agua, al cabo de tres o cuatro días, provistos de canutos de paja o de caña. Los catadores prueban una cerveza en la cual aún se ven flotar residuos sólidos. A estas alturas ya hay para todos los gustos: se ofrecen a la degustación más de veinte clases de cerveza, y el brebaje sirve para todo: para pagar a los trabajadores, para curar a los enfermos, para honrar a los dioses ⁽⁶⁾.

Dos mil años más tarde, el advenimiento del imperio babilonio propinó un buen golpe a la industria cervecera. Los nuevos amos de babilonia reglamentan estrictamente tanto la venta como el consumo de los productos de la cervecería, tal como se puede apreciar en dos artículos del código de Hammurabi (siglo XVIII AC):

“En caso que una taberna haya rehusado recibir cebada en vez de cerveza, y haya aceptado en cambio recibir dinero en grandes cantidades, o en caso que haya reducido la cantidad de cerveza en relación con la cantidad de cebada, se procederá a condenarla y se arrojara al agua”. (Art. 108) ⁽⁶⁾.

“Cuando una sacerdotisa que no pasa la noche dentro del claustro abra la puerta de una taberna o entre en ella a beber cerveza, esa mujer será quemada” (Art. 110).

Hacia el año 600 AC. Los cerveceros del imperio se han convertido en personajes tan considerables que se ven libres del reclutamiento obligatorio. No obstante, durante las campañas, deben de acompañar a los ejércitos para mantenerlos bien provistos de pan y de bebida.

Uno tras otro, los pueblos conquistados descubren la “siraku”. Tal es el origen de la palabra hebrea secar, que significa “hallarse o ponerse en estado de ebriedad”. En esa tierra de viñedos que es Palestina, la cerveza se abre un espacio tan notable que con el tiempo surge la necesidad de denunciar los abusos:

“¡Ay de vosotros, los que os levantéis de mañana a beber “shekar” y llegáis a la noche ebrios de vino ¡ “ (Isaías, 5.11)

Del “shekar”, por otra parte, no es mucho lo que se sabe, excepto que probablemente se trataba de un vino de cebada fabricado según la costumbre asiría o egipcia.

Pues lo cierto es que también Egipto durante mucho tiempo considerado erróneamente, cuna de la industria cervecera, no hizo sino retomar y desarrollar las técnicas de los mesopotamios. La cerveza, don divino colocado bajo la protección de Isis (diosa de los cereales) y de Osiris (patrono de los cerveceros), es allí sobre todo una bebida ceremonial vinculada al culto de los muertos ⁽⁶⁾. Desde los tiempos de la primera dinastía (3315-3100 AC) se encuentran residuos de cerveza en las jarras del

cementerio de Abú Roach. Atum, creador de la primera pareja divina, habla del siguiente modo por boca de un muerto.

“He venido a vosotros en la apariencia de Quien- es- hijo- y- es-hija, y me siento en mi trono que está en el horizonte; recibo las ofrendas de mis altares, al caer la noche bebo los cántaros de cerveza en está mi dignidad de Señor de todo” (Libro de los Muertos).

Hacia el 2100 AC la victoria de los tebanos subvierte la estructura social del imperio. Dejando atrás su estatuto de poción de ofrendas religiosas, la cerveza se convierte en bebida de hospitalidad, moneda de cambio y base de pagos de salarios. El faraón la distribuye entre el personal de los templos y abren sus puertas numerosas casas de cerveza. Cada ciudad produce para sus propias necesidades. Muy pronto, sin embargo, el alza del consumo y los inicios de la exportación hacia el Mediterráneo impulsan la creación de verdaderas industrias cerveceras en ciudades del delta del Nilo tales como Pelusa (en la actualidad Port Saïd)⁽⁶⁾.

La ebriedad del guerrero.

La Europa bárbara no escapa a la regla general: en todo lugar donde se cultive la cebada o la candela, se fabrica cerveza.

Si la primera fuente histórica de la cerveza se encuentra en Oriente Medio, existe asimismo otra sin duda igualmente antigua: es aquella que se sitúa en el norte de Europa, mas o menos en el territorio que hoy en día ocupa Dinamarca. Es allí donde se ha encontrado, proveniente de la edad del bronce nórdica, un recipiente de corteza cocida que contiene los restos de una bebida hecha de la fermentación conjunta de cereales, miel, bayas y mirto⁽⁶⁾.

En el curso de esta edad de bronce, hacia el año 1500 AC, las conmociones climáticas el terrible invierno de Fimbul, impulsan a esos pueblos de cerveceros nórdicos a dirigirse hacia el sur. En poco más de un milenio ocupan poco a poco la actual Alemania, Holanda y el norte de Francia, reemplazando a los celtas, que más tarde se verían obligados a colonizar las islas Británicas e Irlanda.

Habrá que esperar al año 400 AC para que Europa conozca una paz relativa. Escandinavos, germanos y celtas, aunque celosos de sus respectivos territorios, comparten entonces una misma cultura en la cual la cerveza ocupa un lugar de excepción. En esta época, el cuerno de beber circula de la Península Ibérica a las orilla del Vístula, del mar Báltico al Adriático.

Tan solo subsisten dos enclaves donde el vino sigue siendo el amo y señor: la Grecia clásica y el sur de Italia, incluida Sicilia. Pero en la periferia del mundo griego, Dionisio,

que más tarde llegara a personificar el zumo de la parrá, aún sigue siendo el dios de la cerveza y de sus ritos ⁽⁶⁾.

Entre las belicosas tribus provenientes del norte, la cerveza es bebida de guerreros, poción de héroes, trofeo de la batalla entre los gigantes y los dioses. También es símbolo de prosperidad: cada vez que los graneros desbordan de malta, la cerveza corre sin medida para honrar a los dioses ⁽⁶⁾.

Durante los combates, se encuentra que son las valquirias que sobrevuelan el campo de batalla- quienes escancian la cerveza a los bravos. Y tanto en el Valhöll nórdico como en el Walhalla germánico la bebida llena incesantemente las copas de los guerreros muertos.

En el año 279 AC., tribus celtas llegadas al norte devastan la ciudad de Delfos, una vez en el cual no se desprenden de sus hábitos guerreros. Posidonio refiere cómo los celtas “beben vino de cebada” y organizan grandes festines: “... Tras haber cubierto el suelo de heno, preparan unas mesas bajas de madera... Si los convidados son muchos, se colocan formando un círculo, quedando en lugar central reservado al más honorable de la partida, ya se trate de un jefe militar, de un héroe cuya destreza se tenga en la más alta estima, de un noble de alto linaje o de un hombre notable por su riqueza. Junto a este individuo se coloca el anfitrión y a continuación, a uno y a otro lado, el resto de los comensales según su condición. Detrás de ellos, de pie, se mantienen los encargados de sostener los escudos y las armas... Los que sirven la bebida aportan copas de barro cocido de plata, no menos adornadas que los calderos...”

Con la ayuda de la ebriedad, la liberación se convierte en torneo de bebedores y abre la puerta al juego de la muerte. Los propios dioses ofrecen ejemplos de lo fácil que resulta este tránsito de la cerveza a la sangre. En el banquete ofrecido por Aegir, dios del mar y cervecero de los Ases, su esposa Ran, que personifica la niebla, es una abastecedora por demás extraña y terrible ⁽⁶⁾.

“... En aquel banquete todo parecía servirse solo, alimento, bebida y cuanto accesorio fuese necesario. Fue entonces cuando los Ases descubrieron que Ran tenía una red en la cual apresaba a todos los seres humanos que aproximaban por mar.” (Skáldskaparmál.)

Tampoco deja de ocurrir que sean los asuntos de familia los que puedan zanjarse “definitivamente” en el curso de los banquetes. El celeberrimo, Ciclo de Sigurdr, que se encuentra en los orígenes de la Niebelungenlied germánica, narra la venganza de Gudrun, quien hace beber a Atli, la sangre de sus hijos mezclada con cerveza y servida en sus propios cráneos ⁽⁶⁾.

Las sagas noruegas e islandesas son ricas en estas clases de interminables ciclos en cuyos momentos álgidos, situados en festines de cervezas, los protagonistas se lanzan maleficios, preparan cerveza emponzoñada o incluso alzan en armas la sala entera del banquete. El propio cuerno de beber oficia en ocasiones de objeto mágico para la protección de su propietario: grabado con signos rúnicos enrojecidos con sangre, ese cuerno es también un talismán. Al circular de mano en mano, comunica a todos los convidados un poco del carácter sagrado de la cerveza que el gran sacerdote, el jefe del clan o el sacrificador consagra a Thor, a Odín o a cualquier otra divinidad ⁽⁶⁾.

Mucho más tarde le tocara a una Europa ya cristiana descubrir con espanto a los vikingos, poseídos de una insaciable sed de depredación y de cerveza. Tras haber retrocedido frente a la avanzada del vino cristiano, la cerveza vuelve a bajar al mundo mediterráneo a bordo de las drakkars danesas o noruegas; pues los vikingos, extraordinarios navegantes, embarcan suficientes cantidades de malta y toneles de agua para fabricar cerveza a bordo. De este modo pueden ofrendar a Ran o a Aegir la bebida que los mantendrá a salvo de naufragios y vientos adversos, procurándose al mismo tiempo una vitaminada medicina contra el escorbuto.

Hacia finales del primer milenio de nuestra era las expediciones vikingas hacia el sur de Europa se tornaran más raras. Los terribles saqueadores se convierten en pacíficos aldeanos, estableciéndose en las regiones conquistadas. La edad de oro de los vikingos toca a su fin, y con ello culminan los últimos grandes movimientos de población Europea.

Alrededor del año 1000 ya se dibujaba nítidamente la separación hoy conocida entre una Europa del vino y otra de la cerveza.

Utilizando para su beneficio el sentido primigenio de la liberación nórdica, la progresiva cristianización de Escandinavia permite a la cerveza mantener su preeminencia en la Europa del Norte. En definitiva, la consecuencia última de la nueva religión será la transformación de la “cerveza del guerrero” en bebida de uso doméstico ⁽⁶⁾.

Por los caminos de Asia

Inmemoriales cervezas chinas.

Ya se trate de la fabricación de cerveza, del fundido del bronce o de la agricultura, los chinos adquirieron un saber empírico evolucionando mucho antes que los accidentales y con mayor rapidez. En el dominio de la cerveza, la primacía de los sumerios es meramente cronológica. Técnicamente fueron los chinos los responsables de las

innovaciones fundamentales. Mientras que, entre el año 3000 y el 2000 antes de nuestra era, tanto babilonios como egipcios no dejan de practicar la arcaica preparación de panes de cerveza. En China ya se pasa a privilegiar el elemento líquido.

A partir del segundo milenio anterior a nuestra era, los más antiguos textos hablaban del “tíen tsiou” y del “tsiou”, dos estados líquidos de la cerveza, que en ese momento se produce con mijo. “Tíen tsiou” es la cerveza todavía verde, apenas clarificada, cuyo proceso de fermentación no se ha cumplido del todo; “tsiou” es, por lo contrario, la cerveza final, bien aclarada ya al haber culminado la última de las fermentaciones ⁽⁶⁾.

Para los chinos de la época, la cerveza encubre dos principios: el elemento líquido, propenso a descender, y el elemento espirituoso, que tiende a subir. Dicho de otro modo, el agua y el fuego, que junto con la madera, el metal y la tierra conforman los cinco elementos del pensamiento Chino. Bebida ritual ofrecida a los difuntos, este líquido precioso, derramado en la tierra durante los funerales, irá a unirse con el alma corporal oculta en las profundidades, al tiempo que su perfume, elevándose hacia el cielo, procurará la satisfacción del alma “celeste”.

Tanto el pensamiento como el ritual chinos hacen pesar severas interdicciones sobre el empleo del líquido embriagador. Para beber al abrigo de un techo en la China imperial no faltan albergues. Pero si bien se tolera la ebriedad en sí misma, el hecho de beber en público se castiga severamente.

No es solo fuera del palacio donde el uso de la cerveza se halla estrictamente codificado. Los vasos rituales confiados al rey, autoridad suprema, no deben dar pábulo a la corrupción sino a la costumbre de honrar al cielo, haciendo subir hacia el agradable aroma de una virtud perfecta. Notable sabiduría política: cada vez que, en lugar de elevarse hacia lo alto, el principio espiritual de la cerveza se consagra a emborrachar a los dignatarios, la paz del reino se ve amenazada y el poder del príncipe no tarda en ponerse en entredicho....

Poco a poco la religión del Yangtsé, “bárbara” al principio y más tarde sometida lentamente a la influencia del norte, va siendo colonizada. Entran así en oposición dos modos de vida, dos tradiciones: los cultivadores de tierras del norte, consumidores de mijo y de trigo, contra los barqueros y marinos del sur, comedores de arroz. El advenimiento de la dinastía Han, en el siglo II AC, señala los comienzos del imperio de la China, que se extenderá desde las etapas mongolas hasta el sur del río Yangtsé. A estas alturas ya se conoce en China tres clases de cerveza: la “shu”, ancestral producto de la fermentación del mijo, la “li” una cerveza de arroz muy suave y casi incolora llevada a la corte por dignatarios del sur, y por último la “chiu”, una bebida de candeal de color claro, más amarga que las otras y que exige un tiempo de

preparación más largo. Cada una de ellas existe a su vez en tres calidades distintas, según el grado alcohólico, la intensidad del sabor y el grado de clarificación. ¡Cómo para satisfacer a la clientela más exigente!

En el año 605 el emperador Yang Di decide construir un gran canal que ha de unir a los ríos Yangtsé y Amarillo. Súbitamente las técnicas de elaboración conocidas en el norte entrarán en contacto con la china arrocerera. Las cervezas de arroz consumidas en el sur, para las cuales se aplicaban a partir de entonces las ancestrales técnicas desarrolladas en el norte, no tardan en difundirse en toda china, al tiempo que “chiu” se convierte en el nombre genérico de toda cerveza ⁽⁶⁾.

Bajo la égida de la dinastía Tang (618-907) aparecen las cervezas de estación. En base a las levaduras seleccionadas y cultivadas durante el sexto o séptimo mes lunar, se prepara una “chiu” de invierno que se pone a la venta durante el mes noveno. La cerveza más popular es la “chui” de primavera, que acompaña, a comienzos de febrero, las grandes celebraciones de renovación.

Junto a las cervezas de estación florecen las especialidades. Algunas son nacionales como la p’ei, que no se filtra y es más conocida bajo el nombre popular de “hormigas flotantes” debido a que los restos de granos que se conservan en el líquido. Otras son regionales, como la “sang-lo”, bebida de arroz de la región de Su-chou particularmente estimada por la nobleza ⁽⁶⁾.

La dinastía Song (960-1278) introduce dos novedades: el champa, un arroz originario de Vietnam que posibilita de dos a tres cosechas anuales, y una de cuyas variedades, fuertemente rica en gluten, será rápidamente empleada por la industria cervecera; y en segundo lugar el sorgo, llamado kaoliang, que se cultiva a pequeña escala en la provincia de Se-Chuan y será utilizado para fabricar una cerveza harto densa del mismo nombre.

Así será que para cuando Marco Polo atraviere China, poco después de la caída de los Son, no habrá de mencionar más que el consumo de la cerveza de arroz sazónada. Uno de sus compatriotas, que a partir de 1310, dedica 13 años a explorar Asia, refiriéndose a China no habla mas que del *vinum de riso*. A todo lo largo del país la cerveza de arroz se ha impuesto a sus contrincantes ⁽⁶⁾.

Una vez atrás los difíciles momentos de la dominación mongola, bajo la dinastía Ming (1368-1644), China reprende su andadura económica. A fin de tener bien llenas las bodegas de cerveza del emperador y aprovisionar esa verdadera ciudad que es el palacio imperial, los Ming crean manufacturas estatales de dimensión industrial. En cuanto al mercado libre de la cerveza, al igual que el del té y el de la sal se ve sometido a controles e impuestos para mayor provecho del tesoro imperial ⁽⁶⁾.

La última dinastía imperial China, la dinastía manchú de los Tsing, no aporta ningún cambio notable a la tradición cervecera.

Junto a una cerveza nacional muy densa, fuerte en alcohol y a menudo dulce, casi alicorada, el favor de los aficionados se lo reparten ciertas especialidades regionales más secas o más ásperas. A partir del siglo XVIII los chinos empiezan a emplear el lúpulo para fabricar cervezas amargas. Lo almacenan en capas sucesivas, siguiendo el modelo de los ladrillos del té.

El siglo XIX marca la decadencia del poder manchú. En Tsing Tao, ciudad célebre por la pureza de sus aguas, se instala una colonia Alemana. Allí se construye una fábrica de cerveza al estilo Europeo, al mismo tiempo que los soldados alemanes encuentran sabrosa la cerveza china importada por los establecimientos más afamados de Berlín, los chinos traban conocimiento con un nuevo tipo de producto y una técnica de fabricación por ellos desconocida.

En la actualidad la República Popular, exporta algunas de estas cervezas a la europea, cervezas de cebada con una fuerte proporción de arroz, pálidas, cristalinas y de un sabor muy fino: la renombrada “Tsing-tao”, o bien las “Shangai Beer”, “Pekín Beer”, “Xian Beer” o “Snowflake Beer”, Beer es la palabra inglesa que se emplea para las etiquetas de exportación, porque para el mercado interior se usa el término “pijiu”: es así como china distingue estas cervezas de fermentación baja de sus propias bebidas, las tradicionales “chiu”, llamadas “chiew” fuera del país ⁽⁶⁾.

El saké, una cerveza de arroz

Entre las cuatro o cinco nociones que configuran el Japón imaginario de los occidentales, hay al menos una completamente falsa: aquélla que pretende que el “saké” es un aguardiente, cuando en realidad se trata lisa y llenamente de una cerveza de arroz. En el proceso de preparación del saké no entra sombra alguna de destilación o maceración en alcohol. Ciertamente es que las apariencias engañan: con una graduación de entre 10 ° y 20°, es la cerveza más fuerte del mundo. Brillante o ligeramente lechosa, por lo general es incolora, carece de espuma y no burbujea.

Al igual que la “chiu” china, el “saké” se prepara mediante el braceado. El arte de bracear reposa sobre la fabricación del “Koji”, esa masa de arroz cocida, secada y puesta a fermentar en millares de litros de agua muy calcárea. Una vez cumplidas sus dos fermentaciones, el saké fresco, un poco joven aun, se decolora mediante carbón activado y se pone a madurar durante seis meses a temperatura baja y la sombra.

En la tradición nipona, el “saké” siempre ha estado vinculado al poder masculino, a la guerra y a las acciones esplendorosas. El *Kojiki*, ese texto escrito en el año 712 por

encargo del emperador Temmun, refiere como el legendario héroe Majestuoso-Masculino-Poderoso-Veloz capturó la boa de ocho cabezas de koshi. Para ello, ocho veces fabrico saké fermentado y se rodeo de una valla con ocho puertas ⁽⁶⁾.

Bebida del guerrero, el saké también fue el arma solapada que permitió someter a las tribus Ainu del norte. Estos primitivos habitantes de las islas Hakkaido-Sajalín vivían de la caza y de la pesca, dentro de un sistema comunitario que excluía toda clase de poder, hasta que descubrieron el saké.... Puesto que no practicaban la agricultura, no tenían modo alguno de prepararlo ellos mismos, y poco a poco debieron ir aceptando las leoninas condiciones de trueque impuestas por los japoneses: un litro y medio de saké por una piel de marta de Sajalín, abrigo este de gran calidad, muy apreciado, cuyo valor superaba con largueza el del desgraciado litro y medio de saké.

Muy pronto la ávida búsqueda de aquella bebida perfumada acabó por someter a las tribus Ainu, que durante mucho tiempo habían rechazado toda presión militar.

Pero el estudio del saké revela al mismo tiempo no pocos encantos. Los saké no sakana suelen servir la bebida fría, con un poco de sal, en un recipiente de madera; o más a menudo aún caliente en pequeñas copas llamadas "sakazuki" o "guinomi", según sea su forma. Calentado al baño maría en los denominados tokkcuri y servido a una temperatura de entre 40° y 50° C, desprende un fuerte perfume de cereal cuyo espíritu se resuelve en una impresión ácida ⁽⁶⁾.

Su secreto reside en el sorprendente contraste entre este aroma picante y un sabor muy dulce. Pues resulta ser que el alcohol de saké, no va acompañado de ninguna astringencia cortante. Al servirse caliente, la acidez residual se evapora por completo. Una vez degustada una minúscula sakazuki, el saké deja en el paladar un regusto afrutado. ¡Más que tener en cuenta, que esto es irrepetible! Un saké solo puede calentarse una vez: ¡si se lo vuelve a someter al calor, no servirá más que para la cocina!

El saké, varias veces milenario, detenta un lugar predominante en la vida cotidiana, los ritos agrarios y el cultivo del arroz. Desde hacía ya mucho tiempo desempeñan en la sociedad japonesa un papel de excepción cuando en los años 805 fue introducido en el país el té o "cha". Propagado por la secta budista Tendai y adoptado súbitamente por el emperador, el té reservado en un círculo de iniciados, desempeña más bien un papel religioso y filosófico.

Alejado de las búsquedas espirituales de los templos zen, del recogimiento ceremonial de las casas de té, el saké tiene que ver con la fiesta, con el desbordamiento público. En la taberna, donde la gente se mezcla, el saké ocupa un sitio de honor. En toda ocasión se empieza por ofrecer saké, y existe la convicción de que obligar a los invitados es divertido, escribía hacia 1330 el monje Urabé Kenkó, condenado al saké

por ser causante del desarreglo de los tocados ceremoniales, de la risa de las mujeres, de los bailes y los cantos desenfrenados... ¡y hasta de hacer brincar a los mas ancianos bonzos!

Así como el té, un legado de china, testimonia la larga dependencia cultural japonesa de los fulgores del imperio del Medio, el saké, vinculado a la ancestral cultura nipona del arroz, es tan viejo como el Japón mismo. Ni siquiera el arrollador empuje de la industrialización ha logrado aniquilar los ritos agrarios y las fiestas de la divinidad del arroz, en las cuales el saké brilla con alta majestad ⁽⁶⁾.

Una creencia muy antigua pretende que los dioses se reúnen en Izumo durante el décimo mes del año ritual (kami nashi- zuki: mes en el que se fabrica el saké, para disfrutar de la bebida y platicar sobre la vida familiar de los humanos.

Otras costumbres es la de celebrar kiku-en, o banquetes de crisantemos, en el curso de los cuales se bebe saké aromatizado por esas flores y acompañado de arroz cocido y castañas. ¡Durante el decimoprimer mes se hace beber saké a los más pequeños para garantizarles una buena salud! Y todavía hoy, dentro de la tradición sintoísta osonaé para obtener de los dioses trabajo y seguridad. Los trabajadores de los suburbios de Tokio colocan una fuente llena de arroz, mandarinas y saké sobre la máquina más peligrosa de la fábrica: se trata de un derivado del fuigomatsuri, fiestas de los forjadores. Después de la labor, los obreros vuelven a encontrarse en las innumerables nomiya de la ciudad: con una linterna de papel a modo de insignia y las cortinas velando la vista del interior, dentro del minúsculo bar una afectuosa mamasan sirve saké caliente o saké con hielo a una decena de abstraídos clientes⁽⁶⁾.

Los que se beben la selva.

Hace ya milenios que los habitantes del sudoeste asiático practicaban el desbrozamiento: tras haber delimitado una porción de selva proceden a quemarla, luego la cubren con ceniza y por fin cultivan legumbres, hortalizas y sobre todo arroz. Cada predio de selva quemada se considera terreno salvaje domesticado por el hombre, alimento obtenido de la naturaleza.

Dicho de otro modo, practicar esta costumbre es para los hombres algo así como comerse la selva. ¡Y no contentos con comérsela, también se la beben! Pues ocurre que el arroz, porción esencial de la cosecha, en buena parte se transforma en cerveza. “Topai” entre los joraïs, “tornóm” entre los Sres., “rnööm” entre los mnongs, vino “möi” en Tailandia, “pachwai” en el noroeste de la India, allí donde los hombres estén vinculados a la selva por cultivo del arroz sobre monte quemado, la cerveza de este cereal se encontrará en primer plano de las ceremonias destinadas a granjearse la

benevolencia de las divinidades y honrar el espíritu del arroz – el paddi primordial, base de toda alimentación- que sea propicio.

Todas las etapas de la transformación de un espacio selvático salvaje en campo de cultivo van acompañadas de ritos y sacrificios en el curso de los cuales la cerveza sirve de intermediaria entre el hombre y los espíritus. La ofrenda de cerveza al espíritu del arroz señala el comienzo del ciclo agrario ⁽⁶⁾.

Entre los moïs, esos hombres de la selva que los habitantes de las costas califican de salvajes, todas las fiestas agrarias, todos los acontecimientos, por ínfimos que sean, sirven de pretexto para consumir cerveza. Privados del arroz, alimento básico, estos individuos serían pobres; pero sin la cerveza de arroz la comunidad misma se hallaría en peligro. Hombres, mujeres y niños buscan en la ebriedad colectiva un momento de olvido, un tiempo para el juego y la holganza, un lapso durante el cual se desvanezca la áspera frontera que media entre el mundo de la aldea y el de la selva ⁽⁶⁾.

Pero los hombres de la selva no se encuentran en los efectos inofensivos y demasiados provisionales del alcohol. A fin de atravesar la frontera, “marchar hacia la selva” olvidar los códigos de la aldea, les son precisas porciones de efecto mucho más poderoso. Es en este punto donde intervienen las mujeres. Para estar en condiciones de hacer el viaje a la selva, antes que nada, es menester hacerse con aquellas plantas poseedoras del poder mágico de hacer soñar, tubérculos y cortezas de efectos narcotizante. Las mujeres joraïs distinguen el topoï, fermento de cerveza, del joraö, conjunto de plantas rayadas, molidas, machacadas y luego amasadas con la bola del fermento. Es la mezcla topoï-joraö de donde se obtiene el poder del olvido, del exceso y de la superación.

Sería muy difícil delimitar los efectos respectivamente afrodisíacos, narcóticos o simplemente euforizantes debido a las sustancias vegetales empleadas, pero no cabe duda de que la cerveza mezclada con drogas, es de una categórica eficacia. Hasta los más resistentes sucumben y pierden el control antes de caer en el embotamiento. Al día siguiente se bendecirá a las mujeres si han producido una buena cerveza, es decir, si la bebida ha permitido a los hombres acceder al olvido, perder su identidad, “marchar a la selva”.

En tierras de la India, los efectos buscados son más precisos. Las mujeres de Asma, y sobre todo de Orissa y de Bengala, preparan el “pachwai” a base de arroz decorticado, emblanquecido y cocido al vapor. También en este caso es de radical importancia la confección del fermento, el “bakhar” que con mucha frecuencia contiene hierbas y hojas molidas destinadas a perfumar la cerveza... y a darle un poder estupefaciente. ¡Plantas entre las cuales se encuentra el *Cannabis sativa*, de bien conocidos efectos!

En ciertas regiones de indochina, cuyos habitantes experimentan por la selva contradictorios sentimientos de miedo y de atracción, la alianza entre la droga y la cerveza llega a ser tan fuerte que algunos pierden el equilibrio y quedan seducidos para siempre por la vegetación, la locura y la pérdida de identidad. De estos poseídos por el espíritu de la selva suele decirse que “la cerveza les ha hecho mal” (töpi rwa) ⁽⁶⁾.

Las cervezas precolombinas

Cerveza andina de maíz

Si en todo el mundo la cerveza es mucho más que una simple bebida, si desde sus orígenes ha sido investida de un carácter sagrado, es porque siempre se la produce a partir de un elemento básico, reverenciado como condición esencial de la supervivencia del respectivo pueblo. El maíz, cultivado en México desde hace seis mil años y desde hace cuatro mil en la cordillera de los andes, es la planta sagrada de estas dos regiones. Una vez más, pues, la cerveza será el vehículo de su culto ⁽⁶⁾.

-La cerveza solar. Es el centro del Perú, entre los años 700 y 200 AC, donde los indios ponen los fundamentos de un culto del sol que viene a reforzar la ancestral devoción al dios maíz. Doble adoración esta de la cual, catorce siglos mas tarde, se nutrirá el poderío incaico.

El primer milenio de nuestra era, sirve de marco al desarrollo de la actividad económica y la creciente unidad cultural de una región que se extiende desde el ecuador hasta Chile. Diez siglos durante los cuales el maíz se impone en todas las comunidades agrícolas, a veces a costa de impresionantes trabajos de trazado de terrazas e irrigación en plena montaña.

Muy pronto la región del lago Titicaca se convierte en relevante centro religioso. Desde muy lejos se acude a sus santuarios a realizar ofrendas de cerámica, pescado, chunio (conserva de patatas) y cerveza de maíz. La ofrenda del “aca” cerveza es un símbolo de reconocimiento a la intercesión de las divinidades benefactoras. El indio ofrece a Viracocha, creador de la divina pareja Sol-Luna, sostén del mundo y dios civilizador, obrador de la luz, de la tierra, de la vida y de las plantas, el líquido de maíz fermentado es agradecimiento por las bondades de la existencia.

Al exigir su parte de los beneficios concedidos a los hombres, las divinidades andinas aprecian tanto las prendas de vestir preciosas o la cerámica, como la coca y la cerveza de maíz. Entre las ofrendas más apreciadas se encuentran el cobayo y la llama, pero el pobre que nada posee entrega parte de lo que ha producido. De la misma manera, las atenciones consagradas a los muertos nunca omiten una medida

de “aca”, depositada sobre la tumba o vertida directamente sobre el difunto por un conducto de caña. De tal modo mimados, los muertos mocha de su cerveza y ni siquiera soñaban con perturbar a los vinos.

Centro radiante de todos los poderes, el emperador, Sapa-Inca, vivía en el Cuzco rodeado de su cuerpo administrativo. El personal femenino del palacio, integrado por las célebres Vírgenes del sol, se hallaba dirigido por la coya pacsa, quien pasaba por ser la esposa terrestre del dios inti. A las vírgenes del sol les correspondía proveer al Inca de cómoda y bebida ⁽⁶⁾.

El mas grande de los establecimientos que les estaban reservados se encontraba en el Cuzco; en él no residían menos de cinco mil muchachas. A algunos cientos de kilómetros de la capital, el antiquísimo santuario del lago Titicaca, albergaba permanentemente mil doncellas que tejían los mantos preciosos y fabricaban la cerveza ceremonial para el templo del sol. La elaboración demandada, antes de la fermentación, la masticación de la pasta cocida de maíz. Solo la saliva de las doncellas, no siempre puras pero en todo caso apartada del intercambio sexual en el periodo de elaboración, era capaz, se creía, de hacer que la cerveza fermentase ⁽⁶⁾.

Escogidas a lo largo y ancho de todo el imperio, aquellas vírgenes que ya no se dedicaban a preparar el “aca” y no se convertían en concubinas del inca o del más alto funcionario tarde o temprano eran inmoladas al sol. Convenientemente embriagadas con cerveza, las jóvenes eran estranguladas o apuñaladas mientras en torno a ellas se quemaban hojas de coca, tapices de lana de vicuña y los sacerdotes ofrecían a los dioses libaciones de cerveza ⁽⁵⁾.

Cada mes lunar era marco de sus correspondientes ceremonias y sacrificios. De todos estos fastos, la fiesta solar del solsticio de junio. Era quizá la más importante. Esta grandiosa ceremonia practicada para mayor gloria del Sol, reunía tanto al pueblo del Cuzco como a los notables de todo el imperio. Descalzos, los participantes aguardaban el alba. Al salir el sol, arrodillados y con los brazos abiertos le dirigían besos, al tiempo que el Inca, hijo del astro y único que se mantenía en pie, tendía a su padre dos grandes vasos llenos de cerveza invitándole a beber al de la derecha. Una vez el dios sol había aceptado la ofrenda, reafirmando así los sagrados vínculos que lo unían a su hijo, el Inca vertía en el suelo el contenido del vaso de la derecha y bebía el vaso de la izquierda ⁽⁶⁾.

El gran eclipse. ¡Terrible ironía de la historia! Una ceremonia privada pero de todo punto parecida, se desarrolla en el campo de Cajamarca, donde el Inca Atahualpa, en noviembre de 1532, recibe en embajada a Hernando Pizarro. Como buen conquistador, Hernando de Soto, compañero de Pizarro, encárnese al emperador y le derrama sobre la túnica las babas de su caballo. Celoso del protocolo e inquieto por

ganarse el favor de tan arrogante extranjero, Atahualpa ordena servir cerveza en dos copas de oro, una de la cuales ofrece a Pizarro mientras el vacía la otra. Tal era la costumbre cuando se recibían huéspedes de alcurnia; el hecho de beber la misma cerveza en vasos de oro asociaba a Pizarro con la divinidad solar Inca.

Lo que sigue, es bien conocido. La noche del 16 de noviembre de 1532 los españoles arrancan a Atahualpa del lecho; cautivo, el Inca es asesinado el 29 de agosto de 1533. Saqueo de templos, atrocidades gratuitas, reducción de pueblos indios enteros a la esclavitud, apropiación de tierras, trabajo forzado en las mismas, brutales conversiones a la nueva religión: el periodo más doloroso de la historia de los indios se abre con la dominación española. En realidad, aquellos falsos dioses que habían aceptado la invitación de Atahualpa a beber cerveza joven en copas de oro, solo tenían ojos para el metal y desde el comienzo habían proyectado la muerte del Inca.

En cuanto a la cerveza de maíz, los soldados españoles no vieron en ella, más que una bebida alcohólica indígena de la cual, sin duda, hicieron buen uso, al punto de llegar a desdeñar los vinos que hacían traerse especialmente de Europa. La bautizaron Chicha, nombre tomado de las tribus de costa rica, Panamá y Colombia que hablaban el chibcha y eran inveteradas consumidoras de cerveza de maíz.

A partir del siglo XVI la América Indígena pasa a convertirse en América Latina. Los conquistadores vuelven a encontrar la cerveza la cerveza de maíz en todo el continente. "Las tribus de Orinoco", refiere el padre Gumilla "valiéndose de la fuerza de los brazos femeninos, hacen unos panes de maíz triturado que luego, envuelto en hojas, cuecen en grandes recipientes de agua hirviente: este pan, llamado caïzo, se pone a escurrir, se amasa por segunda vez y vuelve a sumergirse en ingentes cantidades de agua. Reducidos a polvo, al tercer día estos panes semejan un mosto del cual resulta al fin cierta chicha o cerveza buena para la salud siempre y cuando se la beba con moderación "

Conjuntamente con las tropas Españolas desembarcan los jesuitas, encargados de evangelizar a los indios. La compañía se aplica con increíble encarnizamiento a prohibir a los nativos que consuman chicha, íntimamente vinculada a los ritos agrarios de su religión. En un vano esfuerzo: constreñidos a abandonar sus creencias, lenguas y costumbre, los indios se refugian precisamente en la chicha para intentar olvidar el estado de esclavitud en el cual se ven sumidos. De rito originario, la cerveza de maíz pasa hacer bebida cotidiana y pronto el alcoholismo comienza hacer estragos ⁽⁶⁾.

Toda la forma de fabricación de la cerveza se ve alterada por el proceso colonizador. Antes de la llegada de los conquistadores, además de la masticación femenina los indios conocían otro método: hacían germinar el maíz muy humedecido, lo sacaban al sol luego lo molían el grano para reducirlo a harina. La harina de maíz, diluida en un

gran recipiente con agua, fermentaba acabo de dos a tres días. Fue este procedimiento que los colonos desarrollaron, acabando así con el antiguo ritual femenino. Pero lo peor vendría después, con la introducción de la azúcar de caña, que por entonces era un artículo colonial muy barato: La cerveza de maíz se torno más fuerte en alcohol y su fabricación menos costosa. A partir del siglo XIX las técnicas artesanales ya no evolucionan. Solo las chicherías de las grandes ciudades pasan al estado semi-industrial con la utilización de cucas metálicas para la cocción y de barricas de madera para la fermentación.

La elaboración completa tomaba más de un mes y permitía obtener una chicha de primera calidad denominada chicha flor. La cerveza corriente vendida en todo el país se llamaba chicha de segunda: una mezcla de chicha flor y de mitaca (sedimentos de chicha flor aumentados con agua y miel), en Bogotá, por fin se encontraba una chicha de tercera categoría consumida por los trabajadores más rudos. Muy ácida, de baja calidad, esa especie llamada runchera era una mezcla de segunda, agua y miel. ¡Cherchez el maíz! Desposeídas primero de sus tierras, profundamente afectadas por la prohibición comunal, tras las independencias peruanas y bolivianas las comunidades indígenas sufrieron la opresión de los propietarios de las haciendas, herederos de los colonos españoles que habían confiscado o usurpado territorios. Convertido en colono de una hacienda, es decir, siervo del propietario, el indio debía pagar tributo y efectuar innumerables prestaciones, entre otras las de llevar acabo la masticación el día en que su amo tenía previsto preparar la chicha ⁽⁶⁾.

Pese a la presión inaudita que sobre la cultura vernácula ejercía la explotación ilimitada de los indios, creencias y costumbres permanecieron vivas. En los mercados andinos siempre habrá ocasión de ver alguna mujer sentada junto a una jarra de chicha. La cual vuelve a conquistar su antiguo ritual de cerveza ritual cada vez que hay una festividad india. Con frecuencia de forma oculta, se sigue realizando ofrendas de dinero menudo, de alimento y de cerveza de maíz. Dedicadas en especial a la tierra ⁽⁶⁾.

Cerveza de Mandioca

Libaciones antropófagas. El primer testimonio sobre la preparación de cerveza de mandioca por los tupís, pueblo caníbal de la costa brasileña, data de 1557. Las mujeres arrancan raíces de mandioca y las ponen a hervir en cazos. Una vez han hervido bien, vierten el agua en una vasija y dejan que las raíces se enfríen un poco. A continuación vienen las jóvenes y se ponen a masticarlas, colocando la pasta en un tercer recipiente. Después de haber mascado todas las raíces, vuelven a llenar el recipiente de agua, remueven la mezcla y la calientan una vez más ⁽⁶⁾.

Luego vierten todo aquello en vasos exclusivamente destinados a tal empleo, como ocurre en nuestro país con los toneles, y que son enterrados a medias. Entonces el licor empieza a fermentar, y al cabo de dos días esta listo para ser bebido: es espeso, muy embriagador y harto alimenticio.... (Hans Staden, Historia y descripción verdadera de un país habitado.)

La mandioca o yuca, un arbusto que puede alcanzar de 1 a 5 metros de altura, sólo proporciona a la fabricación de cerveza sus raíces, muy ricas en almidón. Los tumpínabas reservan la tarea de masticar a las mujeres jóvenes, vírgenes o al menos castas, pero todos, hombres, mujeres y adolescentes, participan de las libaciones religiosas que pueden extenderse por dos y hasta tres días. Las ocasiones son numerosas: nacimiento, primera menstruación, perforación del labio, partida hacia la guerra, degollación ritual de un prisionero. Hans Staden, que estuvo cautivo de los tupi-nabas, proporciona una descripción vívida y detallada:

Alimentan bien a sus prisioneros. Al cabo de cierto tiempo comienzan los preparativos, elaborando en primer lugar la bebida... Una vez todo está a punto, designan el día de la matanza, invitan a los habitantes de otras aldeas a asistir a la fiesta y llenan todos los vasos destinados a contener la poción. La víspera del día en que empezaran a beber, atan una cuerda alrededor del cuello de las víctimas y de ella cuelgan la maza con que será sacrificada... Más tarde el prisionero será ejecutado en medio de una algarabía general.

El relato no explica a qué azar o divinidad protectora pudo agradecer su supervivencia el aventurero alemán ⁽⁶⁾.

Las ceremonias antropófagas acompañadas de festines de cerveza desaparecieron con las tribus tupí-nabas, progresivamente diezmadas durante los siglos XVII y XVIII. En nuestros días, la cerveza de mandioca continua siendo bebida tanto sagrada como cotidiana en Amazonia, en las profundidades de la selva y junto a las fuentes de los grandes ríos. En aquellas remotas regiones, bajo un clima tropical, curiosamente cumple la milagrosa función de ofrecer respuesta a un problema de higiene ⁽⁶⁾.

La cerveza cósmica de los jíbaros.

El gran problema para los jíbaros es el agua, pues la que en abundancia provee el río Amazonas no es potable. En compensación, la naturaleza ha proporcionado a los indios una inapreciable fuente de alimentación: la mandioca dulce, un tubérculo que las mujeres cultivan y cosechan durante todo el año.

El mito del Nunjui relata cómo fue concebida la cerveza a los jíbaros. Hace muchísimo tiempo una gran escasez impulso a los indios a la pesca del cangrejo. Remontando el

río, se encontraron con Nunjui. La diosa lavaba en las aguas patatas dulces y una raíz que ellos desconocían, la mandioca. Les confió una de sus hijas, quien hizo que la mandica creciese, se formase un jardín y apareciesen vasijas que luego lleno de cerveza. Pero muy pronto, al ser maltratada, la muchacha hubo que escapar, dejando a los indios la labor de cultivar la planta y fabricar la cerveza ⁽⁶⁾.

Desde entonces cada día, los indios hierven agua del arroyo y en ella cuecen trozos de tubérculo. Mastican la pasta obtenida y la ponen a fermentar en el fondo de la jarra donde queda un poso de cerveza vieja. La ebullición y la rapidez del proceso fermentatorio garantizan la asepsia del preparado, cuya parte inferior puede alcanzar una fuerza alcohólica de 10 °. Los hombres consumen cada día entre 7 y 13 litros de este líquido, las mujeres de 4 a 7 litros, y los niños hasta 2 litros ⁽⁶⁾.

La cerveza y la fermentación se encuentran en el centro de la simbología jíbara. El agua de la ribera se vuelve pura cuando, para hacer cerveza, la mujer la recoge con ayuda de la cabeza apropiada. Nosotros sabemos que esa agua deja de ser perniciosa a causa de la esterilización, para los jíbaros, no obstante, todo estriba en el poder magnético de la fermentación, que así se convierte en símbolo de todas las transformaciones ⁽⁶⁾.

Cervezas Africanas.

La tradición de las cervezas de mijo.

Julio de 1796. El escocés Mungo Park se aproxima por fin a Según, capital del reino bambara, situada a orillas del río Níger. Habiendo partido de la costa marítima de Gambia para explorar el interior del continente africano, viajando sin provisiones ni armas, y subsistiendo gracias a la hospitalidad indígena, siete meses más tarde divisa el gran río.

Hacia las cuatro horas nos detuvimos en una pequeña aldea, donde uno de los negros se encontró con un conocido suyo que nos invitó a una suerte de comida pública que se desarrollaba como si fuese una ceremonia. Allí se servía con profusión una vianda compuesta de leche agria mezclada con harina, así como cerveza hecha con el cereal del país. (Viaje al interior de África) ⁽⁶⁾.

Algunos decenios mas tarde, en 1829, René Caillié, al dirigirse hacia Tombuctú, vuelve a atravesar el país bambara y anota: En ese país fabrican una especie de cerveza o de hidromiel hecha con mezcla y mijo fermentado; los nativos se embriagan con esa bebida que les gusta muchísimo.

De hecho, bajo la denominación de mijo se designan numerosos cereales, todos ellos domesticados por los africanos desde hace algunos milenios. El pequeño mijo o mijo candela es originario de las sabanas de Sudán y Senegal. En cuanto al mijo grande o sorgo (rojo o blanco), ya se cultivaba en la región de Sudán-Chad, y también en Abisina, cinco o seis mil años antes de nuestra era. Es posible que esta cultura haya visto los comienzos de la elaboración de la cerveza en África, pues por intermedio del actual Sudán toda esta antigua región cerealera estaba en contacto con Egipto, país de antiquísima tradición cervecera. Por lo que respecta a Etiopía, su vulnerable historia en la materia no ofrece lugar a dudas: una parte de sus primeros habitantes, los chimitas, provenían de las orillas del Eufrates y elaboraba una cerveza a base de cebada, de locar y de dourah (sorgo) mucho antes de que lo hicieran los egipcios. Una estela encontrada en Axum, al norte de Etiopía, confirma que el África oriental el uso de la cerveza era cosa de todos los días ⁽⁶⁾.

Otro pueblo, otro mito: en Tanzania, el sacerdote nyamwezi vacía una copa de cerveza sobre una tumba para provocar a la lluvia. De este modo, la cerveza se convierte en agua, líquido sacrificial, símbolo de las esperadas precipitaciones.

Entre los saras, la cerveza de mijo, que fermenta para los vivos, debe fermentar también para los muertos. Un año después del entierro del difunto, una fiesta consagrada a la conclusión del luto empieza con el sacrificio de un buey, que va acompañado de libaciones de cerveza ⁽⁶⁾.

Durante su viaje a través de África Occidental, René Caillié había observado la existencia de un comercio de la cerveza. En este país (Alto Volta) hay fabricantes de cerveza que la venden al por menor: mucho me habría gustado probarla para conocer su sabor (sic), pero mi condición de musulmán me lo impidió (Viaje a Tombutú)

Hoy en día ese comercio está reservado a las doloterías o vendedoras de “dolo”. Estas mujeres venden el líquido en los mercados, donde lo conservan en grandes calabazas, o bien en sus propias casas durante los días de fiestas. El censo indica que en la ciudad de Uagadugu no hay menos de seiscientas, las cuales abastecen un consumo de casi 200.000 hectolitros anuales ⁽⁶⁾.

De color castaño claro cuando es muy fresca, mas oscura a partir del día siguiente, efervescente y un poco espumosa, el “dolo” desprende un fuerte aroma de mijo y levadura. Cuando está fresca aun burbujea un tanto, pero su gusto rasposo, ligeramente ácido, y su consistencia son sorprendentes.

Auténtico poder económico que ofrece un notable ejemplo de resistencia a los efectos del colonialismo, las doloterías se agrupan en corporaciones que mantienen reuniones, fijan los precios, defienden colectivamente sus intereses y organizan una asistencia de tipo mutuo. Tanto los poderes más altos como los representantes locales deben

contar con ella y con una influencia que se cristaliza en el cabaret, lugar muy frecuentado donde la gente se reúne para beber, bailar o discutir ⁽⁶⁾.

Es de destacar que acaso la posición de las dolateras en la sociedad alto – voltaica no sería tan inexpugnable si la técnica de elaboración que emplean no se pareciera tanto a la fabricación industrial. Es cierto que el "dolo", al igual que todas las cervezas tradicionales africanas, varía en calidad según la dolotera o la calderada de donde provenga. Dejando de lado la selección de las levaduras y el escaso filtrado final, no obstante, su preparación no tiene nada que envidiar a los métodos de las cervecerías industriales europeas. Las similitudes, de todos modos, no son totales: en el "dolo" no se emplea nada de lúpulo, pero si algunas plantas amargas (cassia, balamitas); unos granos de recino o de sisal para quitar la acidez excesiva; pulpa azucarada de cassia para aumentar la graduación alcohólica; raíces de mijo para añadir un efecto calmante, o bien algo de datura metel, una solanácea muy tóxica y actualmente prohibida. Todo ello sin olvidar las hojas de tabaco o de pimienta que los senufo suelen añadir a la segunda cocción.

Bulawayo, segunda ciudad de Zimbabwe, ex Rodhesia. Los jardines de cerveza no son lugares paradisíacos sino simples ghettos, áreas reservadas donde por un rato los negros olvidan los dolores de la segregación bebiendo "Kaffir".

En efecto: en esta cerveza "kaffir", bebida tradicional de los bantúes del África del sur, los gobiernos de Petroria y Salisbury han visto un medio para integrar a las poblaciones negras en las ciudades industriales ⁽⁶⁾.

Llegada para satisfacer la demanda de mano de obra en las minas y en los centros urbanos, esta gente desarraigada vuelve a encontrarse en la urbe con su cerveza ancestral. Esta, sin embargo, de bebida ritual y ceremonial prepara exclusivamente por las mujeres, gratuitamente ofrecida, ha pasado a ser una herramienta de control social y se ha convertido en poco más que una mercancía, pues si bien son casi exclusivamente los negros quienes beben "kaffir", la industria se halla por completo en manos blancas. Una industria por lo demás muy próspera, si tenemos en cuenta que en Sudáfrica produce una cantidad de bebida tres veces mayor que la Europea. En las grandes ciudades sudafricanas se consumen más de doscientos litros de "Kaffir" por persona y por año. El bebedor bantú deja muy atrás al más empedernido aficionado Alemán.

Fue en Salisbury, capital de Rodhesia, donde en 1908 se fabricó por primera vez un "kaffir" industrial. Para ello se utilizaron cerveceras africanas a las cuales se encargó producir bebida en gran cantidad ⁽⁶⁾.

Las cerveceras, que utilizan cacharros de alfarería para la germinación del sorgo, esteras para sacar el grano, filtros de fibra trenzada y calabazas para fermentación,

hubieron de acostumbrarse a las cubas de metal y las trituradoras mecánicas. Por lo demás, pudo conservarse lo esencial de un proceso varias veces milenario.

El sorgo (localmente llamado kaffircorn) se usa en parte malteado y en parte crudo. La fermentación, al mismo tiempo es ácida y alcohólica, se prolonga hasta el aumento en que la cerveza va a beberse. De color castaño rosado, plena de materias y levaduras en suspensión, en una bebida muy alimenticia cuyo sabor recuerda en alguna medida al yogur. Tiene un tres por ciento de alcohol; pero esta cifra solo debe considerarse un dato oficial, pues una cerveza tan vivaz continua fermentando una vez ha llegado al estómago ⁽⁶⁾.

Tras haberse valido obligadamente de cervezas africanas, los municipios sudafricanos y rodhesianos se lanzan hacia programas de producción industrial. En 1913 Bulawayo construye una African Beer Brewery a la cual se anexa un Beer may, vasto local en donde se despacha kaffir a la población negra. El éxito es veloz; una producción de casi 700.000 hectolitros en los años 70 para Bulawayo y sus cuatro bares, su once almacenes de "kaffir" embotellado y sus treinta jardines de cerveza. El beer garden no es mas que un espacio cerrado y reservado a los negros, provistos de unos cuantos árboles y no muchos bancos; un templo del Kaffir y, en la misma medida, un fundamento racista del régimen político. En el beer garden el kaffir se sirve a los negros en recipientes de plástico de más de un litro de capacidad. A los blancos les están reservados los bar-lounges y la cerveza europea. ¡Nada de mezclas!

Por lo demás, el sentido de la palabra kaffir es bien explícito. El término, de origen árabe, designa a todos los africanos del sur del continente que no habían convertido al islamismo. Para los colonos sudafricanos y rodhesianos no tardó en cobrar el significado de indígena.

Así pues, la cerveza "kaffir" es una cerveza de negros, bebida por negros, pero desde hace tiempo, y en lo sucesivo, fabricada por blancos.

Estos últimos tras haberse inspirado en tradicionales métodos bantúes, prohibieron en las ciudades la elaboración hogareña, reservando la producción de cerveza únicamente a las industrias municipales ⁽⁶⁾.

La aberración que significa este privilegio desembocó en una serie de revueltas en los ghettos negros, y propicio paradójicamente, una cierta revitalización de la elaboración de kaffir por parte de las mujeres africanas. Esta contestación del sistema segregacionista y del beer traffic llegó a inquietar al gobierno rodhesiano de tal modo que en 1956 creó una policía especial encargada de luchar contra la fabricación domiciliar de cerveza. Pero la situación de Sudáfrica y Zimbabwe es muy particular.

Son los dos únicos países donde se ha industrializado un procedimiento africano de tradición secular. En el resto del continente, por el contrario, ha debido recurrirse

obligatoriamente a la importancia de fábricas de cerveza europeas para surtir primero a los colonos y más tarde a los nativos ⁽⁶⁾.

Es evidente que África se ha revelado como un mercado formidable para los grandes grupos cerveceros internacionales, tales como Brasserie-Glacière Internationale, Guinness, Carlsberg o Heineken, cada uno de los cuales se ha instalado en el área de influencia de su respectiva metrópolis.

Con la ayuda de los adelantos técnicos, en la actualidad se producen en África pils, lagers y stouts muy semejantes a sus modelos europeos. La producción de cerveza europea comporta el traslado de modelos culturales definidos y, bajo la doble presión de lo religioso y lo económico, la cerveza de mijo ha ido desapareciendo paulatinamente. En efecto, esta bebida tiene vínculos demasiado estrechos con el animismo y sus rituales como para sobrevivir fuera de su marco de referencia. Es una lástima, pero la cerveza de cebada de los colonos tiende hoy a convertirse en la bebida africana más consumida ⁽⁶⁾.

En el Este, cervezas de centeno.

Menos favorecidos por el clima, ignorantes de las ricas cosechas cerealeras del Medio Oriente, los habitantes de las grandes llanuras de Europa central siempre han cultivado centeno y avena, cereales característicos de suelos pobres y ácidos. Si hemos de hacer caso a la crónica de Néstor, esos pueblos que se designan como proto-eslavos bebían efectivamente, hace casi dos mil años, un líquido obtenido de la fermentación de centeno y avena, “kwasz” o “quass”, que junto con la hidromiel seguramente es la bebida más antigua del país eslavo ⁽⁶⁾.

Desafortunadamente, poco se sabe de los pueblos que precedieron a los eslavos. Los escritos, habitantes del norte de los mares Negro y Caspio, apenas nos han dejado otra cosa que un pequeño medallón, contemporáneo de la expansión celta que tuvo lugar algunos siglos antes de nuestra era; representa a dos hombres, uno de los cuales ofrece al otro un cuerno de beber: prenda de amistad que tal vez contuviese una antepasada de la cerveza de centeno...

Originarios de la orillas de mar Negro y de los confines del Cáucaso, los escritos ocupaban una región dominada por la cultura del mijo. Su expansión hacia el norte, sin embargo, probablemente los haya puesto en contacto con elaboradores de cerveza de avena y de centeno, lo cual derivaría en la preparación de una gran diversidad de cervezas.

Si volvemos los ojos a la época moderna, desde el Báltico hasta los Balcanes se emplean casi indiferentemente el centeno, la avena, la cebada o el candeal, bien

separados, bien en forma de compuesto, para la confección de una serie de cervezas ácidas denominadas “braga”, “zur”, “kwascha”, “geiselitz” y, desde luego, “kwasz”, todas ellas tienen por origen una sopa agrilla que va diluyéndose y cuya fermentación alcohólica se favorece. A algunas, en el curso de la preparación, se les añade zumo de chucrut⁽⁶⁾.

Con el “kwasz”, el campesino ruso disponía de una bebida económica muy digna, efervescente, acidulada, reanimante y ligeramente alcohólica.

La elaboración trascurría a la par de la fabricación del pan de centeno. En el seno de las familias bien podían utilizarse costras de pan duro embebidas en agua caliente, que especies aromáticas y una sabia manipulación conseguían metamorfosear en una bebida deliciosa: kwasz o, más raramente, con lúpulo; iablochny kwasz en el cual se maceraban manzanas; “grouchévoi” con peras; “malinovoï” con frambuesas⁽⁶⁾.

Las frutas atenúan la acidez del kwasz al tiempo que aumentan su contenido alcohólico: mientras que la especie corriente de la bebida no sobrepasaba el 1 por ciento de alcohol, la más fuerte, un kwasz preparado con miel, puede alcanzar un 4 ó 5 por ciento, no obstante muy modesto si lo comparamos con los grados de otras cervezas⁽⁶⁾.

Del cuerno de beber a la caña.

Si la mujer elabora la cerveza, es el hombre quien bebe. De este modo, la cerveza estigmatiza la división de papeles que a lo largo de los milenios ha tenido lugar en el seno de la sociedad. Actividad tradicionalmente artesanal, la fabricación de cerveza es por lo tanto competencia del sexo llamado débil. Patrona, sacerdotisa, hechicera, la mujer está investida de poderes sagrados y ocupa el centro de unos rituales mágicos sin los cuales la cerveza no sería ese brebaje excepcional al que el hombre atribuye toda clase de virtudes⁽⁶⁾.

La mujer, madre de todas las cervezas.

Como en el resto del mundo, en la Europa pagana la cerveza, consumida por los hombres. Es preparada exclusivamente por las mujeres. No en virtud de sus talentos domésticos, sino por el brebaje participa de un rito sagrado: la elaboración con todo sus aspectos mágicos y luego la libación ritual en torno a la cuba⁽⁶⁾.

La responsabilidad no es de poca importancia: bastaría que las mujeres dejaran de confeccionar cerveza, o que esta fuese mala, para que la convivencia se fuese a pique al no poder reunirse los hombres alrededor de la bebida ritual.

Tanto son los cuidados que demanda la cerveza, tan profundamente religiosa son los vínculos que su preparación mantiene con los poderes naturales, que la preparadora esta autorizada para invocar a las divinidades y pedirles ayuda. Casado ya con Signy, el rey Alrekr desposa a Geirhildr siguiendo el consejo de un cortesano que le ha visto aplicándose a la preparación de cerveza. Como las dos esposas no se entienden, el monarca decide conservar aquella que a su regreso de la guerra le haya preparado la mejor cerveza. Ambas reinas rivalizan de inmediato y, mientras Signy invoca a Freyja, Geirhildr llama a su auxilio a Odin. A guisa de fermento, Odín presta su saliva y asegura el triunfo de Geirhildr. Aquí, pues, la intervención divina se aviene a la medida de las apuestas políticas y religiosas. El rey que hace compartir a sus dos esposas no busca la mejor cocinera sino aquella mujer cuya cerveza atraerá los favores de la divinidad más poderosa ⁽⁶⁾

Dichas y desdichas de la cervecera.

Con la cristianización de Europa, el papel y la jerarquía de la cerveza pierde poco a poco su riqueza primitiva. Muy pronto sometida a la influencia Romana, la Galia experimenta un cambio en dirección a la dulzura. A partir de los primeros siglos de nuestra era, la atracción que ejerce el vino impulsa a mercaderes y galos ricos a trocar esclavos por ánforas llenas. La cerveza desciende al rango de ordinaria bebida popular y la cerveza se ve relegada a tareas de elaboración estrictamente familiar ⁽⁶⁾.

Entre los pueblos celtas, nórdicos y germánicos, la resistencia es mucho mas bravía. En tiempos de la conquista romana, algunos como los nervios o los suevos se niegan a importar vino, culpable de ablandar el carácter y, sobre todo, de prestar apoyo a la propagación de una religión y un mundo radicalmente distintos ⁽⁶⁾.

Tras la caída de roma una segunda ola conquistadora, esta vez no militar sino religiosa, invade la Europa pagana. Menos estruendosa y más prolongada, esta nueva conquista no resulta menos violenta y cargada de consecuencia para los pueblos convertidos al cristianismo. Al tiempo que ocupa los lugares de culto y absorbe una parte de los rituales paganos, la iglesia lucha abiertamente contra las prácticas bárbaras. La última resistencia en Dinamarca y en Suecia, son doblegadas afines del siglo X. La cervecera sigue hallándose en posición de sus calderos, pero su actividad ya no trasciende del marco doméstico. ¡Por esta vez se verá relegada a la cocina!

El desarrollo de las prerrogativas reales e imperiales, de los poderes centralizados que sirven de apoyo a la iglesia, favorece la vida urbana y el nacimiento de los mercados regionales. Allí encontrará la cervecera de los tiempos paganos un terreno propicio para su actividad. La cerveza, antaño ofrecida y distribuida durante las libaciones

rituales, se venderá a partir de entonces en los albergues, las fondas, los camba que jalonan las rutas comerciales y se establecen en los burgos. Tanto en Inglaterra como todo el imperio carolingio renace una forma de organización de origen galo romano, la cual solía señalar dónde se despachaban bebidas por medio de una mata o una escoba colgada a guisa de insignia ⁽⁶⁾.

Al cambiar de carácter, la fabricación de cerveza también cambia de sexo: con la ayuda del comercio, la fabricación de cerveza se convierte poco a poco en asunto de hombres, exceptuando los países escandinavos, en los cuales por largo tiempo la elaboración seguirá siendo hogareña, los únicos países donde se perpetúe la tradición de la mujer cervecera serán Alemania e Inglaterra. En Alemania, la mujer conserva la propiedad de los utensilios de elaboración, sobre los cuales tiene pleno derecho y que le son transmitidos independientemente de los bienes del padre o el marido. Mientras tanto, en los puertos de la liga Anseática, por ejemplo, es rápidamente suplantada por el profesional masculino. Un buen símbolo de este proceso es la pobre Katharina von Bora. Cervecera de oficio en su convento, se convierte luego en esposa de Martín Lutero, el reformador. ¡Y al haber abandonado su fábrica monacal, deberá contentarse con hacer cerveza en la cocina ⁽⁶⁾.

La cerveza en olor de santidad.

Si a lo largo de toda la edad media el artesano se torna masculino, será en los monasterios dónde nazca una auténtica industria cervecera. Antes la innovación de la imprenta los monjes eran los únicos capaces de copiar manuscritos antiguos, familiarizarse con técnicas seculares e intercambiar información con los miembros de otras abadías. Por lo demás, y esta era otra ventaja indispensable, poseían todo el tiempo necesario para llevar a cabo sus investigaciones: si moría un monje, otro reemplazaba para reemprender los experimentos. El poderío económico de los monasterios, por entonces en plena expansión, permitía al monje cervecero desentenderse del coste de la fabricación y mejorar así la calidad del producto.

Fue por su cualidad de atrapa peregrinos, como la cerveza empezó a interesar a los monjes. Bebida alimenticia y vigorizante, la cerveza resultaba ideal para el reposo de los fieles. Su calidad y su originalidad garantizaban a la abadía una fama propicia al cumplimiento de su más alto propósito: el desarrollo de la fe ⁽⁶⁾.

Numerosos documentos atestiguan la existencia de cervecerías en los monasterios a partir del siglo IX. Uno de los más interesantes es el plano de la abadía de Saint-Gall, en la Suiza germánica, Trazado en el año 820, muestra claramente la existencia de tres talleres y una maltería en el recinto del monasterio. Se producían por entonces

tres cervezas: la “prima malior”, destinada a los padres de los huéspedes ilustres; “la secunda”, un poco mas suave, reservada a los peregrinos que iban a orar sobre la tumba del santo; la última, que se servía a los peregrinos que pasaban por el camino. ¡El consumo de cerveza en los monasterios no debía ser nada despreciable! Júzguese si no. Dos concilios hubieron de recordar a los monjes que no descuidaran el cumplimiento de sus deberes; en 817, el concilio de Aquisgrán reglamenta el uso de la cerveza y prohíbe la cerveza de vino, mezcla ésta última particularmente eficaz. Es muy posible que estas sabias recomendaciones cayeran en el olvido, pues el mencionado reglamento hubo de ser recordado y puesto al día en el concilio de Worms, que limita el consumo de cerveza a los días de fiesta, mandato este que confirma el concilio de Tréveris ⁽⁶⁾.

Hasta el siglo XI la iglesia domina casi todo el comercio de cerveza. No será sino con la aparición del gruyt cuando comience a cobrar por la bebida. Si hasta entonces muchas hierbas aromáticas habían contribuido a mejorar el producto desde los tiempos sumerios, el gruyt tenía la particularidad de aumentar el paso de conservación de la cerveza, concediéndole al mismo tiempo un sabor picante. Se trata de una mezcla de plantas de los pantanos: mirto de Brabante, ericáceas y romero silvestre, a los cuales en ocasiones se añadían bayas y resinas. Poco a poco la introducción del lúpulo como aromatizante irá privando a la iglesia de una fuente importante de ingresos, y numerosos miembros de la jerarquía católica se alzarán contra los maleficios de este cereal, riesgos de envenenamiento ocultos en esa planta diabólica o a los graves daños a que se expondrían quienes eligiesen beber biere (el nombre popular) en vez de la tradicional cervoise ⁽⁶⁾

Muy pronto el éxito de la cerveza de los monjes comienza a inquietar a los señores feudales, que no pueden entregarse a una actividad llamativamente rentable. A partir del siglo X el poder civil intenta tomar las riendas de este fenómeno comercial, facilitando para ello la labor de los cerveceros laicos. En 974 el emperador Otón II concede derecho de fabricación de cerveza a la ciudad de Lieja, sin contrapartida alguna. Cuanto más numerosos se hagan los cerveceros de oficio, mayor será el volumen de los impuestos recaudados. En adelante, los fabricantes laicos echarán cada vez más pestes contra la competencia ilegal de las cervecerías monacales, obligados como están en su caso a comprar la cebada, pagar impuestos al consumo de agua, soportar las trapacerías de los inspectores catadores y pagar un segundo impuesto sobre la venta del producto. Todo conspira, pues, para la eliminación de las fábricas monacales, tanto más cuanto que la propia iglesia favorece el desarrollo de las viñas, más acorde con la tradición bíblica ⁽⁶⁾.

Poco a poca la iglesia, pues, empieza a ceder sus privilegios en 1068 el obispo Teoduino concede derecho de fabricación a los cerveceros de Huy, en la rivera del Mosa, treinta años mas tarde lo mismo hará el obispo Radboto con los productores de Tournai.

Del siglo XII en adelante los cerveceros de oficio han suplantado definitivamente a los mojes. Han mejorado de modo considerable las cervezas laicas. En Alemania, en Suiza y en los países bajos la reforma pone en cuestión la existencia misma de los monasterios. Los impuestos que los gobernantes descargan sobre la producción, sea laica o monacal, castigan duramente a los monasterios, que no están en condiciones de producir gratuitamente. La cerveza, provisionalmente, será echa a un lado en beneficio del vino ⁽⁶⁾.

Las corporaciones cerveceras.

A partir del siglo X el cambio de la sociedad, que coincide con la formación de las primeras aglomeraciones urbanas, entraña un nuevo tipo de exigencias. En la vida urbana, que tiende a dislocar los universos familiares y rurales, el individuo se lanzara a la búsqueda de parentescos artificiales, de un grupo en el cual pueda reconocerse y donde el principal vinculo sea la fraternidad. El gremio cumplirá ese papel.

Hacia el año 1000, en el momento de su conversión al cristianismo, el mundo nórdico sólo conoce una organización arcaica lo que agrupa a la familia y la relación con otras es la religión, y lo que une a los hombres entre ellos y con los dioses es la cerveza, bebida sagrada ⁽⁶⁾.

El cristianismo priva a la cerveza de su objeto de fervor sin desposeerla por ello de su vocación simbólica; situada hasta entonces en el centro del sacrificio pagano, en adelante nuestra bebida ocupara un segundo plano dentro de as fiestas cristianas.

Pero la cerveza también mojona la vida cotidiana, en la cual se hunden las raíces de los gremios. Es en el mundo escandinavo donde estos aparecen en primer término; un mundo donde las buenas relaciones de convivencia constituyen un factor esencial de organización social. Los dos primeros el Gran Gremio de Trondhjem y el famoso gremio de Nuestra Señora y Santo Tomás Becket ven la luz en pleno siglo XI, respectivamente en Noruega y en Londres. Son una suerte de asociaciones de ayuda mutua y solidaridad de carácter ciudadano ⁽⁶⁾.

Poco a poco el empuje urbano sofoca las aspiraciones de orden individual, y las preocupaciones económicas y políticas pasan a primer plano. Pronto el gremio se convertirá para sus adherentes en un medio de defensa contra los abusos del poder. Los lazos de solidaridad entre los miembros de una misma cofradía se desarrollan y

encuentran su expresión en una organización corporativa. Es así como el gremio deja paso a las corporaciones.

En 1303 aparece en Brujas la franca Corporación de los cerveceros y en 1357, en Lejia, un Maestrazgo de cerveceros. Para ser miembro no basta con quererlo. El ingreso del demandante en la corporación iba precedido de una minuciosa investigación: bastardos, concubinas y excomulgados quedaban excluidos. Por razones de seguridad se exigía a los aprendices de cervecero un certificado de buenas costumbres, así como el pago del derecho de su inscripción.

En la Francia del reinado de San Luis todo súbdito podía fabricar cerveza siempre y cuando respetara las reglamentaciones. En 1489 los estatutos precisan que solo podrán ejercer el oficio de cervecero aquellos que a juicio de sus pares posean suficiente experiencia. En 1514 las reglas se endurecen: ningún campesino podrá ejercer en Paris sin haber hecho tres años de aprendizaje en la ciudad. La prueba decisiva consistirá en la confección, en el lapso de una jornada, de seis sextarios de bebida de grano ⁽⁶⁾.

Poco a poco comienza a controlarse la propia producción. En un primer lugar la cantidad, que es lo que permite garantizar trabajo a todos. A continuación la calidad: en Artois, el 1 de mayo de 1550, se prohíbe severamente a los productores de cerveza que mezclen cales o jabones con los demás ingredientes. En 1635 el rey de Francia crea un cuerpo de visitadores y controladores de cerveza cuyos métodos en ocasiones podían ser muy originales: se cita en el caso de ciertos inspectores que antes de sentarse vertían cerveza sobre el taburete. Si cuando al cabo de una hora, al levantarse, el calzón se le quedaba pegado al asiento, la cerveza era lo bastante buena para ser consumida. ¡En Inglaterra, el mismo hecho demostraba que el fabricante había cometido fraude con la densidad! ⁽⁶⁾

El desarrollo Industrial

El poder centralizado no podía tolerar por demasiado tiempo la presencia de un contrapoder tan organizado como el de las corporaciones. Luis XIV, eliminando el tradicional derecho que adjudicaba la autorización de un cervecero al arbitrio de sus pares, decide vender el monopolio de la fabricación a los más altos postores.

Puesto que la fabricación de cerveza es un negocio rentable, se presentan numerosos aspirantes. Entre ellos hay buena cantidad de espectadores cuya notoria incapacidad amenaza arruinar para siempre la calidad de la producción francesa. Desengañado o valiente, el canciller de Ponchartrain, ministro del monarca, declara a este 1699: Cada vez que nuestra majestad crea un oficio, Dios crea un necio para comprarlo. Como

justa retribución de la historia, los precios de las cervecerías así menoscabadas desciende, y los elaboradores pueden volver a adquirir sus derechos ⁽⁶⁾.

La revolución Industrial obra en la producción cervecera un salto adelante. La concentración de industrias entorno a las cuencas minerales británicas, por ejemplo – crea una nueva clientela, fiel y gran consumidora de bebidas ricas y tónicas.

Pero el verdadero detonante será la máquina de vapor, con la siguiente irrupción de las líneas férreas. Gracias al tren los cerveceros entran en la esfera del gran comercio. Desde siempre se las han arreglado para abastecerse de materia primas empleando los medios de comunicación que tuviesen a mano. Con el tren podían tener a su alcance las regiones más alejadas. El tren permite a los grandes productores de la costa irlandesa regar con abundancia el interior del país. El tren permite a los cerveceros Suizos hacer frente a la enorme demanda suscitada por la terrible epidemia de mildéu que se desata en 1850. Y, por fin, el tren permite a la cerveza alsaciana conquistar París, y a la nueva Inglaterra invadir el Medio oeste norteamericano.

Libradas de todo problema de distribución, las fábricas pueden alejarse de los puntos de venta e instalarse junto a fuentes de agua hasta entonces desdeñadas por resultar comercialmente invisibles ⁽⁶⁾.

Pero lo más importante es que podrán aumentar su capacidad productiva. Antes de la gloriosa época de la vía férrea sólo fabricaba durante los meses de invierno. Solo las fábricas poseedoras de cavas lo bastante espaciosas para almacenar hielo hasta la época de buen tiempo se permitían funcionar todo el año. Con el ferrocarril, todos están en condiciones de hacerse llevar hielo desde los glaciares de la montaña. Como una necesidad acarrea otra, el consumo de hielo natural alcanza proporciones descomunales. De 1875 en adelante, las fábricas americanas emplean hasta 30 millones de toneladas al año. En pilsen se diseña todo un sistema de estanques a fin de recoger suficiente hielo para todas las estaciones. ¡Sería redundante contar cómo alentaron los cerveceros las investigaciones en torno al frío artificial ¡

Mientras tanto la máquina de vapor se ha instalado en el interior mismo de la fábrica. Whitbread es, en 1784, la primera firma en adquirir calderas y máquinas de vapor para la trituración de la malta y el bombeo del agua necesaria para el braceado y la limpieza de las cubas ⁽⁶⁾.

La segunda revolución radical en la industria cervecera ha de atribuirse a los descubrimientos de Louis Pasteur. Hacía ya largo tiempo que los fabricantes tenía la costumbre de cambiar las levaduras para renovar el proceso. Pero la introducción de levaduras mal adaptadas a sus mostos provocaba a veces accidentes, que los cerveceros del Norte pidieron a Pasteur que se acercase a estudiar en 1857 ⁽⁶⁾.

Así pues, Pasteur observa la fermentación alcohólica y pone en evidencia dos hechos importantes: ante la ausencia de oxígeno las levaduras dejan de manipularse pero no mueren, alimentándose en cambio de azúcares de mosto que transforman el alcohol.

De esta evidencia extrae una conclusión aparentemente simple pero introductora de consecuencias revolucionarias: si hay enfermedad, proviene del exterior. Se trata del desarrollo de organismos microscópicos, vehículos de la contaminación. La solución, pues, consiste en proteger la cerveza de la acción de gérmenes exteriores ⁽⁶⁾.

Una vez utilizadas cubas y utensilios, y purificadas las levaduras, el mosto estéril tras la cocción y la lupulización ya no podrá ser afectada por contactos infecciosos durante el fermentado. Pasteur, por lo tanto, preconizará medidas de higiene draconianas en las fábricas de cerveza. A él debemos la existencia de esas salas de braceado rutilante, embaldosadas y de todo punto impecables

También le debemos a él la llamada pasteurización, o esterilización de la cerveza acabada. De la introducción de estas operaciones, y gracias a las cubas especiales concebidas por el sabio para suprimir todo contacto del mosto con el aire ambiente infectado, surgirá una enorme gama de cervezas inalterables ⁽⁶⁾.

La tecnificación que marca a la industria cervecera durante el siglo XX coincide con el nacimiento de un nuevo tipo de cerveza: la fermentación baja. Nacimiento o más bien renacimiento, si tenemos en cuenta que existe una mención de esta especie en las minutas del consejo municipal de Munich correspondientes al año 1420.

¿En que consiste su especificidad? Hace mucho que los cerveceros observan un fenómeno cuyo mecanismo no comprenden: la cerveza no se aceda si las temperaturas se mantienen a bajo nivel. Si por añadidura, se toma la precaución de rodear los toneles de hielo, la levadura se deposita lentamente en el fondo, debido a lo cual se produce una fuerte clarificación. En 1883 el Danés Hansen aporta la solución al enigma. Es posible aislar familias de levaduras de gran pureza, algunas de las cuales fermentan específicamente a bajas temperaturas ⁽⁶⁾.

Para lo fabricantes recién llegados al nivel industrial se trata de una mina de oro que explotar sin pérdida de tiempo. Antes de nada, porque esta "cerveza baja" se puede beber durante todo el año, sobre todo en los meses de verano, cuando las muchedumbres sedientas se refugian en las tabernas. En segundo lugar, porque la curiosidad por lo nuevo y el esnobismo sólo las gentes acomodadas saben diferenciar la tradicional cerveza densa, alimenticia y oscura de una auténtica "munich", contribuyen a que el consumo del producto más reciente sea una obligación. En último término porque este producto, técnicamente más estable, evita sorpresivos disgustos: el consumidor vuelve a encontrar el sabor al que está habituado y puede identificarse con una fábrica cuya cerveza conoce.

Pero el gran inconveniente de las nuevas cervezas industriales estriba en que requieren considerables inversiones. Solo las fábricas más ricas pueden adaptarse al proceso tecnológico y modernizar sus instalaciones ⁽⁶⁾.

Dentro de esta carrera hacia la modernización habrán de desaparecer numerosas cervecerías de pequeña entidad. Los reagrupamientos se tornan moneda corriente, fenómeno éste que no siempre redundo en provecho del aficionado ávido de diversidad. Pues lo cierto es que, a fin de que no se reduzca sus beneficios, de rentabilizar un equipamiento cada vez más costoso, el fabricante debe aumentar continuamente la producción y vender la misma cerveza a un número cada vez mayor de consumidores. Procurará por lo tanto buscar un tipo de cerveza que, sin abandonar la cualidad de gran elaboración, posea un sabor medio capaz de satisfacer y atraer al máximo de clientes posibles. Ante el apetito de unos grupos financieros que no vacilan en comprar las instalaciones de la competencia para imponer su propia cerveza en un mercado donde predomina la cantidad, las cervezas regionales tienden a desaparecer. Iniciada ya en gran escala, la concentración del mundo productor de cerveza no ha culminado aún sin embargo. En 1905 había 3362 fabricantes belgas y 3543 francesas, ¡En 1981 los respectivos números eran de 134 48¡ y las consecuencias las sufre el mundo entero, puesto que las fábricas de cerveza, cada vez más integradas en grandes grupos de la industria agroalimentaria, comienza a buscar salidas en los países en vía de desarrollo que aun no conocen la "lager" occidental ⁽⁶⁾.

Ha bastado el transcurso de un siglo y medio para transformar una geografía cervecera que desde hacia doce siglos se mantenía relativamente estable: transformación ésta comparable a la que siguió a la cristianización de Europa y el retroceso de la cerveza ante el vino. Esta vez, no obstante, la evolución ha cambiado de sentido ⁽⁶⁾.

Países de tradición vinícola como España, Italia o Gracia, albergan hoy fábricas cerveceras de fermentación baja cuyas lagers, especialmente en verano, compiten seriamente con los crudos locales. Países y continentes que jamás habían conocido las cervezas tradicionales, en provecho de la lager industrial promovida con gran apoyo de capitales extranjeros y publicidad ⁽⁶⁾.

Por todas partes la cerveza alimenticia cede lugar la cerveza refrescante, elaborada a lo largo de todo el año y consumida sobre todo durante la estación cálida. Se trata de una inversión total: la bebida de invierno, espesa y calórico, convertida en bebida de verano, cristalina, hiperfiltrada, sumamente ligera y fresca, que calma la sed y no el hambre. En otros términos, la cerveza ha abandonado el mundo de los panes líquidos para incorporarse al mundo de las sodas ⁽⁶⁾.

Tan radical es la transformación que ningún consumidor actual puede imaginarse a la cerveza sin su compañero indispensable.

La última, y sin embargo feliz, consecuencia de esta evolución será el renacimiento de la cerveza tradicional hecha por manos artesanales. Las producciones industriales, demasiado estandarizadas han provocado ciertas reacciones: en primer lugar la de los pequeños fabricantes, cuyos días estarían contados si no hicieran el esfuerzo de desarrollar líquidos de gran calidad gustativa. El ejemplo provino de Bélgica, pequeño país de grandes cervezas, rico en tradición y especialidades ⁽⁶⁾.

En seguida tuvo lugar la reacción de los aficionados: el nacimiento de la cámara en Inglaterra, y el de la Cht'i vert en Francia, demuestran sobradamente que la defensa de las cerveceras artesanales pasa por el reconocimiento de la diferencia existente entre las especies refrescantes y las de sabor y aroma fuertes y característicos. Este nuevo florecimiento, por lo demás, no he escapado al ámbito de las firmas industriales, que ahora lanzan al mercado cervezas de sabor "inglés" "irlandés", cervezas diferentes ⁽⁶⁾.

Capítulo 2

Propiedades funcionales de las materias primas (Cebada, agua, lúpulo, levadura) empleadas en la elaboración de cerveza.

Introducción

El procesado de alimentos es de naturaleza estacional, tanto por lo que se refiere a la demanda de productos como a la disponibilidad de materias primas, muchas de las cuales han de ser importadas. Al igual que cualquier otro, el fabricante de alimentos quiere disponer de un suministro continuo de materias primas, en cantidad suficiente y de la calidad adecuada (o que le permita una planificación anual), estables durante el almacenamiento, que ofrezcan características uniformes y a un precio predecible ⁽⁹⁾.

Una materia prima de funcionalidad ideal es aquella cuyo procesado permite obtener un producto de primera calidad, y una eficacia de procesado máxima. Evidentemente, las propiedades funcionales exigidas a una materia prima varían con el proceso a que vayan a ser sometidas ⁽⁹⁾.

El objetivo de las propiedades funcionales es conocer las características que deben reunir las materias primas que se utilizan para la elaboración de alimentos, para identificar algunos de los problemas que ofrece su suministro y mostrar cómo los afronta la industria y sus proveedores ⁽⁹⁾.

2.1. Cebada.

Antecedentes.

La domesticación de la cebada comenzó hace unos diez millones de años, cuando el hombre neolítico, recién había adquirido su condición de tal, es decir, de agricultor y ganadero sedentario o semi-nómada,

Seleccionó en las poblaciones silvestres de *Hordeum spontaneum* (cebadas de dos carreras con el raquis frágil, que dispersa sus semillas una vez maduras) a plantas que eran más fácilmente cosechables por tener el raquis tenaz y por no perder sus semillas al llegar a la madurez. Esta mutación producida naturalmente en miles de ocasiones durante la historia de la especie, fue a partir de este momento donde se dio el origen de una nueva planta cultivada ⁽⁴⁴⁾.

Le fue fácil reconocer a estos individuos mutantes porque destacaban de entre el resto de las plantas de la población por tener sus espigas maduras intactas, cuando aquellas las tenían ya mermadas o no las poseían en lo absoluto.

La zona geográfica en la que se produjo este hecho se ha asimilado a la región conocida como creciente fértil, franja situada entre los valles de los ríos Eufrates y Tigris, en Mesopotamia y cuna de civilizaciones antiguas ⁽⁴⁴⁾.

Las investigaciones posteriores han establecido que el fenómeno de la domesticación de la cebada se extendió por una inmensa zona con límite occidental en Marruecos y oriental en las altiplanicies situadas entre China, Nepal e India.

El límite occidental antes citado se ha fijado como consecuencia del descubrimiento en 1978 (José Luis Molina Cano), de *Hordeum spontaneum* al sur del gran atlas Marroquí descubrimiento que posteriormente se haría extensivo al Atlas Medio ⁽⁴⁴⁾.

Por todo lo anterior podemos considerar que la cebada no tiene un centro de origen (zona de domesticación) único, sino un conjunto de ellos ⁽⁴⁴⁾.

Características de La Cebada.

Las cebadas cultivadas pertenecen todas a la especie *Hordeum vulgare L. sensu Lato* que es miembro de la tribu *Triticeae* de la familia *Gramineae*

Todas las especies de género *Hordeum* son silvestres, excepto *H. vulgare* subs. *vulgare*. ⁽⁴⁴⁾

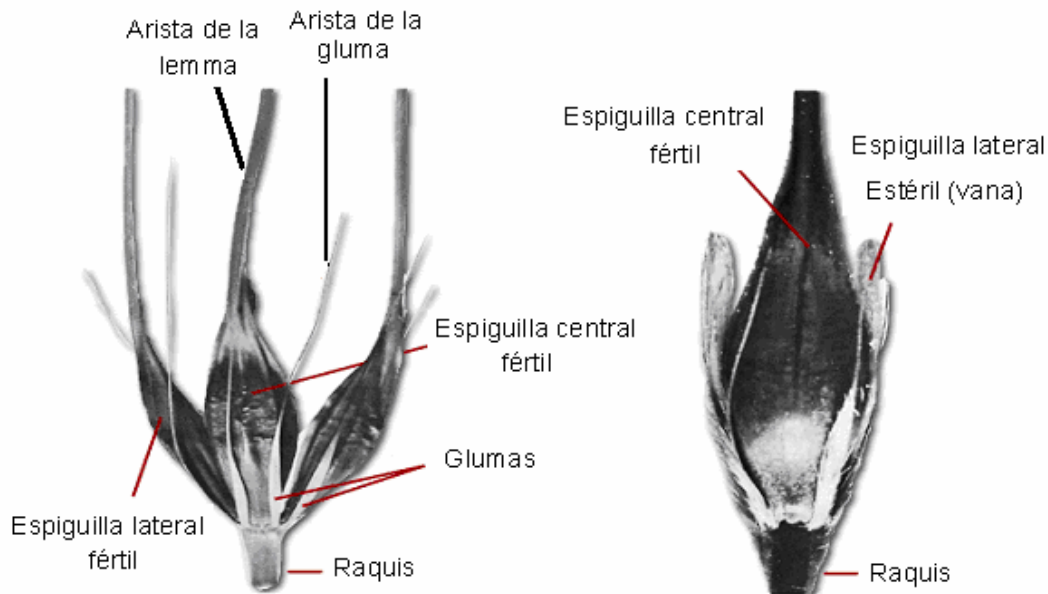
Las especie de *Hordeum vulgare L.* Consta de tres subespecies (Fig. 1) ⁽⁴⁴⁾.

- a) *Hordeum Hexastichon* (cebadas *hexásticas*) de 6 carreras de otoño o primavera con flores laterales infértiles ⁽²⁰⁾.
- b) *Hordeum distichum* (cebada *dísticas*) de dos carreras de otoño o primavera con flores laterales infértiles ⁽²⁰⁾.
- c) *Hordeum spontaneum* (*irregulare*), cebadas en general silvestres ⁽²⁰⁾.

Son todas plantas herbáceas con flores anuales y hermafroditas de fecundación autógena, y su cultivo se extiende por la zona templada ⁽⁴⁴⁾.

Siendo *H hexastichon* y *H distichum* las subespecies mas importantes en la industria cervecera ⁽²⁹⁾.

Fig. 1. Espiguillas de cebada de seis hileras (izquierda) y dos hileras (derecha).



*Fuente: <http://www.puc.cl/sw> (04/11/03)

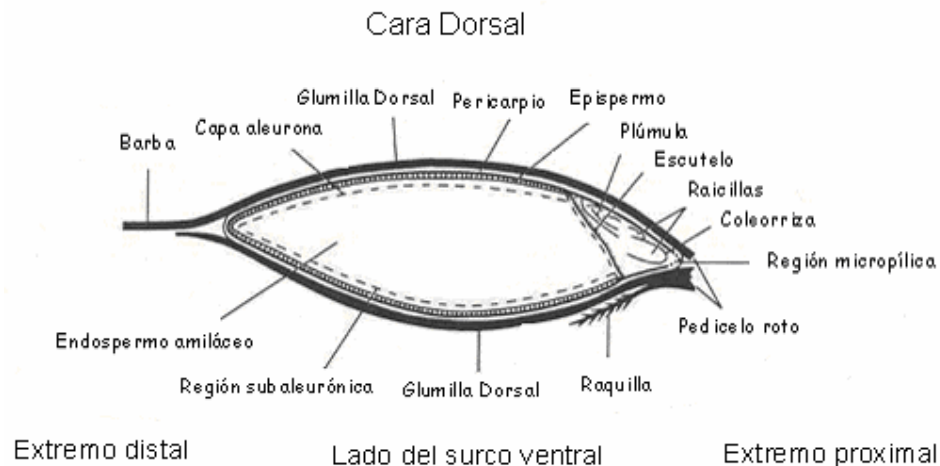
La semilla.

A partir de finales del siglo XVI, la cebada se convirtió generalmente en el grano de cereal preferido para el malteado. Esto fue debido a varias razones (Fig. 2):

1. La semilla está rodeada por una cáscara o capa protectora adicional que recubre a la verdadera cubierta de la semilla o testa. La cáscara consta de células gruesas desvitalizadas. Dispuestas en forma de panal. En la cuba de macerar, los fragmentos de la cáscara constituyen un buen lecho filtrante durante la separación del mosto. La semilla tiene, por tanto, tres capas protectoras externas (cáscara, pericarpio y testa) que le confiere una protección vital, especialmente importante durante el almacenamiento ⁽²⁹⁾.
2. Cada grano contiene hasta el 90 % de carbohidratos, un 80-85 % del cual se encuentra en forma de gránulos de almidón, localizados en la reserva nutritiva o endospermo ⁽²⁹⁾.
3. La copiosa cantidad del almidón presente es solubilizada en una operación debido a las grandes cantidades de α - y β -amilasas presentes en los granos malteados.

4. La temperatura de gelatinización del almidón de cebada es relativamente baja (52-59 ° C). Este rango de temperatura está por debajo de la temperatura de degradación de ambas amilasas ⁽²⁹⁾.
5. Las raicillas y el brote del embrión, que sobresalen del grano durante la germinación, son muy robustas y no se desprenden fácilmente. Esto es especialmente importante durante el malteado, cuando se necesita el volteado mecánico de los granos germinados con sus brotes ⁽²⁹⁾.
6. El grano presenta mayor resistencia mecánica que el de otros cereales, como trigo o centeno, comportándose mejor en la maceración y germinación ⁽⁴⁸⁾.
7. Al poseer cascarilla, el germen se daña menos, durante la manipulación, lo que es básico para que pueda germinar ⁽⁴⁸⁾.

Fig. 2. Sección esquemática del corte por el eje longitudinal de un grano de cebada.



HORNSEY, Ian Spencer, 2003.

La Planta de cebada.

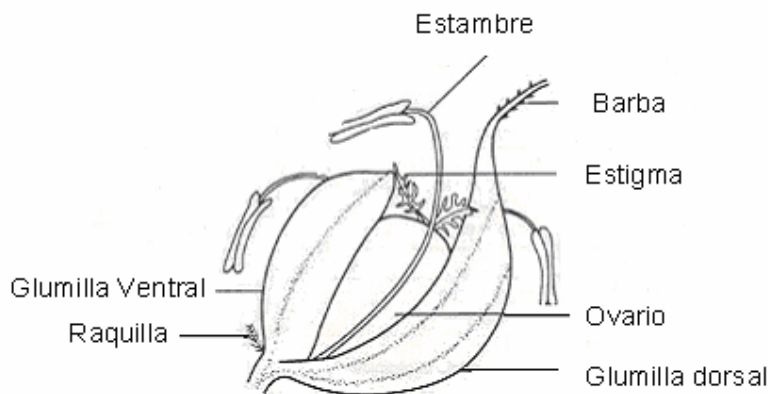
Dentro de estas dos especies principales, existen numerosas variedades.

Una de las principales características de las glumaceae, es que sus flores están encerradas en dos brácteas a manera de escamas, llamadas glumas; cada flor individual, o florecilla, se denomina una espiguilla (figura 3). Las flores gramináceas son polinizadas por mediación del viento (anemofilas) y, en consecuencia, no poseen el periantio visible (las partes externas de la flor) necesarias para atraer a los insectos con el fin polinizador. El periantio es, de hecho, poco evidente y está representado

solamente por vestigios; las dos o tres escamas diminutas, que están comprimidas en la base del ovario (corola), solamente son visibles después de quitar la glumilla ⁽²⁹⁾.

Un par de glumas (no florecidas), parecidas a espigas, están situadas en el exterior de las glumas florecidas, que son más membranosas e importantes, existen dos tipos de glumas florecidas. La superior es llamada glumilla ventral tiene un surco bien definido situado centralmente, que se convertirá en el surco ventral de la semilla de cebada la gluma inferior florecida, se llama glumilla dorsal, y esta dorsalmente situada y parcialmente envuelta en torno a la glumilla ventral, de forma que el propio aparato reproductor esta encerrado. La glumilla dorsal en su extremo distal (es decir el más distante del tallo) se prolonga hasta la barba. La glumilla ventral y la dorsal más adelante formaran la cáscara de la semilla de cebada, una vez que se haya tenido lugar la fertilización la cáscara supone aproximadamente el 10% del peso del grano y consta principalmente de celulosa, aunque posee cierto contenido fenólico, que contribuyen a evitar la alteración. Desde el punto de vista de su composición, las cáscaras permanecen casi sin cambios durante el malteado ⁽²⁹⁾.

Fig. 3. Espiguilla de cebada de la que se han eliminado las glumas estériles.



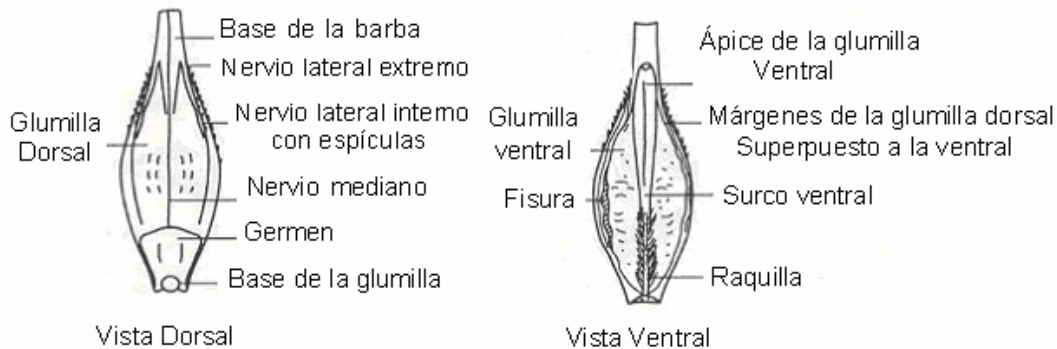
HORNSEY, Ian Spencer ,2003.

La relación espacial de glumilla dorsal y glumilla ventral da a la misma semilla un aspecto dorsal y ventral claramente definidos (Figura 4). La sección longitudinal a lo

largo del eje mayor del grano de cebada, muestran las posiciones relativas de las glumillas.

La glumilla dorsal contiene líneas ligeramente elevadas, llamadas nervios, que indican la presencia del tejido vascular subyacente. Existe un nervio mediano central y otros nervios laterales externo e interno a uno y otro lado de la glumilla dorsal. Los nervios pueden estar equipados o no con pequeños dientes llamados espículas ⁽²⁹⁾.

Fig. 4. Vista dorsal y ventral de una semilla de cebada.

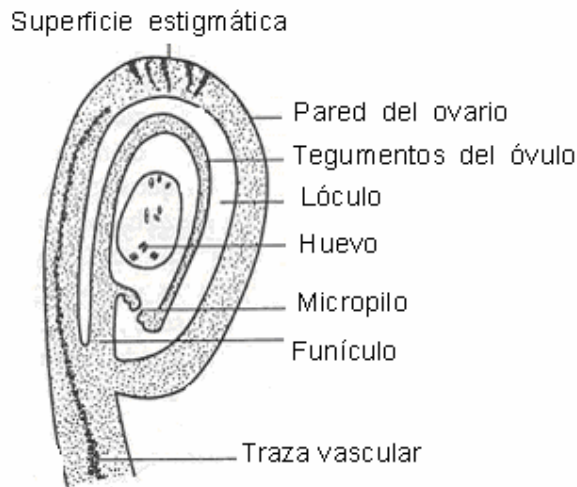


HORNSEY, Ian Spencer ,2003.

Las espiguillas están dispuestas en las inflorescencias terminales, o espigas, lo que normalmente se llama la corola. En realidad las espigas son terminaciones del tallo de la planta; una diferencia importante es que las distancias entre nudos están truncadas y que en cada nudo son producidas tres espiguillas de forma alternada a lo largo del eje o raquis, como es llamado en la inflorescencia. Cada espiguilla esta adherida al raquis mediante un corto tallo floral, o pedicelo, que se extiende hasta una pequeña espiguilla basal sobresaliente, llamada raquilla ⁽²⁹⁾.

Si las tres espiguillas de un nudo son fertilizadas, entonces se producirán tres semillas, originándose una cabeza de seis hileras (es decir, seis granos en dos nudos adyacentes) en cuyo caso se clasifican como *H. vulgare*. Estas cebadas son preferidas por los cerveceros de EE UU y de Canadá, soliendo tener un potencial enzimático superior a sus homólogos de dos hileras. Si solo resulta fertilizada una de las tres espiguillas, entonces se desarrollaran dos granos en nudos adyacentes, originando una espiga de dos hileras. Los granos cereales de la última son más gruesos y más uniformes, siendo los preferidos por los cerveceros británicos de ale. Estas plantas, se sitúan en la especie *H distichun* y lo que realmente ha sucedido, es que solo se han desarrollado la tercera parte de la inflorescencia ⁽²⁹⁾.

Fig. 5. Sección longitudinal del ovario de la cebada.



HORNSEY, Ian Spencer ,2003.

El ovario (Figura. 5) contiene un simple óvulo (célula huevo) encerrado en una cubierta o tegumento; los últimos tiene una pequeña abertura basal, el micrópilo, a través del cual puede entrar el tubo de polen y fertilizar al óvulo. Es en este extremo micropilar del grano donde se sitúa el embrión y donde tiene lugar el desarrollo embrionario. El óvulo y tegumentos están situados en una cavidad, el lóculo, que esta delimitada por la propia pared del ovario. El óvulo esta unido a la zona de la placenta del ovario por un corto tallo, el funículo. La pared del ovario tiene en su extremo distal un par de estigmas plumosos, que recibirán el polen, fundamentalmente polen de la misma espiguilla ⁽²⁹⁾.

Después de la fertilización, los tegumentos formaran la glumilla dorsal de la semilla y la pared del ovario estará representada como pericarpio.

Todas las cebadas son clasificadas por el Nacional Institute of Agricultural Botany (NIAB), en Cambridge), con una escala de 1 a 9, siendo el grado 9 el mejor en términos de calidad maltera. Las variedades de grado 1, normalmente sólo son adecuadas para la alimentación animal ⁽²⁹⁾.

Conceptos de calidad maltera.

Una variedad de cebada de alta calidad maltera debe de poseer una serie de características físicas y bioquímicas.

Entre las características físicas se encuentran un grano grueso y redondo de tamaño uniforme, de color amarillo claro, con una cascarilla (glumillas) fina y rizada y libre de infecciones de microorganismos ⁽⁴⁴⁾.

Entre los factores Bioquímicos: bajo o nulo periodo de letargo y buena capacidad de absorción de agua. Debe ser capaz de germinar uniformemente y en el tiempo mínimo, produciendo la mayor cantidad de malta posible por unidad de peso de cebada. El grano de malta así producido debe estar máxima y uniformemente desagregado; Es decir, los gránulos de almidón deben de haber quedado completamente liberados de su envoltura hidocarbonada y proteica para hacerse accesibles a la acción de las amilasas durante el braceado; esto se nota en la textura del endospermo es “friable”, es decir se aplasta con facilidad al apretarlo contra una superficie dura ⁽⁴⁴⁾.

Una medida química de lo anterior puede ser la relación, en tanto por ciento, entre el nitrógeno total de la malta y la parte del mismo que se solubiliza, pasando al mosto ⁽⁴⁴⁾.

Aspectos físicos del grano de cebada.

- Tamaño grueso y uniforme
- Forma redondeada
- Cascarilla (glumilla) fina y rizada
- Color amarillo claro
- Libre de infecciones de microorganismos ⁽⁴⁴⁾.
- Aspecto arrugado de la lemma y la palea (este ultimo carácter es debido a la delgadez de la lemma y la palea que se adhieren al cariópsis, durante el estado final con una ligera retracción, debido a la pérdida de agua, que se produce después de haber alcanzado su tamaño total). ⁽²⁸⁾.

Aspectos bioquímicos.

- Ausencia de Letargo
- Buena capacidad de absorción de agua
- Germinación rápida y uniforme
- Máxima rendimiento en malta (mínima pérdidas de peso por respiración, raicillas y plúmula)
- Desagregación (digestión enzimática de las paredes celulares y matriz proteica) máxima y uniforme.
- Elevada actividad proteolítica y citolítica ⁽⁴⁴⁾.
- Índice de Kolbach (relación porcentual entre nitrógeno total del grano de malta y nitrógeno del mosto) elevado y equilibrado ⁽⁴⁴⁾.

2.2. El Agua.

El agua tiene muchas aplicaciones en la industria alimentaria pueden emplearse:

- 1) Como ingrediente.
- 2) Para lavar (y por lo tanto descontaminar) los ingredientes.
- 3) Para eliminar el calor del alimento.
- 4) Para limpiar el equipo.

Para todos estos fines el agua debe carecer de microorganismos patógenos y su contenido de microorganismos alterantes de los alimentos debe ser pequeño ⁽⁷⁾.

Las características del agua en el proceso de elaboración de cerveza influyen de sobremanera en la calidad de la misma, hasta el punto de que la mayoría de los tipos mas conocidos de éstas, la Pilsen, la Munich, Viena, Dortmund y la Pale Ale de Burton – on -Trent, etc., han estado desde siempre muy ligados a la naturaleza especial del agua de las localidades en que tuvieron su origen ⁽⁴⁴⁾.

El agua se extraía de corrientes, ríos, pozos artesianos agua de fuente o de manantiales, y la composición química natural de tales aguas determinaba las características finales de los productos ⁽²⁹⁾.

En la actualidad las cosas han cambiado; gracias a los conocimientos adquiridos sobre la influencia de las sales en la fabricación y a los métodos de corrección de aguas, se puede adaptar cualquier agua a cualquier tipo de cerveza que se desee hacer ⁽⁴⁴⁾.

Quien quiera tener éxito con la elaboración de cerveza, siempre debe preguntar a las empresas suministradoras de agua o las instituciones comunitarias cual es la dureza del agua de abastecimiento, ⁽⁵⁸⁾ porque es necesario tener al menos de 6 a 7 litros de agua para producir un litro de cerveza, tanto para la mezcla propiamente dicha como para la conservación y limpieza de las diferentes cubas ⁽¹⁴⁾.

La dureza del agua es de primordial importancia para el cervecero, particularmente durante la maceración. Existen dos clases de dureza:

La dureza permanente, es causada por CaSO_4 , OCa , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 , MgO y $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, mientras que los bicarbonatos de calcio y magnesio son responsables de la dureza temporal. La dureza temporal es uno de lo principales problemas del agua cervecera, debido a que la disociación de los bicarbonatos, determina un aumento del pH en la cuba de maceración.

Una de las formas modernas más comunes de tratamiento del agua, se basa en la adición de un ácido (frecuentemente sulfúrico) para eliminar la dureza temporal, acompañada de yeso para mantener la dureza permanente ⁽²⁹⁾.

La dureza total de una muestra de agua, es la suma de la dureza permanente mas la dureza temporal y normalmente se calcula valorando 100 ml de agua con EDTA 0.02 M hasta el punto final del indicador. ⁽²⁹⁾

La dureza temporal puede eliminarse parcialmente por ebullición, al depositarse como sedimento el CaCO₃, si bien la adición de cal conduce al mismo resultado, aunque se necesita tiempo para que se forme el precipitado. Ahora muchos cerveceros ajustan la dureza, mediante tratamientos del agua con ácido especialmente valorado ⁽²⁹⁾.

Igualmente, interesa al cervecero la dureza debida únicamente a los iones calcio que puede calcularse incorporando en la valoración con EDTA un indicador específico secuestrante del Ca. Por definición, la dureza magnésica es la diferencia entre la dureza total y la dureza cálcica. Los valores de dureza normalmente se expresan en milivals (milimoles divididos por la valencia del elemento en cuestión) por litro ⁽²⁹⁾ o en grados hidrotimétricos (alemanes °Ha) que se interpretan de la siguiente manera (Cuadro. 1) ⁽⁵⁸⁾.

Cuadro 1. Dureza en grados hidrotimétricos.

0 – 5 ° Ha	Agua muy blanda
5 – 9 ° Ha	Agua blanda
9 – 13 ° Ha	Agua de dureza media
13 – 19 ° Ha	Agua moderadamente dura
19 – 30 ° Ha	Agua dura
Mas de 30 ° Ha	Agua muy dura

VOGEL, Wolfgang, 2002.

La medida de la alcalinidad, con su evidente efecto final sobre el pH del mosto, puede efectuarse valorando 100 ml de agua con HCl 0.1 M usando como indicador del punto final el naranja de metilo (pH 4.4) y la fenolftaleína (pH 8.3). La valoración con naranja de metilo incluye hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos, mientras que la valoración con fenolftaleína implica a la mitad de los carbonatos presentes en todos los hidróxidos. En esencia, la valoración con naranja de metilo mide la alcalinidad total ⁽²⁹⁾.

En 1941 Kolbach introdujo el concepto de alcalinidad expresada por la ecuación siguiente:

$$\text{Alcalinidad equilibrada} = (\text{dureza cálcica} / 3.5) + (\text{dureza magnésica} / 7)$$

Ésta permite calcular la alcalinidad residual, como la alcalinidad total menos la alcalinidad equilibrada ⁽²⁹⁾.

En general, los principales iones presentes en las aguas de cervecería son HCO₃⁻, CO₃²⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, y Mg²⁺. También se encuentran presentes pequeñas cantidades o trazas de otros elementos. De los iones anteriores, HCO₃⁻, CO₃²⁻ y Ca²⁺

pueden considerarse los de mayor importancia, especialmente en términos de su capacidad para incidir sobre el pH ⁽²⁹⁾.

La composición iónica ideal del agua de cervecería, varía de acuerdo con el tipo de cerveza deseado. El cuadro 2 muestra las características ideales del agua para cinco tipos de cervezas ⁽²⁹⁾.

Cuadro.2. Análisis del agua para cinco estilos de cerveza diferentes.

	Pilsen (mg L ⁻¹)	Burton-upon -Trent (mg L ⁻¹)	Munich (mg L ⁻¹)	Dormund (mg L ⁻¹)	Viena (mg L ⁻¹)
Ca ²⁺	7.1	268.0	75.8	262.3	162.8
Mg ²⁺	2.4	62.1	18.1	22.9	67.6
HCO ₃ ⁻	14.0	280.1	151.5	282.4	242.9
SO ₄ ²⁻	4.8	638.3	9.6	289.2	216.3
NO ₃ ⁻	Trazas	31.0	Trazas	Trazas	Trazas
Cl ⁻	5.0	36.0	2	107	39.0
Dureza Total (° F)	0.9	29.0	8.2	23.5	21.6
Dureza Temporal (° F)	0.7	7.4	8.0	9.4	17.3
Dureza Permanente (° F)	0.2	21.6	0.3	14.1	4.3
Alcalinidad residual (°F)	0.5	0.2	5.9	3.1	4.4

HORNSEY, Ian Spenncer, 2003.

Las sales que se encuentran en le agua no solo influyen directamente sobre el gusto, sino también de forma directa a través de sus efectos sobre las reacciones enzimáticas y coloidales que se producen a todo lo largo del proceso de fabricación. Sin embargo, los distintos iones también ejercen una acción específica, aun no lo suficientemente estudiada, como por ejemplo:

- El ión sulfato confiere a la cerveza una carácter más amargo
- El ión cloruro las hace mas dulces
- El hierro influye sobre la marcha de la fermentación y además produce cervezas que se enturbian más fácilmente.
- El ión nitrato, a concentraciones elevadas, puede dar mal gusto a la cerveza
- El magnesio produce peor gusto que el calcio
- El sodio da siempre cervezas con gusto poco agradable ⁽⁴⁴⁾.

Importancia de los iones calcio y bicarbonato.

La dureza temporal del agua utilizada en la elaboración de cerveza se suele reducir a menos de 25 mg l⁻¹, mediante tratamiento ácido o adición de lechada de cal. Se produce así, porque, cuando se cuece el mosto, el bicarbonato libera dióxido de carbono tomando hidrogeniones ⁽³¹⁾.

Este consumo de iones hidrógeno reduce la acidez y, por tanto eleva el pH.

La malta proporciona una cantidad considerable de ácido fosfórico al degradarse el hexametáfosfato de inositol (fitina) bajo la acción de la enzima fitasa. El ácido fosfórico se ioniza rápidamente liberando iones hidrógeno ⁽³¹⁾.

En presencia de iones calcio, el fosfato cálcico, muy insoluble, precipita. Esta precipitación induce la disociación de más moléculas de ácido fosfórico y la liberación simultánea de nuevos iones hidrógeno; por tanto, la disolución se va haciendo progresivamente más ácida y el pH del mosto va descendiendo. Los iones de calcio son importantes también por su efecto estabilizador de la α – amilasa que es junto con la β – amilasa, el más importante de los enzimas participantes en la degradación del almidón durante el proceso de extracción. La α – amilasa no opera normalmente sin calcio. Como quiera que los iones calcio precipitan los fosfatos y reducen el pH del mosto, en presencia de calcio se activan otros enzimas que operan mejor a valores bajos de pH, como la β – amilasa y algunas peptidasas. Por otro lado, los polifenoles se extraen peor cuanto más bajo sea el pH, por lo que las cervezas fabricadas con aguas ricas en calcio resultan menos astringentes y menos coloreadas. Tanto las levaduras como los coágulos flocculan mejor en presencia de iones calcio; por consiguiente, los iones calcio facilitan la clarificación del mosto y de la cerveza. Finalmente en presencia de iones calcio, precipitan cristales de oxalato cálcico, lo que evita la liberación incontrolada del dióxido de carbono disuelto. Aunque los iones magnesio suelen tener efectos similares a los iones calcio, su eficacia en la reducción del pH es mucho menor, porque el fosfato magnésico es más soluble que el fosfato cálcico. Los iones magnesio son sin embargo, especiales para el funcionamiento de ciertas enzimas que catalizan la producción de acetaldehído ⁽³¹⁾.

Requerimientos de calidad y seguridad del agua empleada en la fabricación de cerveza.

Más del 90% de la cerveza es agua. Por ello no resulta sorprendente que la calidad del agua sea de vital importancia para la calidad del producto final. El agua utilizada para la elaboración de cerveza, procede tanto de los pozos propios de la cervecera como de las redes públicas, debe de ser un agua de calidad para consumo humano en lo relativo a cualquier contaminante químico o microbiológico. Esto significa que debe cumplir cualquiera de las legislaciones vigentes. Dentro de la unión Europea, la legislación relativa a aguas de consumo establece límites para los contaminantes químicos y microbiológicos y especifica la frecuencia con la que se debe de analizar cada uno de los parámetros (Cuadro. 3). Los metales pesados, como el plomo y el

cadmio, son una de las principales preocupaciones en lo relativo al agua empleada para la fabricación de alimentos. Sin embargo, nos encontramos con que, de nuevo, la cerveza está protegida, ya que los metales pesados se unen al bagazo, a los turbios y a las levaduras, siendo retirados de la cadena de producción. De hecho, algunos sistemas diseñados para la depuración de las aguas contaminadas utilizan columnas de levaduras para absorber los metales pesados. Por ello, la cerveza normalmente contiene concentraciones más bajas de estos contaminantes que el agua utilizada en su elaboración. Sin embargo, con respecto a los contaminantes orgánicos la legislación no siempre asegura una calidad suficiente para el fabricante de cerveza, ya que permite que los resultados de algunas determinaciones sean promediados a lo largo de un periodo de tiempo. De este modo, los contaminantes que tienen su origen en un único punto (los disolventes clorados procedentes de los procesos de limpieza en seco constituyen un ejemplo típico) puede exceder los límites de seguridad o calidad durante periodos cortos de tiempo, que son suficientes para contaminar una o más fermentaciones. En muchas fábricas de cerveza, en particular en aquellas situadas en áreas urbanas vulnerables, con el fin de evitar esto, han instalado sofisticadas plantas de tratamientos de aguas, que incluyen por ejemplo, columnas de intercambio iónico o sistemas de ósmosis inversa. En aquellos lugares donde se encuentran instalados estos sistemas, estos deben incluirse en el plan de APCPC (Análisis de peligros mediante el control de puntos críticos). De este modo deben existir procedimientos claros para el mantenimiento y limpieza de filtros y controles regulares para asegurar que esta funcionando dentro de los parámetros especificados ⁽⁵⁾.

Cuadro. 3. Requerimientos de calidad y seguridad del agua empleada en la fabricación de cerveza.

Parámetros	Unidades	Concentración Máxima
Arsénico	μ g/L	50
Cadmio	μ g/L	5
Cianuro	μ g/L	50
Cromo	μ g/L	50
Mercurio	μ g/L	1
Níquel	μ g/L	50
Plomo	μ g/L	50 *
Antimonio	μ g/L	10
Selenio	μ g/L	10
Pesticidas y productos emparentados Sustancias individuales	μ g/L	0.1
Sustancias totales	μ g/L	0.5

Continuación cuadro. 3.

Parámetros	Unidades	Concentración Máxima
Hidrocarburos aromáticos	μ g/L	0.2
Trihalometanos	μ g/L	100
Parámetros de calidad		
Sulfato	Mg SO_4 L ⁻¹	250
Magnesio	mg Mg/L	50
Sodio	Mg Na L ⁻¹	150
Potasio	Mg KL-1	12
Nitratos	Mg NO_3 L ⁻¹	50
Nitritos	Mg NO_2 L ⁻¹	0.1
Amonio	Mg NH_4 L ⁻¹	0.5
Hidrocarburos	μ g/L	10
Fenoles	μ g $\text{C}_6\text{H}_5\text{OHL}^{-1}$	0.5
Surfactantes	μ g/L	200
Aluminio	μ g AL L ⁻¹	200
Hierro	μ g Fe L-1	200
Manganeso	μ g Mn L ⁻¹	50
Cobre	μ g Cu L ⁻¹	3.000
Zinc	μ g Zn L ⁻¹	5.000
Fósforo	μ g PL ⁻¹	2.200
Flúor	μ g FL ⁻¹	1.500
Plata	μ g Ag L ⁻¹	10

*Esta se verá reducida a 25 y posteriormente a 10 μ g/L según el borrador de la nueva legislación.

Baxter E Dense y Hughes Paul S, 2004.

2.3. El Lúpulo.

Algunos cientos de aromatizantes que, alrededor del mundo, los hombres mezclaban con sus granos triturados para realzar el dulzor un poco evanescente de sus cervezas. Especiada, perfumada, áspera o amarga, ansiada o picante, afrutado o vegetal, la cerveza de los hombres tiene a sus espaldas una prolongada carrera. Los cerveceros chinos han llevado el refinamiento al extremo de añadir flores a la cerveza. En Sumer, Egipto y América, se le agregan dátiles y miel para azucararla, es cierto, pero también para acelerar la fermentación. El romero de las cerveceras inglesas mantenían alejados a los malos espíritus, mientras que la floración de los brezos en las cumbres señalaba para los celtas la celebración de las fiestas estivales ⁽⁶⁾.

Conjuntamente con África y China, Europa se cuenta entre las regiones que más metódicamente han aromatizado la cerveza. Limitándonos al continente europeo, dos plantas exhiben una historia ejemplar ⁽⁶⁾.

El mirto y el romero silvestre.

Desde Irlanda hasta las costas noruegas y danesas se encuentran un arbusto común a muchas zonas húmedas. Se trata del *myrica gale*, también llamado cerero, pimienta real, mirto de los pantanos o mirto de Brabante, cuyo empleo en la elaboración de cerveza data por lo menos de la edad de bronce nórdica (1800 –1200 AC).

A lo largo de los siglos esta planta fue incesantemente valorada. Un documento Noruego de 1344 deja constancia de un dominio real arrendando contra un pago regular en pors, es decir en mirto. En el siglo XIII, la ley sueca prohíbe realizar la primera cosecha de *myrica gale* antes de la fiesta de San Olaf, el 6 de agosto, porque la recolección prematura de la planta no permitiría que los frutos se cargasen de su rica y perfumada resina ⁽⁶⁾.

Estigmatizada durante la edad Media en las islas Británicas, allí no será tan apreciada como el romero o el brezo. Existe un documento fechado en 1471 en Norwich que prohíbe su utilización ⁽⁶⁾.

El terreno predilecto del mirto es el Norte: Noruega, Suecia, Dinamarca. Todavía hoy se elaboran cervezas con lúpulo y mirto a partes iguales. ⁽⁶⁾.

Muy distinta es la historia del *Iedum palustre* o romero silvestre. Al contrario que el pors, se trata de una planta continental. Crece en Finlandia, Alemania, Polonia y Checoslovaquia. Después de haber aromatizado la cerveza y la hidromiel, no tardó en ingresar en la composición del *gruyt*, esa compleja mezcla de plantas salvajes reputada por facilitar la fermentación y otorgar a la cerveza un sabor sobresaliente.

Con el nacimiento de las corporaciones, la especialización de los oficios y las prácticas empíricas de control de la fermentación, el preparado del *gruyt* se convierte en competencia del alquimista, que prepara su mezcla de hierbas en el secreto de la *gruythaus*. Esotérica en apariencia, esta técnica se apoya de hecho en creencias populares ⁽⁶⁾.

En particular el romero silvestre tiene la reputación de preservar a los líquidos de la putrefacción. Hacia 1160 Hildegarde de Bingen lo cita entre las cerca de trescientas plantas de su *Physica* al lado del lúpulo, cuyas propiedades calmantes y somníferas se hacen conocidas después de la Edad Media. Así aparece el competidor más directo del romero salvaje y las demás especies que componen el *gruyt*. Al igual que estas, el lúpulo es una planta cervecera. Cultivado casi exclusivamente para ser empleado por los cerveceros, poco a poco acabaran imponiéndose como único aromatizante europeo. Una guerra despiadada estalla entre los partisanos del *gruyt* y el lúpulo, el resultado es conocido ⁽⁶⁾.

El lúpulo, un postergado pleno de futuro.

Llegando tardíamente al concierto de los aromatizantes, el lúpulo no carece por ello de nobleza. En estado salvaje, suele encontrárselo hasta en las costas noruegas. Según Lineo, sería de Tíbet y Yumán de donde habría seguido a los hombres en sus migraciones para llegar a Europa y América del norte ⁽⁶⁾.

Planta de usos múltiples, el *Humulus lupulus* pertenece a la familia de los cannabáceos. Guarda cierto parecido con el cáñamo y su tallo sirve para fabricar fibras textiles. Su segunda utilidad es de carácter medicinal. Pero fue a través de la cerveza como llegó a convertirse en una planta de cultivo industrial. De todas las especies propuestas al hombre para aromatizar sus cervezas, sólo el lúpulo consiguió eliminar a sus competidoras ⁽⁶⁾.

Las últimas especies de estas luchas tuvieron por marco la inexpugnable Inglaterra, no obstante acabó conquistado. Cuando en 1524 Richard Baker exclama: "Pavos, carpas, lúpulo, Reforma y cerveza llegaron a Inglaterra en el mismo año", está constatado a su manera que en menos de ciento cincuenta años el lúpulo ha remplazado al brezo, el romero, el jengibre, el cilandro y algunas especies más ⁽⁶⁾.

En el continente ya se ha adjudicado la parte del león. La antigua cervoise se ha convertido en *bière* lupulizada, en tanto Juan sin miedo duque de Borgoña, crea en 1409 una Orden de Lúpulo. A mediados del siglo XIII el rey Wenceslao I ya había instaurado la pena de muerte para quien vendiese fuera de Bohemia los preciosos esquejes de lúpulo ⁽⁶⁾.

Por todas partes, en cierto modo, la guerra del lúpulo enfrenta a los poderes laicos con las autoridades eclesiásticas, dado que estas últimas se arrogan el monopolio de la fabricación y venta de gruyt ⁽⁶⁾.

Por razones comerciales los cerveceros artesanos, por motivos políticos las autoridades civiles, ambos grupos unen esfuerzos para eliminar el gruyt y promover el lúpulo. En poco tiempo Europa desarrollara una industria del lúpulo y distintas variedades de crudo ⁽⁶⁾.

El lúpulo se empieza a clasificar de acuerdo con su origen las más renombradas son las Saaz, en Checoslovaquia, responsables del aroma de la célebre Pilsen. A continuación figuran las Tett nang, Hallertau y Spslt, todas ellas bábaras, luego la Estiria yugoslava, la jurásica, la alsaciana, y por fin las flamencas, las inglesa de Kent y las americanas de Oregon ⁽⁶⁾.

La Planta.

El lúpulo empleado corrientemente en cervecería, *Humulus lupulus*, se sitúa botánicamente en la familia Cannabinaceae de plantas con flores, la cual a su vez, pertenece al orden Urticales. Botánicamente, por tanto, está relacionado con las ortigas irritantes, olmos, arrayán de ciénega y cáñamo, siendo el último el pariente más próximo ⁽²⁹⁾.

El *Humulus lupulus*, es una planta perenne trepadora capaz de alcanzar una altura de 6 m, ⁽²⁹⁾ está provisto de raíces largas, que penetran profundamente en el suelo que para explotaciones industriales tiene que ser profundo y rico ⁽³¹⁾. Los tallos ascienden temprano, enrollándose en sentido contrario a la de las agujas del reloj ⁽²⁹⁾.

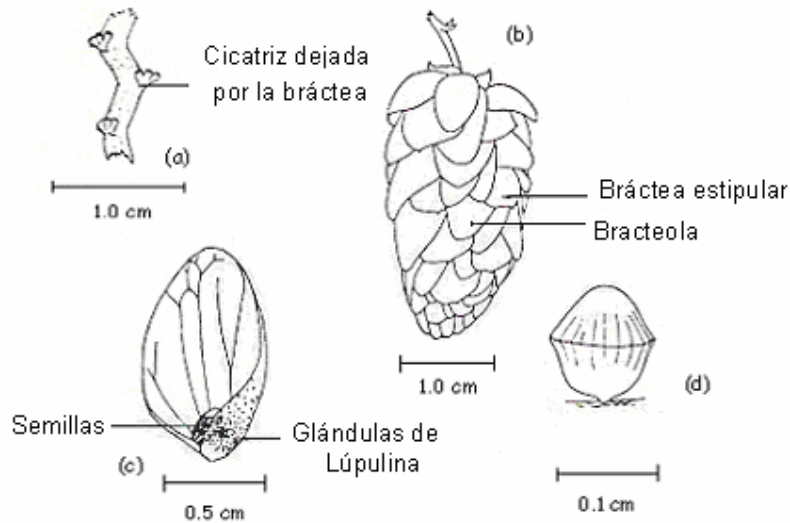
La especie es dioica (los órganos masculinos y femeninos se encuentran en plantas diferentes), siendo el tamaño de la inflorescencia, la diferencia morfológica más evidente entre las plantas macho y hembra. La cabeza de la flor macho está muy ramificada y tiene unos 5 mm de diámetro, mientras que las flores hembras están arracimadas (frecuentemente llamados conos) y tienen del orden de 15-20 mm de diámetro. Como fruto, el cono hembra puede alcanzar 5 cm de diámetro. El periodo de florecimiento es entre Junio y Agosto ⁽²⁹⁾.

Desde el punto de vista del cervecero, la parte útil de la planta de lúpulo es el cono femenino (o estróbilo), que tiene todos los componentes necesarios. Si se disecciona el cono, se observa las características siguientes (Fig. 6) ⁽²⁹⁾.

1.-Un eje central con una serie de nodos

2.-En cada nodo del eje existen dos brácteas estipulares y cuatro bractéolas. Las brácteas son membranosas, persistentes y de color amarillo pálido-verdoso. Las bractéolas tienen una apariencia externa similar, pero en sus bases portan un ovario único, al que se adhiere una pequeña glándula, la glándula de lupulina. Ovario y glándula están situados en posición axilar entre bracteola y eje (es decir, las fuentes de amargor y aroma) que necesita el cervecero ⁽²⁹⁾.

Fig. 6. Características del cono femenino. Disección (a) del eje central del cono del lúpulo, (b) estróbilo maduro o cono, (c) bracteola aislada mostrando una glándula de lupulina y (d) disección de una glándula de lupulina.



HORNSEY, Ian Spencer, 2003.

Si la flor hembra es fertilizada por polen de una planta macho, se desarrolla una sola semilla.

Dicha semilla estará envuelta por un pericarpio duro, cuya capa externa es membranosa y rica en resinas. Estas resinas no están presentes en las plantas sin semillas y, consecuentemente, el amargor potencial de los lúpulos vírgenes será menor que el de los lúpulos con semillas. Pese a ello, algunos cerveceros, especialmente continentales, productores de cerveza tipo lager, solamente usan lúpulos sin semillas. Esto probablemente sea debido a que los lúpulos sin semillas tiene una relación mayor de aceites esenciales (aroma) a resinas (amargor), y por lo tanto son preferidos si se necesita aportar a la cerveza características predominantes aromáticas. Algunos cerveceros continentales sostienen también que los aromas desagradables pueden deberse a los mayores niveles de grasas y ceras de los lúpulos con semillas ⁽²⁹⁾.

Aparte de ser agentes polinizantes en la producción de lúpulo con semillas, los lúpulos machos carecen de interés cervecero. Además de tener relativamente pocas glándulas de resinas, las inflorescencias son caducas después del florecimiento. El lúpulo es anemófilo (polinizado por el viento) y para la producción de lúpulos con semillas, es práctica normal sembrar una o dos plantas macho en cada campo. Existen pruebas

que indican, sin embargo, que la mayoría de los conos hembra son polinizados por plantas silvestres que crecen en campos adyacentes. Trabajos realizados a comienzos del siglo XX, indican que los lúpulos con semilla dan un mayor rendimiento de conos y por consiguiente mayor contenido de resina por planta ⁽²⁹⁾.

En general el que compra el lúpulo está interesado en aquellas variedades que:

- Son particularmente ricas en α ácidos.
- Ofrecen aromas atractivos.
- O son adecuados desde ambos puntos de vista.

Se les conoce como lúpulos aromáticos y de doble función. Es evidente que resulta mucho más fácil determinar el contenido en α ácidos (de determinación sencilla) que cuantificar un aroma agradable, cuya apreciación es fundamentalmente subjetiva.

La tarea de producir y seleccionar variedades de lúpulo es muy distinta de la cría y selección de cebada, y ello por muchas razones ⁽³¹⁾.

Productos de lúpulo.

El balote, o bala, supone una complicación durante el almacenamiento y transporte del lúpulo, en especial si se tienen en cuenta, que en realidad el cervecero solamente utiliza el 5-15% de material activo del volumen total. Para paliar el problema del volumen y la relación de gran volumen a peso, el volumen de los lúpulos puede reducirse por compresión, con lo cual se disminuye el tamaño de la bala o balote, a aproximadamente la mitad del tamaño. Antes de comprimir los lúpulos, estos deben tener menos del 10% de humedad.

Con el paso del tiempo se han desarrollado otros métodos de tratamiento, los cuales facilitan modos más o menos cómodos de almacenar y transportar lúpulo.

Los principales productos producidos son los polvos de lúpulos, las pastillas comprimidos de lúpulo y los extractos de lúpulo ⁽²⁹⁾.

El lúpulo en polvo es un producto de molienda, obtenido por molturación cuidadosamente controlada de conos de lúpulos puros y secos (6-7 % humedad). La desecación se efectúa calentando los conos a 65 ° C y reduciendo seguidamente la temperatura a -35 ° C, para que los lúpulos sean menos pegajosos. La molturación se realiza a esta baja temperatura. El polvo resultante, requiere de alrededor de un sexto de espacio de almacenamiento, que los propio conos enteros. Los polvos pueden enriquecerse tamizándolos a bajas temperatura (-35° C) que, en esencia, separa las glándulas de lupulina, del material más grosero. Con este método puede lograrse una mejora del lúpulo hasta del 50 % de concentración. El almacenamiento del lúpulo en polvo siempre ha sido problemático, especialmente debido a la fácil pérdida de resina

y de características aromáticas (debido a la alta superficie de las partículas). En 1962 se introdujo el envasado al vacío, que permitía hasta cierto grado conservar los ingredientes esenciales. Pese a ello, el polvo de lúpulo se convierte normalmente en gránulos comprimidos que, con menor relación de superficie a volumen, sufren menos problemas por la oxidación ⁽²⁹⁾.

Los gránulos de lúpulo (pastillas), se presentan de diferente forma, siendo estándar la del tipo 90. Este se produce volviendo a desecar la muestra de lúpulo hasta el 7% de humedad y seguidamente moldurándolo, homogeneizándolo, palletizándolo a presión, enfriándolo y empaquetándolo a vacío. Próximo al pellet tipo 90, está el pellet de tipo 100, en el que los lúpulos no se han vuelto a secar antes de molerlos ⁽²⁹⁾.

Las pellets pueden enriquecerse por separación mecánica de las glándulas de lupulina, para tener niveles más altos de α -ácidos. El principal pellet enriquecido es el de tipo 45, que se encuentra también en forma más concentrada (tipo 33) y en forma menos concentrada (tipo 75). A pesar de sus obvias ventajas, las pastillas de lúpulo tienen porcentajes de utilización bastante bajos en cervecería. Por ejemplo la conversión del amargor potencial (α - y β -ácido) en amargor real (las formas isomerizadas), realmente excede del 45 % después de una hora de ebullición con el mosto. Se han efectuado diversos intentos para proteger a los α - y β -ácidos de la oxidación o mejorar la isomerización durante la ebullición.

En 1978 Grant observó que añadiendo entre 1 y el 3% de óxido de magnesio a los lúpulos durante la palletización, aumente significativamente la velocidad de isomerización durante la ebullición. Esto se atribuye al hecho de que las sales magnésicas de los α - y β -ácidos se disuelven más rápidamente, siendo isomerizadas también con mayor rapidez. A los pellets resultantes se llaman estabilizados. En el proceso de pelletización también se incorporado bentonita y los pellets resultantes dan un 20% mejor rendimiento en el proceso de ebullición. Esto es debido al hecho de que el polvo de bentonita aporta una mayor superficie para la isomerización.

Las pastillas de lúpulo isomerizados, como se denominaron, permiten alcanzar altos niveles de aprovechamiento (60%). Una ventaja adicional, son los cortos periodos de ebullición requeridos.

Los primeros intentos de extraer y aislar los ingredientes activos de los lúpulos, con vistas a mejorar sus características en el almacenamiento, se hicieron en el siglo XIX, utilizando agua como disolvente inicial. A partir de entonces, se usaron una diversidad de disolventes con éxito variable. Entre ellos figuran etanol, diclorometano, tricloroetileno, benceno, metanol, hexano, cloruro de metilo y dióxido de carbono líquido. Realmente durante la década de 1960 se produjeron comercialmente extractos de lúpulo y se usaron a escala significativa, estimándose que ahora un 50% de la

cosecha mundial de lúpulo se utilizan en forma de extractos. Uno de los principales problemas encontrados en la producción de extractos de lúpulo han sido las mermas, por volatilización o recuperación química, de algunos componentes importantes. El grado de pérdida o merma depende del disolvente utilizado y del sistema de extracción. Con las modernas reglamentarias alimentarias, es probable que solo el etanol y el dióxido de carbono típico sean usados extensamente, debido a que existe una tendencia a prescindir de la utilización de ingredientes no naturales en el procesado de alimentos y bebidas. En 1994 se desarrolló en Mainburg, Alemania, un avanzado sistema de extracción con etanol, capaz de extraer y recuperar todos los constituyentes deseables del lúpulo. Efectuando el vacío en el sistema de evaporación, ha sido posible reducir la temperatura de procesado, posibilitando así la recuperación de los constituyentes más volátiles del lúpulo. Para satisfacción de los ecologistas ambientales, el etanol se produce por fermentación de materiales de materia prima de origen vegetal ⁽²⁹⁾.

Usando este método, han sido producidos extractos de resinas exentos de taninos. Los extractos de lúpulo pueden presentarse en una variedad de formas, para satisfacer el deseo del cervecero al usarlo en su planta ⁽²⁹⁾.

Extractos convencionales o extractos de caldera

Actualmente es probable que sean los más ampliamente usados, aunque la situación este cambiando. Los α -ácidos y todos los demás constituyentes son extraídos en porcentajes variables y con eficacias diferentes, idealmente con un porcentaje de extracción diferentes, idealmente con un porcentaje de extracción mínimo del 95%. Estos extractos se añaden a la caldera de la misma forma que se hace con las hojas enteras de los lúpulos. Se afirman con los extractos, el cervecero puede obtener un producto más uniforme y además son ventajosos para su almacenamiento y estabilidad de sus características. Más recientemente, se han desarrollado calderas para producir extractos pre-isomerizados, que permiten reducir los tiempos de ebullición en la planta cervecera. Con ello los índices de utilización de α -ácido aumentan considerablemente ⁽²⁹⁾.

Extractos isomerizados

Estos proceden de extractos de dióxido de carbono líquido. La isomerización se realiza bien por calentamiento en solución acuosa de álcali, que produce la sal correspondiente (normalmente potásica), o bien convirtiendo los ácidos en sales

magnésicas o cálcicas y calentando seguidamente. El último proceso, produce sales magnésicas o cálcicas en forma de una suspensión o de un polvo ⁽²⁹⁾.

Los extractos isomerizados se emplean con fines de aportar amargor durante la pos-fermentación y contribuyen un medio muy eficaz de usar (y controlar) el nivel de α -ácidos en una cerveza ⁽²⁹⁾.

Extractos especiales

El contenido de aceite esencial de los extractos convencionales y de los isomerizados, normalmente suele encontrarse en el rango del 3-8 % v/p, aunque este puede aumentarse mediante durante un proceso de fraccionamiento diseñado en 1980 por Sharpe et al., en la Brewing Research Foundation (ahora Brewing Research International). Haciendo pasar dióxido de carbono líquido a través de una columna de lúpulos pulverizados, encontraron que la primera fracción eluída contenía principalmente aceites esenciales (78% de extracción en 30 minutos de elución). Estos extractos aromáticos se emplean para impartir sabores de lúpulo a los barriles de cerveza. Siendo normal añadirlos directamente al propio barril (es decir una forma de dry-hopping o tratamiento de lúpulo en seco). Ajustando la temperatura de extracción, el equipo de investigadores fue capaz de producir fracciones conteniendo casi la totalidad de los aceites esenciales: extracto de α -ácido y extractos de β -ácidos ⁽²⁹⁾.

Es bien sabido que los iso- α -ácidos (y sus homólogos β) son muy sensibles a la luz, especialmente en el rango de 350-500 nm. La luz de esta longitud de onda, puede traspasar el vidrio transparente y el verde de las botellas empleadas en el envasado y causar olores nauseabundos ⁽²⁹⁾.

Se dice que la cerveza ha recibido el golpe solar y su sabor se llama sabor de luz. Lo que ocurre, es que una de las cadenas laterales del iso- α -ácidos es escindida y que el radical liberado, altamente reactivo, se combina con compuestos que contienen azufre. Formando 3-metil-2-buteno-1-tiol (MBT). El MBT tiene un umbral de percepción de olor del orden de partes por trillón, siendo una de las sustancias más activas del aroma de la cerveza. Para combatir esta sensibilidad a la luz, se han desarrollado extractos de lúpulo de isomerización reducida. En esencia, pares de átomos de hidrógeno se añaden catalíticamente al α -ácido isomerizado, dando como resultante dihidro-, tetrahydro- y hexahidro-iso- α -ácidos. Estos extractos no son sensibles a la luz, habiéndose comparado que los dos últimos son beneficiosos para la estabilidad de la espuma ⁽²⁹⁾.

Variedades de Lúpulo.

Los lúpulos se clasifican en tres categorías, según la función requerida en cervecería:

a) lúpulos aromáticos, b) lúpulos alfa y c) lúpulos de doble finalidad. En el cuadro 4 se muestra una lista de algunas variedades importantes que han sido usadas durante años, indicando su país de origen y sus características propias particulares ⁽²⁹⁾.

Cuadro. 4. Categorías de lúpulo y variedades.

Variedad	País de origen	Porcentaje de composición		
		α- ácido	β - ácido	Aceites esenciales
(a) Lúpulos Aromáticos				
Goldings	Inglaterra	5.5	2.5	0.7
Fuggle	Inglaterra	4.5	3.7	0.6
Progress	Inglaterra	6.0	2.3	0.6
Whitbread Golding Variety	Inglaterra	6.0	2.7	1.0
Hersbrucker	Alemania	4.2	7.0	0.8
Tettnang	Alemania	4.0	6.0	0.8
Spalt	Alemania	4.0	7.0	0.8
Hallenau	Alemania	4.5	6.0	0.8
Willmette	USA	6.0	4.0	1.0-1.5
Cascade	USA	6.0	5.0	1.0
Mount Hood	USA	5.0	4.0	1.0
Strisselspalt	Francia	4.5	2.0	0.7
British Columbian Bramling	Canada	5.0	2.3	0.7
Styrian Goldings	Eslovenia	5.0	2.6	0.8
Saaz	Rep. Checa	3.0	7.0	1.0
Lublin	Polonia	5.0	1.3	1.0
N, Z, Hallertau	Nueva Zelanda	7.5	6.0	1.0
(b) Lúpulos alfa				
Target	Inglaterra	10.5	5.2	1.3
Yeoman	Inglaterra	10.5	5.1	0.8
Omega	Inglaterra	8.0	3.5	1.0
Northern Brewer	Alemania	8.0	7.0	1.6
Brewers Gold	Alemania	6.5	6.5	1.4
Record	Bélgica	6.0	6.0	1.0
Galena	USA	13.0	8.0	1.2
Nugget	USA	13.0	5.0	2.0
Clusters	USA	7.0	5.0	0.5
Pride of Ringwood	Australia	9.0	1.7	2.0
Super Styrian	Eslovenia	8.5	2.2	1.0
Green Bullet	Nueva Zelanda	10.0	7.8	1.3
Pacific Gen	Nueva Zelanda	12.0	9.2	1.8

Continuación cuadro. 4.

Variedad	País de origen	Porcentaje de composición		
		α - ácido	β - ácido	Aceites esenciales
(c) Lúpulos de doble finalidad				
Northdown (c/semilla)	Inglaterra	8.0	6.0	1.0
Northdown (s/semilla)	Inglaterra	10.0	6.6	2.0
Challenger (c/semilla)	Inglaterra	7.0	3.9	0.8
Challenger (s/semilla)	Inglaterra	9.0	4.5	1.3
Perle	Alemania	6.5	8.0	1,0
Hüller	Alemania	5.5	6.0	1.0
Centennial	USA	10.0	5.0	1.5
Chinook	USA	13.0	3.0	2.0

HORNSEY, Ian Spencer, 2003.

Constituyentes del lúpulo

En términos generales una buena muestra de lúpulo comercial debe de tener la siguiente composición (Cuadro 5).

Cuadro. 5. Composición de los lúpulos comerciales.

Composición de los lúpulos comerciales	
Agua	10.0
Resinas totales	15.0
Aceites esenciales	0.5
Taninos	4.0
Monosacáridos	2.0
Pectina	2.0
Aminoácidos	0.1
Proteínas (N * 6.25)	15.0
Lípidos y ceras	3.0
Cenizas	8.0
Celulosa, lignina, etc.	40.0
Total	100

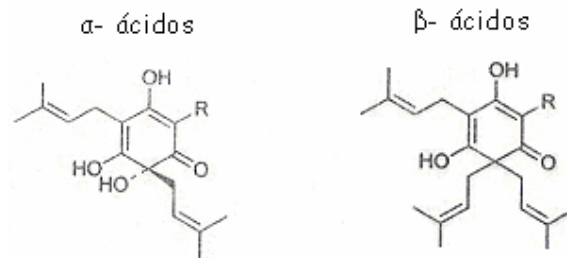
HOUGH, J S, 1990.

De los datos que en ella figuran, los realmente importantes para la fabricación de cerveza son los relativos a las resinas y aceites esenciales ⁽³¹⁾ las cuales se clasifican en base a su solubilidad en diversos disolventes orgánicos ⁽²⁹⁾. Los aceites esenciales o aceites de lúpulo derivan como todos los componentes resinosos, principalmente de la glándula de lupulina, contribuyen al aroma y bouquet de la cerveza y en algunos casos son los únicos responsables del estilo de la cerveza ⁽²⁹⁾.

Para una variedad de lúpulo, las formas sin semilla siempre contienen mas aceites esenciales que las formas con semilla (razón de la preferencia de los cerveceros) ⁽²⁹⁾.

Sin embargo, y aunque pequeñas cantidades, durante la elaboración de cerveza se extraen proteínas, aminoácidos y azúcares. Las resinas del lúpulo fresco son solubles en éter de petróleo (hexano). Estas resinas llamadas blandas, están fundamentalmente constituidas por α y β ácidos (Fig. 7), y es donde se encuentra la mayoría del amargor propio del lúpulo. A medida que el lúpulo envejece y se oxida, aumenta la proporción de resinas insolubles en éter de petróleo, denominadas resinas duras, a causa fundamentalmente de las transformaciones sufridas por los ácidos α y β ⁽³¹⁾. Los ácidos α , o humulonas, representan una familia de compuestos (Cuadro. 6). Se diferencian de la cadena lateral unida al carbono 2 del anillo hexacarbonado. Constituyen el principal componente amargo de la cerveza. Los β ácidos, o lupulonas, forman una familia de compuestos similares pero menos importantes. Durante la cocción de lúpulo, o sus productos, en el mosto los α -ácidos se reorganizan o se isomerizan (Cuadro.7). Los compuestos generados, iso α ácidos o isohumulonas, son muchos mas amargos y mucho mas solubles que los α ácidos. Los β ácidos generan productos de oxidación, algunos de los cuales son amargos y otros no. Los cambios que tienden a producirse son: 1) oxidación de las cadenas laterales, 2) Pérdidas de las mismas, 3) transformación de los anillos hexagonales en pentagonales ⁽³¹⁾.

Fig. 7. Estructura de los α - ácidos y β -ácidos.



HORNSEY, Ian Spencer, 2003.

Cuadro. 6. α - ácidos hallados en el lúpulo.

α -ácido	Porcentaje hallado
Humulona	35-70
Cohumulona	20-55
Adhumulona	10-15
Prehumulona	1-10
Posthumulona	1-5

HORNSEY, Ian Spencer, 2003.

Cuadro. 7. Estructura de los ácidos α e iso α .

Definición de R _x	Nombre del α - ácido	Nombre del iso α - ácidos
-Co-CH ₂ -CH (CH ₃) ₂ (isovaleril)	Humulona	Isohumulona
-CO- CH (CH ₃) ₂ (isobutiril)	Cohumulona	Isocohumulona
-CO-CH(CH ₃)-CH ₂ CH ₃ (2-metil-butiril)	Adhumulona	Isoadhumulona
-CO-CH ₂ -CH ₃ (propionil)	Posthumulona	Isoposthumulona
-CO-CH ₂ -CH ₂ -CH(CH ₃) ₂ (4-metil-pentanoil)	Prehumulona	Isoprehumulona

HOUGH, J S, 1990.

Aroma de Lúpulo.

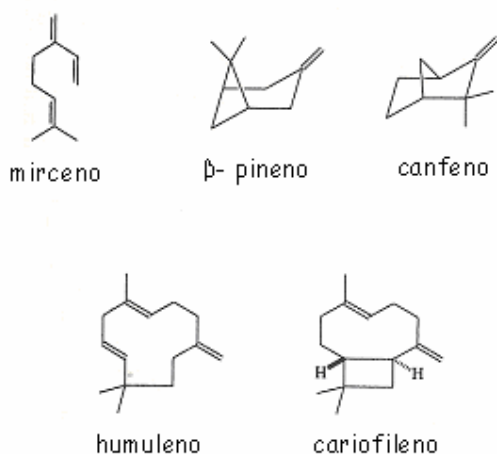
La adición de lúpulo a la cerveza no solo imparte amargor sino también un peculiar aroma a lúpulo. Se ha debatido ampliamente si este procede de la degradación de los componentes no volátiles del lúpulo como los α - y β - ácidos, o de los componentes del aceite esencial. En general se acepta actualmente que estos últimos son la fuente predominante del aroma a lúpulo de las cervezas. La dificultad para comprender de donde proceden los sabores a lúpulo de la cerveza se debe a la complejidad del aceite esencial de lúpulo que contiene más de trescientos componentes (Cuadro. 8) ⁽⁵⁾.

Cuadro. 8. Clasificación de los componentes del aceite esencial de lúpulo.

Clasificación	Número identificado aproximadamente
Hidrocarburos	60
Aldehídos	20
Cetonas	50
Esteres	70
Ácidos	10
Alcoholes	70
Heterocíclicos de oxígeno	30
Compuestos de azufre	30

Baxter, E. Dense y Hughes, Paul S, 2004.

Fig. 8. Terpenos representativos aislados de los aceites esenciales de lúpulo.



Baxter E Dense y Hughes Paul S, 2004.

Antes de considerar que componentes forman el aroma a lúpulo de la cerveza creemos importante estudiar la composición del propio aceite esencial del lúpulo; en este aceite esencial alrededor del 40-80 % son hidrocarburos que, con excepción de algunos hidrocarburos alifáticos simples, son especialmente de origen terpénico (Fig. 8).

Los monoterpenos están representados por compuestos acíclicos monocíclicos y bicíclicos, si bien el mirceno es el más abundante y puede dar cuenta hasta el 30 % del total de los aceites esenciales. Hay un grupo de al menos 40 sesquiterpenos que pueden ser acíclicos, mono, bicíclicos y tricíclicos. Los principales componentes del grupo son normalmente el humuleno y el cariofileno. En el aceite esencial del lúpulo se han identificado solo dos diterpenos: *m*- y *p*-canforeno ambos son aductos Diles-Alder formado por moléculas de mirceno ⁽⁵⁾.

Como constituyentes del aceite esencial de lúpulo se han señalado algunos aldehídos saturados e insaturados, así como, el monoterpenoide citral *a* y *b* (geranial y neral respectivamente) y citronelal. Los aldehídos especialmente cuando son insaturados, tienen con frecuencia gran actividad flavorizante, pero de hecho son reducidos a los correspondientes alcoholes durante la fermentación. Por supuesto se ha demostrado la existencia de actividades aldo- y ceto-reductasa de la levadura durante la fermentación. El aceite esencial de lúpulo contiene un gran número de metilcetonas. Es evidente, en casi todas las variedades de lúpulo, la presencia de series homólogas de heptan-2-ona a heptadeca-2-ona, junto con cierto número de cetonas ramificadas e insaturadas. También existe cierta evidencia de la presencia de alcano-2,4-dionas en el aceite esencial de lúpulo de la variedad Wye Target. Además, es el aceite esencial

de lúpulo se ha identificado la presencia de norcarotenoides de alta actividad flavorizante, la β -ionona y β -damascetona que se encuentra en la cerveza a niveles que indican que pueden contribuir de manera importante al sabor (flavor) a lúpulo de la cerveza ⁽⁵⁾.

Los ésteres identificados en el aceite esencial del lúpulo abarcan series homólogas de esteres metílicos desde hexano hasta dodecanoato, así como cierto número de esteres metílicos ramificados e insaturados. La mayoría de los ésteres metílicos se hidrolizan durante la fermentación y también se ha observado que ocurre la transesterificación en presencia de niveles crecientes de alcohol. Los esteres metílicos de algunos ácidos conjugados como el metilgeraniato, resisten la hidrólisis y son por lo tanto detectables en la cerveza ⁽⁵⁾.

Algunos ácidos carboxílicos alifáticos sencillos a veces se encuentran en cantidades traza en el aceite esencial de lúpulo, y la presencia de ácidos de cadenas ramificadas (como el ácido 2-metilbutanoico y el ácido 4-metil-3-pentanoico) se piensa que son debidos a la oxidación de α y β ácidos ⁽⁵⁾.

En el aceite esencial de lúpulo hay presente un amplio abanico de alcoholes, desde series de alcan-1-ol de cadena lineal ramificada hasta alcoholes terpénicos. El principal alcohol terpénico presente en el lúpulo es el linalool que alcanza hasta el 1% del aceite esencial total. Los compuestos isómeros incluyen el geraniol (ampliamente esterificado en el aceite esencial del lúpulo) y el α -terpineol. Según Moir se puede establecer una distinción entre alcoholes terpénicos considerados como productos finales de las rutas biosintéticas (ejemplo linalool) y los alcoholes alifáticos (como el β -humuleno-1-ol) que son productos de oxidación que se pueden preparar por su reestructuración de sus epóxidos homólogos. Los niveles de los primeros tienden a disminuir durante el almacenamiento del lúpulo, en tanto que los niveles de los últimos tienden a aumentar ⁽⁵⁾.

La inestabilidad química de los hidrocarburos sesquiterpénicos es evidente de acuerdo con su comportamiento durante el almacenamiento del lúpulo.

Los niveles de estos hidrocarburos descienden durante el almacenamiento, en tanto que los epóxidos debido a la autooxidación aumentan. En la cerveza comercial se han identificado el humuleno-4,5-epóxido y cierto número de humuleno diepóxidos se han detectado tanto en el lúpulo como en la cerveza ⁽⁵⁾.

En el aceite esencial de lúpulo se han detectado algunos esteres cíclico, entre otros los óxidos cis- y trans- del linalool, que probablemente se forma por ciclación del linalool-6,7-epóxido. Tales componentes son transferidos eficientemente al mosto durante el proceso de ebullición del mismo, y junto con otros compuestos como el éter karahana, y el éter de lúpulo se considera compuestos importantes del flavor del

lúpulo. Las 3(2H)-furanonas, presentes tanto en el lúpulo como en la cerveza, muestran homología estructural, lo cual indica que se derivan de la degradación de los α y β ácidos.

El lúpulo también contiene un grupo amplio de compuestos de azufre. Los lúpulos verdes contienen dos series de S-alquiltioésteres que son los únicos compuestos volátiles del azufre presentes. Sus niveles permanecen principalmente invariables durante el procesado de tostado y resisten tanto la hidrólisis como la transesterificación. En la bibliografía se encuentra cierto número de informes sobre diversos compuestos de azufre hallados en los lúpulos que son artefactos formados por reacción de hidrocarburos terpénicos con el azufre residual que se ha utilizado como fungicida para proteger a la planta del daño causado por el mildú. Ordinariamente esto no acarrea problemas de flavor, pero un problema más grave de la presencia de azufre libre en los lúpulos es la capacidad de la levadura para formar sabores extraños sulfurosos y a quemados, durante la fermentación, cuando los lúpulos se usan tardíamente o secos ⁽⁵⁾. Habida cuenta de cuanto llevamos dicho acerca de la complejidad, volatilidad e inestabilidad química de los diversos grupos de componentes del aceite esencial de lúpulo se deduce que no tiene nada de sorprendente que el aroma a lúpulo de la cerveza esté muy lejos de comprenderse totalmente. No obstante, es probable que los compuestos que se consideran derivados de lúpulo existen en la cerveza, de hecho no existe en el propio lúpulo. Se ha determinado en la cerveza cierto número de compuestos derivados del lúpulo, de los que se han estudiado sus umbrales olfatorios (Cuadro.9). Es necesario tratar esta información con cautela, pues los valores analíticos dependen mucho del tipo de cerveza y de las condiciones del proceso que se utiliza y de la forma como se realizan los análisis. Además, los valores umbral tienden a ser específicos del producto, y se sustentan en la pureza de los compuestos evaluados ⁽⁵⁾.

La composición exacta del sabor de lúpulo en la cerveza depende de los lúpulos o productos de lúpulos empleados. Así, para conseguir amargor lo corriente es utilizar lúpulos o más comúnmente pastillas de lúpulo al comienzo de la ebullición. El aroma que así se consigue se conoce como aroma a lúpulo de la caldera. Algunos investigadores señalan una pérdida del 95% del total de aceites esenciales de lúpulo en los primeros 5 minutos de la adición del lúpulo al mosto en ebullición. Así pues está claro que pocos componentes del aceite esencial del lúpulo sobreviven a la ebullición, aunque según otros investigadores el producto de degradación ácida, el 2-metil-3-buteno-2-ol es el compuesto al que se deriva el carácter de lúpulo de la caldera.

Además de esto hay un conjunto grande de sesquiterpenos oxigenados, todos ellos virtualmente por debajo de sus umbrales olfatorios. Para la producción de cerveza

Lager es práctica común añadir una porción de lúpulo (típicamente el 20%) hacia el final de la ebullición. Si bien este no es tiempo suficiente para la conversión efectiva de los α -ácido en sus homólogos isomerizados amargos, si permite la extracción, fraccionamiento por vapor y modificación química de parte del aceite esencial de lúpulo presente. El sabor final a lúpulo de la cerveza lager se describe con frecuencia como floral y a especias y consiste principalmente en alcoholes monoterpénicos como el linalool y el geraniol, junto con norcarotenoides y ésteres cíclicos ⁽⁵⁾.

Cuadro. 9. Algunos compuestos derivados del aceite esencial de lúpulo hallados en las cervezas.

Compuesto	Intervalo de niveles Hallados ($\mu\text{g/L}$)*	Umbral del sabor en la cerveza ($\mu\text{g/L}$)
Linalool	1-470	27,80
Óxidos de linalool	Nd-49	-
Citronelol	1-90	-
Geraniol	1-90	36
Acetato de geraniol	35	-
α - Terpineol	1-75	2.000
Humuleno epóxido I	Nd-125	10
Humuleno epóxido II	1,9-270	450
α —Eudesmol	1-100	-
T-Cadinol	Nd-200	-
Humulenol	1-1.150	500,2.500
Humuladienona	Nd-43	-
Humulol	Nd-220	-
Clovanodiol	51-677	-

Baxter E. Dense y Hughes Paul S, 2004.

Es práctica común para la producción de Ales añadir conos de lúpulo completos o pellets completos a los barriles. El carácter del lúpulo seco resultante es relativamente simple y consiste en una combinación de monoterpenos como Briceño, ésteres alifáticos y linalool.

Si bien tradicionalmente la cerveza se ha elaborado con conos de lúpulo completos actualmente es práctica rara, utilizándose pellets estandarizados y extractos que proporcionan amargor, flavor a lúpulo o ambos y extractos altamente refinados para modificar los sabores de lúpulo al final de la producción de cerveza. Finalmente, el aroma a lúpulo es una característica de la variedad de lúpulo. Así, mientras, que el lúpulo para proporcionar amargor se vende comercializando sobre la base de su contenido en α -ácidos, las variedades específicas premiadas y garantizadas por la calidad de su aroma tienen precios Premium. Sin embargo, el estatus actual de la investigación significa que la capacidad de una variedad de lúpulo para impartir un

buen aroma no se puede determinar fácilmente por vía analítica, y son necesarios ensayos de elaboración y la evaluación sensorial para asegurar que ese es el caso ⁽⁵⁾.

2.4. La Levadura.

Las levaduras más ampliamente usadas en la industria cervecera pertenecen al género fúngico *Saccharomyces*, del que se conocen más de 30 especies (Cuadro 9). En sentido amplio, los hongos (Mycota) pertenecen al grupo protista, como fue definido por Haeckel. Debido a la escasez de pruebas claras, los orígenes evolutivos de los hongos siguen siendo tema de conjeturas. Mientras que muchos especialistas los consideran protista, existen algunos otros que asignan a los hongos su propio grupo separado de organismos.

Ciertamente existen organismos eucarióticos, que poseen orgánulos (tales como núcleo y mitocondrias) delimitados por una doble membrana. Los hongos verdaderos (Eumycota) tienen una pared celular rígida que los emparenta con el reino vegetal aunque, al no ser fotosintéticos, están forzados a una forma de existencia heterotrófica ⁽²⁹⁾.

Dentro de los Eumycota, las levaduras caen dentro de la subdivisión Ascomycotina (ascomicetos), el mayor grupo unitario de hongos. Se caracteriza por la producción de esporas (perfectas) sexuales, llamadas ascosporas, que se encuentran contenidas dentro de un saco o ascus. La mayoría de los ascomocetos producen una estructura portadora de la spora, o fructifican (ascocarpo), para albergar y proteger a sus ascosporas, por lo que se sitúan en los Euascomycetos (verdaderos ascomicetos). aquellos que no producen ascocarpos se clasifican como Hemiascomycetos, grupo al que pertenecen las levaduras y sus aliados. La mayor parte de los Hemiascomycetos son organismos unicelulares, aunque algunos produzcan crecimientos filamentosos (hifas) ⁽²⁹⁾.

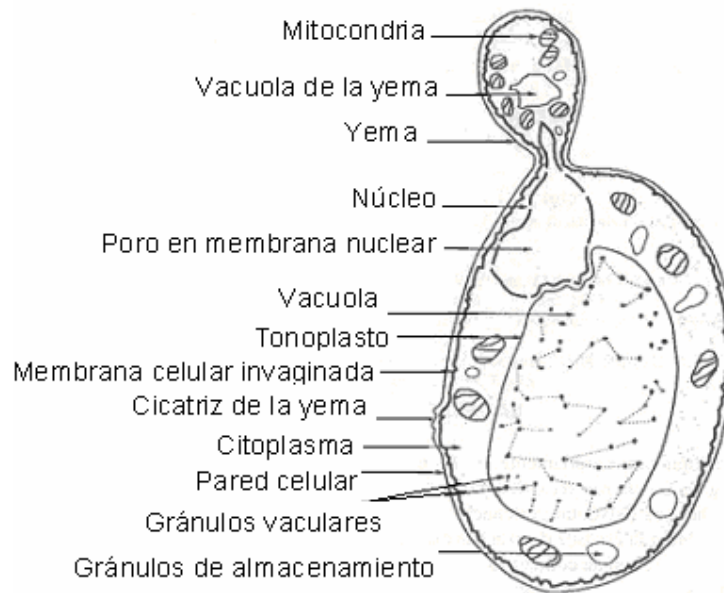
Los *Saccharomyces spp.*, se encuentran dentro de la familia Saccharomycetaceae y se distingue de los restantes por sus características morfológicas y fisiológicas (comportamiento o desarrollo). Las levaduras verdaderas se reproducen vegetativamente por gemación (Fig. 10), bajo determinadas condiciones. Cuando sobre sale una yema, sobre la pared de la célula madre, deja una cicatriz. En teoría, la superficie de la pared celular de una célula madre es suficiente para un centenar de yemas, pero en la práctica no se han observado más de 50 cicatrices ⁽²⁹⁾.

Cuadro 10. Principales géneros fúngicos en los alimentos.

Mohos	Género
Mohos	<i>Absidia</i>
Clases	<i>Mucor</i>
Ficomicetos(Subclase zigomicetos)	<i>Rhizopus</i>
	<i>Thannidium</i>
Asomicetos	<i>Byssochlamys</i>
	<i>Claviceps</i>
	<i>Monascus</i>
	<i>Neurospora</i>
	<i>Sclerotinia</i>
Hongos Imperfectos	<i>Alternaria</i>
	<i>Aspergillus</i>
	<i>Botrytis</i>
	<i>Cladosporium</i>
	<i>Fusarium</i>
	<i>Geotrichium</i>
	<i>Penicillium</i>
	<i>Phoma</i>
	<i>Scopulariopsis</i>
	<i>Sporendonema</i>
	<i>Sporotrichum</i>
	<i>Tricholerna</i>
Levaduras	
Clase	
Ascomicetos	<i>Debarymyces</i>
	<i>Pichia</i>
	<i>Saccharomyces</i>
Hongos imperfectos	<i>Candida</i>
	<i>Rhodotorula</i>
	<i>Torulopsi</i>

FRAZIER, W C, D C Westhoff, 1993.

Fig. 9. Diagrama representativo en sección de una levadura en gemación *Saccharomyces cerevisiae* vista al microscopio electrónico.



HORNSEY, Ian Spencer, 2003.

Un 75-80% de la célula de levadura es agua, aunque sobre la base de su peso en seco, la célula en crecimiento activo contiene:

Aproximadamente el 40% de proteína, la mayoría en forma de enzimas (de las que se han identificado más de un millar) que están localizadas en la pared celular y unidas a las membranas.

Aproximadamente el 34% de polisacáridos, principalmente en la pared celular y como material de reserva alimenticia.

7% de minerales (llamados contenido en cenizas)

5% de fosfolípidos

3% de triglicéridos

0.5% de DNA, vitaminas y fibras ⁽²⁹⁾.

El citosol (o citoplasma) está delimitado por una cubierta celular que consta de membrana celular, espacio periplásmico y pared celular. La pared celular puede tener un espesor de 150-300 nm, según la cepa y condiciones de desarrollo y es metabólicamente activa, conteniendo enzimas capaces de permitir la transferencia macromolecular al interior de la célula. La membrana y el espacio periplásmico tienen ambos 10 nm de grosor. Hasta el 85% del peso seco de la pared celular se atribuye a dos polisacáridos estructurales que están presentes en cantidades aproximadamente iguales y son:

1. β -glucano, polímeros de glucosa que se encuentran en las capas internas de la pared y son responsables de la forma celular y rigidez de la pared.
2. Manoproteínas (α - mananos), polímeros de manosa unidos covalentemente a cadenas peptídicas, que forman la parte externa de la pared, responsables de la porosidad y de la recepción ambiental. En estas capas se encuentran las enzimas invertasa, fosfatasa, ácido β -glucosidasa y proteasa ⁽²⁹⁾.

La superficie celular de las levaduras de fermentación alta (ale) esta cubierta por pequeñas protuberancias microfibrilares que les confiere una aspereza que permite que las células asciendan a la superficie durante la fermentación. Entre la capa externa de manoproteína y la capa interna en que predomina el glucano, existen una serie de capas intermedias compuestas de varias especies químicas ⁽²⁹⁾.

Además de los dos polímeros principales de quitina (un polímero de N-acetilglucosamina) está presente en pequeñas cantidades (aprox. 1% sobre peso seco). La quitina es un componente mayoritario de muchas paredes celulares fúngicas, aunque parece concentrarse en las cicatrices que dejan las yemas en la pared de las levaduras. En la pared matriz, también están presentes pequeñas cantidades de proteínas lípidos y fosfatos inorgánicos ⁽²⁹⁾.

Aparte de la superficie áspera de algunas formas, la superficie de la pared celular de la levadura posee una carga neta negativa y tienen hidrofobicidad, características todas ellas de importancia para el cervecero. La carga negativa se atribuye a las cadenas fosfatos localizadas en la pared externa de manoproteínas y puede demostrarse por tinción azul cian ⁽²⁹⁾.

Al microscopio electrónico, la membrana celular parece invaginada y a la vista de la superficie congelada, las invaginaciones parecen como pliegues alargados, algunos de 4 μm de longitud. También son visibles cúmulos de partículas de unos 180 Å de diámetro, dispuestas hexagonalmente. La membrana está compuesta de lípidos y fosfolípidos, asociados con proteínas y esteroides (alcoholes esteroideos) ⁽²⁹⁾.

El orgánulo más destacado dentro de la célula de la levadura es la vacuola, la cual está delimitada por una única membrana simple, el tonoplasto, que es ligeramente más delgado que el plasmalema. El plasma vacuolar es rico en gránulos de volutina (polimetafosfato) durante los periodos de actividad metabólica. Estos gránulos densos desaparecen al reanudar el desarrollo activo. La vacuola también actúa como almacén de enzimas líticas implicadas en el reciclado de macromoléculas celulares.

El segundo gran orgánulo es el núcleo, que está típicamente envuelto por una unidad de membrana doble con poros. El núcleo tiene de 1.5 a 2.0 μm de diámetro mientras que los poros son del orden de 0.1 μm de diámetro. Dentro del núcleo se encuentra una zona más densa y oscura llamada nucleolo. Este no está delimitado del resto del

plasma nuclear por una membrana. El nucleolo es rico en RNA y proteína y la microscopía electrónica de alta resolución indica que existen dos regiones distintas, una de partículas y otra fibrilar. El nucleolo es el lugar de síntesis y organización de los ribosomas citoplasmáticos (80S) ⁽²⁹⁾.

Los cromosomas de las levaduras son, muy pequeños y difícilmente diferenciables. Aún así, existen indicaciones conflictivas respecto al número de cromosomas de la célula diploide. Las primeras teorías indicaban que tenía ocho, pero esto no concuerda con la información obtenida en las investigaciones genéticas, que ha demostrado que el núcleo de la célula haploide posee al menos 17 grupos analizados ⁽²⁹⁾.

Conectando el plasmalema con la membrana nuclear existe un sistema difuso de doble membrana, llamado retículo endoplásmico (ER). Las formas de las membranas pueden variar, morfológicamente, de tabular a vesicular y hasta sacos aplanados (cisternas), dependiendo la forma verdadera del ER de las condiciones y edad de la célula. Algunos ribosomas adheridos a las membranas del ER le confieren aspecto rugoso. De hecho, el ER divide al citoplasma de la célula (contenido celular exceptuado al núcleo) en dos regiones principales: la que está encerrada dentro del sistema membranoso y la que está fuera (la matriz citoplasmática) ⁽²⁹⁾.

El citoplasma también contiene los cuerpos de Golgi (dictiosomas) que están, también delimitados por una unidad de doble membrana. Esta implicación en el crecimiento de la pared y en determinadas fases del ciclo celular, son difíciles de diferenciar del ER ⁽²⁹⁾.

Las mitocondrias están libremente dispersadas por el citoplasma y como otras eucariotas, contienen sus propios ribosomas (70S) y son los puntos de producción del adenosín trifosfato (ATP).

Otros orgánulos celulares encontrados en *Saccharomyces spp.*, son gránulos lipídicos (esferosomas) y lisosomas, que contienen enzimas hidrolíticas ⁽²⁹⁾.

La mayoría de las levaduras se reproducen por gemación. En esta, la membrana celular se hincha en una zona pequeña. La bolsa así formada recibe citoplasma de la célula, aumenta de tamaño y se estrecha por la base. El núcleo de la célula se divide y uno de los hijos se desplaza hacia la yema, que se desprende o continúa germinando, juntamente con la célula progenitora, formándose así una colonia de células ⁽⁶²⁾.

Una sola célula de levadura, en condiciones óptimas de crecimiento, origina más de 20 yemas antes de cesar de reproducirse. Estas yemas nacen en diferentes regiones de la superficie de la célula madre, pero no brotan en el mismo sitio en que antes brotó otra yema ⁽⁶²⁾.

Necesidades Nutritivas de las Levaduras.

Las necesidades para el desarrollo global de las levaduras de cervecería son:

1. Una fuente carbonada de energía, conocida como azúcares fermentables
2. una fuente de nitrógeno,
3. factores de crecimiento (vitaminas),
4. iones inorgánicos (otros elementos)
5. Oxígeno (especialmente durante las primeras fases de fermentación), y
6. Agua ⁽²⁹⁾.

Metabolismo del carbono.

Los principales azúcares (Cuadro. 11) del mosto totalmente de malta, tienen el perfil siguiente en términos de porcentaje composicionales:

Cuadro. 11. Principales azúcares en el mosto.

Azúcar	% composición
Maltosa	50-60
Dextrinas	20-30
Maltotriosa	15-20
Glucosa	10-15
Fructuosa	1-2
Sacarosa	1-2

HORNSEY, Ian Spencer ,2003.

Algunos son captados pasivamente por la célula de forma intacta (por ejemplo., glucosa y fructuosa) y algunos son hidrolizados fuera de la célula, siendo absorbidos los productos de los productos de degradación (sacarosa), mientras que otros, son transportados activamente a través de la membrana e hidrolizados en el citosol de la célula (maltosa maltotriosa). Las dextrinas que comprenden, la maltotriosa y productos de degradación mayores, no son metabolizados. Algunas cantidades mínimas de azúcares pentósicos tampoco son fermentados ⁽²⁹⁾.

El modelo general de desaparición de azúcares fermentables del mosto durante la fermentación es, sacarosa-glucosa-fructuosa-maltotriosa, aunque existen diferencias entre cepas de levadura ⁽²⁹⁾.

Metabolismo del Nitrógeno.

Las levaduras cerveceras no pueden asimilar el nitrógeno elemental ni los iones nitrato. Algunas cepas pueden utilizar los iones amonio, pero la mayor parte del nitrógeno requerido para la síntesis de constituyentes celulares esenciales, procede de los aminoácidos y de los di- y tri-péptidos del mosto. Estos componentes han sido originados proporcionalmente por la propia malta ⁽²⁹⁾.

Al objeto de lograr una buena y rápida fermentación, el contenido de nitrógeno α -amino del mosto no debe de tener menos 100 mg l⁻¹ o, preferentemente, dentro del margen 150-200 mg l⁻¹. Además debe de existir un buen equilibrio de aminoácidos para que la levadura los utilice.

Como en el caso de la utilización de carbohidratos por levaduras, los aminoácidos son captados y utilizados, consecuentemente, de acuerdo con la presencia, en cualquier caso, de enzimas adecuadas de transferencia en la membrana. Un mosto de malta total, contiene 19 aminoácidos que se pueden clasificar en cuatro grupos según su velocidad de captación por la levadura ⁽²⁹⁾.

1. absorción rápida: ácido glutámico, ácido aspártico, asparagina, glutamina, serina, treonina, lisina, arginina.
2. absorción intermedia: valina, metionina, leucina, isoleucina, histidina
3. absorción lenta: glicina, fenilalanina, tirosina, triptófano, alanina, y
4. absorción nula o escasa: prolina (el aminoácido mas abundante del mosto) ⁽²⁹⁾.

La propia célula produce aminoácidos por transmisión y /o por síntesis, a partir de un cúmulo de diferentes ácidos y cetoácidos. En algunas cepas de levadura, determinados aminoácidos parecen ser siempre sintetizados dentro de la célula, incluso aunque se encuentren presentes en cantidad abundante en el mosto, como parece ser el caso de la arginina, histidina y lisina.

La prolina, necesaria para el metabolismo de la levadura es sintetizada a partir del glutamato.

La síntesis de las proteínas en las levaduras es tanto mitocondrial como citoplásmica ⁽²⁹⁾.

Vitaminas.

El mosto proporciona una rica fuente de vitaminas y aunque las levaduras difieren mucho en sus necesidades de vitaminas para el crecimiento, normalmente existe un aporte adecuado procedente de la cuba de maceración.

El mosto debe de contener biotina, tiamina (B1), ácido nicotínico, riboflavina, pantotenato cálcico, inositol y piridoxina, piridoxal y piridoxamina ⁽²⁹⁾.

Con la excepción del inositol, que intervine o participa en la síntesis de la membrana (fosfolípidos), es decir desempeñan un papel estructural, todas las vitaminas tienen función catalítica como parte de algún coenzima en el metabolismo (no-funcional). La mayoría de las cepas cerveceras tienen absoluta necesidad de biotina y muchas necesitan pantotenato e inositol ⁽²⁹⁾.

Iones inorgánicos (otros elementos).

Durante la fermentación la levadura necesita diferentes iones inorgánicos, desempeñando algunos un papel estructural y otros con fines enzimáticos ⁽²⁹⁾.

Azufre.

El azufre elemental, en forma coloidal, puede ser utilizado por la levadura bajo determinadas circunstancias, aunque es raro que ocurra en condiciones de fermentación cerveceras. Los iones sulfato, constituyente universal del mosto, también pueden ser utilizados, pero solo a pequeña escala, mientras existan en el mosto aminoácidos conteniendo azufre. La captación de iones sulfato, tiene lugar vía un proceso activo y principalmente se realiza al comienzo de la fermentación, antes de que los aminoácidos que contienen azufre alcancen suficiente concentración. De los compuestos orgánicos azufrados del mosto, la metionina es más fácilmente utilizable, si bien es absorbido lentamente durante las primeras horas de la fermentación ⁽²⁹⁾.

En el mosto también se encuentran presentes proteínas y péptidos que contienen azufre, como las vitaminas tiamina y biotina. Para que la fermentación transcurra satisfactoriamente, es esencial que el mosto contenga por litro 40-50 mg de azufre en forma orgánicamente unida ⁽²⁹⁾.

Aparte de las proteínas estructurales y sus componentes aminoácidos, los compuestos que contienen más cantidad de azufre dentro de las células de levadura son la coenzima A, el ácido lipóico, el pirofosfato de tiamina (PPT) y el glutatión. El último es un alimento de reserva tripéptido (ácido glutámico-cisteína-glicina) y representa un 20 % del azufre de la célula. Su formación es estimulada por exceso de iones sulfato del mosto y bajo determinadas condiciones de crecimiento puede llegar hasta el 1% del peso seco de la célula ⁽²⁹⁾.

De los subproductos metabólicos resultantes de la utilización del azufre durante la fermentación, el sulfato de hidrógeno (H_2S) es el de mayor significación y se genera en cantidades detectables durante la fase vigorosa del crecimiento de la levadura. Parece ser que la mayor parte es producida por reducción de los iones sulfato (SO_4^{2-})

permitiendo su liberación y la acidez prevalente. Parte de H₂S, sin embargo, procede del metabolismo de los compuestos organoflurados del mosto. La mayoría del H₂S producido está químicamente ligado y la fracción que permanece en formas de gaseosa, normalmente se pierde durante el desprendimiento masivo de CO₂. En consecuencia, la concentración de H₂S en la cerveza raramente excede del 1ppm, que se encuentra por debajo de su umbral de percepción (30ppm). Fácilmente detectables (por su olor) las cantidades de H₂S de una cerveza, son signos de infección de la cerveza con bacterias tales como *Zymomonas mobilis*.

El dióxido de azufre (SO₂) está presente en la cerveza normalmente de forma unida y siempre a niveles inferiores a su umbral de aroma [20.000 ppm (20mg l⁻¹).]

Los principales productos organosulfurados del metabolismo de las levaduras son los mercaptanos (tio-alcoholes) los cuales, junto con sus derivados menos abundantes, los tio-aldehídos y tio-cetonas, constituyen el sabor global de la cerveza.

La mayor parte de los compuestos volátiles de azufre que se encuentran de la cerveza se originan, a partir de los volátiles del lúpulo, no siendo por tanto, resultado directo de la fermentación ⁽²⁹⁾.

Elementos metálicos.

Diversos iones metálicos juegan una parte importante en el proceso cervecero, en particular durante la fermentación. Estos pueden agruparse en tres clases:

1. Macroelementos. Requeridos a concentraciones entre 0.1 y 0.1 mM, que incluyen K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺ y Mn²⁺
2. Microelementos. Requerido a concentraciones entre 0.1 y 100 mM, que incluyen elementos como Co²⁺, Cd²⁺, Cr⁶⁺, Cu²⁺, Mo²⁺, Ni²⁺ y V²⁺.
3. Inhibidores. A concentraciones superiores a 10-1000 mM, entre los que estarían incluidos Ag⁺, As³⁺, Hg⁺, Li⁺, Os²⁺, Pd²⁺, Se⁴⁺ y Te⁴⁺.

Durante la fermentación, las concentraciones de Mg²⁺, Zn²⁺, K⁺ y Co²⁺ son los más significativos. La concentración óptima de cualquiera de estos elementos, depende particularmente de la concentración de otros iones, situación que puede acarrear complicaciones. Esto es particularmente cierto para la relación el cinc y manganeso. Es sabido que durante la fermentación también son críticos las relaciones y magnesio. En el mosto se encuentran presentes en diversas formas, la mayoría de los elementos catiónicos, pero solo algunos están biodiponibles. La biodisponibilidad de estos elementos depende del pH del mosto, diponibilidad de aniones y presencia de agentes quelantes o secuestrantes ⁽²⁹⁾.

Magnesio.

La necesidad de este elemento es pequeña y esta ampliamente cubierta por la malta y la propia agua. La necesidad mínima de la mayoría de las levaduras cerveceras está en torno a 42 ppm (1.7 mM), mientras que las concentraciones superiores a 25.000ppm (1M) inhibe el crecimiento. La levadura capta activamente el elemento por medio de un sistema de transporte específico de alta afinidad, siendo el catión divalente intracelular más abundante de la célula de levadura. El magnesio ejerce la mayoría de sus efectos intracelularmente, siendo requerido por muchas enzimas, incluyendo todas las quitinasas, fosfatasas y sintetasas. Regula el metabolismo pirúvico, puesto que las enzimas glucolíticas hexoquinasa, fosfofructoquinasa, endolasa y piruvato quinasa son todas Mg-activadas. También participa en otras funciones: a) interviene a la tolerancia del alcohol, b) tiene efecto protector cuando la célula se encuentra bajo en condiciones de estrés (en particular la temperatura y el estrés osmótico), c) está implicado en la estabilización de la membrana de los ácidos nucleicos, ribosomas lípidos y polisacáridos, d) estimula la fermentación de los mostos de alto peso específico, e) está implicado en la estructura del ribosoma, f) tiene efectos neutralizantes sobre la fuerza electrostática presentes en polifosfatos, DNA, RNA y proteínas y g) desempeña un papel clave en el crecimiento y división celular ⁽²⁹⁾.

Calcio.

Elemento importante en la estructura de la membrana de la levadura y en su función. La necesidad mínima de la mayoría de las cepas se encuentra en la región de 10-20 ppm (0.25-0.5 mM), mientras que por encima de 1.000 ppm (25mM) actúa como inhibidor. Su presencia puede estimular el crecimiento de la levadura, incluso a pesar de que estrictamente no es un factor de crecimiento. Casi todas las influencias de calcio son extracelulares en lo que a la levadura respecta, estando fundamentalmente implicado en el mantenimiento de la membrana e integridad de la pared celular. Los niveles de Ca^{2+} citoplásmico se mantienen a un nivel residual muy bajo [4-8 ppm (100-200 nM)], mucho más bajo de lo que sería de esperar de su velocidad de captación. Esto se debe a que el ión es transportado al interior de la vacuola de la célula, donde se localiza un 95% de todo el calcio. La interacción con las proteínas que captan el calcio, como la calmodulina, también contribuye a mantener bajos niveles intracelulares. El calcio es también activamente eliminado de la célula, frente a un gradiente de concentración, a través de la membrana. Los iones Ca^{2+} juegan un importante papel en el proceso de floculación ⁽²⁹⁾.

Se sabe que las cantidades relativas de calcio y magnesio son críticas durante el crecimiento de la levadura. Por ejemplo, niveles altos de Mg^{2+} , Ca^{2+} en la célula determinan una fermentación inicial más rápida y niveles más elevados de producción de alcohol, asociados a una mayor vitalidad de la levadura al término de la fermentación. Lo contrario es cierto en el caso de altos niveles Mg^{2+} , Ca^{2+} , en que hay prolongados periodos de atenuación, debido principalmente a la demora en la captación de maltosa y maltotriosa ⁽²⁹⁾.

Zinc.

Probablemente es el más significativo de los elementos que están de forma de trazas, puesto que puede estar presente en el mosto a concentraciones ínfimas, particularmente en las cerveceras en que la mayor parte del equipo está fabricado por acero inoxidable. El Zn^{2+} desempeña un papel crucial en el metabolismo de la levadura, siendo su necesidad de 1-2 ppm para la adecuada actividad glucolítica ⁽²⁹⁾.

Manganeso.

También elemento traza esencial, siendo regulador de diversas enzimas intracelulares clave ⁽²⁹⁾.

Sodio.

La levadura no acumula Na^+ intracelularmente y el catión está siendo continuamente evacuado del citosol con el objeto de mantener niveles muy bajos. Si las células están inmersas en mostos de alta concentración salina, entonces se osmorregulan produciendo solutos intracelulares compatibles (generalmente a través del glicoceroles o arabitol) ⁽²⁹⁾.

Potasio.

Las levaduras captan activamente K^+ , y para que esto ocurra, existe una necesidad de glucosa u otro azúcar fermentable. La captación de K^+ por la célula está estrechamente relacionada con el desprendimiento de H^+ hacia el exterior de la célula. Durante la fermentación, la levadura muestra distinta afinidad específica la prioridad preferente por la captación de cationes divalentes, estando entre ellos Mg^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Ca^{2+} y Sr^{2+} ⁽²⁹⁾.

Oxígeno.

En general, el oxígeno se considera como uno de los peores enemigos de la cerveza, que es preciso evadir. Existe sin embargo, necesidad precisa de oxígeno para la levadura en la fase de siembra del mosto. La levadura de cervecería es incapaz en ausencia de oxígeno de sintetizar esteroides y ácidos grasos insaturados. Estos dos compuestos están presentes en el mosto (derivados de la malta), pero en cantidades pequeñas, por lo que tiene que haber suficiente cantidad de oxígeno molecular en el mosto durante las primeras fases de fermentación, que facilite la gran cantidad de síntesis de membrana necesaria para la multiplicación celular. Otros factores que afectan a la fermentación, entre las diversas cepas de la levadura, existe un amplio margen de necesidad de oxígeno disuelto (OD), siendo cuatro las categorías generalmente aceptadas.

- Clase 1, que requiere 4 ppm de OD
- Clase 2, que requiere 8 ppm de OD
- Clase 3, que requiere 40 ppm de OD
- Clase 4, que requiere más de 40 ppm de OD

Ahora se acepta generalmente, que la captación de oxígeno durante todas las fases de fabricación de cerveza, tienen un efecto perjudicial sobre el aroma y el sabor final, sobre todo para la cerveza tipo Lager más ligeras. Esto se aplica incluso a las fases iniciales de cervecería, como la molienda y la maceración, habiéndose recomendado que el oxígeno se excluya de todas las fase del proceso, excepto en la siembra de levadura que se realiza con aireación del mosto. Algunas plantas cerveceras llegan incluso a recurrir a gases inertes como el nitrógeno, para preservar el oxígeno a las mezclas en maceración y a las cubas filtro. Bamforth considera tales medidas como excesivamente sofisticadas y que deben emplearse para evitar la disolución de oxígeno, medidas mucho más simples ⁽²⁹⁾.

Capítulo 3

Descripción de los procesos en los que se sustenta la elaboración de cerveza:

Proceso de Malteo

Proceso de elaboración de cerveza

Introducción

Un proceso es cualquier operación o serie de operaciones que producen un cambio físico o químico en una sustancia o en una mezcla de sustancias. La sustancia que entra en un proceso se conoce como entrada o alimentación del proceso, y aquella que sale de él, se le llama salida o producto ⁽¹⁷⁾.

Los procesos a los que continuamente entran y de los que salen materiales reciben el nombre de procesos continuos. Hay otros procesos en los que se introduce el material en un equipo, se espera su transformación y luego se vacía. Estos procesos son intermitentes.

También lo son los procesos en los cuales se fabrica hoy un tipo de producto y mañana otro.

En los procesos continuos siempre se fabrica el mismo tipo de producto en las mismas condiciones de temperatura, presión, y composición, así como a la misma velocidad de gasto. Los procesos en la industria alimentaria moderna son, por lo general, continuos, pues de esa manera se automatizan garantizándose así una producción y calidad continua y uniforme.

Los procesos en la industria alimentaria son de dos clases:

- Procesos físicos
- Procesos químicos ⁽¹⁸⁾.

Los procesos se representan por diagramas de flujo en donde se indica la secuencia u operaciones que se llevan a cabo para fabricar cierto producto. En los diagramas de flujo se dibujan los equipos mayores de un proceso, y las corrientes que entran o salen de estos equipos. A veces los equipos se representan por rectángulos sobre los que se indica el nombre del equipo que simbolizan. Estos diagramas se conocen como diagramas de bloque ⁽¹⁸⁾.

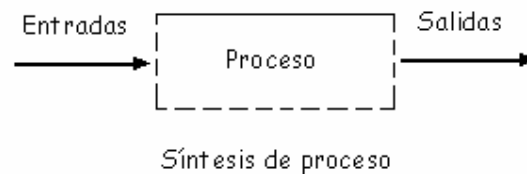
Las operaciones unitarias constituyen una parte del proceso representada dentro del diagrama de flujo la cual llevara a cabo una función específica.

Las operaciones unitarias estudian principalmente la transferencia y los cambios de energía, transferencia y los cambios de materiales que se llevan a cabo por medios físicos ⁽¹⁷⁾.

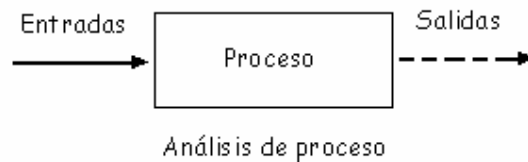
Existen tres etapas fundamentales dentro de un proceso.

1. Síntesis
2. Análisis
3. Optimización

Síntesis: Indica definir las características de materias primas y productos deseados y estipular la estructura del proceso que se requiera para llevar a cabo la transformación deseada de los reactivos a productos ⁽³⁴⁾.



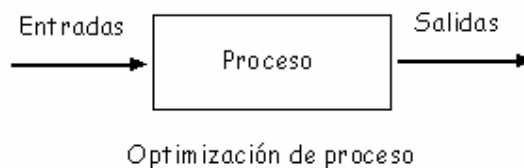
Análisis: consiste en definir las entradas o materias primas y el diagrama de flujo del proceso para indagar las salidas que se pueden obtener ⁽³⁴⁾.



Optimización: se puede plantear en función de los balances de materia y energía los cuales contabilizan la entrada y salida de materiales y energía de un proceso o de una parte de éste.

Estos balances son importantes para el diseño del tamaño de equipos que se emplean y para calcular costos, los balances nos proporcionan información sobre la eficiencia de los procesos.

Los balances implican la simulación del proceso bajo un conjunto particular de condiciones de operación que se están explorando en busca de la solución óptima ⁽³⁴⁾.



3.1. Proceso de Malteado.

El objetivo global del proceso de Malteado (Fig. 11) es el deshacerse de la mayor parte posible del β -glucano de las paredes celulares y parte de la fracción proteica insoluble, los cuales, de otro modo, restringirían el acceso de las enzimas a los gránulos de almidón ⁽⁵⁾ y al mismo tiempo, se incrementa considerablemente el contenido de enzimas amilolíticas, ⁽²⁶⁾ debido a que la cebada posee la mayor actividad diastásica ⁽⁵²⁾. Estas enzimas en el proceso de elaboración de cerveza, van a degradar el almidón, generando las cantidades necesarias de azúcares fermentables para poder llevar a cabo el proceso de fermentación ⁽²⁶⁾.

3.1.1. Limpieza.

Al limpiar las materias primas, el fabricante persigue principalmente dos objetivos:

- 1) la eliminación de contaminantes que constituyen un peligro para la salud o que son desagradables.
- 2) El control de la carga microbiana y de las reacciones químicas y bioquímicas que perjudican la eficiencia del procesado y la calidad del producto ⁽⁹⁾.

Un proceso de limpieza aceptable debe de satisfacer los siguientes criterios:

- 1) La eficiencia de la separación debe ser la máxima compatible con un desperdicio mínimo del producto.
- 2) El contaminante debe retirarse tras su separación, a fin de evitar la recontaminación del alimento limpio.
- 3) El proceso y la maquinaria deben diseñarse de tal modo que limiten la recontaminación del alimento limpio; por ejemplo polvo del ambiente o por agua de lavado contaminadas por lotes anteriores.
- 4) Tiene que evitar la lesión del producto.
- 5) Tanto el volumen y como la concentración de los efluentes líquidos deben de ser mínimos ⁽⁹⁾.

La limpieza del grano incrementa su categoría pues uniformiza su calidad decreciendo sustancialmente la tasa de deterioro y cantidad de aflatoxinas, material extraño, piedras, cuerpos metálicos y semillas o granos extraños.

El grano limpio y libre de todos estos contaminantes, tendrá un mayor valor económico y sobre todo rendirá mejores productos intermediarios y terminados. Además, el grano libre de piedras e impurezas metálicas no dañará el equipo de las plantas procesadoras ⁽⁵²⁾.

La limpieza se practica con sistemas de aspersión, mesas cribadoras simples y mesas cribadoras de gravedad (Fig. 10). Los sistemas aspersión pueden individuales o integrados a las mesas cribadoras. Su objetivo es remover material vegetativo, glumas, granos vanos y otros contaminantes que son más ligeros que las semillas, mediante un procedimiento que permite al material menos denso ser removido por medio de un flujo de aire forzado. Los equipos de limpieza así como las bandas de conducción de grano contienen imanes para atrapar todo el material metálico. Las mesas cribadoras – vibradoras están diseñadas para remover materiales más grandes (piedras, otros granos) y consisten en mallas cribadoras que oscilan o vibran. La mesa cribadora y tamizadora clasifica el material en tres distintas corrientes: material contaminante grande, grano clasificado y material contaminante pequeño. Las mesas cribadoras de gravedad están posicionadas en ángulo y contienen solo un tamiz. El grano fluye de acuerdo con su densidad, por lo tanto puede ser separado por varias corrientes. Este sistema es muy efectivo para remover granos contaminados por insectos y material que tiene aproximadamente el mismo tamaño de la semilla, por lo que se obtiene un rendimiento de grano limpio de 94- 98 % ⁽⁵²⁾.

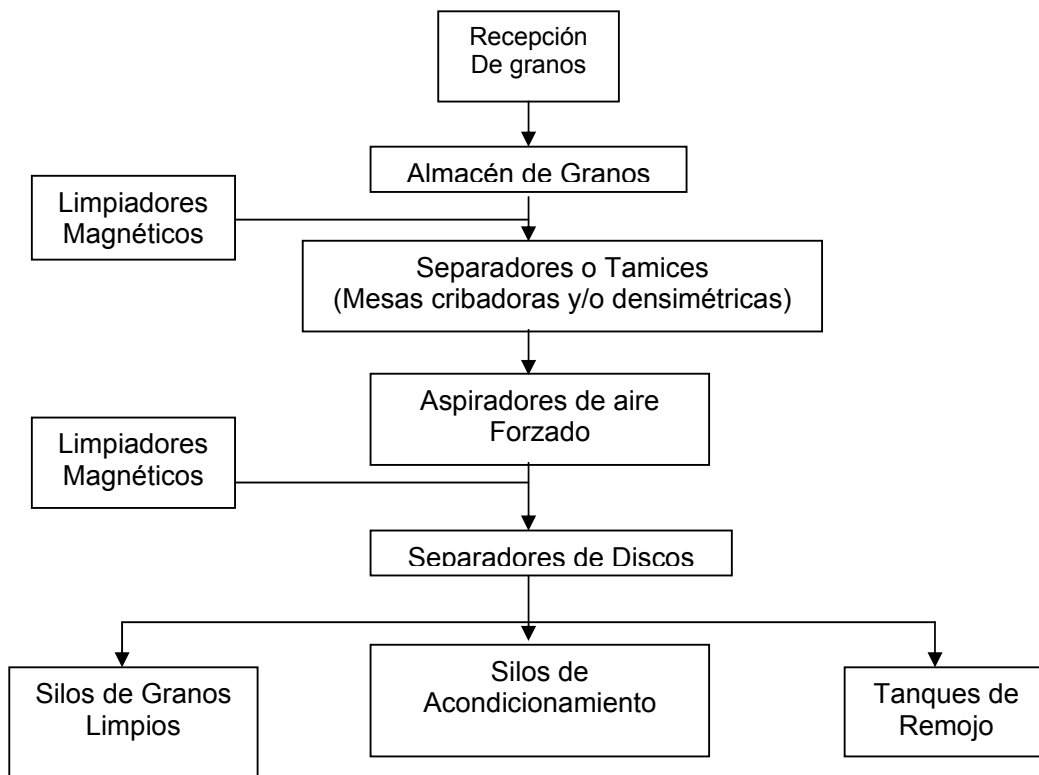
3.1.2. Acondicionamiento de la Malta.

Los granos de una cosecha contienen aproximadamente de 30 a 35 % de humedad y para poder almacenarlos sin problema durante un año deben secarse hasta un 13 % de humedad en peso ⁽²⁷⁾.

El proceso de secado tiene que llevarse a cabo de tal forma que permanezca viable la planta embrionaria contenida en cada grano; por consiguiente es necesario evitar el uso de temperaturas demasiado altas y para acelerar la desecación debe recurrirse a aumentar la velocidad del flujo del aire y a un calentamiento gradual del mismo. En una operación de secado típica de dos horas de duración, el aire utilizado para la desecación debe hallarse inicialmente a 54 ° C e ir elevando su temperatura hasta los 66 ° C, pero la temperatura del grano nunca debe sobrepasar 52 ° C. el calentamiento tiene habitualmente otro efecto ventajoso, el de reducir el tiempo necesario para finalizar el periodo durmiente (estado de reposo). Un tratamiento típico consiste en desecarla hasta un 12 % de agua y almacenarla luego a 25 ° C durante 7-14 días. Es habitual reducir después la temperatura a 15 ° C. El movimiento del grano de un silo a otro contribuye a homogeneizar la temperatura de grandes volúmenes de grano y a introducir oxígeno, necesario para que los embriones respiren ⁽³¹⁾.

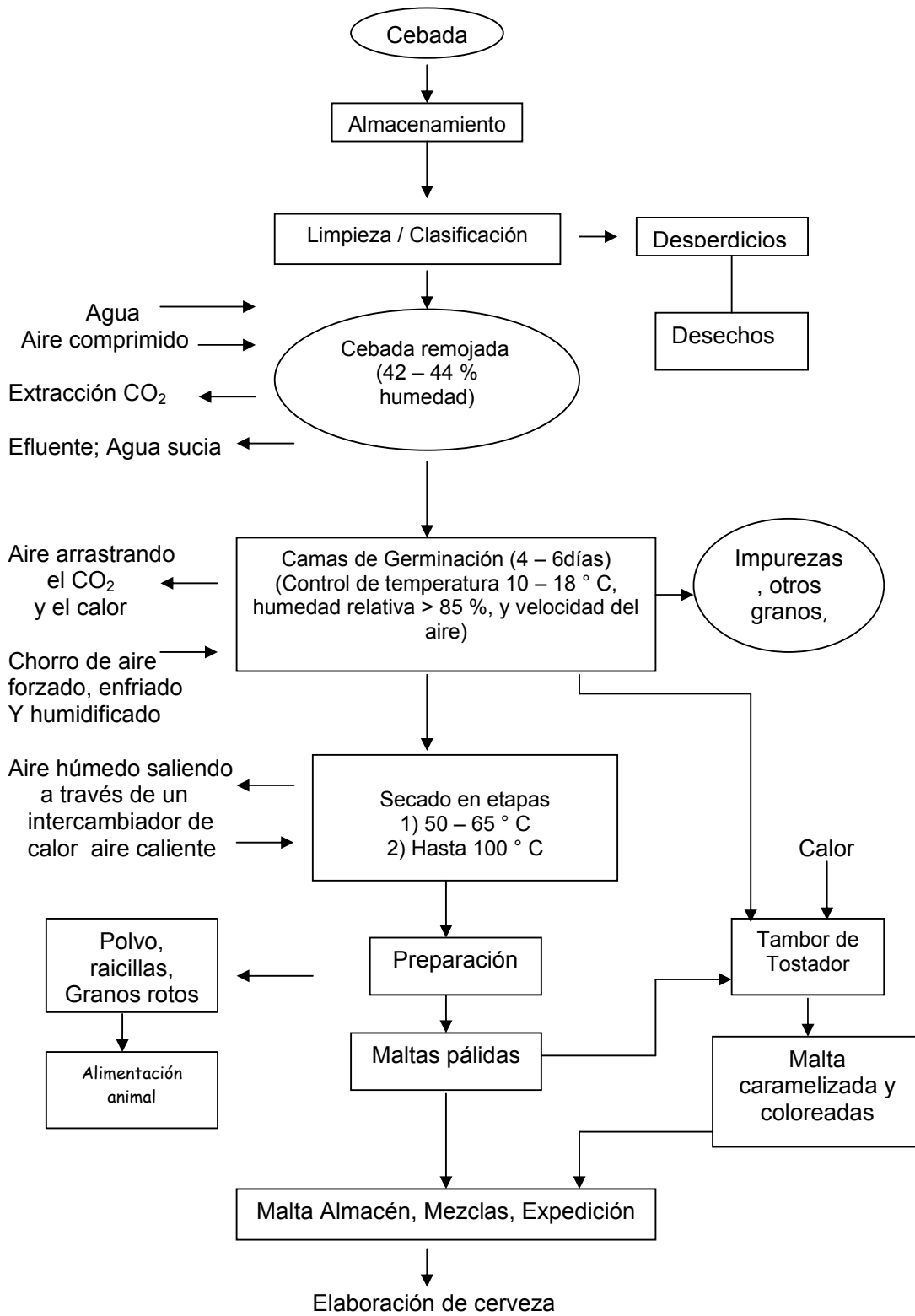
La cebada que se maltea muy pronto después de la recolección, produce mosto deficiente (caracterizado por menor cantidad de extracto soluble, menos proteína soluble y aspecto nebuloso). La cebada que se ha dejado envejecer durante tres meses después de la recolección, no produce malta con estos defectos. En la práctica, no se maltea cebada de cosecha reciente, mientras no hayan transcurrido, por lo menos tres meses ⁽³⁰⁾. El periodo de almacenamiento da lugar a que se produzca el proceso de maduración secundaria, para que el grano pueda alcanzar su poder germinativo por completo ⁽³⁵⁾.

Fig. 10. Diagrama de proceso de las operaciones comúnmente aplicadas para la limpieza de granos.



SERNA SALDIVAR, S, 1996.

Fig. 11. Diagrama de proceso Industrial de la transformación de Cebada en Malta.



DENDY David A V 2004, SERNA SALDIVAR, S. 1996.

3.2. Remojo.

La operación tiene como objetivo primordial hidratar el grano bajo condiciones aeróbicas, de tal manera que la humedad absorbida propicie la generación de fitohormonas giberelinas que desencadenen el suceso fisiológico de la germinación ⁽⁵²⁾.

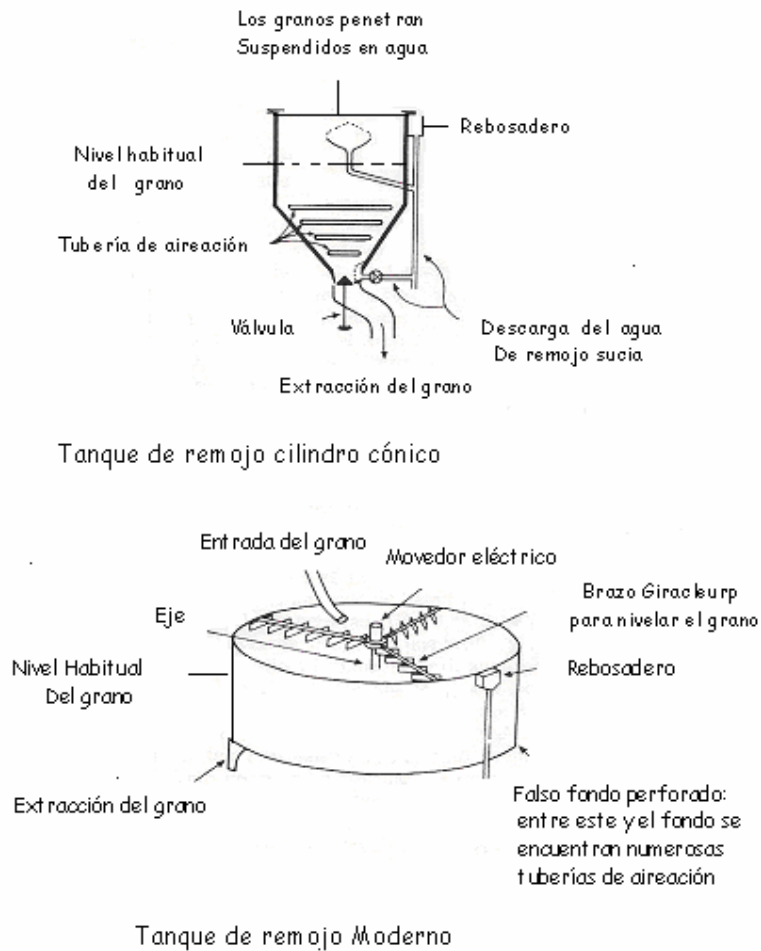
El protocolo de remojo suele optimizarse basándose en los resultados obtenidos en pruebas a pequeña escala (ensayos de micro malteado). Típicamente, las partidas de cebada limpia se dejan caer del silo a un tanque de remojo parcialmente lleno de agua, a unos 15 ° C. Muchos tanques de remojo son simples cilindros verticales con base cónica (Fig. 12) ⁽³¹⁾ el agua empleada debe de tener una composición química conocida y un pH definido, puesto que su composición tiene importancia en la extracción adecuada de taninos, resinas amargas y ciertas proteínas que no son deseables en la producción de cerveza ⁽⁵²⁾. La temperatura del agua juega un papel crítico en la tasa de absorción y microbiología asociada con el proceso. Un exceso de crecimiento microbiano, por una alta temperatura del agua, hace que disminuya la disponibilidad del oxígeno para el embrión en desarrollo. El intervalo de temperatura normal del agua de remojo es de 10-20° C, aunque generalmente se emplea una temperatura de 15° ⁽⁵²⁾. Muchos tanques de remojo son simples cilindros verticales con base cónica. El contenido del tanque se airea intensamente, insuflando aire a presión, ⁽³¹⁾ respetando ciclos de aireación de por lo menos cada hora, esta operación tiene un papel fundamental en la eficiencia del proceso debido a que los ciclos de aireación tienen como propósito impedir el crecimiento de hongos, dispersar el calor y el CO₂ generado durante la respiración, ⁽⁵²⁾ este proceso ocurre a través del agua de remojo mediante el uso de tuberías perforadas o por succión de los tanque de depósito ⁽³¹⁾.

El contenido de agua de los granos aumenta rápidamente a partir de la inmersión, el agua penetra en el grano por difusión, principalmente a través del germen, pero la velocidad del incremento del contenido en agua desciende luego de un modo progresivo. La velocidad de la rehumidificación es función de las condiciones en que haya crecido la cebada, de la variedad de ésta, del tamaño de los granos y de la temperatura del agua. Está también considerablemente influida por el daño mecánico que hayan podido sufrir los granos antes del remojo, el malteador somete a ciertas partidas de cebada a una operación de abrasión en una máquina que descascarilla el extremo distal del grano (la porción del grano más alejada del embrión) ⁽³¹⁾.

El remojo se interrumpe por drenaje, a las 12-24 horas. Cada grano de cebada permanece recubierto de una película de agua, a través de la cuál puede disolverse el oxígeno del aire del entorno. A esta condición se le conoce como descanso del aire.

El agua de remojo que se desecha está contaminada con cierta cantidad de polvo de cebada y de endospermo de los granos dañados. Es por tanto, rica en materia orgánica disuelta y constituye un afluente que requiere de ser tratado antes de su vertido en ríos o lagos. Tras una pocas horas de descanso al aire, la cebada se sumerge de nuevo en agua limpia; la alternancia de remojo y descanso al aire continúa hasta que la cebada ha alcanzado una humedad de aproximadamente el 42%. Para entonces es posible que el grano haya empezado a germinar ⁽³¹⁾.

Fig. 12. Tanques de remojo para el proceso de malteo.



HOUGH, J S, 1990.

Durante esta etapa de remojo, la cebada absorbe humedad e incrementa su volumen en aproximadamente 25%. El agua penetra rápidamente a través de la cascarilla y el hilum. El germen se humedece rápido, mientras que el endospermo se hidrata lentamente por agua que fluye a través de las células tubulares. El agua absorbida cataliza el proceso de respiración, germinación y de actividad enzimática ⁽⁵²⁾.

Según el tipo de malta que se quiera fabricar, requiere cierto número de horas que dependen de la temperatura del agua y la variedad de la cebada. Los granos de diferente tamaño deberían ser bañados y germinados separadamente (Cuadro. 12) ⁽²⁰⁾.

Cuadro. 12. Precisiones sobre el remojo.

Característica	Remojo (en horas)
Breve	48-35
Medio	56-70
Largo	70-90
Muy Largo	90-100

FERRAN LAMICH, José, 1959.

Se estima un buen remojo cuando el grano puede aplastarse con la presión de los dedos y la piel se desprende con facilidad.

Cuando el grano, bien embebido de agua, se corta, deja sobre una superficie lisa una huella parecida a la que dejaría la tiza.

Como guía mencionaremos que una cebada corriente bañada en agua a 20° C, llega en 64 horas al 45 % de humedad, siendo más lento el proceso a temperaturas inferiores ⁽²⁰⁾.

3.2.1. Variaciones de algunas condiciones del remojo.

Cuando la cebada se ha remojado, el agua penetra rápidamente a través de la cascarilla y entra en el grano a través del micrópilo. El embrión toma rápidamente agua; el endospermo, en cambio se hidrata más lentamente. Cualquier fracción sufrida por la cascarilla, o las cubiertas del fruto y la semilla, facilita el humedecimiento del endospermo, o el embrión y desde luego, la fuga de sustancias solubles del endospermo. Este constituye uno de los sumandos que dan cuenta de las pérdidas sufridas durante el malteado; Otro es el representado por la respiración del embrión, que consume reservas de nutrientes, liberando energía, dióxido de carbono y agua. La respiración aumenta significativamente cuando el embrión se activa, lo que crea una demanda masiva de oxígeno en el agua de remojo (de aquí la necesidad de hacer borbotear aire y de los descansos al aire durante el remojo). En ausencia de oxígeno, el embrión puede metabolizar anaeróticamente las reservas, pero de un modo energéticamente poco eficaz convirtiéndolas en dióxido de carbono y alcohol. A medida que la concentración del alcohol aumenta su toxicidad va creciendo ⁽³¹⁾.

Un exceso o un defecto en el remojo influyen desfavorablemente sobre la malta y la cerveza. Un remojo deficiente no es realmente peligroso, pues de él resulta un

crecimiento anormal de las raicillas, respiración reducida y una incompleta transformación de las proteínas. En este caso, la cantidad de malta que se obtiene es mas elevada (por menos pérdidas) que la normal, pero en cambio se consigue menos extracto de la misma. Aunque la “modificación” no es la mejor, la cualidad de la malta puede resultar realmente buena.

Remojar en exceso es mucho más peligroso. La cebada puede germinar y desarrollarse completamente debajo del agua, con la condición de que ésta sea abundantemente aireada; pero en este caso, el desarrollo de la plúmula y la velocidad de respiración son exagerados. En la práctica es más peligroso el efecto de sobre-mojar, porque de él proviene la falta de oxígeno para seguir el ritmo de la rápida respiración. Sobre-mojar se manifiesta también por un bajo contenido de extracto en la malta, debido a la acción deficiente de las enzimas hidrolíticas y a un bajo rendimiento, consecuencia de la intensa respiración. El mosto resulta turbio a causa de la incompleta transformación de los compuestos de elevado peso molecular, especialmente de las proteínas ⁽²⁰⁾.

En el cuadro 13. Expresamos la influencia de la variación de algunas condiciones de remojo.

Cuadro. 13. Variaciones de algunas condiciones del remojo.

Remojo	Malta	Cerveza
Exceso de remojo por el tiempo o temperatura elevada	Desarrollo anormal de la plúmula incompleta transformación de proteínas. Poco extracto	Tendencia a enturbiarse
Remojo insuficiente	Alto rendimiento. Transformación incompleta de las proteínas. Granos córneos.	Casi ninguna influencia. Ligera tendencia a enturbiarse
Remojo en álcalis	Malta correcta	Mejores sabores y olores
Remojo en antisépticos	Sin moho, mejor sabor	Mejor aroma

FERRAN LAMICH, José , 1959.

3.3. Germinado.

Una vez terminada la etapa de remojo, se saca el grano del agua y se coloca en camas para su germinación. Fisiológicamente, la germinación es el proceso por el cual empieza a tomar forma la nueva planta. Se forman las raicillas y una acróspira. El objetivo es conseguir la mínima cantidad de crecimiento que produzca el máximo rendimiento de malta de alta actividad enzimática. Como regla aproximada, el proceso de germinación se termina cuando la acróspira alcanza 1/3 de la longitud del grano ⁽³⁰⁾.

De los varios sistemas de germinar de la cebada, el clásico, en el suelo, removido a mano o con arados removedores, no es, por antiguo el peor. Los demás sistemas resultan, eso sí, más económicos de espacio y mano de obra. Pero el germinado en pisos o en el suelo continúa en el favor de muchas fábricas importantes (Fig.13)

Son preferentemente usados tres sistemas de germinación neumática o de circulación forzada de aire por capas más o menos gruesas de cebada en germinación ⁽²⁰⁾.

- a) Cajas o Departamentos de Saladino
- b) Tambores cerrados
- c) Tambores abiertos

La duración del germinado variará de siete a nueve días para las maltas pálidas y hasta diez días para ciertas cebadas vítreas y maltas oscuras ⁽²⁰⁾.

El sistema mas empleado es quizá, el de las cajas de Saladino, en el cual, separadas las cajas por tabiques, cada partida en elaboración tiene una aireación independiente.

Un dispositivo con carriles a lo largo de las cajas sirve para el desplazamiento de un tren de removido, o revolovedor en espiral, y descargador de la malta verde cuando hay que llevarlo al secador o tostador.

Debajo de las cajas con suelo metálico perforado existen corredores de ventilación para el aire saturado de humedad, que obligado a circular entre las cajas de 1.0-1.5 metros de espesor, es aspirado por la parte alta de los departamentos y expedido al exterior.

Temperaturas. Un trabajo eficiente se realiza el primer día a temperaturas de 12 a 13° C, para llegar a los 18° C, al cuarto o quinto día, y descender hacia el octavo a 15° C. Con termómetros enterrados en la capa de grano seguiremos el proceso de calentamiento normal, activando o paralizando la circulación de aire ⁽²⁰⁾.

Estas temperaturas indican que el trabajo mejor para una malteria se verifica durante los meses de invierno. Cuando un exceso de trabajo nos obligue a trabajar en verano, debe disponerse de compresores frigoríficos que permitan rebajar la temperatura del aire, saturado de humedad, que circula entre la capa de cebada. En los países templados, las cebadas germinan más pronto que las maduradas en climas nórdicos, por lo que en condiciones sanas y normales podemos ya ponerlas en remojo al mes y medio de recolectados ⁽²⁰⁾.

Con el sistema Saladino-Murger puede invertirse el sentido de circulación del aire. Al circular de arriba a abajo ⁽²⁰⁾, con un flujo de 200-1000m³/h/ton ⁽⁵²⁾ se activa la germinación en los primeros días al desalojar el gas carbónico CO₂, ⁽²⁰⁾ calor y se provee de oxígeno necesario para activar al embrión. Además estos equipos están provistos con un volteador mecánico que ayuda a impedir el entrelazado de los granos germinantes y a mantener una temperatura uniforme. ⁽⁵²⁾

Fig. 13. Sección Vertical de una caja de germinación neumática.



HOUGH, J S, 1990.

3.3.1. Estructura Bioquímica de la Cebada.

Polisacáridos amiláceos.

El almidón está localizado en gránulos específicos que se encuentran en el endospermo del grano, el cual está rodeado por la aleurona que es una capa triple de células vivas. Existen dos tamaños: grandes (20-25 μm de diámetro) y pequeños (1-5 μm)⁽²⁹⁾. Hay muchos más gránulos de almidón pequeños que grandes pero tan sólo suponen una cantidad inferior al 5% del peso total del almidón. Estos gránulos de almidón se encuentran embebidos en una matriz de hordeína. Esta es una proteína insoluble que constituye un almacén de péptidos y aminoácidos para la nueva planta⁽⁵⁾

El almidón de cebada consta de dos fracciones químicas principales:

- Amilopectina, es un polímero ramificado de unidades de D-glucosa, unidas por enlaces $\alpha(1-4)$ y $\alpha(1-6)$. Los fragmentos de cadena recta (lineal) de la amilopectina, están formados por enlaces $\alpha(1-4)$ (Fig. 14 (a)). La amilopectina supone aproximadamente el 75-80% del almidón de cebada⁽²⁹⁾.
- Amilosa, polímero de cadena recta (enrollada), formado por unidades de D-glucosa unidos por enlaces $\alpha(1-4)$ (Fig. 14 (b)), que suponen el 20-25% del componente del almidón⁽²⁹⁾.

Polisacáridos no amiláceos.

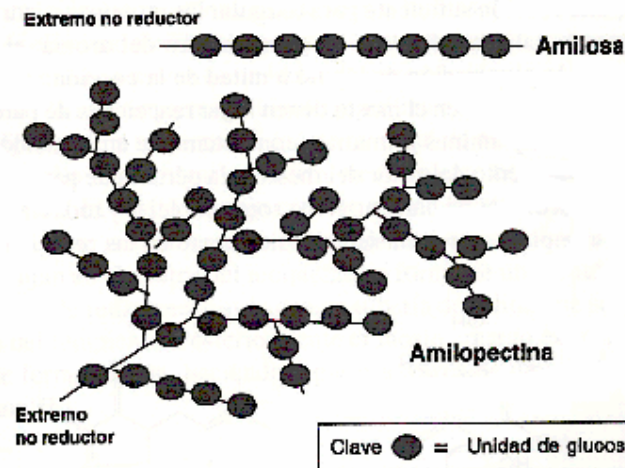
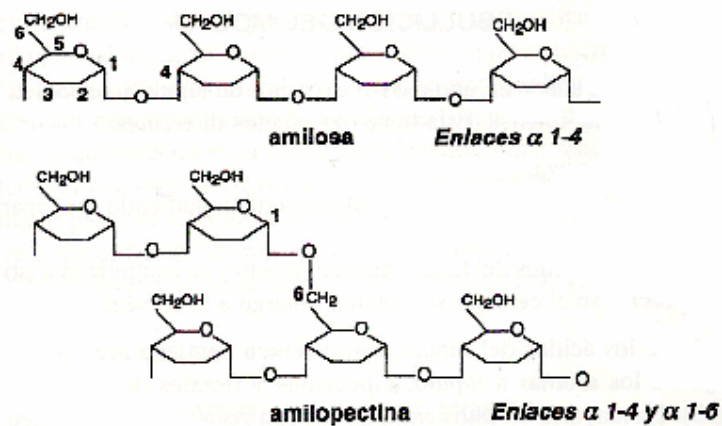
Son los azúcares, las gomas y las hemicelulosas.

- Azúcares. Los principales azúcares simples del grano de cebada son la sacarosa y la rafinosa, fundamentalmente localizados en la capa de aleurona y el embrión. En el proceso de malteado se producen muchos más azúcares, tanto en términos de variedad como en cantidad⁽²⁹⁾.

- b) Gomas. Son los β -glucanos (un polímeros de moléculas de glucosa unidas mediante enlaces β -glicosídicos) y pentosanas (un polímero de arabinoxilano) que son solubles en agua caliente ⁽²⁹⁾.
- c) Hemicelulosas. Esta fracción se refiere al β -glucano y componente pentosano insoluble en agua caliente. El β -glucano es un polímero lineal de unidades de glucosa con enlaces $\beta(1-4)$ (70%) y $\beta(1-3)$ (30%). La mayor parte se encuentra en paredes celulares del endospermo, aunque una pequeña cantidad procede de la cáscara. Los pentosanos son, técnicamente, arabino-xilanos, puesto que constan de una cadena esquelética de unidades de xilosa unidas por enlaces $\beta(1-4)$, que tienen cadenas laterales de unidades de arabinosa unidos por enlaces $\beta(1-3)$ ⁽²⁹⁾.

Fig. 14. Estructura de la Amilasa y la amilopectina.

(a)



(b)

Baxter E. Dense y Hughes Paul S, 2004.

Proteínas (Nitrógeno).

El contenido en nitrógeno de una cebada malteada, que debe estar dentro del margen 1,4-1,8% sobre peso seco, es un índice del contenido de proteína presente. En términos generales:

$$\text{Contenido de proteína del grano} = \%N \times 6.25$$

La mayor parte del nitrógeno de la cebada está localizada en el endospermo como proteínas de reserva y proteína enzimática. Existen cuatro fracciones proteicas principales:

- a) Albúmina (soluble en agua caliente) que supone alrededor del 4% de la proteína total
- b) Globulina (soluble en cloruro sódico diluido) que llega a un 31 % de la proteína total.
- c) Hordeína(soluble en etanol al 70%) que alcanza hasta el 36% de la proteína total
- d) Glutelina (soluble en hidróxido sódico diluido) entorno al 29% de la proteína total.

La albúmina y la globulina son predominantemente proteínas enzimáticas, representando fuentes potenciales de β -amilasa y peptidasas, se encuentran concentradas en las células de aleurona, salvado y germen y a concentraciones algo inferiores, en el endospermo. Son relativamente ricas en aminoácidos (lisina, triptófano y metionina)

La hordeína y la glutelina son fundamentalmente proteínas estructurales, estando localizadas en las envolturas de los gránulos de almidón. Son las proteínas que mas se degradan durante el malteado ⁽²⁹⁾.

Además del contenido en proteínas, existen diversos compuestos que contienen nitrógeno en pequeñas cantidades. Entre ellos figuran ácidos nucleicos, aminos, amidas y aminoácidos libres ⁽²⁹⁾.

Grasas.

Otros grupos de sustancias presentes en el endospermo es el constituido por los lípidos, o grasas. Representa aproximadamente un 3.5 % del peso del grano de cebada; alrededor de un 10% se consumen en los procesos respiratorios del embrión. Las grasas se encuentran fundamentalmente en el embrión y en la capa de aleurona. Un poco más de 2/3 de los tipos esta constituido por grasas neutras (especialmente

triglicéridos) y aproximadamente 1/4 por fosfolípidos; el resto son glicolípidos. Para el fabricante de cerveza, tiene particular interés los ácidos grasos presentes en algunos de los lípidos neutros. Son importantes para la síntesis de la membrana de la levadura y participan en el envejecimiento y desarrollo de sabor a vieja de la cerveza. Los tres grupos son degradados por esterasas, fosfatasa y glicosidasas, respectivamente, en tanto que los ácidos grasos son oxidados por peroxidasas y oxigenasas ⁽³¹⁾.

Fosfatos.

Finalmente, se deben mencionar los compuestos fosfatados presentes en la cebada, que dan cuenta de un 1% del peso seco. Entre ellos se hallan los fosfolípidos, los ácidos nucleicos y un compuesto denominado ácido fítico que da cuenta de aproximadamente la mitad del fosfato del grano de cebada y es un hexafosfato del azúcar-alcohol inositol. El inositol es una vitamina del grupo B, requerida por numerosas cepas de levadura. El ácido fítico es degradado por una fitasa presente en el grano, liberando mioinositol y ácido fosfórico; el ácido fosfórico es utilizado por el embrión pero naturalmente, el fabricante de cerveza está más interesado en que lo utilice la levadura. El ácido fítico tiene una alta afinidad por los iones calcio ⁽³¹⁾.

Interacciones.

La degradación de las proteínas, la del almidón, la de las paredes celulares y la de la grasa no son independientes. La degradación del almidón se ve facilitada por la solubilización parcial de las proteínas, por la movilización de los lípidos y por la degradación de los β -glucanos. A su vez los β -glucanos parecen ser atacados por una carboxipeptidasa denominada β glucanos-solubilasa que rompe los enlaces ésteres entre las proteínas y los β -glucanos, al tiempo que transforma las macromoléculas en β -glucanos solubles ⁽³¹⁾.

Otros constituyentes.

Monofenoles (ejemplo cumarina) y polifenoles (ejemplo antocianógenos) están presentes en pequeñas cantidades en cáscara, pericarpio, epispermo y capa de aleurona. Diversos iones minerales se localizan en la capa de aleurona siendo los principales

(K⁺, PO₄³⁻, Mg²⁺, Na⁺ y Cl⁻). En la cáscara se encuentra sílice. El embrión y la capa de aleurona contienen una diversidad de vitaminas del grupo B, entre ellas la biotina y el inositol. Estas serán vitales durante los subsiguientes procesos de fermentación ⁽²⁹⁾.

3.4. Secado.

El secado de los alimentos es la operación unitaria destinada a eliminar por evaporación casi toda el agua presente en los alimentos mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas ⁽⁵⁰⁾. En general el término secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia ⁽⁵³⁾.

Los objetivos del secado en la malta verde son múltiples, el principal es parar la germinación y el desarrollo botánico de la cariósida para obtener un producto estable con actividad enzimática una vez que se re-hidrate, el secado además baja la humedad de la malta lo suficiente para que pueda ser almacenada por periodos prolongados. ⁽⁵²⁾

En cuanto a los aspectos constructivos las instalaciones de desecación están constituidas sustancialmente por:

- Un grupo aerotérmico para la creación del flujo del aire caliente (quemador y horno)
- Una cámara de desecación para realizar la evaporación del agua en exceso.
- Equipos complementarios para el almacenamiento, la limpieza, pesados y movimiento del producto. Además de los dispositivos de mando y de regulación de toda la instalación ⁽¹³⁾.

La física de la deshidratación es compleja, pero descansa en el hecho de que una muestra de malta tiene una presión de vapor característica a una determinada temperatura. Así, combinando un flujo rápido de aire con una temperatura elevada del mismo, se logra una deshidratación muy rápida. Es frecuente expresar la presión de vapor de agua del grano en términos de humedad relativa (HR) del aire del entorno (es decir la humedad relativa del aire en equilibrio con la humedad del grano, a la temperatura considerada). La evaporación de agua de la superficie enfría el grano, el calor latente de evaporación es de 226 kJ g⁻¹, a 100° C. Como se desea conservar la actividad enzimática del grano, este enfriamiento tiene importancia en el proceso de desecación en el aire caliente. De hecho los granos húmedos nunca deben alcanzar temperaturas superiores a 38° C. con la temperatura, sube también la velocidad de difusión del agua a la superficie, en la que esta haciendo constantemente evaporada ⁽³¹⁾.

Son numerosos los factores que afectan a la velocidad de deshidratación del grano; cabe citar entre ellos:

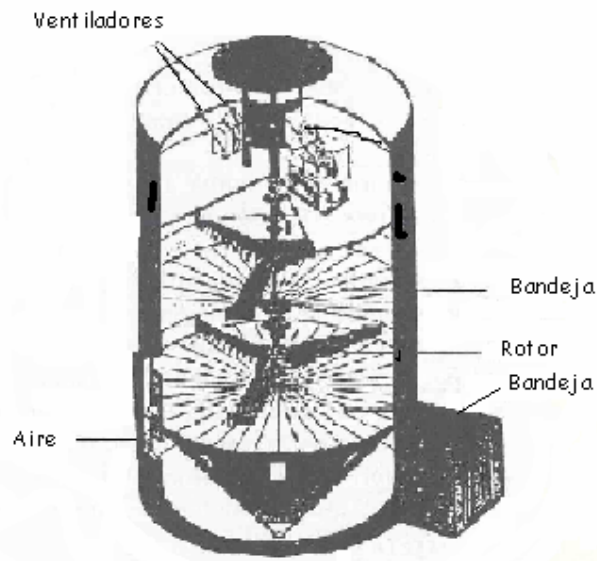
- 1) El volumen de aire que pasa a través del lecho del grano
- 2) La profundidad del lecho
- 3) El peso del agua al ser eliminado del lecho del grano
- 4) La temperatura del aire utilizado para la deshidratación
- 5) La humedad relativa del aire
- 6) El carácter higroscópico de la malta ⁽³¹⁾.

Desde el punto de vista físico, la eliminación de agua en el grano de cebada húmeda, se hace usualmente retirándola bajo forma de vapor en la operación intervienen dos fenómenos importantes:

- 1) La transferencia de calor que aporta la energía necesaria para la transformación del agua en vapor (principalmente calor latente de evaporación)
- 2) La transferencia de calor de agua a través y fuera del alimento ⁽¹²⁾.

El calor se aporta al alimento por aire caliente (convección) o mediante una superficie (conducción). En todos los casos, el vapor de agua formado se mezcla con aire, que constituye así el medio que sirve para eliminar el vapor ⁽¹²⁾.

Fig. 15. Torre de secado y malteado de los granos de cebada.



MADRID VICENTE, Antonio ,1994.

Durante siglos, la característica exterior de una maltería fue una construcción elevada, la torre de secado tostado (Fig. 15). Esta alberga el secadero de dos pisos, en el

superior con temperatura mas baja, tiene lugar la desecación previa, mientras que el tostado propiamente dicho se realiza en el inferior, mas caliente. Por tanto, la malta se traslada de una parte a otra de la torre aproximadamente a mitad del proceso ⁽⁵⁸⁾.

En la actualidad, se tiende a volver casi únicamente al secadero de piso único antiguamente utilizado, en el que se realiza todo el proceso de desecación previa y tostado, en un solo estante sin necesidad de traslado. En este sistema se controlan mucho mejor las temperaturas, que se adaptan muy bien a cada necesidad. En un principio, los secaderos eran calentados directamente, tostándose la malta en contacto con el humo del hogar. Cervezas especiales como la Bamberg ahumada o la Gratzler, deben su marcado sabor a humo a este procedimiento de tostado. Hace algunos años determinada información, asustaron tanto a los bebedores como a las fábricas de cerveza afirmando que esta contiene sustancias cancerígenas ⁽⁴³⁾. Tales productos, llamados nitrosaminas, se originan en el calentamiento directo que se realiza en la torre de tostado. Pero modificando la composición de los combustibles empleados y las temperaturas de combustión, se puede reducir en buena medida la formación de nitrosamina ⁽⁵⁸⁾.

Hoy se emplean también mucho los secaderos de calentamiento indirecto. En ellos los gases producidos en la combustión son conducidos por un sistema de tubos y calientan el aire que es aspirado por ventiladores a través de los estantes de la torre en los que se encuentra la cebada ⁽⁵⁸⁾.

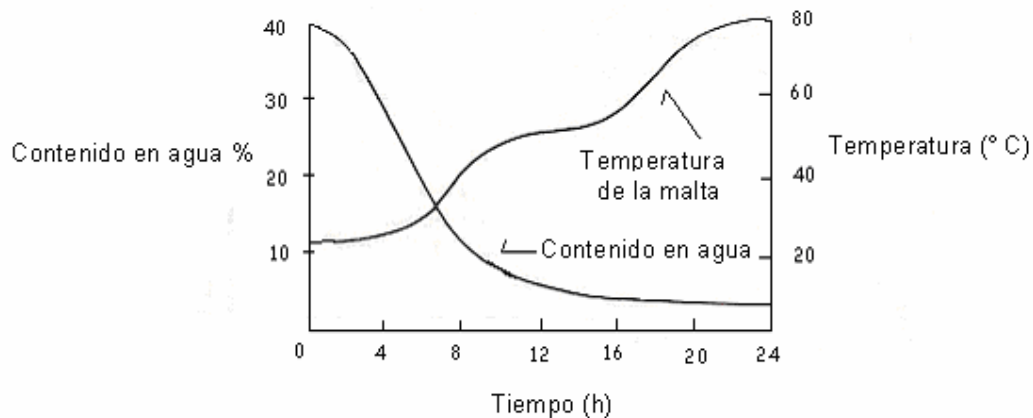
Existen secadores de piso perforado, tambores rotativos, secadores verticales. Las operaciones de secado se llevan acabo bajo las normas de cada industria. En los de piso perforado la malta se coloca en capas de 30 cm a 2 m y secado por 9h hasta 48 h con aire forzado operado a flujos de 2000-10000 m³/h/ton ⁽⁵²⁾.

La cantidad de agua a eliminar depende de las especificaciones. Así, para secar hasta un contenido de agua del 5% una tonelada (peso seco) de malta con un 45% de agua tiene que evaporarse 400 Kg. de agua. La temperatura y la humedad del aire se encuentran interrelacionadas del modo antes señalado. Finalmente el carácter higroscópico de la malta hace referencia a la dificultad relativa de eliminar las últimas cantidades de agua asociadas a determinadas sustancias, como las gomas y las cascarillas ⁽³¹⁾.

El malteador debe esforzarse en evitar que el aire que fluye a través del lecho de grano se sature de vapor de agua. Si así sucediera, el agua se condensaría sobre los granos y penetraría en su interior. Debe recordarse que el calor latente de evaporización enfría significativamente el aire. Por consiguiente, se dará una acusada diferencia entre la temperatura del aire a la entrada del secadero o tostadero (aire de entrada) y a la salida del mismo. La deshidratación se comienza con temperaturas de

entrada de 50-60° C, que inicialmente calientan el secadero y el lecho del grano. La actividad enzimática suele quedar afectada de la misma forma que la solubilidad de la proteína por esto, para proteger las enzimas debemos calentar la malta verde cuidadosamente y solamente hasta bajas temperaturas. Según se va eliminando humedad, se puede ir elevando la temperatura ⁽³¹⁾.

Fig. 16. Gráfica que ilustra la pérdida de agua de la malta y su temperatura durante una deshidratación en un tostadero típico de un piso ⁽³¹⁾.



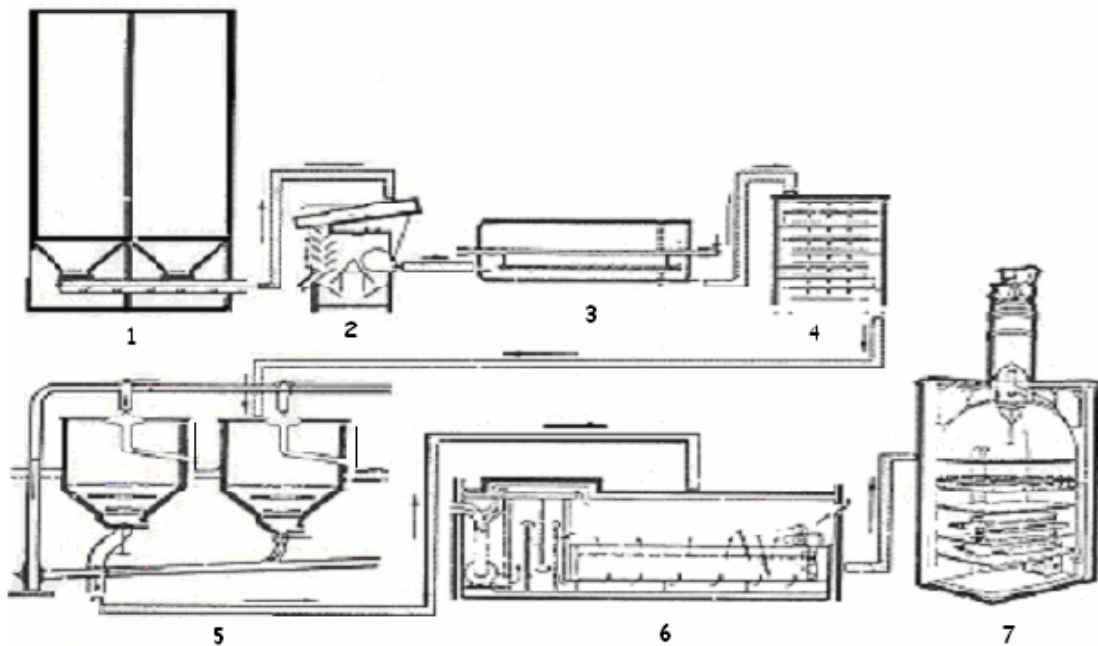
HOUGH, J S ,1990.

Mas adelante las capa superiores del lecho comienzan a deshidratarse y el contenido de agua de la cebada empieza a descender progresivamente desde el fondo a la superficie del lecho del grano. En esta etapa de deshidratación libre, se extrae sin restricciones el agua de la cebada y por razones económicas se ajusta el flujo de aire de manera que su humedad relativa sea del 90-95% en el aire del extremo de salida. Cuando se ha eliminado aproximadamente el 60% del agua (malta con un contenido de agua de 25 %), la deshidratación subsiguiente se ve dificultada por la naturaleza ligada, del agua residual. Llegando este punto de ruptura se sube la temperatura del aire de entrada y se reduce el flujo (Fig. 16). La estabilidad térmica de las enzimas es ahora mayor que cuando la malta contenía un 45% de agua. Cuando el contenido de agua llegue a ser de 12% toda el agua que permanece en el grano está ligada, por lo que se sube la temperatura del aire de entrada a 65-75 °C y se reduce a un mas la velocidad de flujo. La extracción del agua es lenta y, por razones económicas, se recircula gran parte del aire. Finalmente a una humedad de 5-8%, dependiendo de la variedad de cebada, la temperatura del aire de entrada se eleva a 80-100° C, hasta que se alcance el color y la humedad requeridos.

Las maltas “lager” típicas se secan hasta una humedad del 4-5%, pero las maltas “ale” se deshidratan hasta un contenido en agua de un 2-3% ⁽³¹⁾.

Después del secado la malta es enfriada con aire fresco y muestreada para determinar su actividad diastásica, grado de color, azúcares reductores etc. después de la deshidratación hay que eliminar las raicillas de los granos ⁽⁵²⁾. En la figura 17. Se muestra el proceso de producción simplificado para la obtención de malta ⁽⁴²⁾

Fig. 17. Diagrama de flujo de producción de malta. 1. Silos de Cebada 2. Limpieza preliminar. 3. Limpieza Final. 4. Clasificación. 5. Remojo. 6. Germinación. 7. Secado y Malteado ⁽⁴²⁾.



MADRID VICENTE, Antonio ,1994.

3.4.1. Principales sucesos bioquímicos durante el malteado.

El grano de cebada sin maltear contiene cantidades considerables de β -amilasa latente, en forma tanto soluble como insoluble. Durante el malteado, la enzima se solubiliza totalmente.

Por otra parte, la α -amilasa se produce durante el malteado como respuesta al ácido giberélico (es decir, formación de α -amilasa influenciada por la giberelina). El ácido giberélico, hormona vegetal natural, es producido por el embrión durante la germinación y es transportado durante el proceso de malteado a la capa de aleurona, donde realmente estimula la producción de enzimas. Además de la α -amilasa, el ácido giberélico también provoca la activación de endo- β -glucanasas, pentosanasas, endoproteasas y dextranasas límite. Hacia el final del proceso de malteado, las

diversas enzimas líticas (degradativas) provocadas por el ácido giberélico, han sido transferidas al endospermo donde causarán la modificación de la textura del almidón, de una masa amorfa aun sustrato más disgregable ⁽²⁹⁾.

Una pequeña cantidad del almidón (aprox. 10 %) se hidroliza durante el malteado (la mayor parte ocurre durante la maceración con agua). El contenido de amilasa se eleva ligeramente durante el malteado, desde el 22% (cebada) hasta el 26% (malta). Durante el malteado se degrada perfectamente la amilopectina. La mezcla de enzimas capaz de degradar el almidón se conoce como diastasa, si bien la diastasa de la cebada, contiene una mezcla de enzimas diferentes de la diastasa de la malta ⁽²⁹⁾.

Desde el punto de vista cervecero, los aspectos prácticos más importantes del malteado son la degradación de los β -glucanos de la pared celular del endospermo (por las glucanasas) y la consiguiente exposición de las partes proteicas, que rodean a los gránulos de almidón, al ataque de las proteasas. Lo ideal, es que un 75 % del β -glucano de las paredes celulares sea degradado y que alrededor del 40 % de la proteína sea solubilizada ⁽²⁹⁾.

La excesiva hidrólisis del almidón (manifestado por el retoño y las raicillas) que proporciona extractos pobres para cervecería. La situación en la que un grano muestra excesivo crecimiento del retoño o tallo embrionario ⁽²⁹⁾.

Por la propia naturaleza del hecho de que la producción de las enzimas líticas está mediatizada por el ácido giberélico, el panorama de modificación del endospermo es tal, que la zona que cambia en primer término es el extremo proximal o embrionario (escutelar) del grano. Seguidamente, la modificación discurre en el extremo (distal), opuesto del grano. Si el malteado ha sido insuficiente o incompleto, el extremo distal puede permanecer inalterado, estado que se conoce como extremos duros. Para evadir este potencial riesgo problemático, algunos malteros recurren a la técnica de abrasión, en las que los granos pasan a través de una máquina pulidora que altera o agrieta la costra del pericarpio y ablanda ligeramente la cáscara. Esto conduce a la mejor distribución del ácido giberélico en la capa de aleurona, y en consecuencia a una mejor distribución de las enzimas líticas ⁽²⁹⁾.

A su vez, se obtiene una modificación más rápida y uniforme del endospermo. Si la especificación de la malta lo permite, los granos erosionados pueden someterse a aspersión de aerosol de solución de ácido giberélico de baja concentración (aprox. 20 mg Kg. ⁻¹) lo que puede estimular aún más la modificación. Aunque algunas circunstancias esta técnica ha sido eficaz, puede ocasionar una supermodificación, capaz de plantear problemas durante el secado o tostado en el horno ⁽²⁹⁾.

Todos estos enzimas pueden difundir en el endospermo y comenzar el proceso de ruptura de la estructura celular (las paredes celulares) y las reservas de proteínas,

almidón y lípidos, con el fin de proporcionar nutrientes para la nueva planta. Este proceso es controlado de modo estricto por el malteador, que los restringe tras cuatro o cinco días. En este momento la mayor parte de las paredes celulares ya han sido digeridas, ya que si se permite que estas encuentren presentes, las paredes celulares originarán dificultades de proceso en etapas posteriores ⁽⁵⁾.

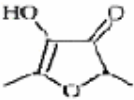
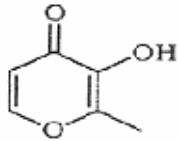
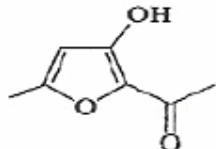
Parte de la proteína insoluble de alto peso molecular también ha sido degradada a fragmentos más pequeños (péptidos y aminoácidos) y se han sintetizado cantidades suficientes de amilasas. La mayor parte del almidón permanece intacto, excepto los gránulos pequeños, que son los primeros en ser digeridos durante el malteado. Si persisten estos gránulos pequeños en la malta, podrán dar lugar a problemas de filtración al cervecero durante las últimas etapas de la fabricación de la cerveza ⁽⁵⁾.

La actividad enzimática durante el proceso de secado y tostado es especialmente de proteasas y de amilasas se encuentra potenciada, desarrollándose colores como consecuencia de una reacción ⁽²²⁾, de un azúcar reductor (cetosa o aldosa) y un grupo amino libre proveniente de un aminoácido o de una proteína, llamada reacción de Maillard, la cual produce las melanoidinas coloreadas que van desde el amarillo claro hasta el café oscuro, o incluso negro ⁽³⁾. Por lo tanto los compuestos del sabor producidos por las reacciones de Maillard tienden a asociarse con la superficie de los alimentos que se han deshidratado por la acción del calor ⁽²¹⁾.

Así pues el empleo de maltas especiales que se aplican en proporciones más pequeñas, aportan tanto color como sabor a la cerveza final (Cuadro. 14) ⁽⁵⁾.

De las reacciones de Maillard resulta la formación de un gran número de compuestos heterocíclicos del oxígeno, como furanos, furanonas y pironas. Los compuestos como el furaneol, maltol e isomaltol (Fig. 18) son muy activos como flavorizantes y contribuyen al sabor de la cerveza. Durante el curso de las reacciones de Maillard el oxígeno del anillo furano puede ser substituido por azufre o nitrógeno, lo cual da lugar a la formación de los correspondientes tiofenos pirroles. Otros heterocíclicos derivados de la malta son los tiazolinas, piridinas, pirrolizinas y pirazinas; algunos de estos últimos como la dimetilpirazinas, pueden alcanzar en algunos casos niveles superiores a dos unidades de sabor, afectando sustancialmente al sabor de la cerveza. Estos compuestos se han descrito como a maltosos, oxidados y dulces. ⁽⁵⁾

Fig. 18. Heterocíclicos del oxígeno significativos flavorizante presentes en la cerveza.

Compuesto	Estructura	Atributos del sabor
Furaneol		Toffee, caramelo
Maltol		Caramelo
Isomaltol		Caramelo, azúcar quemado

Baxter, E. Dense y Hughes, Paul S. 2004.

Cuadro. 14. Algunas especificaciones típicas de color y atributos del sabor para maltas tostadas.

Malta	Color (°EBC)	Atributos típicos de sabor
Ale pálida	4.5-4.8	Galletas
Caramalt	25-35	Dulce, a nueces, cereales, toffe
Cristal	100-300	A malta, toffe, caramelo
Ambar	40-60	A nueces, caramelo, frutal
Chocolate	900-1.200	Moca, chocolate
Negra	1.250-1.500	Ahumado, café
Cebada tostada	1.000-1.550	A quemado , a ahumado

Baxter, E. Dense y Hughes, Paul S. 2004.

3.4.2. Adjuntos.

Cualquier producto distinto de la malta que se use en el proceso cervecero para producir extracto en la cuba de maceración, se designa como adjunto. En el pasado, los adjuntos se usaban para producir extractos menos caros que los obtenidos solo de la malta. En ciertos casos, esto ha resultado ser una falsa economía, especialmente cuando se tiene en cuenta los costos adicionales del equipo especializado (por Ej., cocedores de cereales). Los cereales con altas temperaturas de gelatinización del almidón, como el arroz, maíz y sorgo, frecuentemente son fragmentados en pequeña partículas llamadas grits o sémola antes de la cocción y la subsiguiente introducción en la cuba de la mezcla ⁽²⁹⁾.

Algunos cereales, sobre todo el arroz y el maíz, se emplean en forma de copos en la cuba de mezcla. Los copos se producen exponiendo los granos al vapor, proceso que ablanda el endospermo. Los granos se pasan seguidamente entre rodillos para aplastarlos. Los copos de trigo y de cebada también se emplean ocasionalmente.

La cebada y el trigo, también se utilizan en formas tostadas y micronizadas. El tostado calienta los granos hasta que se expanden y rompen (abren). Con esto se consigue la solubilización parcial del endospermo amiláceo. La micronización es un proceso similar, salvo que el color aplicado es de rayos infrarrojos ⁽²⁹⁾.

Técnicamente es posible producir cerveza aceptable con un 5 % de sémola de malta y un 95 % de adjuntos, siempre que se incorporen en la cuba de mezclar enzimas producidas industrialmente. En muchas cervezas estadounidenses se encuentran los niveles más altos de adjuntos, en las que se incorporan a la mezcla hasta el 60 % de grits de maíz. En Europa es raro que en cervecería se use más del 40 % de adjuntos (incluso en el reino Unido es muy raro que se use más del 20 % de adjuntos ⁽²⁹⁾).

Hoy en día se dispone de aditivos en forma líquida, que son mezclas de lavadas y no cristalizables de azúcares y dextrinas fermentables adecuadas para obtener un mejor rendimiento en el mosto y para controlar la operación de la cocción ⁽³⁶⁾.

Trigo.

El trigo (*Triticum aestivum*) es a nivel mundial, la cosecha más ampliamente cultivada y normalmente se utiliza como adjunto en la industria cervecera, frecuentemente en base a su precio. En las cervezas de tipo continental (WeiBbier) la mayor parte de la sémola puede consistir en malta de trigo, aunque cuando se usa como un adjunto, sus niveles apenas exceden del 20 % de la sémola total. Esto es debido principalmente a que las paredes celulares del endospermo contienen altos niveles de pentosanos, que producen enturbiamientos en la cerveza final. Esto carece de importancia en las WeiBbiers, que son naturalmente turbias ⁽²⁹⁾.

Se dice que el grano de trigo está desnudo, ya que no posee cáscara. Por ello, surgen problemas inherentes durante el malteo, debido a que la acospira no está protegida y puede desprenderse fácilmente del grano. La falta de cáscara, sin embargo, significa que el grano de trigo tendrá aproximadamente el 8% más de almidón, a igualdad de peso, que el equivalente al grano de cebada. En teoría, por tanto, pueden alcanzarse niveles de extracto mayores a partir de la malta de trigo ⁽²⁹⁾.

Los granos de trigo son más difíciles de moler que los granos de cebada y por dicha razón, se someten frecuentemente a tratamiento térmico preliminar antes de usarlos en la sala de cocidas, operación designada tostado o micronización.

La capa de aleurona del trigo solo consta de una célula de espesor, pero corresponde al ácido giberélico de forma similar a la cebada, a excepción de que la α -amilasa se produce sin la estimulación necesaria por el ácido giberélico ⁽²⁹⁾.

A diferencia de otros cereales, la temperatura de gelatinización del almidón de trigo es lo suficientemente baja (52-64 °C), como para añadirlo directamente en la cuba de mezcla sin cocción previa. La falta de cáscara, no obstante, limita el uso del grano en la cuba en una maceración por infusión ⁽²⁹⁾.

Arroz.

Como el trigo, el arroz (*Oriza sativa*) es un grano desnudo con una capa de aleurona monocelular que es sensible al ácido giberélico. La temperatura de gelatinización del almidón de arroz, sin embargo, es más elevada que la del almidón de cebada o trigo (70-80 ° C) y consecuentemente los granos tienen que cocerse antes de la maceración, con la finalidad de licuar el almidón. En tonelaje, la producción mundial de arroz es la segunda después del trigo, usándose sólo un pequeño porcentaje en cervecería.

Los granos de arroz contienen, en base al peso seco, mayor porcentaje de almidón que la cebada o el trigo y contienen niveles inferiores de fibra, lípidos y proteínas, teniendo algunas propiedades intrínsecas útiles para el cervecero. Por ser un grano de tamaño relativamente pequeño, el arroz tiene una baja producción por Hectárea en términos de extracto cervecero. La estructura de arroz es más granular que la de la cebada o el trigo ⁽²⁹⁾.

Avena.

El grano de avena (*Avena fatua*) contiene altos niveles de lípidos y proteína, siendo raro en la actualidad que se destine a la industria cervecera, aunque, a falta de otra elección este grano se empleó profundamente durante la segunda guerra mundial. La estructura del almidón es muy granular, como lo es en el arroz, pero el almidón de avena tiene una temperatura de gelatinización mucho más baja (55-60 ° C). El grano posee una cáscara fibrosa, que se conserva durante la maceración, por lo que no se producen problemas de evacuación de la cuba de mezcla ⁽²⁹⁾.

Centeno.

Actualmente se emplea poco en la producción de cerveza, aunque se utiliza en la elaboración de determinados tipos de whisky y de pan (especialmente en Escandinavia). A escala mundial, Rusia es la nación de mayor producción. La semilla es de grano pequeño, con escasa o nula retención de la cáscara e imparte a la cerveza aromas sumamente característicos ⁽²⁹⁾.

Maíz

Zea mays, otro cereal de grano desnudo, que se emplea de forma muy limitada en cervecería. También, la capa de aleurona tiene sólo una célula de grosor, aunque en el maíz no es sensible al ácido giberélico. Las paredes celulares del endospermo son delgadas y, en consecuencia, los niveles de β -D-glucano son bajos, con lo que los gránulos de almidón son altamente hidrolizables. El almidón de maíz tiene una elevada temperatura de gelatinización, por lo que la pre-cocción es esencial para su solubilización.

Aunque el contenido de almidón es alto (aprox. 72%), los granos de maíz también contienen una fracción de lípidos relativamente alta (4-5%), asociada principalmente al germen. Por tal razón, es preciso eliminar el germen antes de emplear el maíz en cervecería (los gérmenes separados pueden servir de fuente de aceite) ⁽²⁹⁾.

Triticale.

Es el nombre que se da a la planta resultante del cruce entre el trigo y el centeno. Sobre la planta, que tiene un contenido proteico más elevado que la cebada, aún se está realizando considerable trabajo experimental. La malta de triticale tiene bajo contenido graso, alta actividad enzimática y altos niveles de nitrógeno soluble. Actualmente se usa muy poco en cervecería. Sus semillas son muy susceptibles al crecimiento de mohos, en especial durante la germinación ⁽²⁹⁾.

Sorgo.

El *Sorghum vulgare* es el cultivo principalmente de regiones áridas y se ha empleado malteado, para producir una diversidad de cervezas africanas, de las que Kaffir es probablemente la más conocida. La semilla también está desnuda y el epispermo y el pericarpio contienen altos niveles de polifenoles. Tiene una capa de aleurona

unicelular y no responde al ácido giberélico. Las paredes celulares del endospermo contienen altos niveles de proteína, capaces de causar problemas en la elaboración de cervezas claras. La estructura del almidón y las temperaturas de gelatinización son similares a las del maíz, pero las pérdidas en el malteado son muy elevadas (pueden ascender al 30 %). Además, la temperatura ideal de malteado para los granos de sorgo, está en el estrecho margen de 24-26 ° C, temperaturas difíciles de mantener en muchas partes de África ⁽²⁹⁾.

El sorgo es particularmente propenso a la infección fúngica durante el malteado y algunos de los hongos de la flora superficial son productores de aflatoxinas, inevitablemente tienen que emplearse fungicidas caros ⁽²⁹⁾.

La falta de respuesta al ácido giberélico y el bajo nivel de degradación de las paredes celulares del endospermo (debido a altos niveles de proteína). Igualmente son bajos los niveles de nitrógeno amino libre (NAL) de su malta, que puede ser responsable del pobre crecimiento de la levadura en la cervecería.

El contenido de azúcares de los mostos de sorgo malteado tienen un perfil diferente de los de la cebada y del trigo, siendo menores los niveles de maltosa y mayores los niveles de glucosa. ⁽²⁹⁾

Debido a todas estas características inherentes, en la producción de cerveza con sorgo tienen que emplearse diferentes técnicas de maceración.

Se ha comprobado que el sorgo malteado contiene insuficiente poder diastásico (o amilolítico) para producir un extracto con agua caliente adecuado para finalidades cerveceras. Correctamente, en la malta de sorgo existen considerablemente menos actividad β -amilasa respecto a la malta de cebada y parece ser, que en los granos sin germinar, no existe β -amilasa. La β -amilasa del sorgo es más termolábil que la α -amilasa, lo que ocasiona problemas durante la maceración para cerveza lager ⁽²⁹⁾.

La tendencia actual en la cervecería del sorgo, parece encaminarse hacia el uso como grano crudo en la cuba de maceración, juntamente con enzimas industriales.

Opcionalmente, el mercado debe consistir en 80 % de sorgo crudo, 20 % de sorgo malteado y la obligada adición de enzimas.

El contenido de azúcar de los mostos de sorgo malteado tienen un perfil diferente de los de la cebada y del trigo, siendo menores los niveles de maltosa y mayores los niveles de glucosa ⁽²⁹⁾.

Debido a todas estas características inherentes, en la producción de cerveza con sorgo tienen que emplearse diferentes técnicas de maceración.

Se han comprobado que el sorgo malteado contiene insuficiente poder diastásico (o amilolítica) para producir un extracto con agua caliente, adecuado para finalidades cerveceras. Consecuentemente, en la malta de sorgo existe considerablemente menos

actividad β -amilasa respecto a la malta de cebada y parece ser, que en los granos sin germinar, no existe β -amilasa. La β -amilasa es más termolábil que la α -amilasa, lo que ocasiona problemas durante la maceración para cerveza lager.

La tendencia actual en la cervecería del sorgo, parece encaminarse hacia el uso como grano crudo en la cuba de maceración, juntamente con enzimas industriales. Opcionalmente, el mercado debe consistir en 80 % de sorgo crudo, 20 % de sorgo malteado y la obligada adición de enzimas ⁽²⁹⁾.

3.4.3. Conceptos de Calidad cervecera.

La calidad cervecera propiamente dicha de la malta la podemos analizar, desde el punto de vista económico, la malta deberá:

Producir un elevado rendimiento de extracto (máximo volumen de mosto obtenido por kilo de malta). Factores correlacionados negativamente con el extracto son los porcentajes de proteína total y de cascarilla (glumillas) del grano de malta ⁽⁴⁴⁾.

Haber desarrollado durante la germinación la suficiente cantidad de enzimas amilolíticas (α y β -amilasas) para degradar completamente el almidón durante el braceado (infusión).

Producir un mosto cuya fermentabilidad sea máxima y con la cantidad suficiente de aminoácidos en solución para que la alimentación de la levadura sea óptima.

Desde el punto de vista estrictamente cualitativo, la malta debe de estar suficientemente desagregado y tener un bajo contenido de β -glucanos para que la viscosidad del mosto sea baja y la filtración del mismo, en consecuencia, fácil ⁽⁴⁴⁾.

El mosto debe ser de color claro, con bajo contenido de polifenoles (aumentando así la estabilidad coloidal y, en consecuencia, la vida de la cerveza) y ausencia de sabores y olores extraños. La cerveza terminada debe tener color, olor y gusto correctos ⁽⁴⁴⁾.

Aspectos Económicos.

- Rendimiento en extracto elevado (máximo volumen de mosto obtenido por kilo de malta). Desfavorables en las cebadas hexásticas.
- Porcentaje de proteína total moderadamente bajo (correlacionado negativamente con el extracto).
- Porcentaje de glumillas en peso mínimo (así mismo correlacionado negativamente con el extracto)
- Actividad suficiente de las enzimas amilolíticas (α y β -amilasas)

- Atenuación límite elevada (buena fermentabilidad del mosto) ⁽⁴⁴⁾.

Aspectos Cualitativos en sentido estricto

- Baja viscosidad del mosto (Facilidad de filtración)
- Bajo contenido de β -glucanos del mosto.
- Elevado contenido de aminoácidos en el mosto (para la alimentación de la levadura)
- Mosto de color claro
- Mosto con bajo contenido de polifenoles (estabilidad coloidal de la cerveza elevada).
- Ausencia de sabores y olores extraños en el mosto
- Color, olor y gusto correctos de la cerveza terminada ⁽⁴⁴⁾.

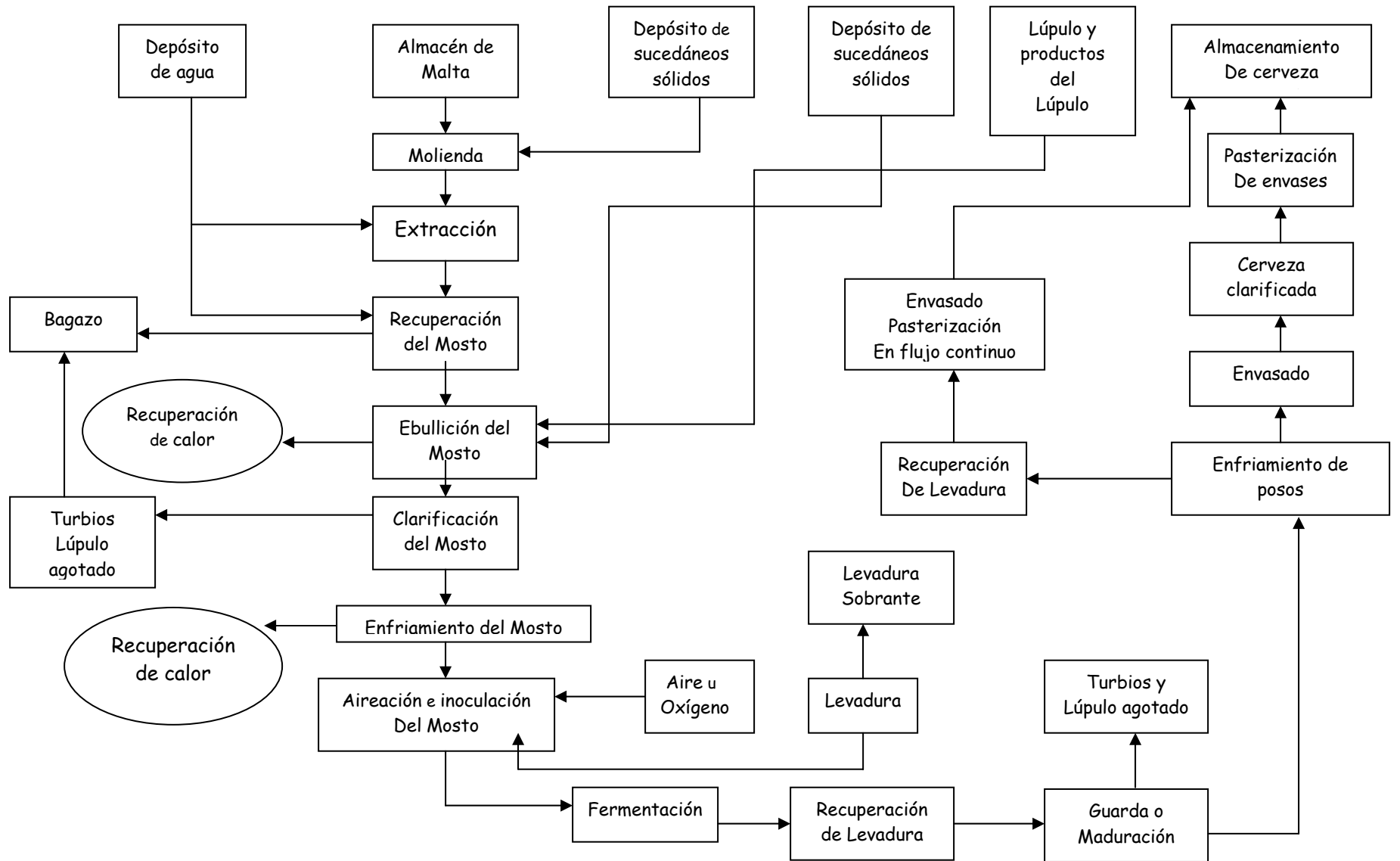
3.5. Proceso de elaboración de cerveza.

Las materias primas principales para la elaboración de cerveza son: La Malta (portador de extractos), lúpulo (principios amargos), levadura (enzimas fermentativos) y agua (disolvente) ⁽⁵⁴⁾.

La fabricación de cerveza en su forma más elemental supone los siguientes puntos:

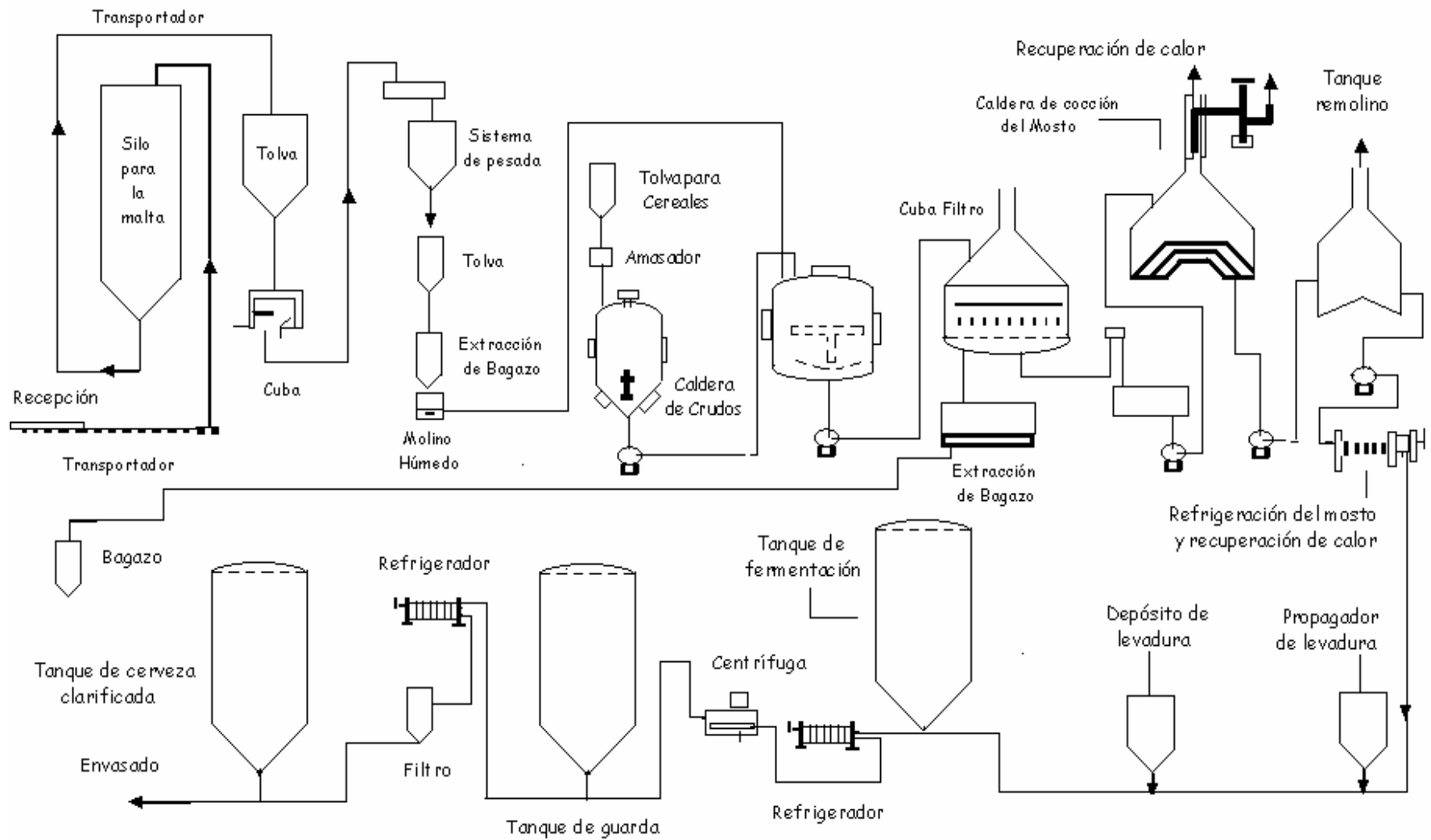
- 1- Triturar la cebada malteada para obtener una harina muy grosera.
- 2- Añadir agua para formar una masa o papilla y estimular a los enzimas de la malta a
- 3- Solubilizar el endospermo degradado de la malta molida.
- 4- Separar, en un recipiente adecuado, el extracto acuoso, denominado mosto, de los
- 5- Sólidos agotados (bagazos) mediante la aspersion de más agua caliente sobre la mesa.
- 6- Hervir mosto con lúpulo, con lo que se detiene la elección enzimática, se esteriliza el mosto y se coagulan algunas proteínas.
- 7- Clarificar, enfriar y airear el mosto, de manera que se convierta en un medio ideal para el crecimiento de la levadura y para la fermentación.
- 8- Fermentar el mosto con las levaduras de manera que gran parte de los hidratos de carbono se conviertan en alcohol y dióxido de carbono.
- 9- Madurar, guardar y clarificar la cerveza.
- 10- Envasar la cerveza, generalmente tras haberla esterilizado por filtración, o pasterizado ⁽³¹⁾.

Fig. 19. Diagrama de proceso general de elaboración de cerveza.



HOUGH, J S 1990.

Fig. 20. Diagrama de flujo del proceso general de elaboración de cerveza.



HOUGH, J S 1990.

3.5.1. Molienda.

La molienda tiene por objeto triturar la malta. Es necesario que la cascarilla permanezca tan entera como sea posible y que, en cambio, el endospermo se muele hasta un tamaño de partícula que permita la fácil liberación del extracto. Si se desintegra mucho, la cascarilla no puede formar un filtro suficientemente eficaz y permeable durante la recuperación del mosto a partir de la masa. Por otra parte la cascarilla rota libera mas sustancias tánicas de las deseables. En cuanto a la trituración del endospermo, es preciso que las partículas del mismo se hidraten bien y liberen fácilmente las enzimas y otros constituyentes celulares para que puedan degradarse rápidamente. Desde el punto de vista, serían ideales partículas de tamaño muy reducido, pero estas tienden a empaquetarse demasiado aparentemente y a formar un lecho impermeable, que libera muy lenta e incompletamente el mosto. La finura de la molienda depende, por ello, del equipo utilizado para la recuperación del mosto; si el lecho es profundo requiere en general, partículas más groseras que si tiene poca altura ⁽²⁴⁾.

En las fábricas tradicionales, los molinos se montaban en la parte mas alta del edificio, para que el producto de la molienda pasara directamente, por gravedad, a los recipientes en que se almacenaban los triturados (molienda en seco), o al equipo de extracción. Hoy puede montarse a nivel del suelo, en cuyo caso los productos de la molienda se trasportan neumática o mecánicamente ⁽³¹⁾.

La malta, independientemente del medio a seguir, es transportada a una tolva normalmente situada directamente encima del molino en que se va a triturar ⁽²⁹⁾.

En las fábricas de cerveza son frecuentes tantos los molinos secos como húmedos. Los secos son de dos tipos principales, aunque ambos sean de rodillos. Si la malta esta bien desagregada puede bastar con molinos de cilindros más simples, constituidos por dos pares de cilindros, que giran en sentido contrario ambos pares de rodillos están separados por una rejilla y zarandas. El primer par de rodillos normalmente recibe los granos distribuidos en toda su longitud, de tal forma que el grano es triturado, mientras que la cáscara permanece casi intacta. El endospermo y embriones salientes son desintegrados por el segundo par de rodillos que está debajo, produciendo sémola y harina. Cada planta cervecera tiene sus propias especificaciones en lo que se refiere a proporciones de cáscara, sémola y harina. Las sémolas (granos descascarados) peden ser clasificadas ulteriormente, en función de su tamaño, en las categorías de fina y bastas o gruesas ⁽³¹⁾.

Las maltas menos desagregadas se caracterizan por tener extremos más duros y necesitan molinos de seis rodillos (Fig. 21), capaces de separar los extremos duros de las cascarillas. Las fábricas de gran tamaño suelen elegir molinos de seis rodillos, en virtud de su mayor flexibilidad, aunque nunca utilicen malta con extremos duros ⁽³¹⁾.

Los cerveceros continentales, en especial los que fabrican lager, que tienen mayor interés por las maltas no muy modificadas, prefieren molinos de seis rodillos (tres pares de rodillo), las parejas de rodillo están igualmente separadas por rejillas, pudiéndose triturar satisfactoriamente, tanto los granos bien desagregados, como los granos deficientes ⁽²⁹⁾.

Los molinos de rodillo producen partículas de endospermo de diferentes tamaños, desde sémolas gruesas de 0.3-0.6 mm de diámetro y finas de 0.15 a 0.3 mm, hasta harinas con partículas de menos de 0.15 mm. Es posible ajustar la distancia entre los cilindros para asegurar una proporción determinada de sémolas ⁽²⁹⁾ (granos de cebada descascarados) ⁽⁵²⁾ o para obtener más o menos harina. En general las relaciones sémolas gruesas/ sémolas finas/ harinas oscilan entre 27: 35:38 y 24:35: 41 ⁽³¹⁾. Todos los molinos en seco deberán estar equipados con un dispositivo anti-explones. Los molinos de martillos y los molinos de disco se usan también aunque fundamentalmente con propósitos experimentales, si bien se emplean molinos de martillo en algunas instalaciones cerveceras modernas, equipadas con filtro de mosto para la mezcla de maceración. En este tipo de sistemas, la malta se presenta como polvo fino que, aunque su rendimiento de extracción es muy alto, pueden ocasionar graves problemas en las salas de cocción más convencionales de maceración por infusión y decocción ⁽²⁹⁾.

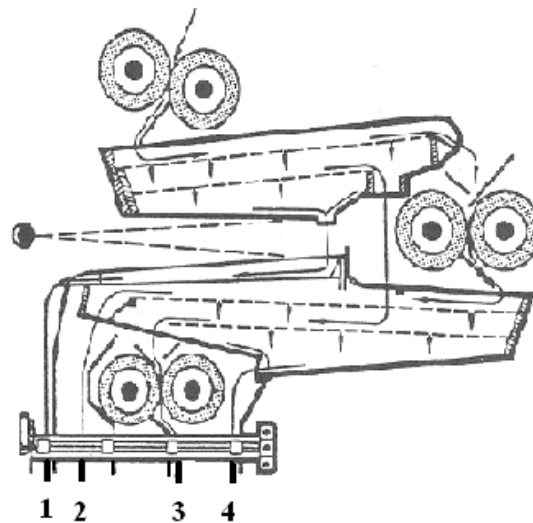
En los sistemas de molienda húmeda (Fig. 22), los granos se remojan con agua durante no más de 30 minutos, en una tolva de humidificación, hasta que el contenido de humedad alcanza aproximadamente un 30%. La tolva de remojo está situada inmediatamente encima del molino. La malta mojada pasa entonces entre los rodillos trituradores en los que las cáscaras son divididas o abiertas y el endospermo es prensado y exprimido en forma de pasta o papilla. Los rodillos giran a alta velocidad y la papilla húmeda producida, es mezclada inmediatamente con el líquido de maceración (agua), pasando directamente a la cuba de maceración, con lo que, en esencia, la molienda húmeda y la maceración, son un proceso combinado ⁽²⁹⁾.

En una ligera variante de este proceso, los granos pueden sumergirse en agua a 80° C durante un minuto, lo que contribuye al ablandamiento de la cáscara, y tiene por finalidad aumentar aún más la fragmentación del endospermo, que aún se encontraría en estado seco fácilmente triturable ⁽²⁹⁾.

El objetivo final de la molienda húmeda (aparte de reducir la probabilidad de explosiones) es mejorar el extracto potencial y las características de drenado o filtrado del mosto de la malta macerada, debido, lo último, a que las cáscaras se mantienen prácticamente intactas ⁽²⁹⁾.

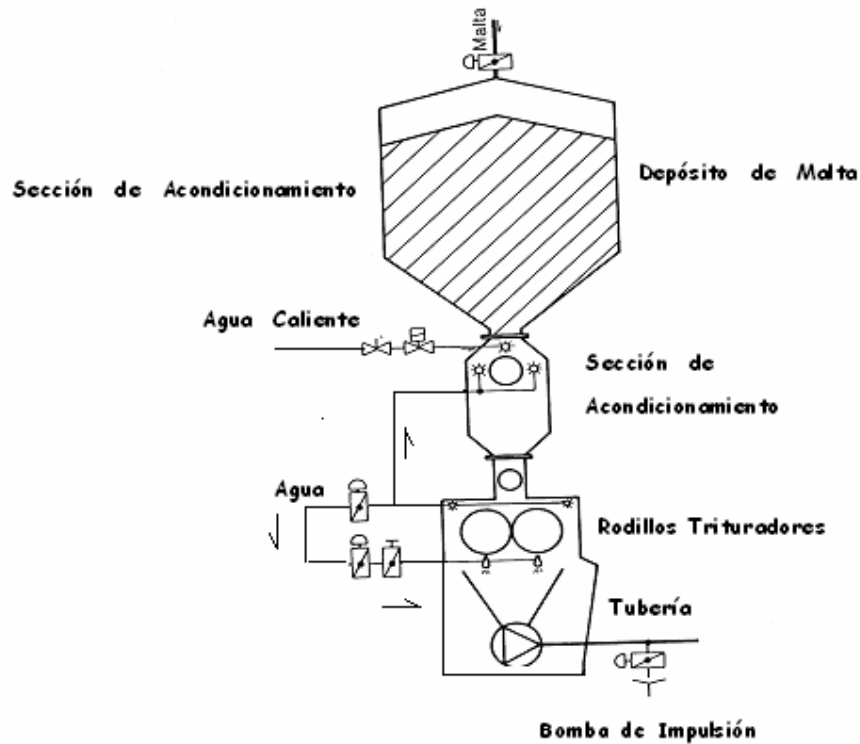
Cualquiera que sea el proceso, la finalidad general de la molienda es la producción de partículas de un tamaño, que sea rápidamente atacado por las enzimas en la cuba de maceración. Las partículas no deben ser demasiado pequeñas, especialmente en la cuba de maceración por infusión, porque pueden surgir posteriormente problemas de drenaje del mosto de la cuba. Si las partículas son excesivamente grandes, resultara entonces afectada la enzimolisis, siendo las velocidades de conversión lentas e incompletas ⁽²⁹⁾.

Fig. 21. Molino de Rodillos para Malta: 1. Harina. 2. Cáscara. 3-4. Harina.



MADRID VICENTE, Antonio ,1994.

Fig. 22. Sistemas de molienda húmeda.



MADRID VICENTE, Antonio ,1994.

3.5.2. Maceración.

La maceración por definición, es el proceso en el que la malta molida, o sémola, se mezcla con agua agitando lentamente, para producir un extracto fermentescible que permita el crecimiento de la levadura, con la consiguiente producción de cerveza ⁽²⁹⁾. Su objetivo principal es la hidrólisis del almidón de la malta y, si la capacidad enzimática es suficiente, la de otros productos amiláceos no malteados y menos costosos (maíz, arroz.). La hidrólisis no es total, ya que es necesario que queden dextrinas que proporcionen cuerpo a la cerveza ⁽²⁾.

La temperatura del agua al mezclar (o caer la malta) es crítica y antes del descubrimiento del termómetro, la estimación de la temperatura fue en gran parte realizada *grosso modo*. Se dice que los cerveceros británicos usaban el agua a la temperatura en que su cara se reflejaba mejor. Es sabio que en el margen de 65-70 ° C el agua tiene las mejores propiedades de reflexión ⁽²⁹⁾.

Deben conseguirse también temperaturas relativamente constantes mezclando la sémola con agua fría extraída directamente del pozo, hirviendo una fracción de la muestra y a continuación juntando las dos fracciones. Esto constituía la base (originariamente continental) del modo de maceración denominado decocción ⁽²⁹⁾.

En su forma mas simple, la maceración requiere un simple recipiente o depósito, la cuba de macerar, en la que se produce el mezclado. Antes de introducirse la mecanización, tenían que emplearse manualmente grandes remos o palas para conseguir la distribución uniforme de la sémola. La mezcla tenia entonces que dejarse asentar (en reposo) durante un determinado periodo de tiempo y el líquido azucarado resultante, llamado mosto, tenía que vaciarse por diversos medios, frecuentemente con cazo. Este método de maceración de una sola fase, se denominaba maceración por infusión. En 1853, Steel inventó el primer aparato de maceración mecanizada. Existen otros sistemas de maceración, incluido el proceso de molienda húmeda, aunque se usan menos frecuentemente, especialmente en la industria cervecera tradicionales ⁽²⁹⁾.

El pH del agua de maceración deberá ser tal que el pH neto tras la mezcla sea 5.4.

Este pH es el óptimo para la actividad amilolítica y el que produce, por consiguiente, los niveles máximos de degradación del almidón (sacarificación) ⁽²⁹⁾.

Como consecuencia de la maceración, cerca del 90-95% del almidón de la malta deberá solubilizarse, y convertirse en azúcares fermentencibles. La propia malta contribuye al pH de la mezcla; las maltas oscura producen mezclas con pH inferior al de las maltas pálidas (pale ale) que, a su vez, producen mezclas de pH mas bajo que las maltas lager.

El pH óptimo de las enzimas proteolíticas, presentes en la malta, se encuentra dentro del margen 4.5-5.0 y por ello no actúan tan eficazmente como las enzimas amilolíticas. Consecuentemente durante la fase de maceración, solo se solubiliza un 35-40% de la proteína de la malta ⁽²⁹⁾.

Si el pH de la mezcla es mas bajo, se produce baja actividad de la amilasa y problemas de evacuación (llamado asentamiento de la masa), mientras que la elevación del pH determina la extracción de sustancias fenólicas, que dan a la cerveza final un carácter áspero o duro (astringente) y puede producir enturbiamientos ⁽²⁹⁾.

La mezcla tiene su propia actividad de tampón intrínseca, a la que contribuyen fosfatos, aminoácidos y péptidos de la malta y en consecuencia siempre que el pH inicial del agua de maceración sea el apropiado, durante el proceso de maceración puede alcanzarse un pH adecuado y constante ⁽²⁹⁾.

Para la maceración por infusión, la temperatura normal debe estar dentro del margen 64-65 ° C. Al objeto de alcanzar dicha temperatura en la cuba de mezcla, la temperatura del agua cervecera a mezclar con la sémola debe ser muy precisa. Tal temperatura, llamada de choque, variará de acuerdo con las características de la malta a usar. Especialmente importante es el contenido de humedad de la malta. La malta que reabsorbe humedad después del secado / tostado en el horno se conoce como

floja. Cuando mayor sea el contenido de humedad, tanto mayor será la temperatura de choque necesitada. Esta puede ser nociva, para las enzimas de la malta y en consecuencia se produciría una baja degradación del almidón y proteínas (lo que produciría enturbiamiento)

Las enzimas proteolíticas tienen temperaturas óptimas más bajas (50-55 ° C) que las amilasas (60-68° C). Las propias amilasas, tienen márgenes de temperatura óptimas ligeramente diferentes para su actividad:

- Las α -amilasa actúa más eficazmente en el margen 64-68 ° C, y
- La β -amilasa actúa más eficazmente en el margen 60-65 ° C.

El resultado final, es que la amilólisis máxima ocurre en el rango 64-65° C.

Los procesos de maceración por decocción necesitan emplear tres recipientes independientes:

- Una caldera de mezcla o de empastado, en la que se mezclan el agua y la sémola,
- Una cuba de cocción, en el que tiene lugar el calentamiento (con frecuencia conocido como caldera de ebullición), y
- Una cuba de filtración o cuba lauter ⁽²⁹⁾.

Este proceso se usa con maltas menos buenas, o maltas irregularmente desagregadas, favoritas de los cerveceros continentales, o en el caso de sémolas con altos niveles de adjuntos (materiales diferentes de la malta).

La maceración normalmente discurre a temperatura ambiente, para permitir extraer los componentes solubles de la sémola. A continuación se añade agua caliente a la mezcla agitando para que la temperatura llegue a 35-40 ° C. Seguidamente a un tercio de la mezcla se trasiega a la cuba de cocción, se calienta y se mantiene a 65 ° C durante unos 20 minutos (eso permite la primera fase de la degradación del almidón). Después se calienta hasta ebullición y se mantiene a esa temperatura entre 15 y 45 minutos (dependiendo del estilo de cerveza a obtener, ya que la ebullición prolongada aumenta más el color). Esa fracción se retorna entonces a la cuba de mezcla en maceración, en la que se elevará la temperatura global hasta 50-52 °C. Seguidamente otro tercio se trasiega hacia la cuba de cocción, se hierve durante un corto periodo y a continuación se incorpora a la cuba de maceración. Esta operación elevará la temperatura de la mezcla hasta 65 ° C, en la que se produce la amilólisis. Después de un periodo de reposo determinado, una fracción finalmente es bombeada a la cuba de cocción, calentada y retorno a la caldera de maceración. Esta operación elevará la temperatura de la mezcla hasta a 76 ° C. A partir de aquí, ya no es posible actividad enzimática adicional, bombeándose la masa a la cuba lauter para su filtración. La cuba-filtro está equipada por láminas rotatorias internas para facilitar la evacuación del

mosto, porque casi todo el aire habrá sido eliminado como resultado de los procesos de decocción y bombeado ⁽²⁹⁾.

Existen muchas variaciones, en lo referente a temperatura y tiempo, y el proceso de maceración por decocción permite emplear una amplia variedad de materias primas y de producir diferentes cervezas. Para sémolas de malta bien desagregadas con bajos niveles de adjuntos, se puede recurrir a un sistema de doble decocción más rápido.

En la maceración por decocción suele agitarse mediante láminas de rotación lenta al objeto de conseguir la extracción máxima. La agitación hace que el aire salga de la mezcla. En la maceración por infusión no se suele agitar generalmente, por lo que el aire de la mezcla permanece *in situ* ⁽²⁹⁾.

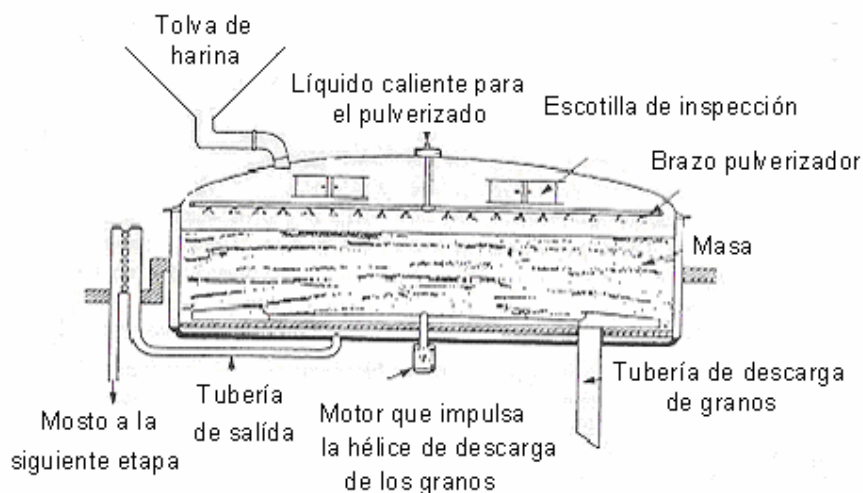
Maceración por Infusión.

El equipo tradicional de amasado, o braceado, para la producción de *a/e* en la cuba de mezcla, también denominada caldera de braceado, o empastado. Las sémolas o harina de la malta pasan del depósito en que se almacenan a la llamada caldera de Steel (Fig. 23) que es un hidratador con un tubo de gran calibre (unos 46 cm de diámetro) doblado en ángulo recto. La harina se humedece durante aspersion de agua caliente [2.7 hl (100 Kg.)⁻¹] en la primera porción vertical del tubo y se mezcla, por medio de un tornillo sin fin, en la porción horizontal del mismo, de manera que lo que vierte a la caldera de empastado no es sino una papilla espesa algo aireada. La temperatura de la masa adecuada para esta etapa resulta crítica siendo muy difícil modificarla sin diluirla con mucha agua. La temperatura más adecuada para esta etapa es de 62-67 ° C y se opera de ordinario a 65 ° C; para lograrla se suele utilizar agua 4-5 ° C más caliente ⁽³¹⁾.

Antes de que la papilla o *maisch* caiga a la caldera, el recipiente se calienta y se rellena parcialmente con agua, hasta una altura ligeramente por encima de las placas filtrantes. Como retiene aire tiende a flotar. A medida que las partículas de endospermo se van hidratando los enzimas renuevan su ataque a las reservas nutritivas de la malta. Parcialmente degradada y altamente vulnerable. Las amilasas α y β actúan coordinadamente, degradando la amilosa y la amilopectina para liberar azúcares fermentescibles y dextrinas fermentescibles (Cuadro. 15). En el cuadro 16 se muestra que la α amilasa es mas termoestable que la β , de modo que las temperaturas mas elevadas, por ejemplo 67 ° C, favorecen la acción de la primera, del mismo modo, un pH de 5.7, mas favorable a la amilasa α y uno de 4.7 a la β en la práctica, se adopta una solución de compromiso para facilitar la acción de ambos enzimas, pero los cerveceros pueden controlar la fermentescibilidad del mosto que

producen, facilitando la acción de la amilasa β si quieren que sea alta (Cuadro. 17) (31).

Fig. 23. Caldera de extracción por infusión.



WARD, Owen P ,1991.

Cuadro. 15. Producción de carbohidratos solubles [g (100 ml)⁻¹] por las amilasas α y β durante la extracción.

Minutos	Azúcar Fermentescibles	Dextrinas no Fermentescibles
0	1.1	3.5
25	4.0	2.8
50	6.9	4.3
100	10.8	3.7
150	11.2	4.0

HOUGH, J S ,1990.

Cuadro. 16. Influencia de la temperatura de extracción, la concentración y el pH del agua sobre la fermentescibilidad del mosto dulce.

Temperatura de extracción (° C)	60		65.6		68.3	
Concentración de la pasta [g (100 ml)-1]	67	39	67	39	67	39
Azúcar fermentescible (% de sólidos totales)	73.3	76.1	67.4	71.2	64.4	65
Desxtrinas no Fermentescibles (% de sólidos totales)	17.5	15.5	24.2	21.2	27.6	26.2
pH del agua de extracción	4.0		4.5		5.5	
Azúcar fermentescible [g (100 ml)-1]	8.9		8.3		8.4	

HOUGH, J S ,1990.

Cuadro. 17. Temperatura y pH óptimo para la extracción por infusión.

	Temperatura (° C)	pH
Extracto máximo	65-68	5.2-5.4
Mosto mas fermentescible	65	5.3-5.4
Actividad α amilasa	70	5.3-5.7
Actividad β amilasa	60-65	4.6 (pasta)
Rendimiento máximo en Sustancia nitrogenadas solubles	50-55	5.0 (mosto)

HOUGH, J S ,1990.

Lo que conviene poner de manifiesto es que los cerveceros hacen operar a las amilasas en el rango superior de temperaturas a que son activas; pese a que están siendo inactivadas por la temperatura, operan a una velocidad próxima a la máxima. Por tanto, durante un periodo corto de tiempo (30-120 min.) se encuentran a su temperatura óptima. El pH puede ser ajustado generalmente eliminando los iones carbonato y bicarbonato del agua y asegurando la presencia de suficiente cantidad de iones calcio ⁽³¹⁾.

Además de la acción amilolítica, se produce también un ataque proteolítico, cuya temperatura optima es de 50° C; si la malta ha sido bien desagregada, ya ha habido una degradación proteolítica considerable durante el malteado; durante la extracción, se complementa considerablemente esta degradación proteica, incluso a 65° C.

En esta etapa actúan principalmente las proteinasas, que son exoenzimas y escinden restos de aminoácidos de las cadenas proteicas; operan mejor entre pH de 5.3 y 5.7 en masas espesas, en las que están mejor protegidas por el sustrato que en las masas diluidas. El cervecero puede, por tanto, controlar, en cierto grado, también este proceso. Si quiere acentuar la proteolisis debe de reducir la temperatura y utilizar pHs relativamente bajos y masas espesas y prolongar los tiempos de extracción. En la práctica hay que aceptar una solución de compromiso, teniendo en cuenta las exigencias de temperatura altas, masas poco espesas o altos pHs, del método de extracción ⁽³¹⁾.

En las calderas de extracción, se puede añadir copos o harina de cereales en cantidades equivalentes al 10 % de peso de los productos de molienda de la malta; lo que es necesario es que el almidón de estos sucedáneos se encuentre en un estado que permita su ataque por las amilasas de la malta. Es preciso además que haya suficientes amilasas para asegurar la hidrólisis rápida y eficaz de todo el almidón. El cervecero. Por razones que luego se expondrán, no tiene interés alguno en degradar las proteínas de estos coadyuvantes, lo que debe asegurar es el ataque y degradación del almidón ⁽³¹⁾.

Parte de los pentosanos y β glucanos de las paredes celulares del endospermo de la malta es soluble, pero la mayoría no. Los β glucanos, a medida que van siendo progresivamente atacados durante el malteado y la extracción, generan primero polímeros de menor tamaño, solubles en agua y mosto caliente, y más tarde polímeros solubles en ambos medios, en frío y en caliente. Para el cervecero, resulta un inconveniente la existencia de sustancias solubles en el mosto caliente y no en el mosto frío, no solo porque aumenta la viscosidad y dificultan la separación del mosto y el bagazo si no porque se insolubilizan formando un material gelatinoso, en cualquier momento entre el enfriamiento del mosto y el consumo de la cerveza. Resulta por ello fundamental limitar la actividad glucanasa al mínimo, o asegurar que su acción brinde moléculas solubles en agua, mosto y cerveza fría. Si los β glucanos constituyen un problema considerable, el cervecero tiene que añadir a la masa glucanasa, procedentes de hongos o bacterias ⁽³¹⁾.

El ataque enzimático en la cadena de extracción conduce a la progresiva solubilización del contenido de las partículas de malta, dejando sólo un pequeño resto de materias no degradables. El agua de la masa situada en torno a las partículas, no solo disuelve las sustancias extraíbles, sino que además permea a través del lecho y es filtrada por las cascarillas. Por consiguiente, el agua por encima y por debajo de las placas se va enriqueciendo en carbohidratos y sustancias nitrogenadas solubles. Se ha convertido así en mosto dulce que puede drenarse de la caldera de extracción, ordinariamente con una densidad de 1.060 y 1.100 (mosto denso). Con el objeto de mantener la masa en flotación y lograr una extracción completa y satisfactoria, se necesita suministrar agua por aspersion o aspiración. Se utiliza agua a 68- 72 ° C y se incorpora a una velocidad que debe compensar la salida de mosto; por eso, las aguas de lavado que van siendo retiradas son un mosto cada vez mas débiles; cuando alcanza una densidad de 1.005 se deja de añadir agua ⁽³¹⁾.

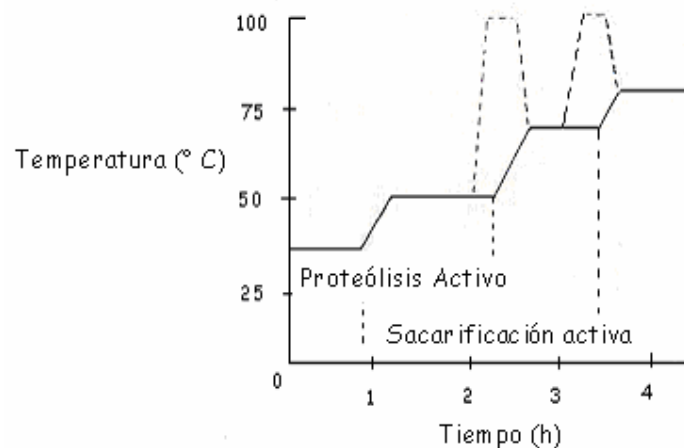
Para mantener la flotación de la masa, hay que evitar una succión hidrostática intensa, por lo que las tuberías a través de las que se retira el mosto de las calderas de extracción están provistas de un tubo en U invertida y un destructor de acción sifónica. La caldera de extracción está provista también por un dispositivo para la retirada del producto agotado (bagazo); un motor eléctrico de considerable potencia impulsa un émbolo que arrastra el bagazo a través de orificios de descarga practicados en el ensamblaje de las placas filtrantes. Los productos agotados suelen ser desplazados por aire comprimido a través de tuberías de gran tamaño, hasta recipientes que permitan cargar su contenido en los remolques utilizados por los granjeros ⁽³¹⁾.

Maceración por decocción.

El sistema descrito, es un método simple, en cuanto que utiliza sólo una caldera y mantiene virtualmente constante la temperatura de la masa, pero complejo, en cuanto que hace uso, en un solo recipiente, de numerosas operaciones básicas químicas y bioquímicas. Hay otros sistemas de obtener el mosto que implican el uso de varias calderas para la extracción y la recuperación del mosto (Fig. 25) ⁽³¹⁾.

Tradicionalmente, la industria cervecera alemana se veía obligada a hacer frente a una malta poco desagregada, el sistema antes empleado ha sufrido solo cambios de detalle, porque alteraciones sustanciales podrían dar origen a modificaciones inaceptables en los mostos y las cervezas así elaboradas. El principio del sistema ordinariamente empleado en Alemania consiste en extraer la sémola o harina a una temperatura baja, por ejemplo a 40° C, retirar un cuarto de la papilla o maisch y hervirla en una caldera. La parte sometida a ebullición se mezcla luego con el resto, lo que provoca un incremento gradual de la temperatura, posiblemente hasta 54° C. El proceso se puede repetir elevándose la temperatura a 65 ° C. Una cocción final permitirá a la “maisch” alcanzar una temperatura de 75 ° C (Fig. 24) ⁽³¹⁾.

Fig. 24. Cambios térmicos durante la extracción por decocción.



HOUGH, J S ,1990.

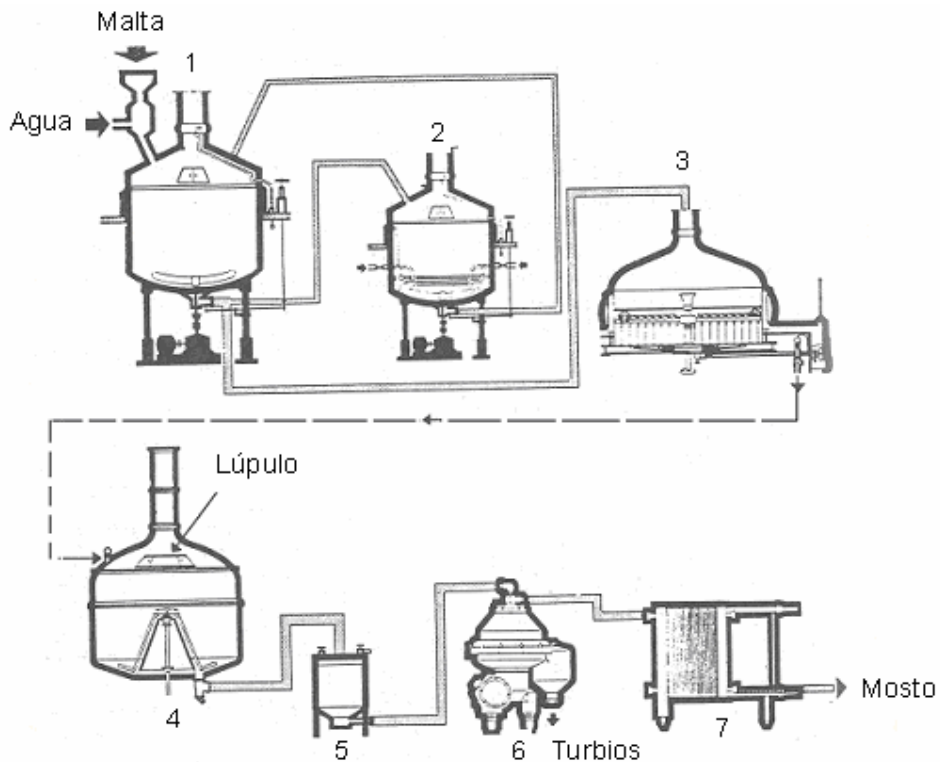
Esta secuencia de temperatura permite que, en distintos momentos, reinen condiciones óptimas para la proteólisis (40-54° C), para la hidrólisis del almidón (54-65 ° C) y finalmente (73° C) para la separación del mosto, el sistema ha evolucionado tendiendo a reducir el número de cocciones a una o dos, utilizando temperaturas iniciales de extracción mas altas y retirando en cada una un tercio, en lugar de un

cuarto, de la maisch. Se trata, pues, de una respuesta muy medida al mayor grado de desagregación de malta empelada. El mosto se separa del bagazo en un recipiente denominado cuba filtro o en un filtro de mosto. La primera se parece a las calderas de extracción antes descritas, pero opera con lechos de masas de no más de 0.5 m, frente a 1.5-2 con los que se trabaja en las extracciones por infusiones. La papilla o maisch tiene además que ser fluida [3.3-5.0 hl (100 Kg.)⁻¹] porque ha de ser bombeada. Debido a su fluidez y a los efectos de la impulsión por bombas y la ebullición, no retiene aire y no flota; se hunde. Y para estimar el drenaje del mosto hay que recurrir al rascado. Las paletas encargadas en llevar a cabo esta operación van montadas sobre un eje vertical concéntrico impulsado por un motor eléctrico;

Puede cambiar su orientación desde la posición de corte a otra que forma un ángulo de 90°, en orden a su utilización para la retirada de la malta agotada (bagazo), y aunque a veces la aspersion es continua frecuentemente se efectúa solo en los momentos en que se detiene las paletas de rascado ⁽³¹⁾.

Los filtros de mosto ocupan menos espacio en las cubas de filtro y pueden trabajar con maltas más finamente molida. En los últimos años han recuperado popularidad debido al uso de mecanismos automáticos de apertura y cierre de los pesados bastidores de hierro colado en que se sitúan los filtros y a la existencia de capas filtrantes de polipropileno de fácil limpieza. Comparación entre las calderas de extracción, las cubas filtro y los filtro de mosto (cuadro 18) ⁽³¹⁾.

Fig. 25. Diagrama de flujo de producción de mosto por decocción 1. Caldera de Empaste. 2. Cocedor. 3. Cuba filtro. 4. Caldera de Mosto. 5. Tamiz de Lúpulo. 6. Centrifuga. 7. Enfriador de Mosto.



MADRID VICENTE, Antonio, 1994.

Cuadro. 18. Comparación de la caldera de empastado, infusión, braceado o extracción, las cubas filtro y los filtros de mosto.

Características generales	Caldera de Infusión	Cuba Filtro	Filtro de Mosto
Tiempo (h)	Extracción y recuperación en un solo depósito 4-6	Solo para la recuperación del mosto 3	Solo para la recuperación del mosto 1,5-2.5
Tipo de molienda	Mas bien grosera	Media	Fina
Espacio ocupado	Moderada	Moderado	Escaso
Simplicidad mecánica	Muy simple	Moderada	Compleja
Claridad del mosto	Buena	Moderada	Escasa

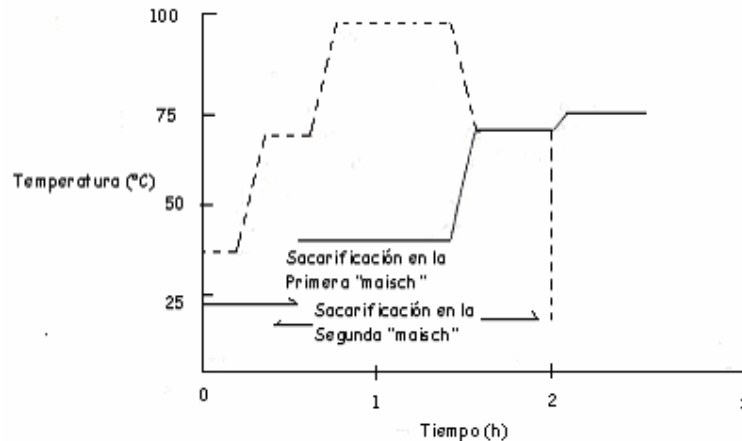
HOUGH, J S 1990.

Doble Extracción.

Las maltas americanas suelen estar bien desagregadas y poseer una elevada dotación enzimática y un alto contenido en otras sustancias nitrogenadas. Por ello, los cerveceros suelen utilizar cantidades considerables de cereales, para aprovechar

plenamente su gran actividad enzimática y diluir la elevada concentración de sustancias nitrogenadas, que plantean problemas. Suelen utilizarse, a tal fin, sémolas de maíz o arroz, que requieren ser tratadas térmicamente para que sus granos de almidón puedan ser fácilmente atacados por las amilasas. El sistema americano denominado de doble extracción utiliza caldera de crudos, para la cocción de los cereales, junto con un poco de malta. La temperatura se eleva primero a 65 ° C; las enzimas de la malta reducen la viscosidad de la pasta de almidón antes de que la mezcla se someta a ebullición. Durante a este proceso, la porción principal de la malta (la que no se ha añadido a la sémola de cereales) se calienta primero a 45 ° C, con lo que se facilita la actividad proteolítica y, en menor cuantía la amilolítica; luego, cuando se mezcla con ello el contenido de la caldera de crudos, la temperatura asciende a valores en torno a 67 ° C (Fig. 26) , lo que facilita la degradación rápida, tanto del almidón de los cereales, como del de la malta; mas tarde la temperatura se eleva 72 ° C, para reducir la viscosidad, y se bombea a una cuba de filtro o a un filtro de mosto, donde el mosto y bagazo se separan ⁽³¹⁾.

Fig. 26. Representación gráfica de los cambios de temperatura durante una operación típica del procedimiento de doble extracción. La línea discontinua hace referencia a la caldera de crudos y la continua a la extracción de la malta.



HOUGH, J S 1990.

La mayor parte de las industrias cerveceras del mundo utilizan el sistema de doble extracción, pero algunas lo terminan elevando la temperatura de 67 a 72 ° C en una sola decocción. Otras usan, sin embargo, lo que se denominan programación de temperaturas; entre estas se encuentran algunas de las más grandes de la Gran Bretaña. Se mezcla en una caldera la malta triturada y agua consiguiendo una temperatura inicial de 45-55 ° C y, mediante serpentines colocados en la base o en las paredes de la caldera, se eleva la temperatura de la pasta o maisch, de acuerdo con un programa predeterminado, linealmente o a saltos. Así se facilita la actividad

proteolítica y la degradación del almidón, antes de transferir la pasta a una cuba filtro o a un filtro de mosto, a unos 72 ° C ⁽³¹⁾.

Cuadro. 19. Comparación entre las Técnicas de infusión, decocción doble extracción y programación de la temperatura.

	Infusión	Decocción	Doble Extracción	Programación de temperaturas
Materia prima Normalmente Extraída Empleo de Sucedáneos	Toda la malta (bien desagregada) Habitualmente como máx. 10%)	Toda la malta (menos desagregada) Generalmente Nada, Como máximo 10%	Toda la malta (muy desagregada) 30-50%	Toda la malta (poco desagregada) 30-50% si la malta esta bien desagregada
Ebullición de la Pasta de malta	No	Si	No	No
Proteólisis En el intervalo 40-50 ° C	No	Si	No	Si
Número de calderas Habit. Necesarias	1	3-4	3	2-3
Número máximo de operaciones por día y equipo Material	5	8	12-14	12-14

HOUGH, JS 1990.

En el cuadro 19. Se comparan los cuatro métodos de extracción de mosto descritos; las principales diferencias se refieren a las materias primas utilizadas y al sistema de calentamiento empleado para la obtención del tipo de mosto que el cervecero necesita. Los fundamentos bioquímicos son los mismos en todos ellos ⁽³¹⁾.

Separación del Macerado.

Independientemente del modo de maceración, la separación de la mezcla es importante por tres razones:

1. conseguir la máxima extracción de azúcares fermentescibles solubles
2. obtener mostos brillantes con mínimas cantidades de sólidos suspendidos, y
3. reducir al mínimo la concentración de oxígeno disuelto (O₂d) en el mosto ⁽²⁹⁾.

Consideraciones secundarias deben ser:

- a) dejar nuevamente operativa la sala de cocidas (brewhouse) la más rápidamente posible,
- b) reducir al mínimo el contenido de humedad del bagazo (spent grains), y
- c) reducir al mínimo la producción de efluentes o aguas residuales.

El objetivo de separar el macerado, se ha recurrido a una amplia diversidad de equipos, entre los que se incluyen:

La caldera de mezcla, la cuba lauter o cuba – filtro, la cuba lauter Strainmaster (patentada por Anheuser Busch Inc), la prensa de la masa o macerado, la prensa del macerado a alta presión, y el filtro de mosto ⁽²⁹⁾.

De los citados equipos, solamente la caldera de mezcla, la cuba-filtro y el filtro de mosto, han sido usados ampliamente ⁽²⁹⁾.

Dos procesos físicos claves están implicados en la separación de la mezcla: la lixiviación y la filtración. Lixiviar es disolver los sólidos de las partículas del grano y la difusión de dichos sólidos disueltos en la fase líquida de la mezcla. La filtración es la separación de líquidos y sólidos a través de la capa filtrante. La lixiviación está provocada por un gradiente de concentración y será máxima si se mantiene dicho gradiente, es decir, cuando se saca mosto debe ser substituido por más agua (aspersión). La velocidad de lixiviación esta condicionada por el tamaño de partícula. Es decir, cuando mas pequeños sean los fragmentos granulares, se necesita menor distancia de difusión (importante la relación superficie volumen) por lo que aumenta la lixiviación. Mientras que los fragmentos más pequeños o sémolas más finas producen más rendimientos (extracto), al ser muy abundantes causan problemas de vaciado, especialmente de la cuba de mezcla, debido al aumento de pérdida de carga del flujo líquido ⁽²⁹⁾.

Tras evacuar un volumen específico de líquido (que en esta fase se llama mosto dulce) de la caldera de mezcla, se esparce mas agua sobre el macerado mediante un brazo rotatorio. La temperatura de esta agua tiene que ser ligeramente superior a la usada en la mezcla inicial (en la zona de 70-75 ° C); a este proceso se llama de rociado, aspersión o lavado y al brazo rotatorio se le denomina brazo aspensor. El objetivo es extraer y drenar lo máximo posible extraído de la mezcla y reponer el líquido separado del macerado. La elevada temperatura del agua esparcida mantiene la temperatura neta del macerado, con los que se destruyen por completo las enzimas residuales o persistentes ⁽²⁹⁾.

Las primeras porciones de mosto obtenido de la cuba de maceración tienen alto peso específico (1.070-1.080 ° para cervezas normalmente corrientes) y son muy viscosas, mientras que en términos de rociado el peso específico de las porciones finales puede

ser del orden de 1.005-1.010 °. En algunas plantas cerveceras, es práctica normal reciclar las primeras porciones nuevamente sobre el macerado, hasta que salga brillante y solo entonces se hace la transferencia a la caldera de ebullición.

En las cerveceras que disponen de equipo a presión en las salas de cocidas (especialmente la caldera de ebullición), los mostos pueden trasladarse a un depósito de espera caliente, normalmente situado inmediatamente debajo de la caldera de mezcla. Este es el underback ⁽²⁹⁾.

El exceso de lavado del macerado, normalmente causado por lavar con agua a temperatura demasiado alta, origina la extracción de fenoles y dextrinas, que son indispensables en el mosto dulce. Esto es más probable que suceda si el pH del macerado ha subido por encima de 5,5. Cuando el cervecero ha extraído todo lo mas posible del macerado, los granos agotados o bagazo son drenados y sacados de la cuba, bien manualmente recogiénolo con cazo, o extrayéndolo por bombeo. El bagazo tiene cierto valor nutritivo como pienso para el ganado vacuno, puesto que contiene fibra, celulosa y cierta cantidad de proteínas. Si el cervecero realiza su trabajo adecuadamente, existirán en los desperdicios cantidades insignificantes de almidón ⁽²⁹⁾.

3.5.3. Filtros del macerado.

Las presiones y demandas impuestas al cervecero moderno, han obligado a hacer vigorosos intentos de operar con la máxima eficacia. Esto ha tenido como consecuencia, el aplicar nueva tecnología en algunas cerveceras con maceración por decocción, en las que las cubas filtro han sido substituidas por sistemas de filtración del macerado. Los nuevos diseños de filtro de mosto, entre los que destaca el Meura/ALC Tournai, son capaces de mejorar considerablemente el rendimiento y el coste.

La nueva generación de filtros de mosto tienen su estructura de polipropileno (que consta de una cámara hueca separada por dos membranas elastómeras) y placas que sostienen telas filtrantes especialmente tratadas. El sistema completo está soportado en un chasis de acero inoxidable, cerrándose las placas comprimiéndolas con un cilindro hidráulico (Fig. 27). El proceso es automático y consta de seis fases ⁽²⁹⁾.

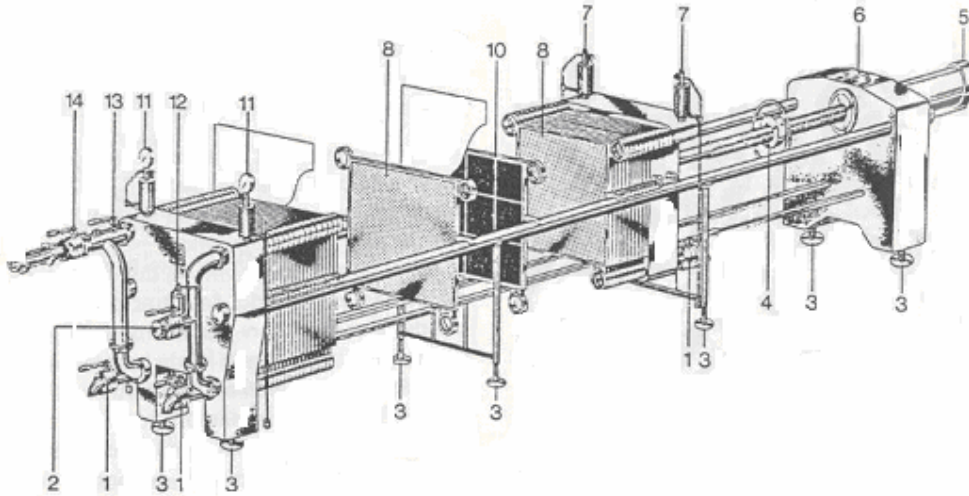
1. el llenado se efectúa introduciendo el macerado a baja presión por la parte baja del filtro. Hasta completar el llenado del filtro, no se producen flujos de mostos filtrados.

2. la filtración comienza cuando los granos o parte sólida de la mezcla forman una capa sobre la tela filtrante.
3. Precomprensión: las membranas elastómeras se expanden mediante aire comprimido. Esto ejerce una baja presión sobre los sólidos siendo extraído el mosto de alto peso específico. Los sólidos son comprimidos adicionalmente sobre las telas filtrantes.
4. Lavado: el agua de lavado se introduce por las tuberías de llenado inferiores (por las que se introdujo el macerado) distribuyéndose a través de todo el lecho de sólidos. La velocidad de entrada del agua de lavado, tiene inicialmente que equilibrar la liberación de aire de los diafragmas membranosos inflados.
5. la compresión se produce cuando se introduce más aire comprimido en el sistema y las membranas son en consecuencia expandidas. Esto se realiza una vez terminado el lavado. Durante esta fase se extraen mostos ligeros.
6. la eliminación del bagazo tiene lugar cuando ha terminado el proceso de filtración y se abren las cámaras. El bagazo cae en las tolvas situadas debajo del filtro, no siendo necesaria la eliminación manual ⁽²⁹⁾.

Empleando este tipo de filtros de mosto modernos, se obtienen muchas ventajas:

- a) La sémola puede molerse hasta un grado mas fino (puede usarse el molino de martillos) sin ningún efecto perjudicial sobre la filtración de mostos, y que conduce a aumentar el extracto. Puede usarse sémolas hasta con el 100 % de adjuntos (la cáscara de la cebada no es necesaria para efectuar como medio filtrante)
- b) Se obtienen rendimientos equivalentes a los valores teóricos (o de laboratorio)
- c) Pueden producirse mostos de alto peso específico
- d) Los mostos son limpios y brillantes con bajo contenido de ácidos grasos.
- e) Se reduce considerablemente el volumen de agua usada en el lavado
- f) Toda la operación es automática y rápida, lo que permite utilizar muchas mas cocidas por día.
- g) Los bagazos están mas secos, siendo por tanto menos voluminosos.
- h) El filtro puede limpiarse fácilmente por el sistema CIP ⁽²⁹⁾.

Fig. 27. Estructura de un Filtro de placas: 1. Válvula de drenaje. 2. Entrada al filtro. 3. Pies ajustables. 4. Sistema mecánico de cierre. 5. Cilindro hidráulico. 6. Pulsadores para cierre hidráulico. 7. Válvulas de desaireación. 8-9. Placa filtrante de acero inoxidable. 10. Elemento filtrante. 11. Manómetros con válvulas de desaireación. 12. Válvula de seguridad. 13. Válvula de regulación. 14. Salida del líquido filtrado.



MADRID VICENTE, Antonio ,1994.

La cuba filtro fue diseñada para reducir al mínimo el volumen de mosto bajo las placas. El macerado entra lateralmente en la cuba por debajo del nivel de macerado. Toda la operación es automática e inicialmente esta programada desde las células de carga para pesar, conectadas a los silos de almacenamiento de malta sobre el molino. Conociendo la carga y la receta del proceso para la cerveza a obtener, todas las restantes variables están presentes hasta las salidas de los mostos ⁽²⁹⁾.

Los primeros mostos densos salen a velocidad constante hasta obtener un volumen determinado. A continuación la capa de bagazo se rocía con agua a velocidad y volumen fijos ⁽²⁹⁾.

Al final del rociado o lavado, se cierra la salida y se rastrilla la torta de bagazo. Se continúa el rociado, la velocidad de evacuación se ajusta a la velocidad del rociado.

No se necesita mas rastrillado. Después del lavado, todos los mostos ligeros que permanezcan en la cuba-filtro son bombeados a tanques de mostos flojos, para ser usado como agua de mezcla en las siguientes maceraciones.

El tiempo total invertido es de 130 minutos (el ciclo es de 3 horas).

Debido a la velocidad del rociado (7.5 l Kg.^{-1} de malta) no es posible producir mostos de toda malta, superiores a 1.045° . Para lograr mostos de más de 1.045° tiene que recurrirse al reciclado del mosto flojo o a la adición de azúcar ⁽²⁹⁾.

3.5.4. Características del mosto.

Composición de carbohidratos.

La naturaleza y composición del mosto dulce es totalmente independiente del protocolo de maceración y de las materias primas empleadas en la caldera de mezcla. El contenido de carbohidratos de un mosto, sin embargo, tiene perfil similar independientemente de los procesos de molienda y maceración, si no se han empleado enzimas industriales en la caldera.

Un 98 % de estos carbohidratos proceden del almidón y el resto (2%) resultan de la hidrólisis de sustratos de la malta no amiláceos, como las hemicelulosas. Los mostos obtenidos por decocción pueden contener hasta un 6 % de productos de hidrólisis no amiláceos. En la mayor parte de los mostos, los carbohidratos representan un 91 % del extracto seco del mosto y hasta el 75 % de esta fracción normalmente es fermentescible. Teóricamente, al completarse la hidrólisis, el almidón se ha degradado a glucosa pura en su forma de monohidrato (conocida como dextrosa) que es totalmente fermentescible ⁽²⁹⁾.

En el mosto dulce existen cuatro fracciones principales de carbohidratos:

Oligosacáridos. Estos son principalmente las dextrinas que representan los productos de degradación parcial del almidón. Pueden suponer entre el 25 y 27 % de los carbohidratos totales del mosto. Alrededor del 80 % de las dextrinas del mosto poseen entre 4 y 20 unidades de glucosa por molécula, estando formado el 20 % restante por más de 20 unidades de glucosa.

Las dextrinas son fermentescibles y contribuyen al valor calórico de la cerveza terminada. La principal dextrina es la maltotetrosa (4 unidades de glucosa) aunque también se encuentran pequeñas cantidades de maltopentosa, maltohexosa y maltoheptosa. Todos los oligosacáridos se producen durante la maceración ⁽²⁹⁾.

Trisacáridos. El principal azúcar de este grupo es la maltotriosa, que supone un 14 % de los carbohidratos totales del mosto. También existen trazas de iso-maltosa.

La mayor parte de los trisacáridos (96%) se producen durante la maceración.

Disacáridos: los principales disacáridos de la maltosa (aprox. 14 % de los carbohidratos totales del mosto) y la sacarosa (aprox. 5 % c.t.m.). Una elevada

proporción de sacarosa procede de la propia malta, mientras que aprox. 97 % de la maltosa presente se produce en la maceración en la caldera de mezcla ⁽²⁹⁾.

Monosacáridos. La glucosa y la fructuosa son los principales monosacáridos del mosto, pudiendo alcanzar el 9 –10 % de los carbohidratos del mosto. En cantidades con vestigios pueden encontrarse también ribosa, arabinosa y xilosa. Aproximadamente el 16 % de estos monosacáridos están presentes en la propia malta, formándose la fracción restante durante la maceración ⁽²⁹⁾.

Los β -glucanos (gomas de malta) ⁽⁴⁸⁾ del mosto también tienen importancia. Se originan en las paredes celulares de la cebada y resultan parcialmente solubilizados durante la maceración. Los mas importantes, desde el punto de vista del proceso, son los β -glucanos de alto peso molecular ($M_r > 300.000$ daltons) que, si se encuentran presentes, incrementan la viscosidad del mosto causando problemas durante el bombeo, filtración y clarificación. Las maltas bien desagregadas, producen mostos con β -glucanos de bajo peso molecular, que dan menos problemas. Ahora es posible remediar cualquier problema potencial con los β -glucanos, añadiendo a la cuba de mezcla β -glucanasa industriales (bacterianas) ⁽²⁹⁾.

Compuestos nitrogenados.

Los compuestos nitrogenados del mosto constituyen un grupo sumamente diversificado de compuestos, tanto en términos de naturaleza molecular, como de tamaño molecular. Los principales grupos de compuestos son aminoácidos, péptidos, polipéptidos, proteínas y ácidos nucleicos. Debido a la complejidad de la naturaleza de la fracción nitrogenada, suelen agruparse con fines analíticos, en el denominado Nitrógeno Soluble Total (NST). Además de la medida del NST, que normalmente se efectúa por el método Kjeldahl, la única determinación de nitrógeno individual significativa es la del nitrógeno α -amino libre (NAL) basada en colorimetría con ninhidrina.

Los compuestos nitrogenados de menor peso molecular, como los aminoácidos, son esenciales para el posterior crecimiento de levaduras, pero los compuestos mayores no son asimilados por la levadura, y si resisten la fase fermentativa, terminan presente en la fase final, pudiendo provocar efectos beneficiosos (estabilidad de la espuma) o adversos (por Ej., turbidez) ⁽²⁹⁾.

3.5.5. Ebullición del Mosto.

Los primeros recipientes conocidos para hervir mostos fueron calderas de hierro que, en la época medieval, se calentaban sobre hogueras al aire libre. Con el aumento de los volúmenes de producción, el hierro fundido no maleable y pesado, dio paso al cobre, más dúctil y también más resistente a la corrosión y de mejor conductividad.

Por ello el nombre de cobre comenzó a utilizarse ampliamente para referirse al recipiente de ebullición del mosto, siendo sinónimo de caldera. Las propiedades metalúrgicas del cobre permitieron construir recipientes más apropiados, siendo uno de los más importantes avances, el dotarlos de una chimenea para conducir el vapor fuera del edificio de la fábrica de cerveza. Desde la década de 1960, se ha usado más ampliamente el acero inoxidable, principalmente debido a su costo y facilidad de limpieza. Recientemente se ha demostrado que el cobre cataliza durante la ebullición algunas reacciones de oxidación de polifenoles, que conducen a una intensificación del color ⁽²⁹⁾.

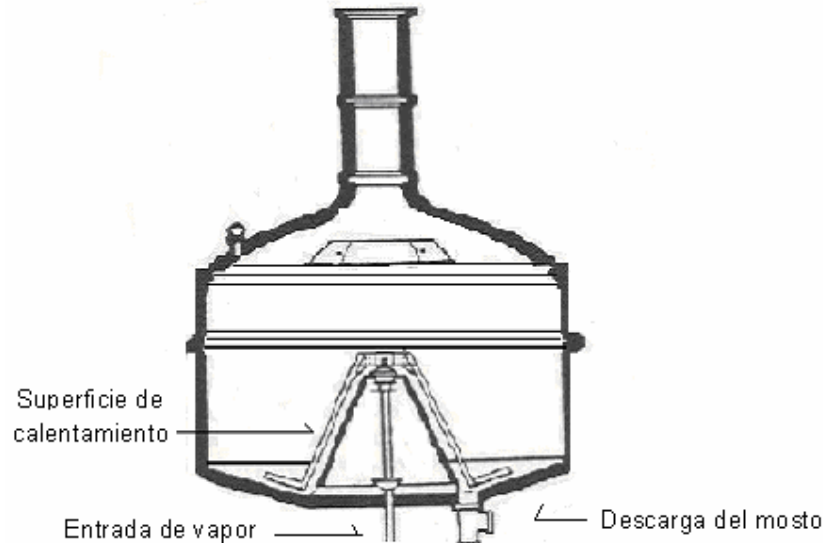
Los cobres originales se calentaban directamente con fuego (es decir, sobre hogueras de carbón abiertas o alojadas en hornos). Esto resultó ser poco flexible y para facilitar su uso en las industrias cerveceras, estas normalmente fueron equipadas con diversas calderas pequeñas, cada una de las cuales era parcialmente llenada de mosto antes de encender fuego (para evitar carbonizaciones) ⁽²⁹⁾.

El calentamiento indirecto, debido a su eficacia relativamente alta, comenzó gradualmente a ser el medio más aceptable de ebullición del mosto; el equipo más antiguo tenía serpentines de vapor situados interiormente, o camisas de vapor en torno a las calderas de cobre. Ahora el carbón ha sido desplazado por el petróleo o gas natural, como combustible para la caldera de calentamiento del hervidor. Recientes avances en los campos de la transmisión de calor y en la economía energética, han conducido a sistemas de ebullición del mosto, algunos de ellos muy complicados, en los cuales incorporan un sistema de calandrias, por el que circula el mosto sobre una fuente de calor externa. Las instalaciones de ebullición más modernas están diseñadas para reducir al mínimo las pérdidas de calor y recuperar la máxima cantidad de calor por regeneración. El último cobre de Nethergate, se calienta por combustión de gas, que pasa por un tubo interno o serpentín de calentamiento (Fig. 28). Al comenzar a hervir, los mostos son reciclados tangencialmente de forma continua sobre los serpentines calientes creando un remolino. El aparato es, de hecho, un tanque remolino whirlpool ⁽²⁹⁾.

Los tiempos de ebullición en la planta cervecera varían entre 45 a 120 minutos dependiendo del equipo que se use, el método de utilización del lúpulo y el tipo de

cerveza a producir. Los tiempos de ebullición pueden acortarse, aplicando presiones ligeramente elevadas en la caldera, aunque este método es inapropiado para algunos tipos de cerveza. En la actualidad, la fuente de calor más ampliamente usada es el vapor a presión ⁽²⁹⁾.

Fig. 28. Caldera para cocción de mosto con calentamiento por vapor indirecto.



MADRID VICENTE, Antonio ,1994.

Independientemente del diseño de la caldera, las finalidades de la ebullición del mosto son:

1. esterilización del mosto
2. cese de toda actividad enzimática derivada de la malta
3. concentración del mosto (es decir evaporación de agua)
4. final de las reacciones químicas que comienzan en la maceración, con la reducción resultante de pH
5. coagulación de proteínas y taninos
6. descomposición y eliminación de compuestos volátiles indeseables,
7. aportar el sabor amargo al mosto, debido a la isomerización de las resinas del lúpulo.
8. intensificación del calor del mosto.
9. extracción de aceites esenciales y polifenoles del lúpulo ⁽²⁹⁾.
10. aporta sustancias antisépticas (principalmente las alfa-resinas humulona, cohumulona y adhumulona al mosto de cerveza y la cerveza ⁽²⁴⁾.
11. carameliza ligeramente los azúcares ⁽²⁴⁾.

Algunas de estas reacciones suceden unos pocos minutos después del comienzo de la ebullición (por Ej..., cese de la actividad enzimática)

1. El efecto de la esterilización durante la ebullición es obvio; todos los microorganismos presentes en el mosto serán destruidos a 100 ° C. Es por lo tanto esencial, que todo el equipo cervecero instalado y que funciona después de la caldera de cobre, sea lavado escrupulosamente al objeto de mantener la esterilidad.
2. La mayor parte de las enzimas presentes durante la maceración resultan inactivadas por la temperatura alcanzada por el macerado y la torta, por el agua de lavado (hasta 80 ° C). Sin embargo, persistirá un pequeño porcentaje de actividad, que resultará totalmente inactivada por coagulación durante la ebullición. Las restantes proteínas procedentes de la malta, también resultaran destruidas. La ebullición, de hecho, fija la composición del mosto.
3. Dependiendo del régimen de ebullición, entre el 5 y el 15 % del volumen original del mosto se perderá por evaporación. El vapor emitido y desprendido arrastrará algunos compuestos volátiles, procedentes sobre todo del lúpulo añadido.
4. La ebullición termina de completar el proceso de precipitación del fosfato cálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y la disociación del ion bicarbonato (HCO_3^-). Ambos procesos determinan una ligera bajada del pH (normalmente a la zona de 5.4 a 5.2) debido a la formación de ácido sulfúrico. Como en la maceración, son las proporciones relativas de Ca^{2+} y CO_3^{2-} las que realmente determinan la dinámica de las reacciones que rebajan el pH, siendo el Ca^{2+} favorable y el CO_3^{2-} inconveniente. Actualmente, algunos cerveceros añaden ácido sulfúrico a la caldera para obtener un pH específico. La bajada del pH durante la ebullición incrementa la precipitación de proteínas. La precipitación del oxalato cálcico también se completa durante la ebullición en la caldera de cobre ⁽²⁹⁾.
5. La coagulación de las proteínas es importante durante la ebullición, porque cualquiera proteína que la resista, terminara presente en la cerveza final. Algunas se necesitan para formar cuerpo, pero por lo demás suelen plantear problemas. El calor hace que las proteínas se vayan disgregando irreversiblemente, reaccionan entonces con polifenoles y comienzan a sedimentarse partículas de turbio caliente. Cuanto más cerca este el pH del mosto al punto isoelectrico de la proteína en cuestión, más rápida será la sedimentación. El Ca^{2+} y la ebullición vigorosa también favorecen la precipitación. Debido a la naturaleza de las reacciones implicadas, la coagulación proteica es uno de los procesos más lentos que ocurren durante la

ebullición, por lo cual en la mayoría de las industrias cerveceras se añaden coagulantes a la caldera durante la ebullición, normalmente hacia el final de la misma. Los primeros productos con esta finalidad clarificante, fueron muestras desecadas de ciertas especies de algas rojas (Rhodophyta), generalmente vendidas bajo el nombre de Irish Moss (musgo irlandés). Las principales especies usadas fueron *Chondrus crispus* y *Gigartina stellata*, ambas comunes en las algas marinas litorales de aguas poco profundas. Actualmente se usan extractos especialmente preparados, generalmente en forma granulada, en los que el ficocoloide activo es dispersado en un estabilizador. Todos los ingredientes importantes de estos extractos de algas son polisacáridos sulfatados, negativamente cargados, de los que el carragenato es más importante⁽²⁹⁾ El ácido algínico y su sal sódica también se usan ahora para la floculación de la proteína en la caldera. El ácido se encuentra en la mayor parte de las abundantes especies de algas pardas (*Phaeophyta*), procediendo los extractos comerciales de

los géneros *Laminaria*, *Fucus* y *Ascophyllum*.

Las partículas elementales del turbio caliente tienen un diámetro dentro del margen de 0.5 – 1.5 μm , pero con la turbulencia producida por la ebullición floculan. Produciendo masas mucho mayores que pueden alcanzar hasta un cm de diámetro. A la masa de turbio caliente se conoce como la rotura del mosto caliente (flóculo caliente). Después de la ebullición, tiene que separarse el turbio caliente y el bagazo de lúpulo, del volumen de mosto caliente lupulado (que debe enfriarse en la siguiente fase del proceso cervicero). Los primeros medios de separación incluían el colado y el exprimido, que resultaron ser muy laboriosos.

Al ir aumentando de tamaño las plantas cerveceras fue desarrollando el cesto o colador de lúpulo que realmente actuaba como tamiz. Con frecuencia situado debajo de la caldera de ebullición, el colador de lúpulo en su forma más simple se parecía a la cuba de maceración por infusión, siendo un recipiente abierto con placas perforadas a corta distancia del fondo. El contenido de la caldera de ebullición se bombea al colador de lúpulo, donde el bagazo de la hoja de lúpulo y el turbio caliente (hotbreak), se retiran sobre las placas, mientras el mosto caliente pasaba al enfriador⁽²⁹⁾.

Casi todos los coladores de lúpulo tenían un amparo aspersor de aguas, de forma que todo el mosto podía separarse del bagazo. Uno de los métodos originales de edición tardía del lúpulo consistía en añadir antes del colador, lúpulos aromáticos frescos mientras la caldera de ebullición era vaciada. Algunas plantas cerveceras reciclaban

bombeando el mosto caliente sobre el lecho del colador, para asegurar la máxima eliminación de turbios ⁽²⁹⁾.

Con la aparición de las pastillas de lúpulo y del lúpulo en polvo, el volumen de bagazo en la caldera, después de la ebullición, era mucho menor que si se usaban hojas de lúpulo. Además, el bagazo está mucho más finamente dividido y es casi indistinguible, a juzgar por el tamaño, del material de rotura en caliente (turbio caliente), por lo que la separación en un colador, o cualquier otro tipo de cedazo, sería innecesaria. Existen otras ventajas, sin embargo, especialmente en el campo de la ingeniería cervecera. En primer término, pueden emplearse bombas para trasegar el mosto caliente antes de eliminar el bagazo del lúpulo y el turbio caliente. Esto permite el desarrollo de un separador Whirlpool (de remolino), en el que los mostos son bombeados tangencialmente en un tanque vertical y se deja girar. Esta operación hace que el material sólido se acumule centrípetamente, formando una masa en el centro del fondo del recipiente, con lo que pueden separarse del citado depósito los mostos más clarificados que sobrenadan. La deposición puede ser mayor si el fondo del recipiente separador es cónico ⁽²⁹⁾.

Otros métodos para eliminar el bagazo fino del mosto hervido son la centrifugación y la filtración, métodos principales aplicables en las grandes plantas cerveceras. Los lúpulos agotados y el material del turbio caliente tienen razonable valor nutritivo, pudiendo venderse para pienso de animales, tanto por separado como mezclados con el bagazo de la cuba de maceración.

(6). Durante la ebullición, se pierden muchas sustancias volátiles con la emisión importante de vapor, algunas de ellas son indeseables desde el punto de vista de su aportación negativa al sabor y al aroma. Por desgracia, se pierde también algunos componentes favorables, aunque el cervecero puede compensarlo parcialmente, mediante la adición tardía de lúpulo después de la ebullición ⁽²⁹⁾.

(7). Cuando durante la ebullición en la caldera se añaden hojas de lúpulo o pastillas de lúpulo, la primera fase de la formación del sabor amargo, es la extracción de resinas de las glándulas de lupulina. Las resinas no son muy solubles en agua, aunque se disuelven lentamente en el mosto caliente, antes de que se realicen las reacciones de isomerización. La extracción de las resinas en el mosto es un proceso poco eficaz que raramente excede del 50 %, incluso en las instalaciones cerveceras más modernas.

El grado de extracción normalmente se expresa en términos de porcentaje de utilización del lúpulo, que puede determinarse para mostos y para cervezas mediante la ecuación:

$$\% \text{ Utilización del Lúpulo} = \frac{\text{Concentración de iso-}\alpha \text{ ácidos en mosto /cerveza}}{\text{Concentración de } \alpha \text{- ácidos añadidos al mosto}} \times 100$$

Las concentraciones normalmente se expresan en términos de mg litro⁻¹. Los porcentajes de utilización del lúpulo en la cerveza final llegan a ser tan bajos como el 20 % y raramente suponen más del 40%. Diversos factores afectan a la utilización del lúpulo en la caldera de ebullición, siendo los más importantes la tasa de lúpulo o cantidades de lúpulo añadido y la intensidad y duración de la ebullición. La evidencia sugiere, que la mayor parte de la isomerización ocurre en los primeros 60 minutos a 100 ° C. Las pastillas de lúpulo y los conos cortados en tiras, mejoran la utilización respecto a los conos intactos, indicando que es la dispersión de las resinas durante la ebullición la que aporta más amargor. La dispersión se favorece por ebullición vigorosa. Dosis elevadas de lúpulo determinan un porcentaje de utilización menor que las dosis mas bajas, mientras que los mostos de alto peso específico tienen menores porcentajes de utilización de lúpulo que los mostos de peso específico inferior⁽²⁹⁾. Como se dijo anteriormente durante la ebullición los α - y el β -ácidos son isomerizados para formar sus iso-derivados. Los α -ácidos parecen ser más rápidamente isomerizados, que sus homólogos β y, ciertamente, son los que más contribuyen al sabor amargo⁽²⁹⁾. Los β -ácidos son convertidos en sus compuestos iso de forma similar, aunque las reacciones tienen lugar mas lentamente y en menor grado que en el caso de los α -ácidos.

(8 y 9) El color del mosto se intensifica durante la ebullición, si la ebullición es prolongada, en especial a presión, se produce marcado oscurecimiento. El pH elevado y el oxígeno, también favorece la coloración intensa. Los dos principales fenómenos que intensifican el color son: (a) la oxidación de polifenoles y (b) la interacción de carbohidratos y compuestos nitrogenados⁽²⁹⁾.

a) Los polifenoles simples y polimerizados son extraídos en la maceración y se encuentran en el mosto hervido, procediendo dichos compuestos, tanto de la malta como de los lúpulos. Como ya se ha mencionado anteriormente, determinada proporción de estos compuestos reaccionaran con las proteínas para formar la rotura del mosto caliente. Los que no lo hacen, sufren una diversidad de reacciones, algunas de las cuales producen compuestos coloreados. Ciertamente, ocurre la oxidación de fenoles y polifenoles, con la subsiguiente formación de quinonas y sus derivados (que de por sí son agentes oxidantes).

En el mosto hervido se ha encontrado un amplio rango de compuestos fenólicos, compuestos que originalmente fueron clarificados por los químicos cerveceros así:

1. Ácidos fenólicos. La mayoría derivan del ácido hidroxibenzoico y ácido hidroxicinnámico. El ácido gálico, ácidos ferúlico, ácido vanílico, ácido p-cumárico y ácido clorogénico, son probablemente los más importantes de esta clase, estando presente los tres últimos, tanto en la malta como en los lúpulos. Todos los ácidos fenólicos solamente están presentes en cantidades pequeñísimas o trazas y a la actualidad de la cerveza. Únicamente el ácido vanílico, el ácido p-cumárico y el ácido ferúlico parecen encontrarse generalmente en la cerveza terminada.
2. Flavonoles, de los que el kaenferol y la quercetina son los más ampliamente distribuidos. Los flavonoles proceden del lúpulo y forman una amplia diversidad de derivados glucosídicos.
3. Antocianógenos y compuestos afines, que por hidrólisis producen compuestos coloreados conocidos colectivamente como antocianidinas. Existen dos grupos de antocianógenos, según el número de unidades flavanoides implicadas. Los derivados con una sola unidad se llaman leucoantocianidinas, mientras que los que tienen dos o más se designan proantocianidinas. En términos de la química orgánica, todos ellos son polifenoles flavonoides. Tales compuestos, relacionados con la prolidroxiflavonol catequina (5), que está ampliamente extendida en las plantas y puede considerarse como flavonol monomérico. Los flavonoides oligoméricos están formados por cadenas ordenadas de monómeros de polihidroxiflavon-3,4-diol, siendo la (+)-catequina, o bien su afín mas próximo, (-)-epicatequina, las unidades terminales. En términos cerveceros, los mas importantes de estos pequeños polímeros son las protoantocianidinas, de las que los dímeros procianidina B3 y prodelfinidina B3 son los mas importantes, encontrándose en la cebada, malta y lúpulos.
4. Estos flavonoles más simples se extraen rápidamente de las materias primas durante el proceso cervecero, aunque solo una pequeña proporción permanece inalterada y llega hasta la cerveza final (causa problemas de estabilidad) ⁽²⁹⁾.

(b) Interacciones de carbohidratos y compuestos nitrogenados. Durante la ebullición el color del mosto se intensifica como resultado de una serie de reacciones entre azúcares reductores y aminas primarias. Estas reacciones de oscurecimiento no enzimáticas, interviniendo en ellas diversos compuestos intermedios, aunque no han sido aclaradas sus estructuras precisas. Se parecen a los caramelos en muchos aspectos y químicamente se les conocen como melanoidinas. Las melanoidinas son solubles en agua pero insolubles en muchos disolventes orgánicos. Las reacciones que conducen a su formación son del tipo de Maillard e implica las adaptaciones de

Amadori y la degradación de Strecker. Durante un periodo normal de ebullición del mosto, solo alrededor del 10 % de los aminoácidos y azúcares intervienen en reacciones de Maillard, pero esto es suficiente para afectar a las características del sabor y color de la cerveza. Si se prolongase la ebullición, la conclusión lógica sería la propia producción de caramelo. El caramelo producido comercialmente puede emplearse para aportar color artificialmente a las cervezas, práctica que fue ampliamente usada hasta hace unos años. Dependiendo del grupo amino y del azúcar participante, puede producirse una amplia variedad de melanoidinas. Durante el tostado de la malta, también se producen reacciones de Maillard.

El fenómeno del oscurecimiento no enzimático, no debe confundirse con otras reacciones de oscurecimiento, biológica, que resulta en la formación de melaninas. Esta mediada enzimáticamente y se piensa que es causada por la acción de la polifenol oxidasa sobre el sustrato adecuado, como la tirosina. En esta reacción también se necesita oxígeno, mientras que el oscurecimiento no enzimático, no es necesariamente dependiente del oxígeno ⁽²⁹⁾.

3.5.6. Enfriamiento del Mosto.

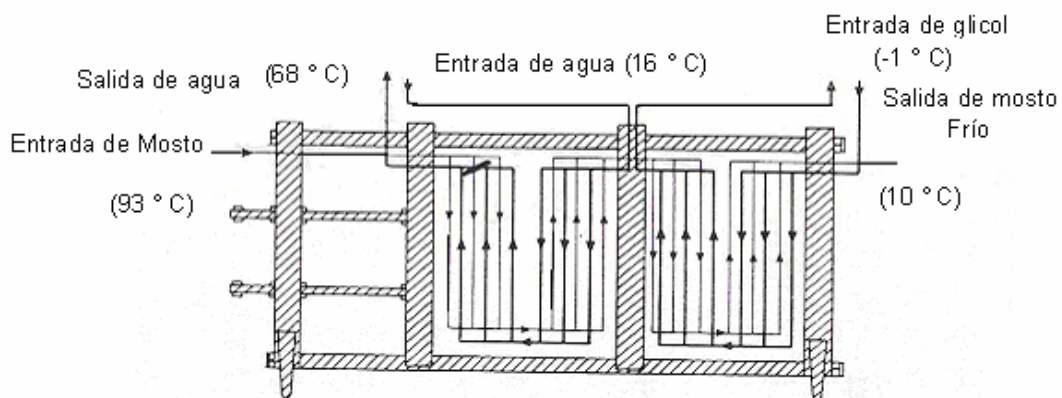
El mosto hervido con lúpulo, y que ha sido separado del residuo del lúpulo y del turbio caliente, se enfría antes de ser introducido en los tanques de fermentación y sembrado (mezclado) con levadura. Las primeras plantas cerveceras comerciales usaban bandejas abiertas poco profundas, llamadas bandejas de enfriamiento (normalmente construidas de cobre), a las cuales llegaba el mosto caliente y aquí se enfriaba lentamente. El efecto de enfriamiento dependía únicamente de la temperatura ambiente, lo que obviamente acarrearía problemas, en especial durante los meses de verano. Durante el enfriamiento, el mosto se oxigenaba y sedimentaba un turbio adicional de floculación del mosto frío o turbio frío. El turbio frío es muy insoluble y consta de proteínas y polifenoles, que se depositan en la bandeja de enfriamiento. El tiempo requerido para el enfriamiento y la posibilidad de contaminación microbiana de este sistema son evidentes, por lo que fue sustituido gradualmente por otros sistemas de enfriamiento. Una de tales variantes, fue el desarrollo de un aparato en el que el mosto caliente escurría hacia abajo, sobre placas metálicas verticales o tubos enfriados con agua (normalmente de manantial o de río). Estos enfriadores permitían el enfriamiento del mosto y su oxigenación, pero no eliminaban el turbio frío que pasaría al tanque de fermentación, si no era separado antes por filtración o centrifugación. Una vez más, debido a que el mosto fluye como una lámina sobre la superficie fría del refrigerador expuesto al aire, existe la probabilidad de infección ⁽²⁹⁾. Actualmente la mayor parte de las instalaciones cerveceras emplean intercambiadores

de calor de placas (Fig. 29), en los que una serie de placas verticales de acero inoxidable, de superficie acanalada, dotada de juntas de cierre periféricas de goma, se comprimen en un soporte- prensa. Cada placa tiene cuatro agujeros circulares en las esquinas que, cuando están fuertemente comprimidas, las placas y los agujeros circulares, forman una serie de tubos a través de los que el mosto caliente pasa en una dirección y el medio refrigerante (normalmente agua fría) en la contraria. Estos enfriadores, que son muy caros, están diseñados para crear un flujo turbulento sobre una superficie lo mas amplia posible. Estos sistemas, son cerrados y muy eficaces, pero no oxigenan el mosto ni eliminan el turbio frío. Una ventaja económica del enfriador de placas es que, al enfriar el mosto, se producen grandes volúmenes de agua caliente, cuyo calor puede ser recuperado para su uso posteriormente en cervecería o en la limpieza. Para mejorar la eficacia de los intercambiadores de calor puede emplearse como refrigerante etilenglicol o alcohol.

La temperatura final del mosto enfriado variará de acuerdo con el tipo de cerveza a producir, es decir con la temperatura necesaria en la fermentación ulterior. Para cervezas estilo lager, los mostos pasan al fermentador a 10-15 ° C, mientras que para las ales se necesitan temperaturas de 16-20 ° C.

El paso de cierta cantidad de turbio frío al fermentador es inevitable, aunque ello no causa normalmente problemas durante las fermentaciones de las ales, e incluso hay evidencias que indican que puede ser beneficioso. Los Cerveceros de lager, no obstante, normalmente eliminan la mayor parte de este material depositado o turbio frío por centrifugación, filtración a través de kieselguhr, o mediante un método de flotación, en el que el mosto enfriado se mantiene en un recipiente a través del cual se insufla aire, cuyas burbujas arrastran hasta la superficie al turbio frío, que al flotar puede ser retirado mecánicamente ⁽²⁹⁾.

Fig. 29. Corte longitudinal de un cambiador de calor de dos secciones para el enfriamiento del mosto.



HOUGH, JS 1990.

Como veremos el oxígeno es esencial en las primeras fases de crecimiento de la levadura, variando la cantidad exacta de oxígeno necesario según la capa de levadura. Si el proceso de enfriamiento no ha permitido la entrada de suficiente oxígeno, entonces tiene que recurrirse a la oxigenación artificial. Esta puede hacerse inyectando oxígeno, bien al final del mosto caliente, provoca una menor disolución física del oxígeno y un mosto de color más oscuro, que si la inyección se realiza después del enfriamiento en el aparato de placas. Para evitar cualquier cambio oxidativo perjudicial en el mosto, es práctica común inyectar aire en la entrada caliente del mosto al intercambiador de calor y oxigenación puro a la salida del mosto enfriado ⁽²⁹⁾.

3.5.7. Fermentación.

El mosto lupulado que ha entrado en el depósito de fermentación tiene que ser sembrado con levadura lo antes posible. La tasa de inoculación normal es del orden de 0.45 Kg. de levadura prensada por barril de mosto (0.3 Kg. hl^{-1}), aunque pequeñas variaciones causan diferencias muy pequeñas en el rendimiento de la fermentación total y en el sabor de la cerveza. Si la inoculación es significativamente insuficiente, se produce una fermentación inicial lenta, mientras que el exceso de levadura de siembra (es decir el doble de lo normal) crea una indebida competición por los nutrientes, determinando una pobre multiplicación de las levaduras y un aumento final del nivel de ciertos esteroides (por Ej., acetaldehído).

La temperatura del mosto en el momento de la inoculación también es importante y si la temperatura del mosto está más de 5° C de diferencia por debajo de la temperatura a que se ha mantenido la levadura de siembra, se produce el choque frío. Este se manifiesta por un prolongado periodo de inactividad (es decir prolonga la fase de latencia) ⁽²⁹⁾.

Durante las primeras horas que siguen a la inoculación no sucede nada visible en el recipiente. Esta es la fase de latencia del crecimiento y es un parte integral del ciclo vital de todo microorganismo que se inocular en una partida del medio nutritivo fresco. La fase de latencia puede durar desde 6 hasta 15 horas. En las fermentaciones industriales, sin embargo, es importante que el microorganismo deseado se convierta en el dominante / iniciador lo antes posible, evitando así el desarrollo de otros microorganismos (indeseables). Esto es particularmente así en las fermentaciones cerviceras. Aunque no existen manifestaciones externas de la actividad metabólica, están ocurriendo diversos fenómenos fisiológicos y bioquímicamente importantes. En

efecto, las propias levaduras se están adaptando al nuevo medio de crecimiento (es decir mosto), siendo particularmente importante el efecto osmótico de los azúcares que contienen. Se están sintetizando nuevos sistemas enzimáticos, para permitir a la levadura utilizar una amplia variedad de constituyentes del mosto. Un ejemplo de esta faceta de la fase de latencia, es la inducción a la síntesis de un portador que permita a la maltosa entrar en la célula. La enzima portadora es la permeasa de la maltosa y se produce simultáneamente a una maltasa [α (1-4)-glucosidasa] que permite que la maltosa sea hidrolizada a glucosa inmediatamente de penetrar en la célula ⁽²⁹⁾.

Para la captación de maltotriosa también se necesita una permeasa. La producción de ambas permeasas es inhibida por bajos niveles de glucosa y fructosa, lo que es un ejemplo de represión catabólica. Los mostos que contienen proporciones significativas de jarabe de glucosa o azúcares invertidos, manifiestan un aumento de represión a las permeasas, con la consiguiente lenta captación de maltosa y maltotriosa. La producción de las permeasas de la maltotriosa también es inhibida por la presencia de maltosa ⁽²⁹⁾.

La entrada de la maltosa y maltotriosa a través de la membrana de la célula de levadura no es un proceso pasivo, por lo que necesita energía en forma de ATP.

Si un cultivo de levadura está fermentado activamente (es decir uno que acaba de recolectarse de la superficie de una fermentación vigorosa) y se siembra en mosto fresco, las células contendrán, en teoría, todas las enzimas necesarias para facilitar la captación y el metabolismo de todos los constituyentes del mosto. La fase de latencia, por supuesto, se acorta. Transcurrido cierto tiempo, sin embargo, la velocidad de utilización de la maltosa disminuye (debido a la represión catabólica de la permeasa de la maltosa y [α (1-4)-glucosidasa] hasta que los niveles de glucosa y fructuosa hayan sido suficientemente agotados ⁽²⁹⁾.

La siembra de levadura que se ha recogido del mosto fermentado y que ha sido almacenada antes de sembrarla de nuevo, habrá perdido la propensión a utilizar todos los constituyentes del mosto, a excepción de los constituyentes mas simples, por lo que se prolongara la fase de latencia mientras que tiene lugar la resíntesis de enzimas ⁽²⁹⁾.

El orden de captación por la levadura de los azúcares del mosto sigue un patrón definido, que generalizado depende del tamaño de la molécula, la concentración de azúcar presente y la disponibilidad del sistema enzimático necesario para el metabolismo ⁽²⁹⁾.

Consecuentemente, en las fermentaciones cerveceras tradicionales, la glucosa, fructuosa y sacarosa, que se encuentran presentes a bajas concentraciones, son captadas y utilizadas más o menos inmediatamente (la sacarosa tiene que ser

previamente hidrolizada extracelularmente). Esto es debido a que el plasmalema de la levadura contiene un portador consecutivo de la permeasa de la glucosa, que permite la rápida captación de monosacáridos (la glucosa en primer lugar). Estos azúcares del mosto, normalmente serán usados hacia el segundo día de fermentación. La maltosa que esta presente a concentraciones mucho más altas, no será captada hasta transcurrir aproximadamente 24 horas y la mayor parte habrá sido metabolizada al tercer día. La maltotriosa, la de mayor tamaño de todos los azúcares del mosto, normalmente no es utilizada hasta finales del tercer día de fermentación, cuando los niveles de maltosa son lo suficientemente bajos como para permitir la inducción de la permeasa de la maltotriosa. La mayor parte del azúcar residual al término de una fermentación normal, se encuentra en forma de maltotriosa ⁽²⁹⁾.

En determinadas condiciones, una levadura puede mutar y perder la capacidad para sintetizar la permeasa de la maltotriosa (independiente de que exista o no represión de la maltosa). Como consecuencia, causa una baja atenuación del mosto, estado conocido como fermentación pegajosa ⁽²⁹⁾.

Durante las primeras fases de fermentación, es importante que en el mosto exista suficiente oxígeno disuelto para permitir la síntesis de esteroides y ácidos grasos de la membrana. El mosto tiene, por tanto, que ser agitado (aireado) o pre-oxigenado.

Las cepas de levadura tienen necesidades de oxígeno para el rápido crecimiento celular inicial (especialmente en lo que respecta a la síntesis de componentes de la membrana), pero no una cantidad excesiva, porque entonces la levadura recurre a la respiración aerobia mediante la oxidación y descarboxilación del piruvato finalmente el ciclo de Krebs ⁽²⁹⁾.

Si se aporta exceso de oxígeno los productos finales son dióxido de carbono y agua.

Los pasos relativos al ciclo de Krebs tienen lugar en las mitocondrias.

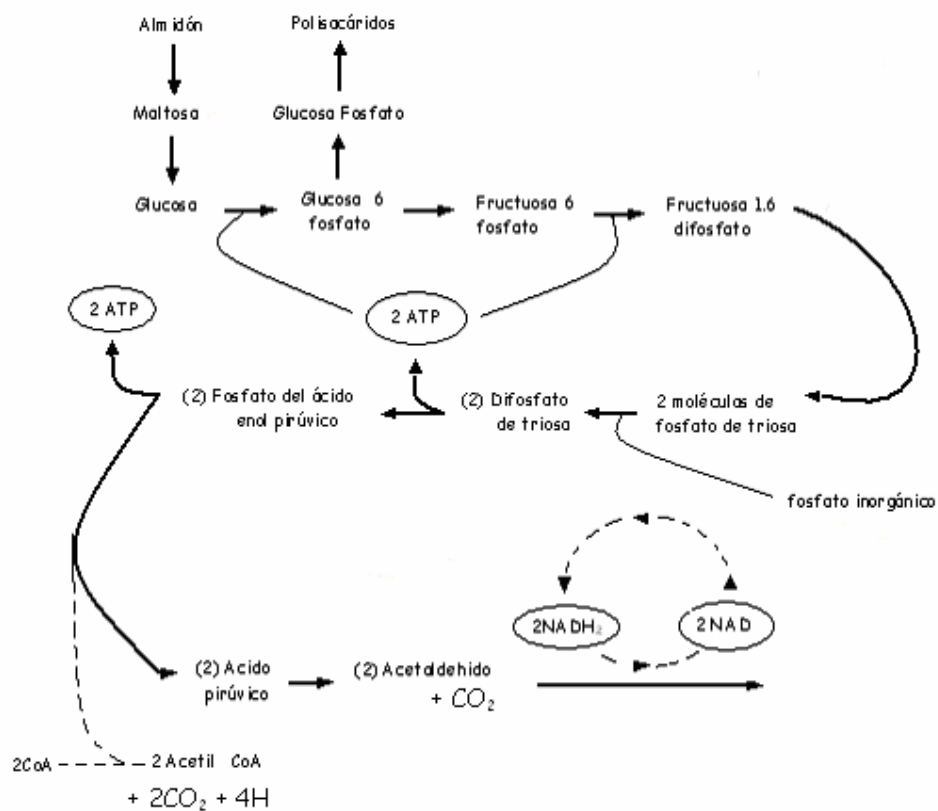
Si en una fermentación se empobrece precozmente el oxígeno por cualquier causa, es posible invertir la deficiencia por adición de ergosterol (uno de los tres esteroides más importantes de la membrana de la levadura) a baja concentración ($5 \mu\text{g l}^{-1}$) ⁽²⁹⁾.

También puede emplearse ácido oleico para invertir la situación, el que más comúnmente se origina durante la elaboración de cerveza de alto peso específico.

En el fermentador se establecen rápidamente condiciones anaerobias y la levadura transforma fácilmente los azúcares fermentescibles (finalmente glucosa) en etanol y dióxido de carbono. Esto es efectuado a través del ciclo glucolítico de Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) (Fig. 30). Este es el principal proceso generador de energía para la levadura, la parte oxidativa del proceso original la coenzima NADH reducida. El NADH es oxidado al reducirse el acetaldehído a etanol. Obviamente, parte del carbono de la glucólisis es necesario para el crecimiento de la levadura (biosíntesis) vía

piruvato deshidrogenasa. Esto ocasiona el agotamiento de la reserva estática de NAD⁺, situación que afecta drásticamente el equilibrio redox de la célula. La situación es compensada, sin embargo, por una serie de mecanismos redox-equilibradores, tales como la producción de glicerol, las etapas terminales de la producción de alcoholes superiores (fusel) y la reducción del diacetilo⁽²⁹⁾.

Fig. 30. Ruta glicolítica de (Embden- Meyerhof-Parnas para el metabolismo de la glucosa⁽³¹⁾). La ventaja mas importante de esta secuencia de cambios en la fermentación es la de poner a disposición de la célula, en forma de ATP, parte de la energía química contenida en las moléculas de glucosa. Cuando la glucosa se fermenta por la acción de las levaduras se produce suficiente ATP para mantener la levadura viva y en crecimiento⁽⁶⁰⁾.



HOUGH, J S, 1990.

Desde 1929 se sabe que las altas concentraciones de glucosa (mayor 0.4 %), incluso bajo condiciones aerobias, el metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* es fermentativo en lugar de oxidativo. Esto relacionado con alteraciones morfológicas y bioquímicas de las mitocondrias, que se parecen a las de las células desarrolladas en condiciones anaerobias. Bioquímicamente, las diferencias mas significativas son la deficiencia de ciertas enzimas del ciclo de Krebs, en particular de succínico y α -

cetoglutarato deshidrogenasas, y de algunos componentes de la cadena respiratoria, sobre todo citocromos. A esto se le conoce como el Crabtree Effect, el Reverse-Pasteur Effect o el Glucose Effect. Es otro ejemplo de represión catabólica y la principal razón determinante del curso y naturaleza de las fermentaciones cerviceras que en esencia, están todas bajo la regulación del “Crabtree Effect” ⁽²⁹⁾.

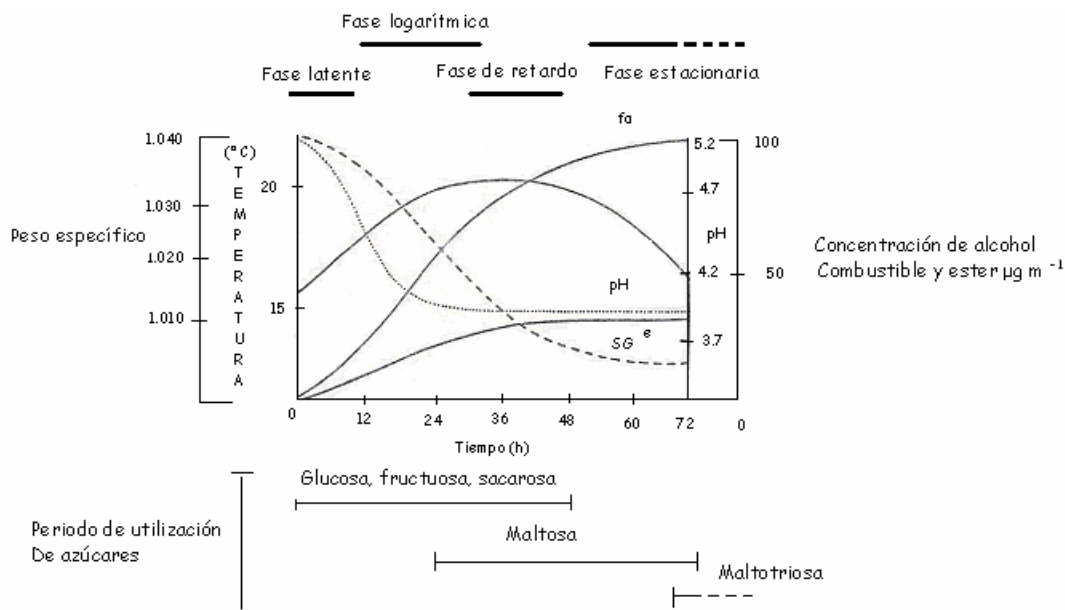
El efecto Pasteur describe la influencia negativa del oxígeno sobre la fermentación.

En 1861 Pasteur encontró que la fermentación por la levadura era inhibida por la presencia en oxígeno, es decir cuando la levadura se transfería de un ambiente anaerobio, la multiplicación era acelerada mientras que la captación de azúcar disminuía. La última observación es, en parte imputable a la diferencia en la constante de Michaelis (valor KM) de la acumulación de glucosa en ambas condiciones, observadas en 1967 como consecuencia de los experimentos realizados por Kotyk y Kleinzeller.

Estos investigadores encontraron que cuando la levadura crecía en ambiente anaerobio el valor KM para la captación de glucosa era 6.7 mM, mientras que bajo condiciones aerobias es del orden de 17.4 mM. Estas observaciones fueron relacionadas con la afinidad de la glucosa por su permeasa, que desciende en presencia de oxígeno. El incremento del crecimiento vegetativo (material o biomasa celular) se explica simplemente por el hecho de que el *Saccharomyces cerevisiae* puede producir más ATP de cada molécula de glucosa bajo condiciones aerobias. Teóricamente, la fermentación debe transcurrir mientras que prevalezcan las condiciones anaerobias y exista una fuente de azúcar hexosa en el mosto. Bajo las condiciones en que se realizan las fermentaciones de cerviceras, sin embargo, esto no sucede. Ello es debido a varias razones: ⁽²⁹⁾

1. el crecimiento o multiplicación de las células de levadura durante la fermentación activa es por gemación, proceso que requiere plena síntesis de membrana y pared celular. Debido a las condiciones anaerobias que prevalecen, no puede ocurrir la síntesis de esteroles y de ácidos grasos y en consecuencia, disminuye la formación de membrana alcanzándose un punto en el que el crecimiento cesa.
2. a medida que transcurre la fermentación, el nivel de etanol aumenta a tal cantidad, que resulta tóxico para el crecimiento de la levadura.
3. con la ralentización del crecimiento de levadura en el fermentador, las condiciones se van haciendo menos turbulentas, particularmente en lo que refiere al desplazamiento de CO₂. esto hace que las células de levadura floculen y consecuentemente sedimenten a mayor velocidad, con lo que se provoca el cese de la función de la levadura ⁽²⁹⁾.

Fig. 31. Curso de la fermentación alta típica SG = peso específico del mosto, t = temperatura, fa = alcoholes combustibles o fusel, e = ésteres.



HOUGH, J S ,1990.

La fase de latencia, viene seguida por una fase corta de crecimiento acelerado (Fig. 31), que conduce a una fase de crecimiento exponencial. Durante este periodo de crecimiento logarítmico, es razonable esperar que la densidad de la levadura (biomasa), aumente de cuatro a seis veces. En esta fase en el que el crecimiento celular está al nivel mas elevado, las células se multiplican por gemación y producen rápidamente etanol y dióxido de carbono. Se producen considerables cantidades de calor y normalmente es necesaria la refrigeración (enfriamiento) para mantener la temperatura por debajo de 20-22 °C (para fermentaciones ale). Si la temperatura supera dicho nivel, se producirán otros alcoholes superiores (como propanol, alcohol isoamílico, alcohol isobutilico) que proporcionaran aromas desagradables. El crecimiento logarítmico normalmente persiste durante 48-60 horas, tras el cual se entra en una fase de crecimiento desacelerado (fase de retardo) antes de que las células alcancen la fase estacionaria. La última significa el final de la fermentación primaria tal cual. Durante la fase estacionaria se produce un pequeño crecimiento de nuevas células, que es contrarrestado por el número de células que mueren⁽²⁹⁾. El descenso del crecimiento de la levadura en las últimas etapas de fermentación es conocido como atenuación y este término es utilizado por los cerveceros para describir el progreso de la fermentación⁽⁴³⁾.

Las levaduras que se necesitan para la fermentación subsiguiente, deben recuperarse arrastrándolas de la parte alta del fermentador al final de la fase exponencial.

Las células recuperadas más tarde o durante la fermentación serán menos viables, siendo más probable que contengan microorganismos contaminantes ⁽²⁹⁾.

Compuestos de reserva.

Hacia el final del ciclo de fermentación las levaduras producen dos carbohidratos de reserva intracelular: el glucógeno y la trehalosa. Ambos están compuestos por unidades de glucosa, siendo el glucógeno un polímero y la trehalosa un dímero. La síntesis de ambos se origina con la formación de uridin difosfato glucosa α -1,1-unidas por sus átomos de carbono reductores. A diferencia del glucógeno, la trehalosa también puede ser sintetizada a partir de la glucosa-6-fosfato. La trehalosa se localiza en el citoplasma y se asocia íntimamente con el plasmalema bajo condiciones de estrés (como la inanición o el choque térmico). En la actualidad algunos especialistas consideran que es protectora frente al estrés, una reserva de nutrientes. Se puede usar ahora el contenido de trehalosa de la célula como un indicador de la vitalidad y viabilidad de la levadura, gracias a un método de detección rápido usando espectroscopia del infrarrojo próximo (NIR). También puede recurrirse a la NIR para detectar glucógeno ⁽²⁹⁾.

Sistemas de fermentación

Como el cultivo controlado de cualquier microorganismo, el crecimiento de levadura para producción de cerveza puede realizarse en proceso discontinuo (por partidas o lotes) o mediante un proceso continuo ⁽²⁹⁾.

Fermentación discontinua

Las primeras fermentaciones de las que se tiene constancia documental se hicieron todas a escala discontinua (interrupción entre lotes), es decir un volumen predeterminado de mosto se fermenta para producir el correspondiente volumen de cerveza.

Tradicionalmente, la fermentación se realizaba en recipientes rectangulares abiertos contruidos de metal (generalmente cobre), madera, piedra o alicatado de baldosines. En la actualidad el material usado con mayor frecuencia es el acero inoxidable, aunque determinadas circunstancias es preferible el uso de polímeros sintéticos. El diseño del recipiente de fermentación ha ido cambiando con el paso de los años siempre con la tendencia a incrementar su eficacia, higiene y obtener cerveza

potencialmente más uniforme. Quizá lo último en diseño y tecnología son los sistemas de fermentación continuos, que estuvieron en boga en la década de 1960 y que todavía se usan actualmente en algunas industrias cerveceras. Algunos sistemas se han diseñado para adaptarse a ciertas peculiaridades del agua y /o levaduras encontradas en algunos centros cerveceros. El método de fermentación Burton Unión es un ejemplo clásico, ahora solamente usado por Marston, Thomson y Evershed en Burton-upon-Trent⁽²⁹⁾.

Independientemente de la forma, las primeras características de un recipiente de fermentación abierto, adecuadas para producir la tradicional ale son que tenga el fondo plano, una salida para la extracción de la cerveza sobre o cerca de la base y alguna forma de refrigeración para mantener la temperatura. Lo último puede lograrse recirculando agua fría a través de un sistema tubular enrollado en serpentín, introducido en el interior del recipiente o mediante una camisa externa de enfriamiento. Esto último es preferible, ya que no acarrea los problemas inherentes a la limpieza. Durante la fermentación de los azúcares a etanol y CO₂ se genera una considerable cantidad de calor y si el metabolismo de la levadura tiene lugar a temperaturas superiores a 22° C también existe mayor riesgo de infección. Casi todas las fábricas cerveceras tienen sus recipientes de fermentación en locales de temperatura controlada⁽²⁹⁾.

Es esencial emplear levaduras de fermentación alta y vigorosa en los recipientes o tanques de fermentación abiertos. La masa de levadura que se forma en la parte superior de la cerveza en fermentación junto con la zona de encima de CO₂, constituyen una barrera frente a la contaminación ambiental y mantiene alejado el oxígeno de la cerveza verde. En determinada fase del ciclo fermentativo, la levadura sobre nadante debe ser eliminada por arrastre de la parte superior del recipiente. Parte de ella será utilizada en posteriores fermentaciones. Existen diversos modos de retirar la levadura sobrenadante, siendo uno de los más modernos la extracción a vacío. La cerveza producida en tanques de fermentación abiertos, a juzgar por los expertos debe de tener un paladar limpio⁽²⁹⁾.

Además del aumento de la probabilidad de infección, otros inconvenientes de los tanques abiertos son la imposibilidad de recoger y reciclar el CO₂ producido, las relativamente altas pérdidas de cerveza al retirar la levadura sobrenadante (durante o después de la fermentación) y la casi ineludible necesidad de limpiar los recipientes a mano⁽²⁹⁾.

Una variación del tanque de fermentación abierto estándar fue desarrollada en ciertas empresas cerveceras de Yorkshire, que usaban levaduras sumamente propensas a la floculación. Los recipientes se llamaban Yorkshire Squares y dichos tanques

cuadrados fueron contruidos de piedra o alicatados con baldosas. Cada uno constaba de dos comportamientos superpuestos uno encima del otro. Los comportamientos superiores e inferiores estaban separados por una plataforma, estando ambos comunicados por una boca de acceso, de unos 60 cm de diámetro, y una serie de conducciones tubulares. El mosto se introducía en la cámara inferior, que se llenaba completamente y entraba en la cámara superior hasta formar una capa de aproximadamente una pulgada (2-3 cm) de espesor⁽²⁹⁾.

Durante la fermentación, la levadura ascendía a través de la comunicación hacia la cámara superior, de la cual el sobrenadante podía ser recolectado y retirado del líquido subyacente. Toda la fermentación tenía que ser periódicamente bombeada y reciclada, al objeto de que la levadura no se depositase en el compartimiento superior. Terminada la fermentación, la cerveza se extraía del compartimiento inferior. En este sistema también las pérdidas de cerveza eran bastante cuantiosas y la limpieza requería mucha mano de obra⁽²⁹⁾.

Algunas plantas cerveceras de Mainlands, especialmente en la zona de Burton-upon-Trent, empleaban cepas de levadura no floculentas, que daban problemas si se usaban en fermentadores abiertos estándar. Esto condujo al desarrollo de un método fermentativo único, que se designó Sistema Burton Union. El sistema de unión estaba construido por 24 cubas de madera (en dos filas de doce), cada una con una capacidad de unos cinco barriles. Las cubas fueron dotadas por un serpentín de enfriamiento interno y en la parte superior sobresalía una conducción con forma de cuello de cisne. Una serie de canales o colectores estaban dispuestos por encima y debajo de las cubas, el superior ligeramente inclinado. De la parte inferior (más baja) del canal superior parte una serie de conductos tubulares que conducían a los extremos de las filas de cubas, los cuales recibían el nombre de barras laterales⁽²⁹⁾.

Los mostos amargos enfriados se introducían en un recipiente colector, al que se inoculaban la levadura y donde comenzaba la fermentación. Tras unas 36 horas, la cerveza en fermentación activa bajaba en la unión de cubas. La continua fermentación forzaba a la cerveza y levadura a salir por los cuellos de cisne que descargaban en la canal superior. La cerveza fluía lentamente debido a la inclinación del canal y finalmente retornaba a las cubas por las barras laterales. Las levaduras tendían a sedimentar en el canal superior una vez escurrida la cerveza. Al terminar la fermentación, casi toda la levadura había sido separada de la cerveza en las cubas unidas. La cerveza era entonces vertida en el canal inferior que la llevaba a un recipiente colector. Las cervezas producidas por el método de la unión eran totalmente singulares y se consideraban altamente aromáticas. Como era de esperar, por la

propia naturaleza de los sistemas Burton Union, eran de difícil limpieza y las pérdidas de cerveza podían ser muy altas ⁽²⁹⁾.

Los tanques de fermentación cerrados se usaron por primera vez antes de la guerra de 1914-18, aunque no fueron piezas comunes en la industria cervecera hasta la década de 1960. La primera patente del tanque cerrado fue la de Nathan en 1908, a la que siguió un posterior diseño en 1927. Los equipos originales, estaban contruidos de aluminio y fueron depósitos verticales, cilíndricos, de fondo cónico (es decir tanque cilindrocónicos). Hoy día, el material normal de construcción es de acero inoxidable. Además de la obvia ventaja de la eliminación de la infección ambiental, a este tipo de recipientes (que frecuentemente se conoce como tanque Natham) se atribuyeron otras muchas mejoras:

- Reducción considerable de pérdidas de cerveza
- Recogida del CO₂, y uso posterior en la cerveza
- Fácil recuperación de levadura
- Posibilidad de limpieza automática,
- Uso adicional para la maduración además de fermentación,
- Su relación de altura a anchura permite un uso más eficaz en el aprovechamiento de la superficie del suelo de la fábrica cervecera, y
- Menos tiempos de fermentación ⁽²⁹⁾.

Los tanques cilindrocónicos están equipados con camisa externa de enfriamiento y suelen estar aislados de alguna forma, frecuentemente con lana (fibra) de vidrio. Estos tanque normalmente tienen una relación de altura a diámetro de aproximadamente 4:1 y mientras se encuentre en la fase de fermentación primaria, se producen fuertes corrientes de circulación que son causadas debido a la vigorosa producción de CO₂, sobre todo cerca de la base del recipiente, donde se encuentra la mayor densidad de levadura o biomasa. Esto, de hecho, conduce a un mecanismo de automezclado y acelera considerablemente la velocidad de fermentación. Se pretende que los tiempos de fermentación puedan reducirse incluso hasta el 50 %. También se afirma que la cerveza producida en fermentadores cilindrocónicos utiliza con mayor eficacia las sustancias amargas (no se pierde ninguna con la masa de la levadura) y mayor poder de retención de dicha biomasa. Los niveles de CO₂ de las cervezas fermentadas en estos recipientes, son muchos más altos que los producidos por cualquier otro sistema de fermentación interrumpida o por partidas ⁽²⁹⁾.

Cuando se instalaron los primeros tanques cilindrocónicos en las cervezas de la época, su tamaño era desproporcionadamente mayor que el resto del equipo de la sala de cocidas (cuba de maceración, caldera de ebullición). En algunos casos, esto

imponía la necesidad de realizar diversas cocidas para poder llenar el fermentador de mosto. Si no se tenía cuidado, esto planteaba problemas debido a que las diferentes partidas de mosto podrían encontrarse en diferentes fases de oxigenación y fermentación. El llenado de mosto del tanque cilindrocónicos no debía ser más del 75 % del volumen total del recipiente, al objeto de dejar suficiente espacio de cabeza vacío, para la copiosa cantidad de espuma producida durante la fermentación ⁽²⁹⁾.

La levadura empleada en las cerveceras con tanques cilindrocónicos, tenían que ser una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* recogidas del fondo, al término de la fermentación primaria, la levadura decantada en el fondo cónico del tanque puede ser extraído asépticamente ⁽²⁹⁾.

Para el diseño de este tipo de recipientes se ha realizado una gran cantidad de trabajos, particularmente en lo que respecta a la localización de las camisas de enfriamiento y a la pendiente de la base cónica. Respecto a esta última se ha comprobado que un ángulo de 70 ° es óptimo para asegurar la máxima sedimentación y extracción de levadura. El tamaño de los tanques cilindrocónicos puede variar entre 60 a 7.000 barriles de capacidad. Una variable de doble finalidad del tanque Nathan, llamada Unitank ha sido desarrollada por la compañía Rainer. Tiene un fondo cónico aplanado (no superior a 25° C de la horizontal) y se usa tanto para la fermentación primaria como para la maduración o guarda ⁽²⁹⁾.

Fermentación Continua.

La idea de introducir la fermentación continua para producir cerveza fue prevista por vez primera por Max Delbruck en 1892. La primera patente británica en implementar este modo de fermentación fue registrada en 1906 por L. A. Van Rijn (British Patent No. 18 045), aunque muy pocas cerveceras adoptaron el proceso hasta la década de 1960.

A este tipo de fermentadores se han atribuido numerosas ventajas, la mayor parte de las cuales no han sido corroboradas por la experiencia práctica. La principal ventaja supuesta fue su mayor eficacia, particularmente en términos laborales y utilización de la planta. No se ha demostrado que este sea el resultado, ya que los costos laborales en particular, son similares a los métodos de fermentación más tradicionales. Ciertamente, la limpieza puede efectuarse con mayor facilidad, mientras no surjan problemas graves de infección. La afirmación de que se producen menores pérdidas de cerveza durante la producción tampoco está justificada puesto que son las mismas que la de los fermentadores cilindrocónicos. También se había esperado que, dada la naturaleza continua de las fermentaciones, se mejoraría la uniformidad de la cerveza,

cosa que solo es posible si existe una producción continua y uniforme de mosto lupulado. Una ventaja cierta es la enorme reducción del tiempo de la fermentación primaria. Que bajo determinadas condiciones, puede reducirse a 6-8 horas ⁽²⁹⁾.

También es posible mantener el proceso en funcionamiento durante largos periodos de tiempo (meses si se quiere) sin limpieza o resiembra de levadura. Esto es posible por su puesto, tomadas las precauciones para que no haya brotes de infección.

La eficiencia de la transformación de los azúcares fermentescibles en etanol y CO₂ es mucho mayor en condiciones continuas. Esto es principalmente debido a que, en este ambiente físico altamente modificado. La levadura no convierte sustancias fermentescibles en constituyentes celulares a una velocidad muy rápida, existe, en consecuencia, mayor concentración en la fermentación tal cual ⁽²⁹⁾.

De los procesos continuos que se han empleado en cierta medida, el sistema abierto o en cascada es menos complicado y más barato de instalar. El sistema normalmente consta de tres recipientes principales, dos de ellos para la fermentación y el tercero para actuar de separador de la levadura, si bien en algunas cerveceras se emplean aun más fermentadores. En la base del primer fermentador se bombea, previo paso por un oxigenador, mosto lupulado, esterilizado y enfriado, introduciéndose también la levadura. La agitación es constante para mantener la homogeneidad ⁽²⁹⁾.

En esta fase se produce alrededor del 50% de la fermentación necesaria. A continuación, el mosto parcialmente fermentado pasa al segundo fermentador, que se encuentra en condiciones totalmente anaerobias, completándose en el la fermentación ⁽²⁹⁾.

La concentración de levadura en el primer fermentador es mantenida constante (en estado estacionario) debido a que el número de levaduras producidas es contrarrestando con el número que pasa al segundo recipiente. La cerveza y toda levadura que quede en suspensión pasan al tercer recipiente, que es un tanque de sedimentación equipado con serpentín refrigerante y con un fondo cónico. El enfriamiento en este recipiente favorece la decantación o sedimentación de la levadura en el cono del fondo, mientras se extrae la cerveza a un nivel superior para su maduración y procesado posterior ⁽²⁹⁾.

3.5.8. Cerveza Posfermentación.

Una vez que la cerveza ha sido fermentada hasta su peso específico final se procede a enfriarla a 9-11 ° C. Esto puede realizarse bien en el tanque de fermentación o después de trasegarla a un recipiente posterior. A la cerveza producida en la

fermentación principal se llama cerveza verde y está debe ser madurada o afinada antes de envasarla. El proceso de maduración o guarda puede, para determinados estilos de cerveza, representar una de las etapas más prolongadas del ciclo cervecero (y el equipo necesario representa hasta el 25 % del coste total de la planta cervecera).

Durante la maduración pueden considerarse cinco procesos principales:

- 1) Afinamiento del sabor. Implica eliminar, por la levadura algunos productos indeseables de la fermentación primaria, de los que son mas notables los compuestos sulfurados (incluidos el H_2S), el acetaldehído y el diacetilo. El proceso de eliminación de tales compuestos no deseados se denomina purgado, es lento por naturaleza y necesita que la levadura se halle en un estado metabólico relativamente bueno.
- 2) Clarificación de la cerveza. La cerveza verde procedente del fermentador puede contener hasta 1×10^7 células de levadura por ml, las cuales, para las cervezas producidas en la planta industrial que necesitan la filtración, pueden causar grandes problemas de bloqueo obstructivo. Por ello es necesario un periodo de almacenamiento estático para eliminar parte de la levadura por sedimentación. La levadura no debe retirarse de la cerveza demasiado pronto, ya que en tal caso los procesos de maduración mencionados anteriormente no tendrían lugar. La sedimentación de la levadura puede fomentarse añadiendo ayudantes clarificantes (como los agentes de acabado), aunque tal práctica no es permitida en algunas cerveceras, especialmente las que se adaptan a la ley de pureza de Alemania.
- 3) Estabilización de la cerveza. Las cervezas que necesitan una vida útil prolongada (principalmente latas y botellas) tiene que ser estabilizada antes del envasado. Las forma más común (y problemática) de inestabilidad, es la producción de turbidez no biológica o velado en el producto. El material responsable de la turbidez no biológica, precipita junto con la levadura, durante un periodo de estacionamiento a baja temperatura. En la turbidez no biológica existen dos componentes que independientemente, cada uno de ellos es capaz de producir partículas de tamaño lo suficientemente grandes como para provocar turbidez visible en la cerveza. La turbidez es producida principalmente por interacción entre proteínas de bajo peso molecular, taninos y carbohidratos, sus dos formas son:
 - a) el enturbiamiento frío, en el que intervienen enlaces electrostáticos débiles entre las moléculas constituyentes. Este tipo de turbidez se produce al bajar la temperatura, pero desaparece al elevarla de nuevo, es decir estas nieblas o turbideces son reversibles.

- b) La turbidez permanente. Se produce por formación de enlaces químicos permanentes, normalmente entre proteínas y polifenoles (taninos) y no es afectada por la temperatura. La realización de tales enlaces, con frecuencia esta catalizada por la presencia de iones de metales pesados (especialmente Sn y Pb), siendo favorecida por la presencia de oxígeno ⁽²⁹⁾.

Así como la turbidez puede eliminarse una vez formada (por precipitación), también es posible evitarla eliminando por precipitación algunos de sus precursores. Las proteínas se pueden suprimir añadiendo un estabilizador insoluble, tales como una bentonita o sílica hidrogel (lucilite), que precipita las proteínas con bastante rapidez en el tanque de guarda. También puede añadirse ácido tánico para coagular las proteínas, pero no se usa mucho porque forma un precipitado (sedimento) en el fondo de copioso volumen y elevada viscosidad. Los polifenoles se pueden quitar por adsorción sobre polivinilpirrolidona (PVPP, o policlar) ⁽²²⁾. Prácticamente se añade la PVPP con bomba dosificadora antes de la filtración de manera que se retengan los precipitados sobre el filtro y recuperar, como consecuencia, la PVPP con débiles pérdidas ⁽⁴⁵⁾.

La turbidez puede evitarse igualmente por degradación enzimática para obtener moléculas más simples y solubles, invisibles a simple vista. De dichas enzimas, la que mas se emplea es la papaína, pero tiene que ser etiquetada como ingrediente, puesto que llega su presencia hasta el producto final. Este inconveniente no existe con los estabilizadores insolubles, porque se eliminan de la cerveza una vez que han realizado su función ⁽²⁹⁾.

Si es preciso también pueden destruirse enzimáticamente otros compuestos que contribuyen al enturbiamiento no biológico, como los β - glucanos.

En la actualidad generalmente se acepta, que empleando materias primas de alta calidad y buenas prácticas cerveceras, pueden en gran parte impedirse los problemas de turbidez.

4.- Carbonatación de la cerveza. En cierto grado, la carbonatación se produce se produce en forma natural durante el periodo de maduración en la bodega fría, aunque aquí se liberan volúmenes relativamente pequeños de CO₂. El gas por supuesto, se disuelve más cuánto más baja es la temperatura. En práctica común, por consiguiente, mantener alta la presión de CO₂ en el tanque de guarda de la cerveza.

5.- Reducción al mínimo del oxígeno disuelto (O₂) en la cerveza. Al término de la fermentación primaria, la cerveza verde debe contener poco oxígeno disuelto (O₂). Los trasiegos de la cerveza en las operaciones cerveceras de posfermentación, es probablemente la principal causa de introducción de más oxígeno (por ejemplo por

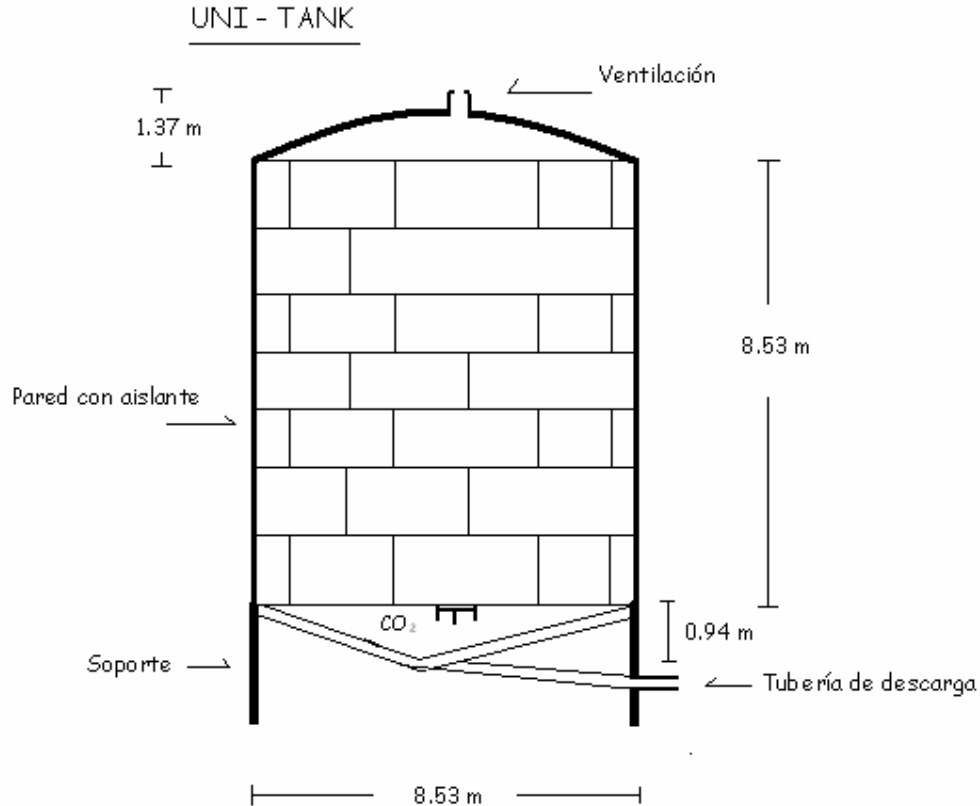
arandelas defectuosas de las bombas). Todavía existen más oportunidades de aumentar el O₂ en la cerveza, una vez suprimidas las levaduras. Existe también la posibilidad de añadir antioxidantes, de los cuales los más corrientes son el metabisulfito potásico, dióxido de azufre y ácido ascórbico. El SO₂ tiene que añadirse cautelosamente porque existe un límite legal de concentración en la cerveza (menor ó = 70 ppm). Puesto que el industrial cervecero dispone de múltiples regímenes diferentes de afinamiento y maduración, también existen perfiles de maduración característicos, que indican la relación entre la temperatura y la cantidad de levadura en suspensión. Por ejemplo, el perfil de maduración ale es diferente del perfil lager clásico ⁽²⁹⁾.

Cerveza acondicionada en planta.

La cerveza acondicionada (o procesada) en la industria cervecera es la que ha sido acondicionada, enfriada, filtrada y pasteurizada en la propia fábrica antes de introducirla en contenedores estériles como barriles metálicos, latas o botellas. En consecuencia, el producto final esta técnicamente estéril, puesto que se ha eliminado todos lo microorganismos viables, incluida la levadura ⁽²⁹⁾.

La primera fase del proceso de acondicionamiento en la cervecera es introducir la cerveza verde en un tanque de bodega de guarda, en el que puede tener lugar la maduración, estabilización, etc. Si la fermentación primaria ha tenido lugar en un Unitank (Fig. 32), el trasiego de la cerveza verde es innecesario. Los tanques de acondicionamiento son recipientes cerrados, construidos normalmente de acero inoxidable existiendo dos formas principalmente: horizontal y vertical (cilindrocónico) (Fig. 33). Los últimos son ahora favoritos, principalmente debido al reducido espacio de suelo necesitado, facilidad de limpieza, disminución de pérdidas de cerveza y reducida superficie de la cerveza para la captación de oxígeno. Los tanques verticales normalmente son de mayor capacidad que los horizontales (que raramente exceden de los 500 barriles) ⁽²⁹⁾.

Fig. 32. Unitank fermentador discontinuo o tanque de guarda.



HOUGH, J S 1990.

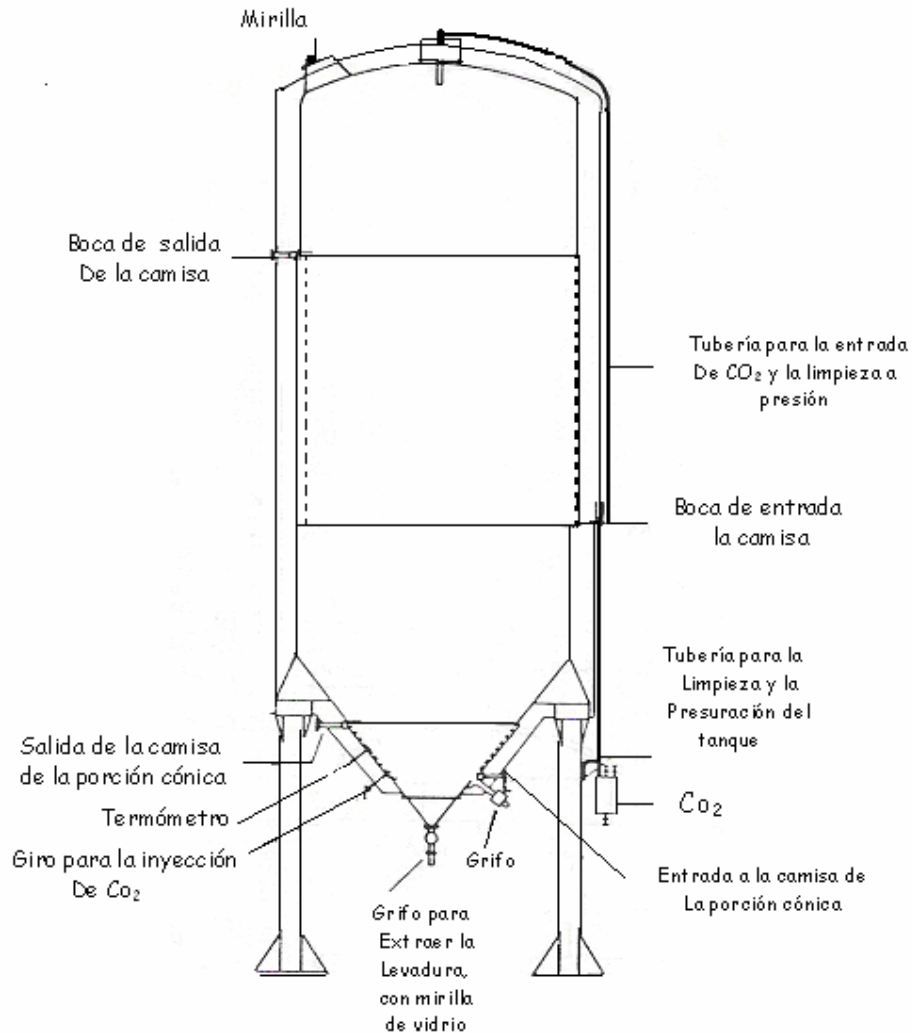
Las ventajas de los tanques horizontales son la más rápida sedimentación, facilidad para las mezclas y mejor control de la temperatura.

Ambos diseños de tanques están equipados con camisas de enfriamiento (la posición correcta de estas es mas difícil en los cilindros cónicos), única compuerta llamada boca de hombre de entrada /salida, sondas de temperatura y sistemas de limpieza in situ (CIP).

Lo que suceda ahora exactamente en el tanque de acondicionamiento, depende de la naturaleza del producto final y la vida útil deseada una vez en el mercado. Las cervezas Lager continentales, con fermentación baja y alta calidad, tradicionalmente experimentan una fermentación secundaria en bodegas durante un periodo de semanas, o incluso meses (siendo reducida gradualmente la temperatura desde 10 ° C a 0° C), seguida de un periodo de tiempo similar de estacionamiento frío. Esto facilita la floculación de la levadura, y la coagulación de proteínas y material que provoca turbidez por su inestabilidad al frío. La cerveza salida de tales tanques debe estar casi brillante antes de pasar por los filtros para ir al ulterior procesado. Durante el

acondicionamiento en frío también se produce lentamente, la maduración y el sabor y aroma siempre que exista aún cierta cantidad de levadura en suspensión ⁽²⁹⁾.

Fig. 33. Tanque de fermentación y maduración cilindrocónico.



HOUGH, J S 1990.

Debido a que el tiempo es dinero se tiende a acortar los procesos de guarda en bodega de las cervezas a periodos de dos o tres semanas (e incluso a unos pocos días en el caso de algunos productos manufacturados masivamente).

Determinados aspectos de la maduración (sobre todo la eliminación del diacetilo) pueden acelerarse elevando la temperatura de la cerveza cierto tiempo. Por ejemplo, la cerveza mantenida unos pocos días a 12- 16 ° C se elimina rápidamente el diacetilo ⁽²⁹⁾.

Esta operación se conoce como almacenamiento ruinoso (o descanso del diacetilo)

Tras este periodo más cálido, la cerveza se somete a una fase de acondicionamiento en frío (hasta 10 días a 0° C) antes de continuar su procesado.

En algunas cerveceras, la fermentación primaria se mantiene hasta un nivel en el que queda muy poca materia fermentescible para la fermentación secundaria en tanque (es decir menos del 1% del extracto seco primitivo). Es necesario, por consiguiente, añadir fermentescibles para permitir que la levadura desempeñe sus diversas actividades purgantes. Pueden añadirse azúcares (azúcar invertido) o mosto fresco (reciente), aunque uno de los modos continentales tradicionales para conseguirlo, es añadiendo al tanque de acondicionamiento una partida (alrededor del 10% de volumen total) de mosto relativamente poco fermentado (de unos tres días). Este remedio se llama Krausening y deriva de la palabra alemana krausen (que significa lechuga) que describe el aspecto que tiene la espuma con la levadura en la parte superior en esta fase de fermentación baja ⁽²⁹⁾.

Para comenzar la maduración, la cerveza verde se calienta primero a 90 ° C durante siete minutos para convertir los precursores de diacetilo a diacetilo libre. Seguidamente se bombea a través del reactor, sin usar sustancias químicas. Una vez iniciado o puesto en marcha, el proceso sigue en continuo, normalmente durante un periodo seis meses antes de responder la levadura. Si es necesario, el reactor puede ser parado durante un corto periodo (por ej. Un fin de semana) sin efectos adversos sobre la levadura y vuelto a poner en marcha en cuestión de una hora. Si la planta se para mas tiempo entonces hay que sustituir la levadura (la puerta en marcha requiere entonces dos días). La levadura es la misma que en la empleada en la fermentación primaria y forma una monocapa sobre la matriz de soporte. La inmovilización tiene lugar durante el principio del intercambio iónico, que facilitará la eliminación de la levadura tras la limpieza. El soporte Spezyme GDC es rígido e incomprensible, lo que permite usarlo en condiciones de operación de alta velocidad de flujo y presión. Esto último es importante porque permite mantener el CO₂ disuelto. El portador es inerte y no es enfriado por ninguno de los productos químicos de limpieza normalmente usados en las cerveceras (incluida la sosa cáustica), por lo que el reactor puede ser incorporado a un ciclo de limpieza CIP estándar. Los reactores originales de Sinebrychoff tienen 1 m³ de capacidad y son capaces de tratar en maduración 40.000 hl año⁻¹.

Usando este sistema de maduración, la cerveza puede adaptarse a cambios súbitos de la demanda y responder en una semana. En las cerveceras con instalaciones de tanques de maduración normal, los aumentos de ventas tienen que intuirse o preverse ⁽²⁹⁾.

La fase final de maduración se caracteriza por la precipitación y sedimentación de turbio, el mejoramiento de la estabilidad coloidal y la afinación del sabor de la cerveza (54).

Una vez que ha pasado la fase de maduración o guarda se procede a filtrarla antes de pasar a tanque de cerveza brillante. A consecuencia del volumen o biomasa de levadura producida tras la fermentación, la cerveza normalmente se centrifuga antes de pasarla por los filtros. Durante la centrifugación hay que tener cuidado al objeto de evitar fricciones (fuerzas de cizalla) que elevan la temperatura del producto. El proceso es algo ruidoso y costoso (29).

La filtración tiene tres objetivos:

- 1.- Esterilizar la cerveza, es decir eliminar todas las levaduras y bacterias, en un proceso llamado pulido,
- 2.- Eliminar todo el material biológico visiblemente en suspensión, proceso llamado clarificación o desvastado,
- 3.- Estabilizar la cerveza adicionalmente evitando enturbiamientos o nieblas no biológicas.

Antes de la filtración, es importante enfriar la cerveza a la temperatura mas baja posible, de modo que sea factible extraer el máximo de material de la turbidez provocada por el frío (29).

Para la filtración de la cerveza existen dos procedimientos, uno de los cuales consiste en eliminar completamente todos los microorganismos, de forma que el producto final sea estéril. Esto se lleva acabo por un mecanismo de tamizado del tamaño de partícula más pequeña y se llama filtración estéril o absoluta. Se emplean filtros de membrana, normalmente con un tamaño de poro no superior a 0.45 μm . debido a que cada partícula eliminada obtura efectivamente el poro que la separó, los filtros tienen propensión a colmatarse rápidamente si se introducen en ellos líquidos turbios. En consecuencia, realmente solo pueden usarse para conferir un pulido final a la cerveza desprovista anteriormente de la mayor parte del material en suspensión, en una filtración más grosera. Los filtros de membrana son, no obstante, profusamente empleados en las industrias cerveceras para esterilizar los suministros de agua y gas que reciben.

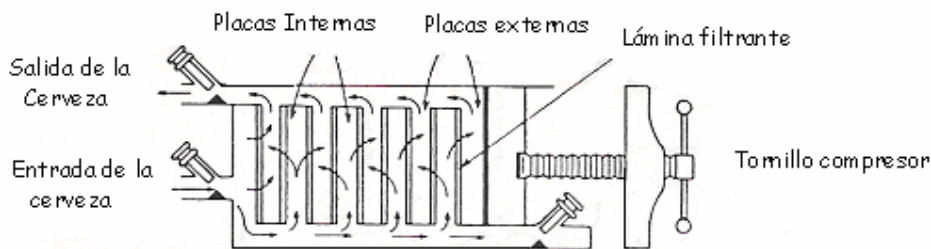
Para suprimir de la cerveza las células de levadura y otras partículas groseras se requiere un filtro eficaz (29).

El filtro prensa (Fig. 34) (de placas y marcos comprimidos en un bastidor de soporte), en los que una serie de láminas textiles enmarcadas retienen el medio filtrante, y se

mantienen en un compacto cerrado. Las láminas de filtro están dispuestas alternativamente con los marcos con cámaras vacías, pasando la cerveza través de las cuales. Estos filtros son mecánicamente simples, fiables y robustos dando un filtrado de buena calidad, aunque la automatización es virtualmente imposible ⁽²⁹⁾.

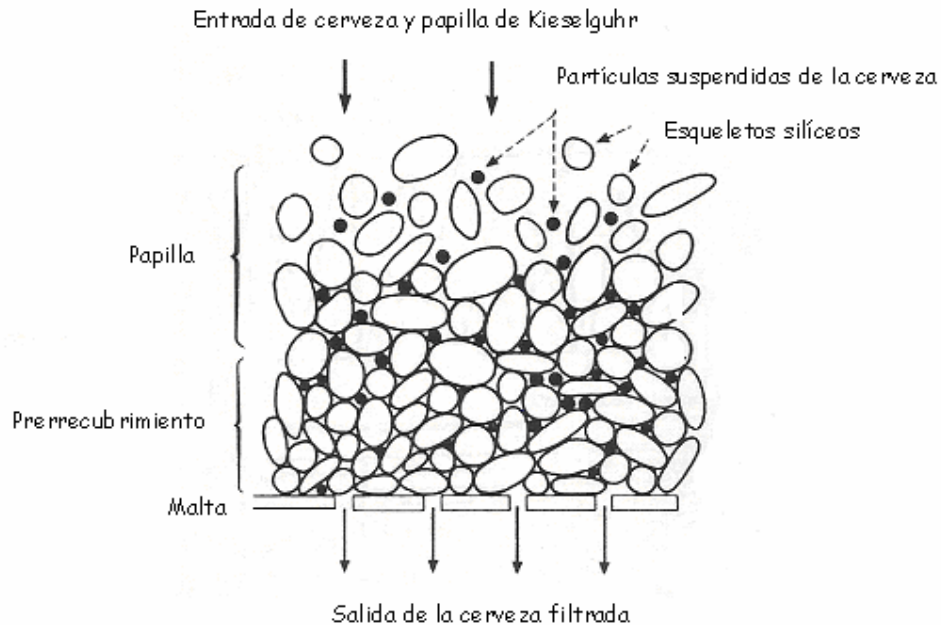
En la actualidad raramente se emplea asbesto, siendo comunes otras sustancias para preparar el filtro, siendo las principales el kieselguhr (tierra de diatomeas), la perlita (un vidrio volcánico silíceo) y el hidrogel de sílice). A dichos compuestos se conocen como ayudas filtrantes y para preparar un filtro (por ej., un filtro de placas de kieselguhr) (Fig. 35) hay que seguir el protocolo siguiente: la ayuda filtrante, en forma grosera, es depositada en capas sobre las láminas de soporte, bombeando a presión una papilla de kieselguhr sobre las mismas. Esta operación puntea los poros más grandes del soporte y se denomina primera capa de recubrimiento o precava mecánica. Esta es recubierta por una segunda, o precobertura operativa, que consiste en partículas más finas. La cerveza, mezclada con cantidades determinadas de ayuda filtrante, kieselguhr de un tamaño de partícula igual al empleado en el segundo revestimiento, puede ser bombeada a continuación al filtro prerrecubierto. Esto, de hecho, aumenta lentamente el espesor del lecho filtrante, proceso denominado llenado del cuerpo. La velocidad de adición de la tierra filtrante es crítica, de forma que solo se produzca un gradual engrosamiento del lecho filtrante (y que debe conservar la porosidad durante la filtración). Cuantas más partículas se depositen en el filtro, más presión es necesaria para mantener el flujo de cerveza. La filtración termina en el momento en que todos los canales han sido cegados y se ha ocupado todos los huecos del filtro por la levadura con el coadyuvante ⁽²⁹⁾.

Fig. 34. Detalle de un filtro de láminas para la cerveza (corte vertical).



HOUGH, J S 1990.

Fig. 35. Principio en que se basa la filtración a través de polvo (tierra). Se fabrica primero una papilla que forme puentes sobre los agujeros de la hoja filtrante y luego se hace pasar cerveza con inyecciones frecuentes y regulares de más papilla. Las partículas suspendidas en la cerveza son atrapadas en los intersticios que quedan entre las partículas de tierras.



HOUGH, J S 1990.

La moderna tecnología de la filtración eficaz tiene en consideración láminas, hojas (verticales y horizontales), bujías y cartuchos, pudiendo ser objeto de automatización la mayoría de estos tipos de filtros. Ahora es práctica común incorporar un estabilizador, tal como la PVPP (polivinilpirrolidona), a la ayuda filtrante, contribuyendo así a la eliminación de polifenoles.

La cerveza filtrada pasa a un tanque de cerveza brillante desde el que puede ser trasegada a barriles metálicos, botellas o latas (estos dos tipos de recipientes finales son conocidos como pequeños paquetes). En el caso de grandes cantidades, la cerveza brillante puede ser bombeada a tanques de bodega (hasta de 1000 litros de capacidad) de aluminio de acero inoxidable, que a veces están equipados con un revestimiento plástico en los que se deposita la cerveza. Los tanques pueden ser móviles, en cuyo caso se llenan en la industria cervecera, o estar fijos en la bodega de salida en cuestión, en cuyo caso la cerveza permanecerá almacenada en los tanques

(29)

3.5.9. Envasado.

La cerveza enfriada, filtrada y pasterizada en flujo continuo ⁽³¹⁾ (condiciones mínimas de tratamiento 72- 75 ° C durante 1-4 min. a 900-1000 kPa) ⁽¹⁸⁾, puede transferirse a grandes tanques estériles de, por ejemplo, 8 hl o a barriles (generalmente de 25 a 50 l). Los barriles suelen ser de acero inoxidable o, aún más frecuentemente, de aluminio y difieren de las cubas tradicionales, entre otras cosas, por contener una sola boca, en lugar de dos. En el orificio que poseen, llevan roscado un dispositivo de extracción que permita la introducción de gas (dióxido de carbono) desde una tabla a la superficie de la cerveza. La presión fuerza a la cerveza a ascender a través del espadín de extracción y a lo largo de la tubería a él conectada, hasta el grifo de expedición ⁽³¹⁾.

Las botellas son de dos tipos; retornables y de un solo uso. Las retornables exigen, para posteriores usos, el lavado, el aclarado y el escurrido antes de su relleno, cierre, pasterización y etiquetado. Las desechables, como las latas, solo requieren ser sometidas a un chorro, primero de aire estéril a presión y luego de agua esterilizada. Algunas botellas se rellenan asépticamente con cerveza, previamente pasterizada en flujo continuo o esterilizada por filtración.

Cuánta cerveza se expande de uno u otro modo, varía ampliamente con los países. En la Gran Bretaña, alrededor de un 80% se vende sin embotellar, en barriles o en grandes tanques. En los Estados Unidos, la inmensa mayor parte se embotella. Las botellas multiuso representan más peso por hl de cerveza que las desechables o las latas ⁽³¹⁾.

3.5.10. Control y Garantía de la Calidad.

Una idea errónea muy generalizada es que la elaboración de la cerveza para obtener un producto final de una calidad satisfactoria sea un proceso artesano fundamentado en criterios especializados y en el empirismo. Es cierto que la elaboración de la cerveza requiere habilidades y experiencia para poder solucionar los problemas inherentes a un proceso de esta índole. Sin embargo, la elaboración de una cerveza con una calidad y unas características constantes es el objetivo de todos los cerveceros y, aunque el nivel de tecnificación varíe en función de la dimensión de la operación, el control en todas las etapas es imprescindible para alcanzar el éxito ⁽⁶¹⁾.

El control y la garantía de calidad en las cervecerías afecta a cuatro campos principales: idoneidad de la limpieza de la planta, aceptabilidad de las materias primas, estado del mosto y de la cerveza durante la producción, y propiedades de la cerveza final. Se requiere un alto nivel en la limpieza de la planta para prevenir las

contaminaciones de la cerveza con microorganismos alteradores. La limpieza debe ser meticulosa después de cada ciclo de producción y hay que comprobar la efectividad de la operación tanto visualmente como a través del análisis de frotis o torundas. Se requiere un conocimiento detallado de la disposición de las instalaciones para identificar las zonas donde la limpieza se hace más difícil y para suprimirlas en caso de ser necesario. En muchas cervecerías es una práctica frecuente la realización con cierta regularidad de una cerveza alcalina, en la cual se lleva a cabo todo el proceso de elaboración de la cerveza utilizando una solución de NaOH. Es necesario tener un especial cuidado para asegurar que las botellas retornables y los barriles se limpien adecuadamente ⁽⁶¹⁾.

Debido al alto grado de desinfección y automatización alcanzado, siempre que sea posible se intentará utilizar la CIP. También sirven a tal fin los grandes depósitos e instalaciones cerradas. Practicando una limpieza a chorro adecuada, esta técnica sirve a sí mismo para recipientes abiertos, cuanto más continuada y simple es la producción y cuanto mayores y más cerrados son los objetos, mejor puede aplicarse la CIP, este sistema se emplea para los tanques de fermentación cilindro-cónicos ⁽⁶¹⁾.

La selección de las materias primas es normalmente una responsabilidad del cervecero, con el asesoramiento técnico que se precise. Los análisis de laboratorio deben practicarse a todos los ingredientes incluida el agua. Las grandes cervecerías pueden realizar sus propios análisis, pero en muchos casos las especificaciones y la calidad de la malta, lúpulo y adjuntos están garantizadas por el proveedor. El asegurar la calidad de la levadura es responsabilidad del microbiólogo ⁽⁶¹⁾.

Es necesario que el cervecero esté al tanto de la evolución de cada lote de cerveza a lo largo de la obtención del mosto, de la fermentación y de la maduración. Se puede extraer mucha información a partir de los registros de producción, pero está debe de estar apoyada por análisis químicos y microbiológicos (Cuadro 20).

La cerveza, una vez terminada, se somete análisis químicos, microbiológicos y sensoriales (Cuadro 21). Todos ellos se precisan para comprobar que la cerveza está dentro de los márgenes de las especificaciones marcadas. Aunque el análisis de laboratorio sea necesario, debe apreciarse que el análisis organoléptico de la cerveza final es el procedimiento analítico simple más importante en la elaboración de la cerveza. En las cervecerías pequeñas, la responsabilidad del control del sabor y aroma de la cerveza recae sobre el cervecero quien, junto con otras personas, tienen la angustiosa responsabilidad de catar cada lote de cerveza antes de su expedición. En las grandes cervecerías se utilizan diferentes clases de paneles de cata, a menudo junto con catadores profesionales. En todos los casos la cerveza debe catarse desde el punto de vista del consumidor crítico y formado, y el análisis sensorial debe

determinar no sólo que la cerveza esté libre de defectos evidentes, sino que su sabor y sus características estén de acuerdo con lo que esperan los consumidores. En las grandes cervecías se aplica el uso de perfiles de aroma y sabor y de técnicas similares para asegurar la conformidad y para la detección temprana de los cambios en el aroma y en el carácter. La valoración sensorial es también valiosa en la detección de defectos. Algunos problemas concretos, como un nivel excesivo de diacetilo, se descubren y localizan con facilidad antes de finalizar los análisis de laboratorio ⁽⁶¹⁾.

Cuadro. 20. Análisis del mosto y de la cerveza en la elaboración de la cerveza.

Mosto	Cerveza
Densidad	Densidad
pH	Grado de fermentación
Acidez	pH
Azúcares reductores	Acidez
Aminoácidos Libres	Azúcares fermentables
Proteínas	Aminoácidos libres
Almidón	Proteínas
Color	Color
Viscosidad	Oxígeno disuelto
	Levaduras salvajes
	Contaminación bacteriana

WILDBRETT, Gernard ,2000.

Cuadro. 21. Análisis de la cerveza terminada.

Contenido en alcohol por volumen	Densidad
Extracto original	Extracto final
Grado de fermentación	Estabilidad de la espuma
Oxígeno disuelto	Proteínas
Almidón	Ácidos iso- α
pH	Diacetilo
Dióxido de azufre	Cobre
Sodio	Calcio/Oxalato
Sabor y aroma	Estabilidad del sabor y del aroma ¹
Dióxido de carbono	Transparencia (cerveza nueva)
Transparencia (tras un maltrato)	Contaminantes bacterianos
Permanencia de levaduras ²	Levaduras salvajes

1 Aplicable solo a cervezas embotelladas o enlatadas

2 No aplicable a cervezas acondicionada en el envase o a la cerveza que se somete a una fermentación final en botella

WILDBRETT, Gernard ,2000.

3.5.11. Microorganismos que producen alteraciones en la planta cervecera.

Pueden clasificarse en cuatro grupos: bacterias gram-positivas, bacterias gram negativas, levaduras silvestres (es decir, no introducidas deliberadamente).

El crecimiento de bacterias es posible en la cerveza debido a un intervalo de pH normal de 4-5 y un buen contenido de nutrientes utilizables ⁽³³⁾. Se considera a continuación los organismos más significativos en términos de calidad de la cerveza ⁽⁵⁾.

Bacterias Gram- positivas.

Se conocen también con la denominación de bacterias acidolácticas y comprenden dos géneros, *Pediococcus* spp. Y *Lactobacillus* spp. Son responsables de las mayores pérdidas económicas y las más temidas en la planta productora de cerveza. De ellas, aquellas que son resistentes al pH y a los ácidos del lúpulo alteran la cerveza en los envases debido a la formación de sabores extraños (especialmente, ácidos láctico y diacetilo), turbidez rope (El rope es un material polimérico complejo que da ala cerveza una desagradable textura espesa y fibrosa) y algunas cepas pueden formar aminas biógenas.

Esta última se considera recientemente que contribuyen al efecto conocido como de la mañana del día siguiente de los consumidores entusiastas. Aunque anaeróbicas, son aerotolerantes y como tales pueden presentarse distribuidas por toda la fábrica de cerveza. En el cuadro 22, se indican las bacterias lácticas que impactan en la producción de cerveza.

Algunas especies de *Bacillus* son también Gram-positivas. A pesar de que no alteran la cerveza por sí mismos, son termófilos que se desarrollan a 55-77 ° C. Pueden producir grandes cantidades de ácido láctico tanto en el empastado como en el mosto dulce y además son un peligro potencial pues tienen capacidad para reducir el nitrato a nitrito ⁽⁵⁾.

Bacterias Gram –negativas.

Este grupo es generalmente indeseable a los efectos de los ácidos amargos del lúpulo. Las bacterias Gram- negativas se dividen en cuatro subgrupos: *Enterobacteriaceae*, bacterias ácido-acéticas, *Zymomonas* spp. Y anaerobios estrictos. Las *Enterobacteriaceae* o bacterias del mosto son esencialmente *Obesumbacterium proteus* y *Enterobacter agglomerans*. Se desarrollan en el mosto en los primeros estadios de la fermentación, reducen la velocidad de a fermentación, genera disulfuro

de dimetilo y son también reductoras del nitrato. Las bacterias ácido-lácticas (*Acetobacter spp.*, *Gluconobacter spp*) son aerobias y pueden ser problemáticas en la cerveza acondicionada en barriles y para los sistemas de dispensación. Proliferan rápidamente formando ácido acético y confiriendo la cerveza un sabor a vinagre y además pueden producir turbidez y rope.

Zymomonas spp., es una bacteria que históricamente ha llevado al cierre de fábricas de cerveza en el mundo cuando es persistente. No puede metabolizar la maltosa pero crece fácilmente en glucosa y fructuosa, componentes de los azúcares cebadores utilizados para la producción de ale en barriles. Su principal impacto en la cerveza contenida en barriles es la producción de acetaldehído y sulfuro de hidrógeno, una combinación que recuerda a las manzanas podridas. También producen turbidez.

Más recientemente, los anaerobios estrictos *Pectinatus* y *Megasphaera* han protagonizado incidentes de alteración de la cerveza en cierto número de industrias cerveceras en todo el mundo. Son intolerantes inclusive a niveles bajo en oxígeno y están presentes con muchísima frecuencia en la cerveza embotellada. Producen un conjunto de ácidos orgánicos (especialmente, ácido acético) y en el caso de sulfuro de hidrógeno. *Pectinatus*, es además, reconocido como el más prolifero inductor de turbidez de todas las bacterias de cervecería. Que ironía, la tendencia cada vez más estricta al control del oxígeno en los envases (packs) proporciona justamente el medio correcto para que estos contaminantes microbianos prosperen ⁽⁵⁾.

Cuadro. 22. Bacterias lácticas que alteran significativamente la cerveza.

Bacterias acidolácticas	Metabolismo *	Comentarios
<i>Lactobacillus</i> <i>L. brevis</i>	Heterofermentativo	Pueden convertir las pentosas Y maltosas en lactato
<i>L. cesei</i> <i>L. plantarum</i> <i>L. delbrueckii</i>	Homofermentativos Homofermentativos Homofermentativos	Termófilo
<i>Pediococcus</i> <i>P. damnosus</i>	Homofermentativo	Los pediococcus pueden continuar desarrollándose en las levaduras depositadas después de que cesa la fermentación.
<i>P. pentosaceus</i>	Homofermentativo	

*Los lácticos homofermentativos convierten una alta proporción de los azúcares presentes en lactato.

Los heterofermentativos lácticos también producen acetato, etanol y CO₂, además de lactato.
Baxter, E. Dense y Hughes, Paul S, 2004.

Levaduras salvajes.

Las levaduras *Saccharomyces* silvestres, ejemplificadas por *Saccharomyces cerevisiae* var. *diastaticus* altera la cerveza formando turbidez. Además tienden a atenuar la cerveza metabolizando los azúcares residuales y produciendo más alcohol y dióxido de carbono de tal modo que la cerveza final se salta las especificaciones para estos dos parámetros. También descarboxila el ácido ferúlico, generando el altamente característico 4- vinilguayacol. Las levaduras silvestres no (*Saccharomyces* (*Brettanomyces*, *Kloercka*, *Pichia*, *Candida* y *Hansenula*) producen un conjunto de sabores extraños, turbidez, superatenuación y afectan a la ruta fermentativa. *Brettanomyces* también forma ácidos orgánicos, en tanto que estas levaduras silvestres que se hallan por toda la fábrica, tienden a ser muy problemáticas en las cervezas acondicionadas en barril ⁽⁵⁾.

Hongos.

Los hongos son un problema raro a no ser que dispongan de oxígeno. Sin embargo, el material que no se ha limpiado bien y está contaminado con cerveza residual, puede servir de nutrientes a los hongos si hay presente aire y oxígeno. Los hongos también se pueden desarrollar en las botellas mal cerradas, creciendo en la interfase aire-cerveza. El uso de aire a presión para dispersar la cerveza puede ser causa de la presencia de hongos en el equipo utilizado para su dispensación; sin embargo, los hongos manifiestan su mayor impacto sobre la cebada y durante la producción de malta. El desarrollo de los hongos puede dar lugar a la producción de toxinas peligrosas como, las aflatoxinas y la acrotoxina A. el hongo filamentoso *Fusarium* se desarrolla sobre la cerveza y produce compuestos que son potentes promotores de borboteo ⁽⁵⁾.

Conclusiones.

La producción de cerveza es un proceso biotecnológico, probablemente el más antiguo del planeta, donde el hombre a lo largo de su evolución en función de sus conocimientos adquiridos ha puesto a su servicio la tecnología para transformarla en una industria de primera línea.

Pero sin embargo todavía en la actualidad no se conocen los fundamentos científicos de todos los fenómenos que en ella ocurren, por esta razón la producción de cerveza sigue siendo una mezcla entre dos conceptos, los científicos bien establecidos y los empíricos resultantes de comprobaciones prácticas, por lo tanto el cervecero debe de buscar el punto de equilibrio entre estos dos conceptos para obtener el mejor criterio en la toma de decisiones y en la resolución de problemas tecnológicos y científicos en la industria cervecera.

El conocer y entender los principales principios científicos y tecnológicos que encierra la cerveza nos pone en la antesala de explicar, de investigar, de desarrollar, de fabricar y de crear todo lo que tenga que ver con el mundo de la cerveza siendo la única limitante la falta de imaginación para llevarlo a cabo.

El cervecero debe ser un hombre de amplios conocimientos científicos debe de saber tanto de bioquímica, química, microbiología y biología de ciencias relacionadas con la energía y maquinarias, de disciplinas tecnológicas y debe saber integrarlas para conseguir el mejor producto.

Los problemas de contaminación microbiana en la industria cervecera se minimizan mediante un control continuo, la buena higiene, de limpieza y desinfección eficaz junto con una adecuada metodología de esterilización (pasterización, filtración estéril).

La transformación eficiente y rentable (económicamente) de una materia prima disponible a un producto deseado se debe gracias a la implementación de un proceso.

Anexo 1 Glosario.

α – Ácido: los principales constituyentes de las resinas (humulonas) de los conos de lúpulo: las α – ácidos se transforman en sustancias amargas (iso- α -ácidos) durante la cocción del mosto cervecero.

Adjuntos: cualquier fuente de sustancias fermentables que sea distinto de la cebada malteada y utilizado en la caldera de empastado o en la caldera de cocción. Puede ser de naturaleza sólida, por ejemplo harinas de cereales, o líquida, por ejemplo jarabes de glucosa.

Aireado: consiste en una interrupción del proceso de remojo o maceración que permite que la cebada absorba oxígeno a partir del aire y de este modo superar la sensibilidad al agua y asegurar una germinación homogénea.

Ale: originalmente era una bebida fermentada elaborada de la malta a la que no se le añadía lúpulo, hoy en día el término Ale se utiliza para definir cualquier tipo de cerveza producido a temperaturas entre 16 y 21 ° C (mas frecuentemente 18 ° C) utilizando una levadura de fermentación alta (*Saccharomyces cerevisiae*).

Aleurona: Capa gruesa de células vivas que rodea al endospermo amiláceo en los granos maduros de cebada.

Amilopectina: el segundo de los componentes principales del almidón de la cebada, la amilopectina es una molécula grande y muy ramificada constituida por moléculas de glucosa unidas mediante enlaces α 1-4 y α 1-6.

Amilasa: Uno de los componentes principales del almidón de la cebada. La amilasa consiste en una cadena lineal de moléculas de glucosa unidas por enlaces α 1-4.

Atenuación: la reducción de la densidad del mosto cervecero que tiene lugar durante la fermentación al transformarse los azúcares en alcohol.

Bagazo: residuo de la malta molida que queda tras el empastado. El bagazo está constituido principalmente por cascarillas y capas de salvado. Son relativamente ricas en proteína y se utilizan para la alimentación del ganado bovino.

Caldera de empastado: el recipiente en el que tiene lugar el empastado o braceado. También puede llamarse recipiente de transformación o conversión. En la fabricación tradicional de Ale, el mosto era separado del bagazo en la caldera de empastado. Sin embargo, en los sistemas de fabricación modernos, es mas frecuente transportar la papilla a un recipiente específico de filtración, la cuba filtro.

Cascarillas: las cáscaras protectoras más externas del grano de cebada, formadas a partir de las envueltas del fruto y la semilla.

Cerveza: en el Reino Unido, la definición legal de cerveza tiene fines fiscales recaudadores y se define como cualquier licor fabricado o vendido como cerveza. La definición técnica, que es más clara, describe a la cerveza como el licor fermentado producido principalmente a partir de cebada malteada pero que incluye otras fuentes de carbohidratos y a la que se añade lúpulo.

Cerveza verde: la cerveza recién producida una vez ha acabado la fermentación primaria y antes del acondicionamiento (maduración).

Cobre o Caldera: el recipiente en el cual se cuece el mosto cervecero para obtener los sabores amargo característicos. La denominación inglesa de cobre procede que tradicionalmente se fabrica en cobre, aunque hoy son de acero inoxidable. También se conoce como Kettle (denominación americana).

Cuba: término utilizado para definir cualquier recipiente grande utilizado en la fabricación de cerveza, por ejemplo, cuba de empastado o cuba filtro.

Cuba filtro: recipiente en el que el mosto cervecero se separa del bagazo mediante filtración a través del lecho de granos agotados. Generalmente es un recipiente de fondo plano equipado con rastrillo para desagregar el lecho.

Embrión: es la parte del grano de cebada que da lugar a una nueva planta.

Empastado o Braceado: proceso por el cual la malta molida se mezcla con agua caliente para extraer los compuestos del cereal, principalmente el almidón. Luego este almidón es transformado en azúcares fermentables por la acción de enzimas.

Endospermo: el resto de grano de cebada distinto del embrión. El endospermo consiste básicamente en un almacén de alimento para la nueva planta.

Filtrado: proceso por el cual el mosto dulce es separado del bagazo, dejándolo pasar a través de un lecho de granos agotados.

Floculación: la agregación de las células de levadura al final de la fermentación. También se utilizan para denominar a la agregación de proteínas precipitadas durante la cocción del mosto cervecero.

Germinación: el brote de la semilla de cebada en latencia para dar lugar a nuevas raíces y retoños. El primer signo visible es un punto de color crema o primera raíz que emerge del extremo del grano de cebada que corresponde al embrión.

Giberelinas: hormonas naturales de las plantas (fitohormonas) producidas por el embrión de la cebada como respuesta a su maceración con agua. Las giberelinas estimulan la producción de enzimas en el endospermo que hidrolizarán las reservas de alimento almacenado, haciéndolas accesibles para la nueva planta.

Gravedad Original (OG) o Peso específico original: es la gravedad del mosto cervecero previa a la fermentación. En general cuanto mayor sea la densidad, más cantidad de alcohol se produce, pero no existe una correlación absoluta ya que los mostos cerveceros pueden obtener proporciones variables de materiales no fermentables (como proteínas). Además, algunos tipos de cervezas retienen algunos azúcares que son potencialmente fermentables. Con frecuencia la OG ha sido la base del cálculo de los impuestos a abonar, pero hoy en día, se utiliza de modo general el contenido final de alcohol.

Hordeína: el principal componente de la proteína de la cebada. Relacionada próximamente con proteínas similares del trigo (gliadinas), centeno (secalinas) y maíz (zeínas).

Intercambiador de flujo paralelo: intercambiador de calor de placas utilizado para enfriar el mosto tras la cocción. También se utiliza para enfriar la cerveza antes del envasado.

Lager: cerveza de color pajizo pálido que se obtiene a partir de una malta sometida a un secado suave y fermentada por levaduras de fermentación baja (*Saccharomyces carlsbergensis*) a una baja temperatura (7 – 13 ° C) y dejada madurar durante varias semanas.

Levaduras: microorganismo unicelular que, en ausencia de oxígeno, utiliza la glucosa como sustrato respiratorio para formar etanol. Las cepas principales utilizadas en la fabricación de cerveza son *Saccharomyces carlsbergensis* (levadura de fermentación baja utilizada en la elaboración de Lager) y la levadura de fermentación alta utilizada en la fabricación de Ale, *Saccharomyces cerevisiae*. Cada una de las empresas que elaboran cervezas tienen sus propias cepas seleccionadas a través de incontables generaciones para conseguir aquellas propiedades que el cervecero considera deseables.

Lúpulo: planta trepadora perenne, *Humulus lupulus*, miembro de la familia Cannabinaceae. Los primeros registros de su uso para comunicar flavor a la cerveza precede de Egipto, 600 años a. C. la parte que tradicionalmente se ha utilizado en la fabricación de cerveza es el cono del lúpulo, que es la flor femenina adulta. En la fabricación moderna de cerveza, los conos de lúpulo son extraídos o molidos finamente y comprimidos para dar lugar a pellets de lúpulo que se conservan mejor y son más fáciles de transportar.

Malta cristal: aquella malta cuyo endospermo se ha transformado en una masa cristalina azucarada durante el secado y tostado. A la malta molida se le añade una parte de malta cristal para conferir color y flavor a cierto tipo de cervezas particularmente a las Ales británicas.

Malta molturada (Grist): término dado a una mezcla de cebada malteada molida groseramente y otros cereales crudos molturados y maltas de especialidad (y cebada) como la malta cristal o la malta tostada. Incluye adjuntos líquidos como los jarabes. El término Grist también puede aplicarse a la mezcla de lúpulo y pellets de lúpulo que se añade a la caldera.

Malta verde: malta germinada durante uno a cinco días, antes del secado y tostado y con un contenido de humedad de, al menos, 40 %.

Mosto cervecero: líquido dulce como un jarabe que se obtiene de la extracción e hidrólisis del almidón a partir de la cebada malteada durante el proceso de empastado. Tras la adición del lúpulo durante la cocción, el mosto dulce se transforma en mosto amargo.

Remojo o maceración: primera etapa del proceso de malteado. Consiste en preparar el grano de cebada con agua para que este pase de un contenido en humedad del 12% hasta uno del 45%. Generalmente consta de dos o más fases de inmersión separadas entre sí por aireación.

Secado y tostado: fase final del proceso de malteado en el que la malta verde se seca y se cura mediante calentamiento a través de una corriente de aire caliente. La temperatura final depende del tipo de malta que se desee obtener.

Tanque cilíndrico: tanque vertical de forma cilíndrica que tiene una base cónica en la cual sedimentan las levaduras tras la fermentación. La temperatura es controlada por camisas de refrigeración situadas en las paredes. Las capacidades varían entre 200 a 6000 hectolitros.

Tanque remolino o Tanque (Whirlpool): tipo de centrífuga utilizada para separar los turbios calientes del mosto durante el enfriado del mosto.

Trasiego: proceso de llenado de los barriles, toneles o tanques de almacenamiento con cerveza, tras el proceso de fermentación.

Turbios: proteínas coaguladas que se separan del mosto tras la cocción. También conocido como turbios calientes o < hot break >, el término inglés *trub* deriva de la palabra alemana que significa < break > o ruptura.

Turbios calientes: término dado al precipitado de proteínas que se forma en el mosto cocido cuando este se enfría. También denominados turbios.

Turbios fríos: el precipitado formado cuando el mosto cervecero se enfría a temperatura ambiente, constituido principalmente por proteínas.

Anexo 2. Estilos de Cerveza

Abadía

Cerveza belga de alta fermentación, bastante fuerte y densa, con segunda fermentación en botella. Una abadía puede ser rubia, ámbar o marrón, las más famosas son las cervezas trapenenses, es una cerveza regional que se produce en antiguos conventos de monjas y monjes o en cervecerías en el exterior con licencia.

Ale.

Alta de las islas Británicas, más antigua que los ingleses mismos. Posee una raíz común con la ealu de los celtas. La ale ha seguido a las tropas inglesas, de modo que volvemos encontrarla en Estados Unidos, Canadá, Australia. Es una cerveza de alta fermentación con un 3-11 % Alc/Vol y en muchas tonalidades, que se presenta como ámbar, clara u oscura según los casos en Gran Bretaña tiene un amplio espectro, una ale puede ser también una pale, un tanto cobriza, o una mild, poco fuerte y con poco lúpulo, o incluso una bitter, una stout o una barley wine o bien si tiene una segunda fermentación en barril o botella se denomina real ale.

Alt.

Nombre que se da en Alemania a las cervezas de alta fermentación, alt significa antiguo. Cerveza con 4.8 % Alc /Vol, aromática, servida a temperatura ambiente y color ámbar oscuro.

Baeley Wine.

Este término que significa vino de cebada, se emplea en Gran Bretaña únicamente a las ales más fuertes y más densas de todas.

Variante de una ale pesada y malteada de alta fermentación con más de 6 % Alc /Vol; a los entendidos les gusta tomarla de postre.

Bitter.

Tipo de ale que es él mas corriente en Inglaterra, el nombre amargo proviene de la impresión que causaban las primeras cervezas con lúpulo, por lo tanto es de sabor bastante amargo y pronunciado, tiene poco gas y son poco alcohólicas. Se consume sobre todo en los pubs. Color que va del ámbar a los tonos anaranjados.

Blanca.

Cerveza belga a base de trigo, candeal, que se aromatiza a menudo con especias. Sin filtrar, se distingue por su apariencia de turbia, es alta, pálida, afrutado y ácida. Ha comenzado a desaparecer, sumergida bajo la profusión de lagers.

Bock.

Cerveza fuerte y densa de baja fermentación, procedente de Einbeck y elaborada desde 1378. Sabor a malta y por lo menos 7 % Alc /Vol.

Nombre que se da en Alemania a una cerveza fuerte. Aparte de esto, la palabra bock designa simplemente a la jarra o vaso de un cuarto de litro.

Se vende como maibock, winterbock o festbock. En EEUU es aún mas fuerte (triple bock).

Especial.

Término administrativo usado en Francia para todas las cervezas que tienen más de 5 ° de alcohol, sea cual sea su estilo. En Bélgica se aplica a todas las cervezas que no sean las pils o las gruesas.

Guarda.

Este término especifica que la cerveza ha sido objeto de una conservación en bodega mas larga de lo que establece para las cervezas corrientes. Da nombre también a un estilo que es propio del territorio francés de Flandes.

Gueuze.

Modalidad de Lambic belga, que resulta vinosa por la utilización de levaduras salvajes. Hay de diferentes variedades afrutadas, añejas y jóvenes, envasada en botellas tipo champán.

Hell

Es la denominación general alemana para todas las lager, export o pils con un 4.6-5.6 % Alc/Vol, para diferenciarlas de las alt o la cerveza negra. Se aplica en Alemania a las cervezas pils corrientes y se hace referencia a su color pálido.

Kriek.

Lambic en la cual el fabricante ha hecho macerar cerezas durante varios meses. El éxito de estas cervezas a base de frutas ha acarreado la creación de cervezas a base de frambuesa (farmbozem), de grosella negra, de ciruela mirabel o incluso de plátano.

Icebeer.

Cerveza que elaborada mediante un procedimiento de congelación por el que se le absorbe el agua potenciándose así una cierta concentración de aromas. El procedimiento también se utiliza con bock.

Kölsch.

Cerveza de alta fermentación con un 4.8 % Alc/Vol y denominación de origen reservada a las fabricadas en Colonia (Alemania) y alrededores.

En las cervecerías las sirven camareros expertos en bandejas redondas con huecos del tamaño de los vasos de las cañas.

Lager.

Cerveza de baja fermentación, o sea, elaborada a baja temperatura, sin la fuerte lupulación de las pils, a menudo se considera helles. Cuando posee un mayor aroma a malta se denomina lager oscura. Cervera internacional muy estandarizada, mas frecuente la rubia, debe su nombre (lager significa almacén) a que podía almacenarse y conservarse bien.

Lambic.

Cerveza belga, producto de la fermentación de un mosto sembrado (2/3 de cebada, 1/3 de candeal), proceso según la tradición se realiza espontáneamente al aire ambiente, con una compleja flora de levaduras y bacilos ácidos. Entre uno y tres años después se obtiene una lambic joven o vieja. De la mezcla de ambas.

Märzen, Festbier

Cerveza de Marzo categoría Alemana que designa una munich más fuerte de baja fermentación con un 4.5 % Alc/ Vol que antiguamente se guardaba hasta el verano en almacenes de hielo naturales y en octubre se convertía en festbier (clara u oscura). Consumida en primavera o durante las fiestas de la cerveza.

Munich.

Bávvara, obviamente, muy malteada, baja, con una variedad dorada y otra oscura.

Cerveza de malta.

Cerveza de fermentación alta sin alcohol (máximo 0.5 % Alc/Vol), sin apenas lúpulo, suave y dulzona, castaño oscuro debido al color de la azúcar añadida.

Mild ale.

Cerveza británica casi siempre ale oscura. Con un 3 –3.8 % Alc/Vol es mas suave y mas barata que la dark ale o la porter.

Pilis, Pilsner.

La cerveza más popular, su fermentación baja se consigue por primera vez en 1842 en la ciudad checa de Pilsen. Desde entonces su fórmula se imita en todo el mundo: se trata de una cerveza clara con aroma de lúpulo, suave y fresca y de espuma fina.

Sinónimo prácticamente de Lager, actualmente se aplica a cualquier cerveza rubia de este tipo.

Porter.

Antepasada de la stout actual, de origen londinense, esta cerveza alta, densa y muy oscura, posee un 6 % Alc/Vol, cuando tiene solo un 4.3 % Alc/Vol es una stout ligera.

Poseía útiles cualidades reconstituyentes que le granjearon un tremendo éxito en el Norte de Europa. La última porter auténtica dejó de producirse en 1973. Las cervezas actuales llamadas porter no son en realidad sino bajas, oscuras y muy caramelizadas.

Rauchbier.

Se obtiene al tostar los granos de cebada sobre una hoguera de madera de haya, adquiriendo así (al igual que los whiskys) un característico sabor a humado. Especialidad de la región de Bamberg.

Reserva.

Una densa cerveza francesa que debe madurar en cubas de madera durante varios meses. Gustos malteados y lupulizados que dejan paso a sabores consistentes, un poco ásperos y mordientes. Cabe aclarar que de reserva algunas solo tienen el nombre, habiendo sido edulcoradas y adulteradas para dar la ilusión de afrutado.

Sin Alcohol.

Denominación que se aplica a toda cerveza que contenga menos de 1 % de alcohol en volumen. Una variedad de este tipo puede ser rubia, ámbar o marrón.

Stout.

Cerveza Británica completamente negra, elaborada con alta fermentación a base de maltas muy tostadas. El estilo irlandés es muy seco y denso, sin mucho grado de alcohol, mientras que el estilo Inglés es mucho más dulce y redondeado.

Temporada.

Designación belga que distingue a cervezas con frecuencia refermentadas, antaño preparadas en invierno durante la temporada baja del cervecero a fin de no dejar los toneles vacíos. Igual función que la marzenbier, bien que en este caso la temporada es una cerveza alta.

Trapense.

Cerveza fuerte de alta fermentación, se distingue de una abadía por su elaboración directamente controlada por los monjes cristercienses. Chimay, Orval, Rochefort, Westmalle y Westvleteren en Bélgica, y Koningshove en Schaapskooi, en Holanda, son las seis únicas Trapenses.

Bibliografía.

1. ADRIAN Jean, Régine Frangne. **La ciencia de los alimentos de la A a la Z**, Zaragoza, España, Acribia, 1990.
2. ALAIS C, G Linden. **Bioquímica de los Alimentos**, Barcelona, Masson, 1990, pp. 131.
3. BADUID DERGAL, Salvador. **Química de los Alimentos**, 3a. ed, México, Alambra, 1990, pp.17.
4. BANWART, George J. **Microbiología Básica de los alimentos**, Barcelona, Bellaterra, 1982, pp. 140.
5. BAXTER E Dense, Hughes Paul S. **Cerveza Calidad, higiene y características nutricionales**, Zaragoza, España, Acribia, 2004, pp. 1, 3,4, 7, 62-71, 99-101, 137,138.
6. BERGER, Christian. **El libro del amante de la cerveza**, Barcelona, José J, de Olañeta, 1988, pp. 11-48 50, 51,57, 62, 63, 65, 66, 69-80, 93-96.
7. BOARD, R G. **Introducción ala microbiología moderna de los alimentos**, Zaragoza, España, Acribia, 1988, pp. 161.
8. BOURGEOIS, C M, J P, Zarpen. **Microbiología Alimentaria, Vol. II, Zaragoza**, España, Acribia. 1995, pp. 81-86.
9. BRENNAM J G, J R Butters, N D Cowel. **Las operaciones de la ingeniería de los alimentos**, Zaragoza. España, Acribia, 1998, pp. 3, 8, 19, 20.
10. BRODERICK, Harold M. **The Practical Brewer**, A Manual for the brewing industry. 2a. ed, Madison, Wisconsin, editorial, 1977.
11. BU'LOCK john, Bjorn Kristiansen. **Biotecnología Básica**, Zaragoza, España, Acribia, 1991.
12. CHEFTEL Jean-Claude, Henri Cheffel, Pierre Besançon. **Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos**, Vol. II, Zaragoza, España, Acribia, 1977, pp. 203-204
13. DE ZANCHE, Cesare. **Secadores de cereales**, Madrid Mundi-Prensa, 1991, pp. 17.
14. DELOS, Gilbert. **El gran libro de las cervezas**, Barcelona, España, Editors S.A, 2002, pp. 19.
15. DENDY David A V, Dobraszczyk Bogdan J. **Cereales y productos derivados Química y tecnología**, Zaragoza, España, Acribia, 2004, pp. 410.
16. EARLE, R L. **Ingeniería de los alimentos (Las operaciones básicas del proceso de los alimentos)**, Zaragoza. España, Acribia, 1998.
17. FELDER Richard M, Rousseau Ronald W. **Principios elementales de procesos químicos**, Wilmington Delaware, Addison-Wesley iberoamericana, 1991, pp. 46
18. FELLOWS, Peter. **Tecnología del proceso de los alimentos: principios y prácticas**, Zaragoza. España, Acribia, 1994, pp. 210.
19. FENEMA, Owen R. **Química de los Alimentos**, Zaragoza. España, Acribia, 1995.
20. FERRAN LAMICH, José. **Cebada variedades cerveceras y cerveza**, Barcelona, Aedos, 1954 pp. 20, 153-155, 157, 160.
21. FISHER Carolyn, Thomas R Scout. **Flavores de los alimentos Biología y química**. Zaragoza, España, Acribia, 2000, pp. 54.
22. FIX, George. **Principles of Brewing Science**, 2a ed, Colorado (USA), Brewers Publications, 1999.
23. FORSYTHE S J, P R Hayes. **Higiene de los Alimentos, microbiología y HACCP**, 2a. ed, Zaragoza, España, Acribia, 2202, pp. 9-13.
24. FRAZIER W C, D C Westhoff. **Microbiología de los Alimentos**, 4a. ed, Zaragoza, España, Acribia, 1993, pp. 449.
25. GACESA Peter, John Hubble. **Tecnología de las enzimas**, Zaragoza, España, Acribia, 1990.

26. GARCIA GARIBAY Mariano, Rodolfo Quintero Ramírez, Agustín López-Munguía. **Biología Alimentaria**, México, Limusa, 1993, pp. 274.
27. GEANKOPLIS, Christie J. **Proceso de transporte y operaciones unitarias, 3ª reimpresión**. México, Continental, 1982, pp. 17, 584.
28. GILL N T, K C Vear. **Botánica Agrícola**, Zaragoza, España, Acribia, 1965. pp. 309-310.
29. HORNSEY, Ian Spencer. **Elaboración de cerveza Microbiología, bioquímica y tecnología**, Zaragoza, España, Acribia, 2003, pp. 16-20, 24-27, 29-42, 44,45, 47-51, 58-61, 64-68, 70-74, 85-86, 88-91, 93-98, 99-103, 106-112, 114-116, 118-119, 126-127, 129-132, 139-141, 159-164.
30. HOSENEY, R Carl. **Principios de Ciencia y tecnología de los cereales**, Zaragoza, España, Acribia, 1991, pp. 182, 184, 185.
31. HOUGH, J S. **Biología de la cerveza y de la malta**. Zaragoza, España, Acribia, 1990, pp. 23, 25-28, 40-43, 56-57, 67, 69-77, 87-89, 91,93,94, 107, 136, 148,150, 168, 170, 175,177.
32. JACKSON, M. **El Libro de la cerveza**, Barcelona, España, Editorial Blume, 1994.
33. JAGNOW Gerhard, David Wolfgang. **Biología Introducción con experimentos modelo**. Zaragoza, España, Acribia, 1991.
34. JIMENEZ GUTIERRZ, Arturo. **Diseño de procesos en Ingeniería Química**, España, Editorial Reverté, 2003, pp. 130, 131.
35. KENT, N L. **Tecnología de los cereales**, Zaragoza, España, Acribia, 1987, pp. 157.
36. LEE, Byong H. **Fundamentos de Biología de los Alimentos**. Zaragoza, España, Acribia, 2000, pp. 490.
37. LEHNINGER Albert L, David L Nelson, Michael M Cox. **Principios de Bioquímica**. Barcelona, Omega, 2001.
38. LINDSEY K, M.G.K. Jones. **Biología vegetal agrícola**, Zaragoza, España, Acribia, 1992.
39. LOMAS ESTEBAN, Maria del Carmen. **Introducción al cálculo de los procesos tecnológicos de los alimentos**, Zaragoza. España, Acribia, 2002.
40. LOPEZ BELLIDO, Luis. **Cultivos Herbáceos**, Vol. II, Madrid, Mundi-Prensa. 1991, pp. 274,275.
41. MADRID, A. **Los Aditivos en los Alimentos**. Madrid, A Madrid Vicente, 1992.
42. MADRID VICENTE, Antonio. **Nuevo Manual de Industrias Alimentarias**. Madrid, Mundi-Prensa 1994, pp. 288-292, 294, 304.
43. MCFARLANE, I. **La automatización de la fabricación de los alimentos y Bebidas**. Madrid, España, A Madrid Vicente, 1997, pp. 139.
44. MOLINA CANO, José Luis. **La cebada**. Madrid, Mundi-Prensa. 1989, pp. 19,21, 205, 214, 215.
45. MULTON, Jean-Louis. **Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias**, Zaragoza, España, Acribia, 2000, pp. 732.
46. PADILLA, L. **Apuntes sobre cervecería**, México, D.F. 2000.
47. PINI, Udo. **Cerveza**. Italia. Feierabend Verlag, 2003.
48. PRIMO, Yúfera Eduardo. **Química de los Alimentos**. Madrid, Síntesis, 1997, pp. 125
49. RABIN Dan, Carl Forget. **The Dictionary of beer and brewing**.Colorado (USA), Brewers Publication, 1998.
50. RODRIGUEZ HURTADO, Encarnación. **Industrias de la Alimentación**. Madrid, Bellisco, 1990, pp. 160.
51. SCADE, John. **Cereales**. Zaragoza, España, Acribia, 1981.
52. SERNA SALDIVAR, Sergio R Othon. **Química, almacenamiento e industrialización de los cereales**, México, D.F, A.G.T, 1996, pp. 124-126, 308,314.

53. TREYBAL, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**, 2a. ed, México, McGraw-Hil, 1985, pp. 723.
54. TSCHEUSCHNER, Horst-Dieter. **Fundamentos de tecnología de los alimentos**, Zaragoza. España, Acribia, 2002, pp. 490.
55. VACLAVIK, Vickie A. **Fundamentos de ciencia de los alimentos**, Zaragoza. España, Acribia, 2002, pp. 295.
56. VALIENTE BARDERAS, Antonio. **Problemas de Balance de Materia y energía en la industria alimentaria**, México, Limusa, 1986, pp. 18, 20.
57. VARNAM Alan H, Jane P Sutherland. **Bebidas Tecnología, química y Microbiología**. Zaragoza, España, Acribia, 1997, pp. 342-394.
58. VOGEL, Wolfgang. **Elaboración casera de cerveza**, Zaragoza, España, Acribia, 2002, pp. 23, 24, 34.
59. WARD, Owen P. **Biología de la fermentación Principios, procesos y productos**. Zaragoza, España, Acribia, 1991, pp. 140.
60. WELCH, Claude A, et al. **Ciencias biológicas de las moléculas del hombre**, México, Continental. 1972, pp. 214.
61. WILDBRETT, Gernard. **Limpieza y desinfección en la Industria alimentaria**. Zaragoza, España, Acribia, 2000, pp. 159, 164.
62. WILSON Carl L, Loomis Walter E. **Botánica**. México, Uteca, 1968, pp. 490, 491.
63. WISEMAN, Alan. **Manual de Biología de las enzimas**. Zaragoza, España, Acribia, 1991, pp. 336.