

# INFLUENCIA ENZIMÁTICA QUE PRODUCE EL PH Y TEMPERATURA EN LA MACERACIÓN DE CERVEZAS

Mauro Joaquín Martín

Director de Tesina: Lic. Gladys Ranzuglia

Revisión Formal: Mgter. Elena Caliguli

Tipo de Trabajo: Tesina de Licenciatura


Lugar y Fecha: Rodeo del Medio, 16 de diciembre de 2021

## Defensa Oral

Libro N°:..... Folio N°:..... Acta N°:.....

Fecha: 16-12-21 Calificación: *aprobado con mención* -

Tribunal Calificador:

  
Mgter. Ing. ELENA ESTER CALIGULI  
SECRETARIA ACADÉMICA  
FACULTAD DON BOSCO DE ENOLOGÍA  
Y CIENCIAS DE LA ALIMENTACIÓN  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUYO

  
Ing. RAUL ROBERTO TORNELLO  
DECANO  
FACULTAD DON BOSCO DE ENOLOGÍA  
Y CIENCIAS DE LA ALIMENTACIÓN  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUYO

## **Introducción**

Considerada en muchas culturas como una bebida social, la cerveza es un ejemplo como otras tantas bebidas alcohólicas que han sido industrializadas a partir de la producción en forma artesanal, el hecho histórico que comenzó a esta industrialización fue en un principio la revolución industrial.

Considerada como esencial en la dieta de las personas junto al pan, la producción de cebada creció con la modernización de la sociedad y esto también llevó a la industrialización y producción masiva de cada uno de sus componentes, caracterizándose su variabilidad en cada rincón del mundo a partir de su principal componente, el "Agua".

Este desarrollo de años para obtener la estandarización de un producto viene dado a partir de la evolución en los conocimientos de la microbiología, donde se pudieron identificar levaduras específicas en un principio, para luego tipificar cada una de estas, obteniendo temperaturas aptas de fermentación de cada una de las cepas, grados de atenuación, niveles de sedimentación, entre otras características que se

desarrollaron de este gran descubrimiento, diferenciando dos tipos principales como levaduras Ales y Lagers<sup>1</sup>.

Hoy en día, la evolución de conocimientos se encuentra también enfocado con respecto a la producción de lúpulo, esta flor plantada en todo el mundo bajo latitudes específicas (35° a 55° de latitud en ambos hemisferios), las cuales favorecen su crecimiento, se caracteriza por otorgarle amargor y aroma a la cerveza, ha generado poder centrar numerosos estudios botánicos, originando cruces de diferentes especies de *Humulus lupulus* y así producir características organolépticas de importante calidad y sobre todo variabilidad, obteniéndose desde notas terrosas (pino), frutales (mango, maracuyá, pomelo, durazno, etc.) o florales.

El auge de la industria cervecera ha generado un importante impacto económico en la sociedad mundial, otorgando gran cantidad de puestos de trabajo, además también el sustento económico para muchas familias, apasionantes modelos de vida y sobre todo poder crear innumerables tipos de productos para la diversidad de consumidores que hoy en día existen.

De forma Industrial o Artesanal se desarrollan cervezas de una enorme calidad, estabilidad química y competitividad económica, en el día de hoy existen una gran variedad de materias primas para poder variar los perfiles de color, olor, sabor, apariencia. Esta iniciativa por parte de la industria ha generado una motivación para poder desarrollar e investigar cada día más las técnicas de elaboración que se utilizan y mejorar la calidad del producto final.

---

<sup>1</sup> Cepas de levaduras utilizadas en la fermentación de cervezas artesanales.

Dentro de cada cerveza existe una diferenciación química, siendo cada una de estas única y en donde los diferentes componentes juegan un rol preponderante en su carácter: agua, cebada malteada, lúpulo y levadura cervecera se conjugan en cada cocción.

En esta investigación se llevará a cabo un repaso por todo el proceso de elaboración de la cerveza, enfocándonos principalmente en cómo se realiza la maceración, proceso considerado como una mezcla de los granos de cebada partidos con agua caliente, controlando variables como son el pH y la Temperatura, se favorece el desarrollo de dos enzimas en particular, las cuales son encargadas de transformar nuestros azúcares complejos como es el almidón de cadena larga, en otros más chicos fermentables o no fermentables por las levaduras, la maximización en el funcionamiento de estas enzimas nos permite un mejor aprovechamiento de los rendimientos de los granos de cebada.

## **Capítulo I: Características de la cebada cervecera**

### **1.1 Composición morfológica y química**

La cebada se denomina científicamente bajo el nombre botánico A. *Hordeum Vulgare*, pertenece a la familia de las gramíneas y su especie se determina dependiendo del número de espigas que contiene.

Existen dos tipos diferentes de cebada, la cervecera (B. *Hordeum Distichon*) y la forrajera (C. *Hordeum hexastichon*), ésta segunda se utiliza principalmente para la alimentación de animales.

La cebada cervecera no presenta grandes requerimientos edafoclimáticos, pero es conveniente que se desarrolle en climas frescos y secos. Para germinar se necesita una temperatura de 6°C. Florece a los 16°C y madura a los 20°C. Es una planta que puede tolerar bajas temperaturas, siendo por esta característica que su cultivo se considera de invierno. Están las cebadas que se siembran en otoño o invierno en climas templados, y las que en climas menos benignos se siembran en primavera.

Para la siembra se prefieren tierras fértiles, puede tener buenas producciones también en suelos poco profundos y pedregosos, es muy importante que no falte el agua al comienzo de su desarrollo. Este es el cereal de mayor tolerancia a la salinidad, sin que sea afectado su rendimiento.

El tamaño del grano depende principalmente de la influencia del ambiente, puede alcanzar una longitud máxima de 9.5mm y una mínima de 6.0mm; de ancho mide entre 1.5mm y 4.0mm.

El grano de cebada fue elegido entre sus variables como trigo, maíz y sorgo por su capacidad de generar cervezas con un aroma y sabor especial, es por ello, que cuando hablamos de cebada malteada tenemos que tener en cuenta que ésta una vez malteada debe tener ciertas características, como su color, nivel de proteínas, enzimas existentes y la variedad de cebada utilizada.

### **Figura 1.1**

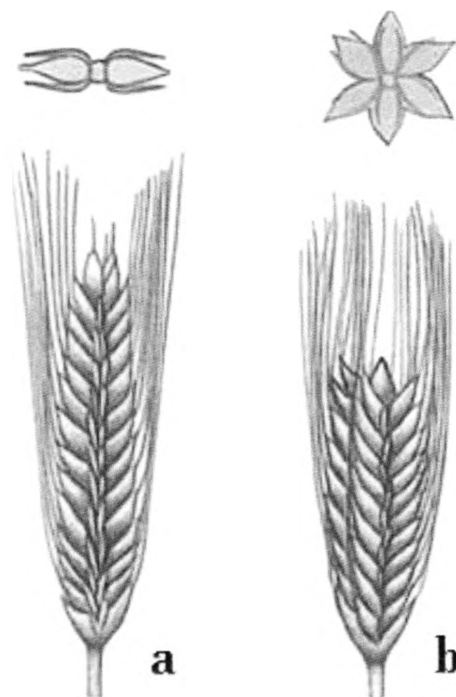
*Planta de cebada*



Existe una gran variedad de cebadas que difieren en su aspecto y en su fisiología. Los tipos de cebada utilizados en maltería son dos: de 6 hileras y de 2 hileras. La cebada de 2 hileras (a) como se observa en la ilustración 1.2 tiene un grano más grueso, presentando una cáscara mucho más delgada debido a que su espiga genera mucho más espacio para que se desarrollen sus granos, en la de 6 hileras (b) los granos son más pequeños.

### Figura 1.2

Cebada 2 Hileras (a) / Cebada 6 Hileras (b)



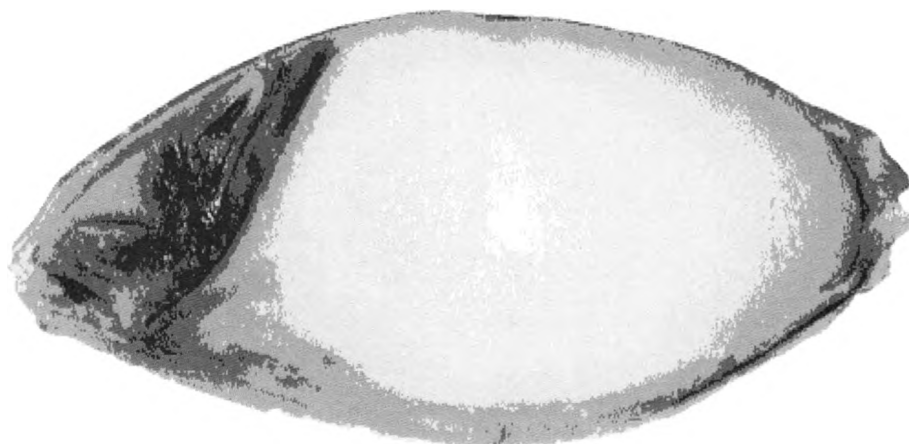
Generalmente la cebada de 2 hileras produce maltas con una mayor cantidad de extracto, menor contenidos de proteínas y enzimas, condiciones que favorecen y la hacen más codiciada entre los dos tipos para la elaboración de cerveza.

El grano de cebada se encuentra dividido en tres distintas partes:

- Embrión o germen: crece formando en primer lugar la raíz y luego da origen a una nueva planta.
- Endospermo: contiene almidón insoluble, que es la reserva de alimento que utilizará el germen del grano en su desarrollo. El embrión produce las enzimas que se trasladan al endospermo rompiendo las paredes del almidón y cambiando la condición de éste volviéndolo soluble. Este cambio se llama modificación. El proceso debe ser controlado y si no se interrumpe a tiempo la conversión enzimática continuará y el almidón soluble será convertido en azúcares, que serán consumidos por la planta en su crecimiento inicial. Esto se debe evitar, para prevenir la pérdida de producción de extracto en el grano.
- Cáscara: formada por dos mitades tiene la función de proteger el embrión como al endospermo, cubriendo la superficie del grano.

### **Figura 1.3**

*Corte transversal del grano de cebada*



Éste grano de cebada viable, es capaz de lograr una germinación completa. Aquí, el corte transversal muestra el desarrollo de su embrión teñido de rojo.

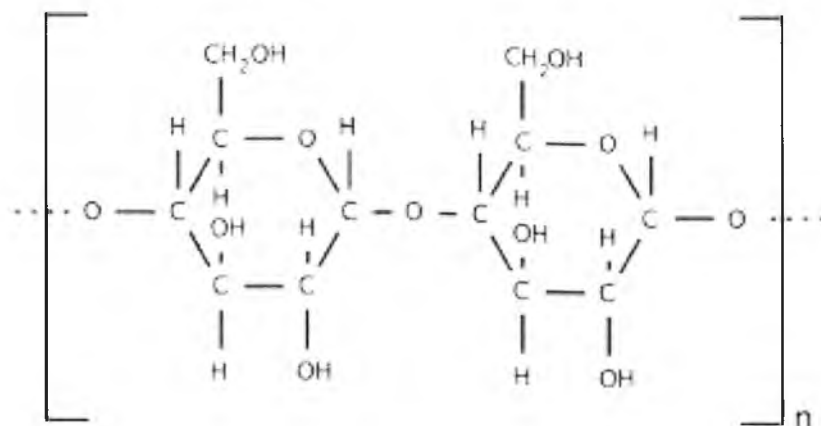
La cebada constituye una parte fundamental de la alimentación humana, ya que sus aplicaciones son variadas. Tiene la capacidad de proveer las sustancias indispensables para nuestra vida como son los carbohidratos, las grasas, las vitaminas y los minerales.

Las diferentes partes de los granos tienen composición química y bioquímica diferente. El pericarpio es rico en minerales y carbohidratos.

Estos granos son considerados como alimentos ricos en almidón puesto que contienen más del 60%, totalmente digestible en el sistema humano. Los polímeros de almidón, conformados por unidades de glucosa, hacen que los cereales se consideren como los principales aportadores de calorías o energía para los seres vivos.

### Figura 1.4

#### *Molécula de almidón*



El segundo grupo de compuestos más abundantes en el grano son las proteínas localizadas en sus distintas partes anatómicas. Casi todos los cereales contienen de 8 a 16% de proteína.

El endospermo contiene básicamente almidón y proteínas; mientras que el embrión está conformado por grasas, proteínas y vitaminas. La composición nutricional de los cereales, varía de acuerdo a los diferentes factores como la variedad, el estado de sanidad y el manejo previo que haya tenido el grano. La sustancia nutritiva que se encuentra en la mayor cantidad en los cereales es el almidón, componente básico de la parte más grande del grano que es el endospermo.

A continuación presentamos la composición química aproximada de los distintos cereales. La avena, el arroz y la cebada son caracterizados por su alto contenido en fibra, esto se debe a que son granos recubiertos (poseen glumas). En proporción contienen menos almidón que los cereales desnudos, el maíz, sorgo, centeno y trigo contienen un alto porcentaje de almidón (alrededor de un 75%) y un contenido proteico que fluctúa del 8 al 14%. Los cereales con más cantidad de aceite son el mijo perla, el maíz y el sorgo ya que poseen un germen mayor que los otros cereales.

**Tabla 1.1***Composición química de los cereales*

Cereal	Humedad (%)	Proteína (%)	CHOS (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)
Trigo	12.5	12.0	68.0	1.8	2.2	1.7
Maíz	13.0	9.9	69.2	4.4	2.2	1.3
Cabada	14.5	10.0	66.5	1.5	4.5	2.6
Arroz	11.4	8.3	64.7	1.8	8.8	5.0
Avena	13.5	10.3	58.2	4.8	10.3	3.1
Centeno	10.0	12.4	71.1	1.3	2.3	2.0
Sorgo	11.0	11.0	73.3	3.3	1.7	1.7

Aproximadamente el 80% del grano de cebada se encuentra compuesto por carbohidratos. Únicamente del 3% al 5% de estos carbohidratos son estructurales,

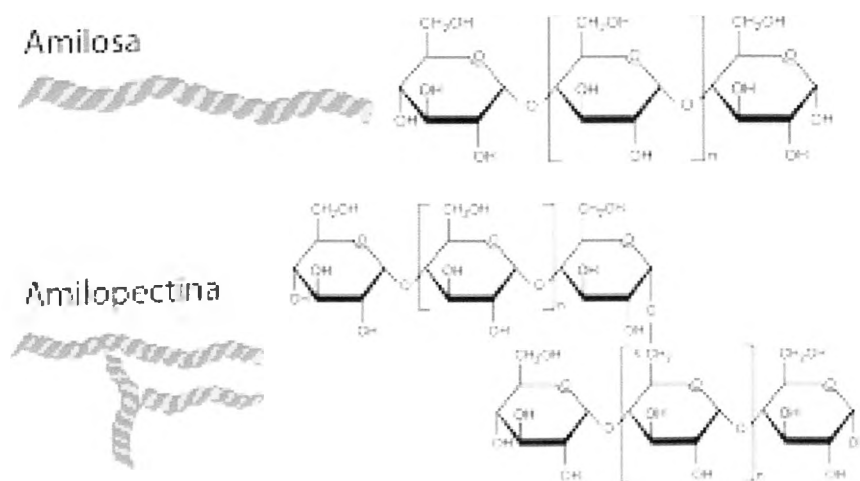
conformando la fracción fibrosa. El resto se encuentra como material de reserva constituido principalmente por el almidón.

El almidón se almacena en gránulos dentro de las células del endospermo. Las moléculas de almidón son polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos alfa 1-4 y 1-6. El almidón está formado por moléculas de amilosa y amilopectina. Las cuales se caracterizan por ser insolubles en agua fría. Cuando se calienta con agua, la absorbe, se hincha y revienta.

El almidón, en la mayoría de los cereales, contiene aproximadamente 75% de amilopectina y 25% de amilosa.

### Figura 1.5

#### *Estructura de amilosa y amilopectina*

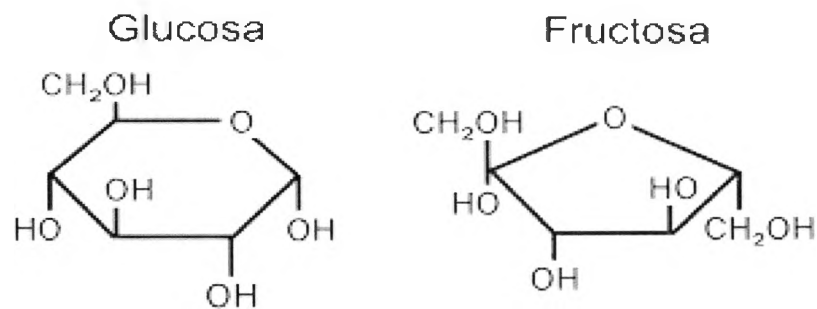


Se tienen pequeñas cantidades (aproximadamente 2%) de monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos. La mayoría de estos azúcares solubles se localizan en el germen.

La fructosa, la glucosa y la sacarosa (fructosa-glucosa) son los principales carbohidratos solubles. La cantidad de azúcares sencillos aumenta considerablemente cuando el grano es sometido a procesos de malteado o germinado dado a la hidrólisis del almidón.

### Figura 1.6

*Carbohidratos solubles comunes en el grano de cebada*



La fibra dietética se clasifica en soluble e insoluble. La composición y naturaleza que presenta cada una de estas es distinta y ejerce diferentes efectos en la digestión y el metabolismo. La fracción insoluble está formada básicamente por celulosa y hemicelulosa. Estas entidades químicas se localizan principalmente en la envoltura del grano.

La fibra dietética soluble se conforma por B-glucanos y pentosanos. Estos polisacáridos se encuentran principalmente en las paredes celulares. Los pentosanos tienen estructura similar a la hemicelulosa y se conforman por pentosas como la arabinosa y la xilosa. Los B-glucanos y pentosanos tienen la propiedad de ligar agua, por lo que se les denomina comúnmente gomas.

La cantidad de proteína difiere notablemente en los distintos cereales e inclusive dentro del mismo cereal de unas cosechas a otras. Esto es debido a la fuerte interacción entre el genotipo y las condiciones ambientales que prevalecen durante el desarrollo y la maduración del grano. Los compuestos proteicos del grano se localizan en todos sus tejidos, pero el germen y la capa de aleurona concentran la mayor cantidad de compuestos nitrogenados.

Las proteínas se clasifican de acuerdo con su solubilidad en hidrosolubles llamadas albúminas y en soluciones iónicas débiles llamadas globulinas, que se encuentran principalmente en el germen. Las albúminas y las globulinas se conforman por enzimas, nucleoproteínas y glucoproteínas, sustancias biológicamente activas que juegan un papel crítico durante la germinación.

Para cerrar las características de la cebada tenemos que considerar como importante fuente de minerales y vitaminas. En general, el pericarpio, el germen y la capa de aleurona son ricos en estos constituyentes. Los minerales más comúnmente encontrados son: potasio, fósforo, cobre, hierro, zinc, calcio y magnesio.

## **Capítulo II: Malteado**

Es muy probable que el malteado, como parte del proceso de elaboración de la cerveza, sea el primer uso de la biotecnología por el hombre. No se puede datar con precisión el inicio pero es probable que el primer proceso descubrimiento seguramente fue de forma accidental, o en un principio haya sido la fermentación del grano crudo. Como podemos ver, el uso del proceso natural de cambios dentro del grano, que es la base del malteado, tiene una historia muy larga, pero sólo en estos últimos cincuenta años los técnicos tuvieron el completo control de este complejo proceso. Esto ocurrió en primer lugar con la selección y desarrollo de cebadas más adecuadas para producir la malta, en segundo lugar con el conocimiento de los cambios físicos y químicos que ocurren durante el proceso y luego con el desarrollo de técnicas para su control más eficaz.

El primer paso en la elaboración de cerveza es el malteado y el propósito del mismo, es la germinación controlada de un cereal, el cual no solo puede ser cebada, sino también sorgo, trigo o maíz. El proceso continúa con la interrupción de esta germinación y finaliza con el secado del grano por medio del calor.

Durante la producción de malta son muchos los parámetros que deben ser controlados por el responsable del proceso.

- La calidad de la cebada que llega a la planta y propiedades fisicoquímicas del grano.
- Tiempos de remojo, germinación, secado y tostado, temperaturas y humedad.

Realizando diferentes variaciones de estos parámetros se logran las llamadas maltas especiales, necesarias para la elaboración de los distintos tipos de cervezas, impartiendo color y sabor característico además de cuerpo, estructura, estabilidad en la espuma, entre otras cualidades.

La calidad final se evalúa mediante una serie de métodos analíticos entre los cuales se destacan:

1. viabilidad de germinación,
2. contenido de humedad,
3. pérdidas por malteado,
4. contenido proteico ( $N_2$  en el grano),
5. extracto de malta,
6. poder diastásico y
7. contenido de Beta-glucanos.

En cuanto a la cebada se busca que germine fácilmente y que sea uniforme, es decir, que todos sus granos sean de igual tamaño. Si estos son desparejos se humedecerán a ritmos distintos y la germinación no será pareja. También se busca que el cereal no haya germinado antes de la recolección y que en más del 98% de los granos se observaron tras el remojo la emergencia de la raíz.

El técnico requiere además, un contenido bajo en proteínas, entre el 9 y el 11.5% y que la cebada una vez malteada se comporte adecuadamente en el proceso de fabricación de cerveza. Para que esto suceda se debe tener una cantidad importante de enzimas de manera que la extracción no produzca problemas y debe ser pobre en ciertas gomas (betaglucanos) para que el mosto se separe fácilmente del grano agotado.

La conversión de la cebada en malta requiere un mínimo de dos semanas y se somete a este proceso de malteado después de 6 a 8 semanas de cosechado el grano.

Los pasos generales en el proceso de malteo son tres: *remojo*, *germinación* y *secado*. A continuación se resume todo el proceso en forma general:

- **Recolección:** se realiza en los campos por cosechadoras mecánicas autopropulsadas utilizadas para diferentes cereales. El punto de cosecha para las cebadas cerveceras está dado cuando la humedad relativa es menor al 12%. Luego se realiza el transporte desde el campo a la maltería.
- **Recepción:** es un punto de muestreo y análisis para asegurar la calidad de la materia prima. Se tiene en cuenta parámetros como el calibre, % de humedad y % de proteínas para asegurar una calidad comercial de la misma.
- **Limpieza:** se produce la remoción de materiales no deseados como polvo, paja, semillas extrañas, piedras y granos pequeños. Dependiendo del material a separar es la operación unitaria que se aplica. En primer lugar

separamos por cribado los materiales gruesos, luego por aireación separamos el polvo y magnéticamente cada metal que puede encontrarse en el lote recibido.

- Almacenamiento primario: equipara la necesidad de recibir materia prima en un corto período de tiempo con la de abastecer el proceso a largo plazo. Mantiene el grano en un ambiente fresco, seco y ventilado para prevenir degradación por parte de bacterias, hongos y pestes. La materia prima se ubica sobre el suelo en capas muy delgadas, el espesor de esta capa se encuentra determinado por el porcentaje de humedad que presente el grano, siendo más delgada la capa cuanto más bajo es este valor. En caso que la materia prima sea guardada en silos se produce bajo condiciones controladas de temperatura y de humedad, produciendo una aireación permanentemente sobre los granos.
- Limpieza secundaria: se eliminan las semillas extrañas, malezas y granos partidos que atravesaron la limpieza anterior. Esta operación se realiza mediante un separador cilíndrico rotatorio de pared alveolada.
- Clasificación: se separa en tres fracciones, los cereales de las dos fracciones de mayor tamaño se destinan al malteado. Esta operación es realizada por clasificadores cilíndricos, la primera fracción comprende un tamaño mayor a 2,5mm, la segunda fracción comprende de 2,5mm a 2,2mm y la tercera fracción los menores a 2,2mm.

- Remojo: se produce la limpieza del grano, también se hidratan y airean los mismos provocando la germinación por activación del embrión e inicio de síntesis de ácido giberélico.
- Germinación: permite el crecimiento del embrión en condiciones controladas de humedad y temperatura lo que provoca el desarrollo de enzimas para romper las paredes celulares del endospermo. En primer lugar se produce una completa limpieza mediante el suministro de agua y oxígeno, la humedad aumenta de un 12-14% al 42-46%, buscando en maltas claras valores de 42% - 44%. El tiempo de esta operación viene determinada por la capacidad que posee el grano de llegar a los valores óptimos de humedad, los factores que influyen en esta velocidad es la temperatura (suele ser de 12°C aunque en muchos casos es mayor sumando aireación) y el tamaño del grano.

Los procesos que conducen a la germinación comienzan cuando aumenta la humedad del grano. Estos procesos consumen oxígeno, agotándose y siendo administrado en el agua. Esta operación de renovar el agua también produce la limpieza del grano; este proceso doble de aireación y limpieza condiciona la construcción de los depósitos en que se lleva a cabo la germinación.

Los más modernos son de hierro cilíndricos con fondo cónico, inyectándose aire por la parte inferior, facilitando y provocando un suave agitado del grano.

En las antiguas salas de germinación la capa no suele superar un metro y se basa en grandes galpones donde ubican los granos.

El tiempo más generalizado que dura la germinación es de 3 días.

- Secado y Desbrotado: se reduce el contenido de humedad de la malta para detener la germinación, retener actividad enzimática y permitir almacenamiento y transporte. Remueve sabores indeseables, desarrolla color y sabores característicos y favoreciendo las condiciones para su posterior conservación, la raicilla se seca y se produce su remoción a través del frotamiento que se produce entre los granos y por la inyección de aire comprimido. Las maltas claras no alcanzan temperaturas mayores a los 80-85°C y en las maltas oscuras la desecación es más lenta y se produce un golpe de fuego llegando a temperaturas de 95-105°C.
- Almacenamiento: se mantiene el contenido de humedad y protege la calidad previamente al despacho. Una vez malteado los granos se puede almacenar y comercializar a las cervecerías mediante bolsas de 25kg o a granel almacenándolo en silos.

### **Capítulo III: Factores que influyen en el rendimiento del macerado**

Todas las fases del proceso de elaboración de cerveza son igual de importantes, pero si hay uno que por su complejidad y variabilidad es clave, es el macerado. Cuanto más control del equipo y de la teoría cervecera el técnico tenga, comprenderá que en la etapa de macerado hay un gran campo donde investigar y un punto de mejora fundamental.

Si conocemos lo que ocurre dentro del macerador<sup>2</sup> y lo entendemos, aunque sea de manera superficial, podemos tener más campo de juego a la hora de elaborar y diseñar nuestras cervezas.

Dado que la cerveza también es una bebida alcohólica fermentada y que si aplastamos la cebada no sale ningún jugo (al contrario que con las uvas por ejemplo), tenemos que añadirlo a un medio líquido para poder obtener los azúcares. Sin embargo, en esta infusión entran en juego muchos factores que van a influir en el resultado, a favor o en contra. Desde la composición propia del agua, de la propia

---

<sup>2</sup> Recipiente donde se coloca agua a una temperatura deseada, con granos de cebada para realizar el proceso de maceración.

malta, de las temperaturas, del ratio agua/malta y del propio tiempo en el que ocurre todo esto, entre otras cosas, vamos a conseguir un mosto de uno u otro tipo.

De manera simplista, podemos decir que dentro de la malta nos encontramos con una gran cantidad de almidón por un lado, y con cierto contenido de diferentes enzimas, por el otro. Gracias a nuestra intervención, hidratando la malta con agua caliente, vamos a conseguir activar esas enzimas, las cuales su función es descomponer el almidón en azúcares más simples (cadenas más cortas de azúcares), que finalmente, podrán servir como alimento de las levaduras durante la fermentación. Esta “conversión” solo ocurrirá mediante un proceso llevado a cabo por enzimas que de manera natural se encuentran en la malta.

Empecemos por resaltar un hecho muy importante: en los tiempos que corren, las malterías han mejorado su conocimiento de los procesos y las técnicas actuales permiten producir maltas muy efectivas a la hora de hacer un macerado. A estas maltas se les conoce como “maltas modificadas”, y facilitan mucho la labor del técnico.

A modo de curiosidad, podemos decir que en el pasado se hacían varios escalones a bajas temperaturas 35°C, 45°C, 55°C; para activar enzimas desramificadoras y proteínas que beneficiarán los procesos que permitirían obtener azúcares fermentables para nuestras cervezas. En la actualidad esto no es necesario gracias a la efectividad del proceso de malteado.

Las enzimas que actúan en ese rango bajo de temperaturas se conocen como proteasas, y centran su actividad en las proteínas del mosto.

Durante el macerado van a reaccionar dos enzimas concretas, que en realidad van a transformar casi todo el proceso: las alfa-amilasas y la beta-amilasas. A partir de este momento centraremos nuestra atención en conocer cómo reaccionan estas enzimas en nuestro macerador.

La enzima alfa-amilasa trabaja más cómoda en rangos de temperatura más altos que la enzima beta-amilasa, y convierte el almidón en dextrinas. Estas dextrinas son cadenas largas de azúcares que pueden ser no digeribles por la levadura.

A modo de ejemplo un alto contenido de dextrinas proviene de un mosto macerado en un rango de temperatura alto, cercano a los 70 °C y que va resultar en una cerveza con un dulzor residual, compuestos complejos de sabor derivados de estos azúcares.

La enzima beta-amilasa trabaja mejor en un rango de temperatura más bajo que las alfa-amilasas, y transforma partes del almidón y de las dextrinas que ha fabricado el alfa-amilasa en azúcares sencillos, como la maltosa, fácilmente asimilable por la levadura. Es favorecida por empastes ligeros. Se desactiva alrededor de los 70 °C. En rangos generales, cuánto más baja sea la temperatura del macerado, más fermentable será el mosto y la cerveza resultante, más seca.

Si queremos jugar con el cuerpo de las cervezas, es decir azúcares residuales, o densidades finales más altas, o con sabores más complejos provenientes de la malta, tendremos que favorecer el trabajo de la alfa-amilasa y dificultar el de la beta-amilasa. Veremos, además, que esto no es tan fácil hoy en día por las maltas modernas y la alternativa.

Como veremos muy pronto, hay cuatro factores que podemos modificar para ajustar nuestro macerado. Un factor es el tiempo de macerado, otro, el rango de temperatura, el tercero sería el pH, y el cuarto, la proporción agua/grano del empaste.

Aunque las condiciones no sean del todo óptimas para una enzima, no quiere decir que la enzima no siga trabajando. Seguirán actuando, pero de manera más lenta, por lo que la enzima que tenga las condiciones más favorables será la que actúe de manera notable.

Hemos hablado tanto de almidones como de dextrinas, pero no hemos explicado, al menos de forma orientativa, lo que son. A forma sencilla podemos decir que el almidón no es otra cosa que un montón de azúcares, sencillos y no tan sencillos, unidos entre sí. El almidón de la malta se encuentra en dos formas una de ellas es la amilosa (un 25%) y la otra, la amilopectina (el otro 75%).

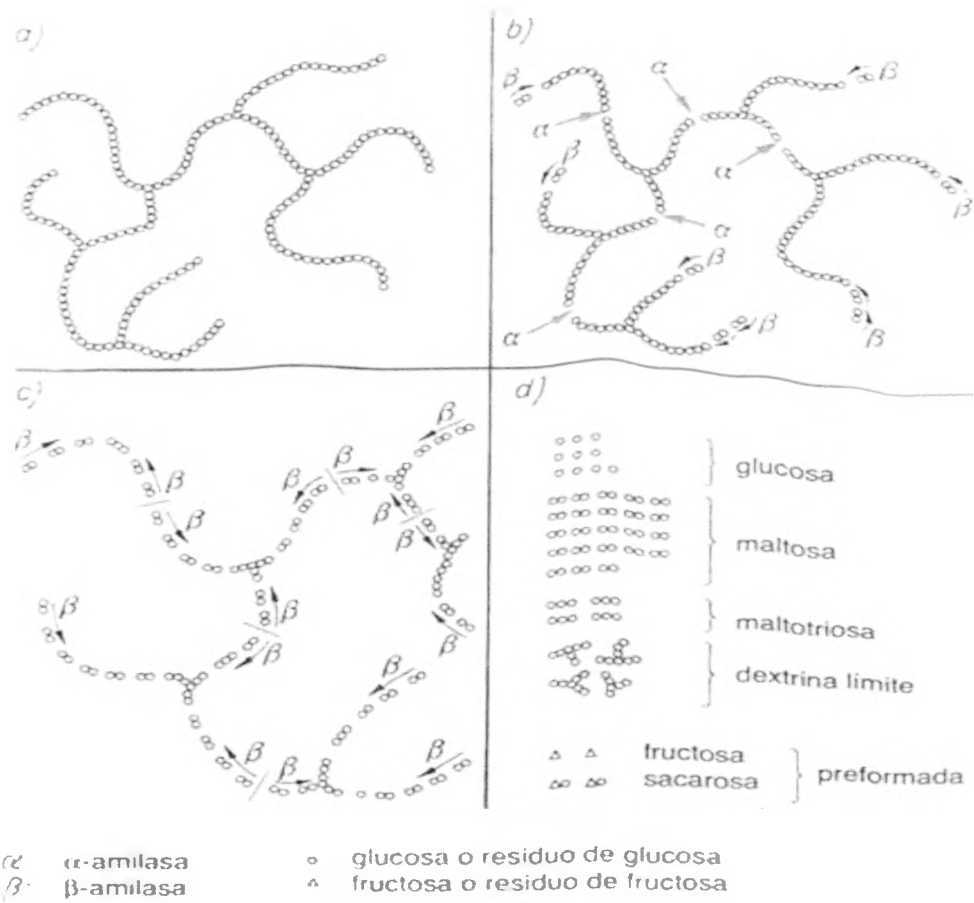
La amilosa son cadenas largas de glucosa no ramificadas, mientras que las amilopectinas son más complejas, puesto que las cadenas de glucosa sí están

ramificadas. La beta-amilasa y las alfa-amilasas van a atacar a cada uno de los almidones de manera diferente, pero el resultado serán cadenas más cortas de azúcares.

La enzima alfa-amilasa va a romper el almidón en cadenas más cortas de azúcares, de los cuales muchos serán fermentables, pero también va a crear dextrinas, que no lo son tanto. En cambio, la beta-amilasa, va a actuar en los finales de las cadenas de azúcares, rompiéndolas en cadenas muy cortas, por ejemplo en dos azúcares, o sea, disacáridos, como la maltosa.

**Figura 3.1**

Ramificaciones de alfa y beta amilasas.



Nota: tomado de Morrison y Boyd quinta edición química orgánica (p120), por Editorial Pearson Eddison

Así, al final del todo tendremos un mosto lleno de diferentes azúcares:

- monosacáridos como la glucosa,

- disacáridos, es decir de dos azúcares, por ejemplo dos glucosas juntas, conocido como maltosa,
- trisacáridos tres glucosas juntas, conocidas como maltotriosa
- polisacáridos como las dextrinas, que son cadenas de azúcares más largas,

Estas cadenas de dextrinas son menos digeribles por la levadura, por lo que no van a fermentar bien y una parte se van a quedar en el mosto, añadiendo complejidad y cuerpo a la cerveza.

Por tanto, el macerado se trata de ajustar las proporciones de azúcares fermentables y dextrinas, y conseguir la cerveza que nos proponíamos: con más o menos cuerpo, más dulce o más seca.

La malta guarda en su interior las enzimas necesarias para transformar los almidones que también vienen con la malta. Sin embargo, conviene matizar este punto para un total entendimiento del proceso. Es necesario un cierto equilibrio/proporción entre almidones y enzimas, para lograr un macerado óptimo.

### **3.1 Poder diastásico o “el poder enzimático”**

Es un concepto importante a tener en cuenta en nuestros macerados, se considera así al potencial que tiene el grano para convertirse por sí mismo en azúcares fermentables, ya que rara vez tendremos problemas por déficit de enzimas, pero existe

la posibilidad de que incluyamos un porcentaje elevado de grano sin contenido enzimático y tengamos el problema inverso: muchos almidones y pocas enzimas que los trabajen. La recomendación más extendida es no bajar la malta base (Pale o Pilsen) por debajo del 70%, y si lo hacemos, recordemos que otras maltas como tienen menos enzimas, y que van teniendo aún menos cuanto más oscuras son, ya que el propio proceso de fabricación aniquila las enzimas.

A la hora de dimensionarlo, se usa el índice de Windisch-Kolbach (índice WK) que mide de la cantidad de maltosa que se puede obtener a partir de una cantidad determinada de malta en unas condiciones óptimas. Se suele aceptar que un índice inferior a 90 da lugar a conversiones pobres o nulas lo que requieren macerados extremadamente largos y no son por lo tanto aceptables. Índices superiores 90 dan lugar conversiones viables en tiempos cortos. Cuanto más alto sea el índice, mejor.

Por poner ejemplos, las maltas bases pueden tener entre un 100°L – 140°L de poderío enzimático a veces más, o a veces menos, la Munich ronda los 70°L, pero si está muy tostada, bajaría a los 20°L - 30°L. La malta chocolate, la Black y las Crystal, tienen un 0°L, o lo que es lo mismo: no contiene enzimas.

### **3.2 Fases del macerado.**

Este proceso enzimático, que conocemos como sacarificación, debido a que es la palabra técnica que define al proceso de romper azúcares complejos como el almidón, en sus compuestos más simples. Sin embargo, en realidad es el paso final del macerado.

Las fases del macerado, teniendo en cuenta el proceso químico, y no el mecánico de gestionar y mover el mosto, descritas de forma simple, serían las siguientes:

Molienda: cuando tenemos la malta en su bolsa, los almidones no están disponibles, están dentro del grano, y hay que facilitar su extracción. Lo primero que hacemos es romper el grano, a través de la molienda, pero a la vez vamos a permitir que el almidón del interior del grano quede expuesto.

Remojado: realizamos la mezcla de malta molida y agua caliente, para ajustarlo a una temperatura o rango de temperatura concreto, y aprovechamos (una vez la mezcla se haya asentado), para medir el pH y ajustarlo si es necesario.

Gelatinización: el almidón empieza a absorber agua, por lo que se va hinchando. Esta hinchazón provocada por el agua empieza a alterar la estructura del almidón, volviéndose inestable. Si la temperatura del agua es la adecuada, el almidón acabará descomponiéndose en partes más pequeñas.

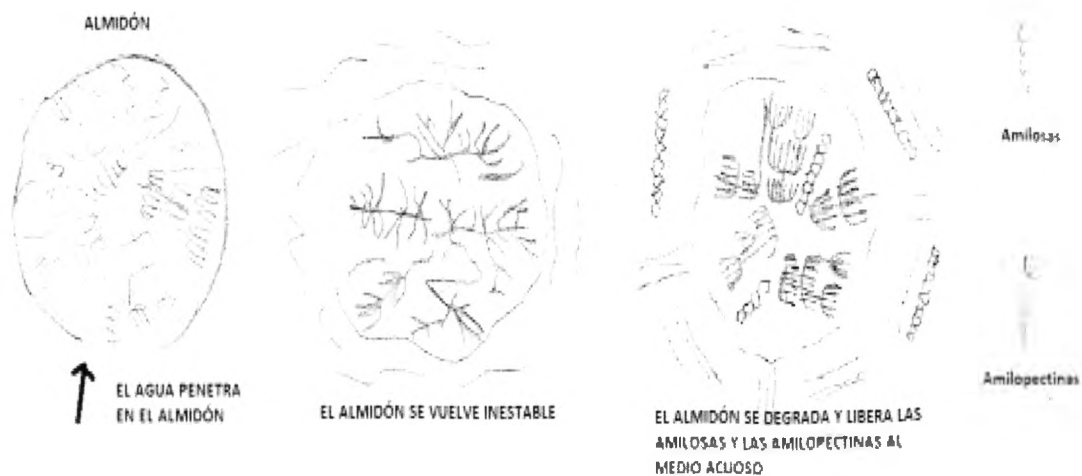
Este punto, cuando el almidón se degrada en partes más pequeñas es lo que conoce como temperatura de gelatinización. Al fenómeno químico de que una sustancia orgánica como el almidón se descomponga por acción del agua se le denomina hidrólisis.

Licuefacción: el almidón ha sido gelatinizado, las partes más pequeñas, que son las amilosa y las amilopectina, llega el momento de la licuefacción, esta es la fase del macerado donde las enzimas empiezan a partir las cadenas largas de azúcares en otras más pequeñas.

Sacarificación: el mosto es un caldo lleno de dextrinas, es decir, cadenas largas de azúcares de incluso 10 o 20 moléculas de glucosa, que no van a poder ser metabolizadas por la levadura, así que necesitamos un nuevo paso de degradación, para conseguir moléculas de 1 o 2 azúcares (glucosa o maltosa). Y el proceso en sí por el cual una enzima rompe una cadena compleja de azúcares en otra más pequeña de monosacáridos o disacáridos, se denomina "sacarificación". Esta justo la parte que los técnicos debemos controlar, para hacer el mosto a nuestra medida.

### Figura 3.2

#### Proceso de transformación del almidón



Antes nos referíamos al macerado y en cómo podemos variar los factores que se pueden ajustar para conseguir diferentes resultados. Pues estos factores, en concreto, son cuatro y los estaremos detallando en los puntos siguientes.

### **3.3 Influencias enzimáticas del Tiempo**

Dando el suficiente tiempo de trabajo a las enzimas, conseguiremos un macerado más eficaz, con rendimientos más altos, pero un macerado de cinco horas es bastante costoso de mantener (en energía, que siempre es dinero). Así que hay que conseguir la conversión del almidón en azúcares simples en un tiempo razonable.

Evidentemente, cuanto más tiempo se emplee en el rango de temperatura óptimo para cada una de las enzimas, va a tener una potenciación de la actividad. Y esta actividad, un efecto concreto en el mosto resultante, que no siempre va a ser positivo. Por ejemplo, en rangos bajos de temperatura, un breve tiempo de actividad de las proteasas va a favorecer la claridad de la cerveza. Sin embargo, si el tiempo de actividad es prolongado, incidirá directamente en un problema en la generación de la espuma de servido. Por estas cosas es preferible no gestionar el macerado al azar, sin saber qué consecuencias tiene cada decisión.

Por lo tanto, un mayor tiempo dedicado al rango favorable de la alfa-amilasa va a provocar una mayor proliferación de las dextrinas, y más tiempo en rangos bajos de temperatura, favorecerá la actuación de la beta-amilasa y el mosto será más

fermentable, por lo que conseguiremos una mayor atenuación al fermentar, más alcohol y una cerveza más seca.

A pesar de lo dicho, se dice que, a partir de los 60 minutos de macerado, la actividad enzimática se empieza a ralentizar, lo que no quiere decir que se detenga. Está comprobado que macerados más duraderos tienen un mejor rendimiento. Procesos muy eficientes completan la conversión en media hora, aunque lo usual y más extendido es apuntar a una hora para asegurarse una conversión completa. Como esto depende mucho de los equipos, del volumen del lote y de procesos auxiliares (como remover el empaste o recircular el mosto), no hay una guía fija que seguir y una vez más hay que recurrir a la experiencia.

### **3.3.1 Prueba de Iodo**

Como hemos indicado en este apartado dedicado al tiempo, el método para saber si la sacarificación se ha completado, se llama "prueba de yodo", por la sencilla razón de que se emplea yodo para que éste reaccione con el mosto. Esta es una reacción colorimétrica muy sencilla

La técnica consiste en tomar muestras del macerado, evitando los restos de grano, porque estos contendrán almidón de forma irremediable y nos darán datos erróneos. Cuando el yodo entre en contacto con el mosto, cambiará de color. Si cambia a colores amarillentos, ambarinos o tonos marrones, la conversión del almidón ha sido completa y puedes dar el macerado por acabado.

Si el yodo se vuelve azul oscuro, púrpura o negro, todavía hay almidones que convertir, y la mejor idea es dejar a las enzimas trabajar durante un cuarto de hora más antes de repetir el test. Comprueba, además, la temperatura, no sea que esté en un rango equivocado y las enzimas no estén trabajando.

### **3.4 Influencia enzimática de la Temperatura**

Ya sabemos de forma más que intuitiva que la temperatura del macerado incidirá de forma directa en la actividad de nuestras enzimas.

La temperatura del macerado es muy probable que no sea única en todo el volumen. Es probable que la superficie tenga una temperatura, el fondo otra y diferentes puntos intermedios.

Incluso, si trabajamos un sistema de recirculación continúa para evitar diferentes zonas de temperatura, es probable que en realidad lo que terminemos consiguiendo es que la temperatura fluctúe ciertos Celsius de manera cíclica.

En cualquier caso, una temperatura demasiado alta, destruirá las enzimas o las dejará inactivas, y una temperatura demasiado baja, no conseguirá activarlas, al menos por completo. Si bien el rango del “escalón de sacarificación” normalmente va de 65 °C a 71 °C, ya va a depender del estilo de cerveza concretar qué temperatura o diferentes temperaturas usar.

A continuación podremos observar por medio de un cuadro los valores propuestos por cada uno de los autores anteriormente citados.

**Tabla 3.1**

*Temperaturas óptimas para enzimas amilasas*

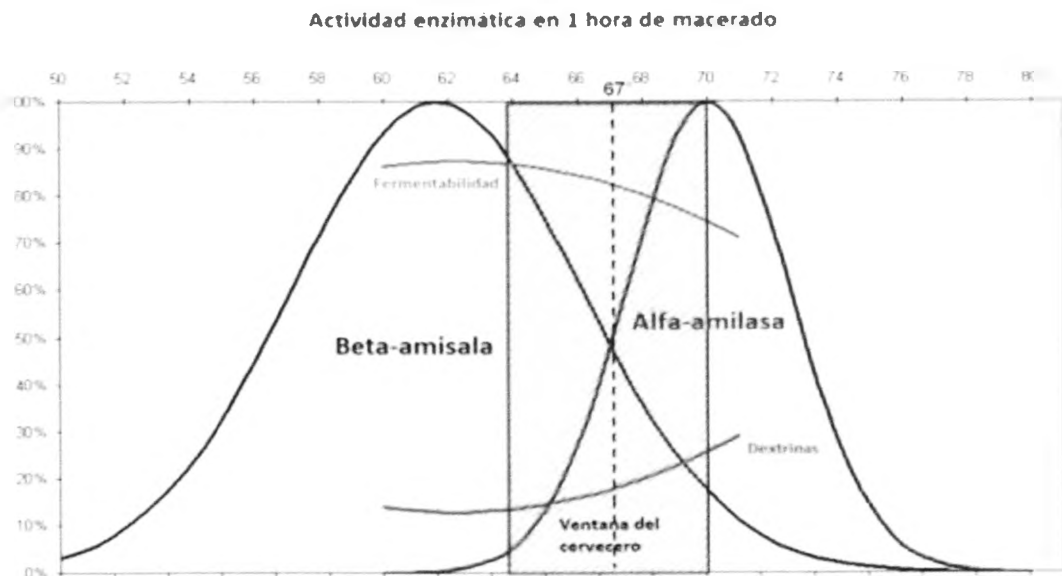
RESUMEN DE RANGOS DE TEMPERATURA OPTIMOS DE TRABAJO PARA ENZIMAS AMILASAS SEGÚN DIFERENTES AUTORES.		
Autor	Alfa amilasas	Beta amilasas
Randy Mosher	65,5 - 71	60 - 65,5
John Palmer	67,7 - 72,2	55 - 65,5
Brad Smith	68 - 75	54 - 65
Dave Green	66 - 71	54 - 66
Lewis y Young	65 - 75	55 - 60
Ludwig Narziss	72 - 75	60 - 65

Nota: variaciones de temperatura que proponen diferentes bibliografías de forma comparativa. Tomado de *How to Brew* (p.65), por Jonh Palmer, 2017, editorial Brewers Publications.

Mirando el cuadro resumen, tenemos suficiente información y contrastes para trabajar, lo mejor es la experimentación y la experiencia que cada técnico tenga con su equipo, más adelante expondré la experiencia propia que mejor resultados obtuve.

**Figura 3.3.**

*Actividad enzimática en el macerado*



Nota: Tomado de *How to Brew* (p.65), por Jonh Palmer, 2017, editorial Brewers Publications.

En la práctica, para conseguir una temperatura concreta, hay que llenar el macerador con el volumen de agua que queremos y luego añadir el grano al agua. Como el agua va a perder algunos grados de temperatura, primero al entrar en contacto con el macerador, y luego, al enfriarse un poco más por el contacto con los granos, es importante calcular la temperatura inicial del agua, previendo que bajará al punto que se quiera cuando la mezcla se complete y la temperatura se homogenice.

En cuanto a qué temperatura elegir macerar, o bien, si elegir varias temperaturas durante un mismo macerado, a más de un técnico se le ha ocurrido el siguiente planteamiento: primero macerar a una temperatura alta, activando las alfa-amilasas, entonces tendremos un supuesto mosto lleno dextrinas. Si en ese punto, bajamos la temperatura, activaremos la beta-amilasa y todos esos azúcares serán atacados, siendo el resultado un mosto altamente fermentable. Pero lo que sucede no es así, ya que las altas temperaturas que favorecen la alfa-amilasa desnaturalizarán a la beta-amilasa, perdiendo su función biológica, convirtiéndose en enzimas que no harán nada para que el mosto sea realmente fermentable.

### **3.5 Influencia enzimática del pH**

Al igual que hemos visto con las temperaturas, existe otros rangos a tener muy en cuenta a la hora de buscar en nuestro macerado, como lo son los rangos de pH. Lo que hay que tener claro es que nuestras enzimas favoritas van a trabajar bien dependiendo si el pH es el indicado o no.

De nada servirá trabajar en el rango de temperatura adecuado, si luego el pH del macerado no está acorde con lo que necesita la enzima concreta, ya que la conversión de los almidones será más costoso y más lento de que suceda.

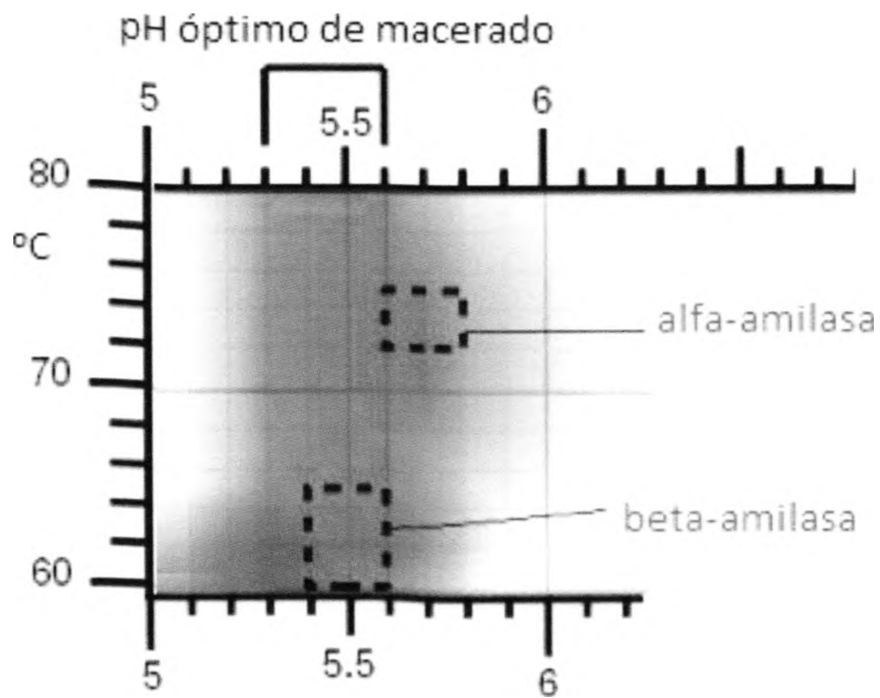
Habitualmente, se suele recomendar un rango de pH para el macerado de entre 5,2 y 5,6 o incluso se acota a 5,3 – 5,4.

Según el gráfico se sabe que la beta amilasa es favorecida por un pH de 5,4 – 5,5 y que a la alfa amilasa le favorece más un 5,6 – 5,8. Pero si observamos bien dicho gráfico, la intensidad del color verde nos proporciona información extra: la enzima trabaja más activa en los colores más intensos, pero vemos que el rango de pH se estira a otros colores más tenues, donde podemos acomodarnos con un pH para todo el macerado.

Con esta información podemos favorecer el trabajo de la alfa amilasa o de la beta amilasa a conveniencia, según el estilo de cerveza que vayamos a hacer.

### Figura 3.4

*Rangos de pH óptimo del macerado*



Nota: Tomado de *How to Brew* (p.65), por Jonh Palmer, 2017, editorial Brewers Publications.

Aparte de lo observado, un pH de 5,2 a 5,4 durante el macerado conviene para cervezas claras, mientras que las oscuras se favorecen de un rango más alto, 5,6 – 5,8.

### **3.5.1 Ajuste del pH de macerado**

Los métodos para ajustar el pH son variados, aunque casi siempre se recurre a la adición de algún ácido como fosfórico, cítrico o láctico.

No obstante, como regla general, podemos decir que las cervezas oscuras suelen necesitar menos ajuste que las cervezas claras, ya que las maltas tostadas van a producir el efecto colateral de bajar el pH.

### **3.6 Influencia enzimática del empaste o relación litros de agua / kilos de grano.**

Llamamos empaste a la relación agua/grano de la mezcla que realizamos en el macerador. Muchas veces se tiene poco en cuenta, pero es necesario saber que empastes más espesos (de 1,7 a 2,6 litros de agua por cada kilo de grano), provocará que las enzimas tengan más movilidad, y actúen más rápido. Sin embargo, tienen una vida más corta. En general, los empastes más espesos son más fermentables.

Empastes más ligeros o aguados (más de 3 litros de agua por cada kilo de grano), provocará que la actividad de las enzimas sea más lenta, por lo que el mosto resultante será menos fermentable, aunque si se alarga el tiempo, podemos compensar ese punto.

### **3.7 Temperatura final y Lavado del Grano.**

Cuando damos el macerado por terminado, el primer paso es subir la temperatura del mismo, habitualmente por encima de los 70 °C y realizar un

recirculado del mosto por un tiempo que el técnico prefiera, esta acción producirá que el mosto obtenido se homogenice la temperatura y al pasar por la cama de granos va a filtrar lentamente de restos de harinas provenientes de la molienda de las maltas usadas.

El paso final del macerado se suele conocer como "lavado", donde hacemos correr el mosto a través de la cama de grano con la gracia de arrastrar todos los azúcares posibles. Y luego debemos producir un agregado de agua de lavado a temperatura de 75 a 80 °C que terminara de arrastrar los azucares hacia la cocción

Si subimos la temperatura observamos que las enzimas quedan inactivas, fijando la proporción azúcares fermentables y no fermentables que hemos estado trabajando en todo el macerado.

## **Capítulo IV: Maceración**

Todos los procesos en la elaboración de una cerveza son importantes y todos aportan a la calidad de la misma. La maceración es quizás la que más cuidados requiere de nosotros porque es en ella donde empieza a tomar forma nuestra cerveza y todo lo que nos interesa, sabor, color, cuerpo y espuma dependerá en gran medida de lo que aquí hagamos.

Durante el proceso de maceración, se obtiene lo que llamamos "mosto", una solución dulce formada, entre otras cosas, por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros elementos, disueltos en agua.

La maceración consiste básicamente en someter una mezcla de agua y granos a un descanso de temperatura, que deberán ser sostenidos durante un tiempo específico. Podemos decir que, en la maceración, son las enzimas las que cargan con casi todo el trabajo. Una enzima es una proteína catalizadora (catalizador biológico) que tiene la función de acelerar una reacción química energéticamente posible, logrando acortar un proceso que se produciría, de todos modos, sin su presencia pero muchísimo más lento.

En nuestro caso, por ejemplo, el almidón disuelto en el mosto se convertiría de todas formas en azúcares más simples aún sin la acción de las enzimas, pero esta degradación llevaría un tiempo demasiado prolongado para que resulte útil en la práctica cervecera. Las enzimas, tienen la capacidad de mantener sus características funcionales y estructurales originales una vez finalizada la reacción química en la que participaron.

Las enzimas que se activan o se generan durante el malteado se encargarán luego de la acidificación del mosto, de la degradación de proteínas y fundamentalmente de la conversión del almidón en azúcares más simples para que puedan ser procesados luego por las levaduras.

#### **4.1 Maltas comúnmente utilizadas**

##### **4.1.1 Pilsen**

Es la malta más suave de todas, y le da a la cerveza un sabor que oscila entre lo dulce y granulado. Se puede utilizar en muchos otros tipos de cerveza.

##### **4.1.2 Pale**

Se parece mucho a la Pilsen, pero la diferencia entre ambas radica en el tiempo de horneado, lo que le da a las cervezas un sabor muy cercano al del pan. Típicamente se usa en las cervezas tipo ale.

### **4.1.3 Vienna**

Es todavía más oscura que la Pale, y se utiliza para hacer cervezas amber, tales como la Bock o la Oktoberfest.

### **4.1.4 Munich**

Es el doble de oscura que la Vienna, y a pesar de que no lo parece por su tonalidad ámbar, se utiliza en cervezas con un sabor un poco más pesado que la Pilsen, Pale o Vienna.

### **4.1.5 Malta Negra**

El sabor de esta malta es amargo, e inclusive quemado, pero justo por eso se utiliza en cervezas para paladares más especializados. Por lo general se utiliza para añadir profundidad y complejidad a la cerveza, ya que ayuda a balancear los sabores dulces propios de cualquier cerveza.

## **4.2 Proceso**

### **4.2.1 Degradación de beta-glucanos**

Los beta-glucanos son largas cadenas formadas por moléculas de glucosa unidas entre sí por enlaces glucosídicos tipo beta. Al igual que el almidón son polisacáridos pero de estructura diferente y se presentan normalmente en las paredes del endospermo de algunos cereales sin maltear tales como centeno, avena, cebada y trigo. En el caso de la cebada malteada representan entre un 4% a un 7% del peso del grano. Una correcta degradación de estos polisacáridos debe realizarse siempre

durante el malteado porque cualquier defecto o insuficiencia de la misma obliga a que se corrija durante la cocción y esto sólo se hará de forma incompleta, pudiendo hacer que sus efectos influyan negativamente hasta la finalización del proceso.

Los glucanos son responsables de la formación de geles que aumentarán la viscosidad del empaste y dificultarán la filtración del mosto y de la cerveza final. Además tienen participación, en muchos casos, en la turbidez de la cerveza.

Se aconseja detenerse en esta etapa sólo si se utilizan maltas pobremente modificadas o si se incorpora al empaste una cantidad muy grande de cereal sin maltear o en copos (mayor al 25%). Para degradar los betaglucanos será necesario fomentar la acción de las enzimas beta glucanasas.

#### **4.2.2 Degradación de Proteínas**

Las proteínas son moléculas formadas por largas cadenas de aminoácidos unidos linealmente entre sí por medio de enlaces llamados peptídicos. En el malteado es donde se debería llevar a cabo mayormente la degradación de las proteínas de alto peso molecular. Estas proteínas grandes se convierten en compuestos menores, como aminoácidos y oligopéptidos, gracias a la acción de las enzimas proteolíticas tradicionalmente conocidas como proteasas.

Dentro de este grupo de enzimas la proteinasa y la peptidasa son las más importantes por ser responsables de la formación de proteínas y compuestos de bajo

peso molecular favorables para el desarrollo de las levaduras y para la retención de la espuma y la sensación de cuerpo en la cerveza terminada.

Con la degradación de proteínas se busca, entre otras cosas, producir nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) que en proporciones adecuadas, contribuyen al buen desarrollo de las levaduras impidiendo así fermentaciones lentas o inactivas.

También se intenta proporcionar estabilidad coloidal a baja temperatura, evitando la turbiedad como consecuencia del enfriamiento.

Las enzimas nombradas a continuación trabajan a temperaturas entre 45°C - 55°C y un pH de 4.2 a 5.3.

La Proteinasa tiene la función de separar las proteínas más grandes cortando los enlaces peptídico al azar en el interior de una cadena larga, por lo que se la conoce también como endopeptidasa. Las largas cadenas se transforman en cadenas medianas llamadas peptonas y polipéptidos. La acción de esta enzima favorece la retención de la espuma, separa las proteínas más grandes favoreciendo la espuma y otorga mayor estabilidad coloidal a la cerveza.

La Peptidasa o exopeptidasa, en cambio, accionan desde los extremos de las cadenas y trabajan eficazmente sobre las peptonas y los polipéptidos, produciendo estructuras aún más pequeñas llamados péptidos y aminoácidos. Esta enzima provee al mosto de aminoácidos, nutrientes esenciales para las levaduras.

Si se usan maltas altamente modificadas no hay beneficios en la realización de este descanso y hasta puede ser perjudicial produciendo cervezas con poco cuerpo y espuma. Este paso debería hacerse únicamente si la modificación de la malta es pobre o bien si se usan granos sin maltear y la proporción de los mismos es superior al 25%.

Hay que tener en cuenta que una degradación excesiva siempre será perjudicial, puesto que al prolongarse este proceso comienza la destrucción de las enzimas (proteínas) encargadas de la sacarificación y de las proteínas necesarias para lograr una correcta percepción del cuerpo en la cerveza y una buena estabilidad de su espuma. La duración de esta etapa dependerá del grado de modificación de la malta pero se aconseja que nunca exceda los 20 min.

#### **4.3 Fases del macerado**

Este “proceso enzimático”, que conocemos como “sacarificación”, debido a que es la palabra técnica que define al proceso de romper azúcares complejos (como el almidón) en sus compuestos más simples. Sin embargo, en realidad es el paso final del macerado.

Las fases del macerado, teniendo en cuenta el proceso químico, y no el mecánico de gestionar y mover el mosto, descritas de forma simple, serían las siguientes:

### **4.3.1 Molienda**

Cuando tenemos la malta en su bolsa, los almidones no están disponibles, están dentro del grano, y hay que facilitar su extracción. Lo primero que hacemos es romper el grano, a través de la molienda, pero a la vez vamos a permitir que el almidón del interior del grano quede expuesto.

### **4.3.2 Remojado**

Realizamos la mezcla de malta molida y agua caliente, para ajustarlo a una temperatura o rango de temperatura concreto, y aprovechamos para medir el pH y ajustarlo si es necesario.

### **4.3.3 Gelatinización**

El almidón empieza a absorber agua, por lo que se va hinchando. Esta hinchazón provocada por el agua empieza a alterar la estructura del almidón, volviéndose inestable. Si la temperatura del agua es la adecuada, el almidón acabará descomponiéndose en partes más pequeñas.

Este punto, cuando el almidón se degrada en partes más pequeñas es lo que conoce como "temperatura de gelatinización". Al fenómeno químico de que una sustancia orgánica como el almidón se descomponga por acción del agua se le denomina "hidrólisis".

#### **4.3.4 Licuefacción**

El almidón ha sido gelatinizado, las partes más pequeñas, que son las amilosa y las amilopectina, llega el momento de la licuefacción, esta es la fase del macerado donde las enzimas empiezan a partir las cadenas largas de azúcares en otras más pequeñas.

#### **4.3.5 Sacarificación**

El mosto es un caldo lleno de dextrinas, es decir, cadenas largas de azúcares (de incluso 10 o 20 moléculas de glucosa) que no van a poder ser metabolizadas por la levadura, así que necesitamos un nuevo paso de degradación, para conseguir moléculas de 1 o 2 azúcares (glucosa o maltosa). Y el proceso en sí por el cual una enzima rompe una cadena compleja de azúcares en otra más pequeña de monosacáridos o disacáridos, se denomina "sacarificación". Esta justo la parte que los técnicos debemos controlar, para hacer el mosto a nuestra medida.

## **Capítulo V: Ebullición con lúpulo**

Terminada la maceración y el lavado de grano se comienza a llenar la olla de hervor y se pasa al proceso de ebullición del mosto recolectado. Este proceso es probablemente el que menos trabajo y atención le lleva a los técnicos pero no deja de ser importante por numerosas razones y esencial para lograr una buena cerveza.

Saber qué sucede aquí y cómo manejarse dará más control sobre el proceso de elaboración de la cerveza, obteniendo producciones más constantes. A su vez, la realización incorrecta de este proceso puede conducir a la aparición de sabores no buscados que arruinarían lo que habría podido ser una buena producción.

Lo que se busca por lo general en esta etapa es la remoción de compuestos volátiles indeseados, la isomerización de ácidos del lúpulo, la desnaturalización y floculación de proteínas, la esterilización, la inactivación enzimática, la concentración del mosto, además es aquí donde se define el color, algunos sabores y aromas específicos.

También es el momento indicado para agregar adjuntos si se busca aumentar la densidad del mosto por encima de lo obtenido en el macerado o si se usan maltas ricas en nitrógeno.

El proceso consiste en exponer el mosto a una fuente de calor hasta que se alcanzan una ebullición constante y se mantiene de esta manera entre 60 y 120 minutos.

### **5.1 Esterilización del mosto**

Todas las materias primas usadas en una cocción, como la malta, los lúpulos, y a veces el agua, están llenas de bacterias y mohos. De no eliminar estos microorganismos contaminantes la cerveza corre riesgo de deteriorarse. El lactobacilo es la bacteria que mayor presencia podemos encontrar en el mosto pero es fácilmente eliminada con el calor. Generalmente hirviendo se provee la suficiente temperatura para acabar con cualquier contaminación a causa de bacterias. Terminado el hervor es necesario tomar mayores precauciones biológicas ya que no habrá otra forma de esterilización del mosto. El pH bajo sumado a la acción antibiótica de ciertos componentes del lúpulo asegurará la eliminación de organismos patógenos y esporas que puedan sobrevivir al hervor.

### **5.2 Efecto del hervor sobre las proteínas**

El mosto que viene directo del macerado contiene diversas proteínas, varias de ellas son perjudiciales y deben ser removidas porque suelen causar turbidez y

sabores indeseables que pueden arruinar una cerveza. En cambio, hay otras proteínas que son responsables de características importantes como ser el color, la espuma y sensación en boca y que hay que evitar perderlas.

Bajo condiciones favorables de hervor, las proteínas y otros polipéptidos presentes en el mosto se combinarán con los polifenoles y los taninos aportados por la malta y por los lúpulos.

Los cúmulos de proteínas y taninos colisionan y se adhieren entre si hasta obtener una masa tal que, por su propio peso, precipitan al fondo de la olla. En una cocción prolongada, de dos horas, estos compuestos son precipitados ampliamente, pero hoy en día casi ninguna fábrica de cerveza realiza cocciones tan largas. Además, pasado un determinado tiempo, los coágulos grandes comienzan a romperse y forman otros más pequeños que son muy difíciles de remover.

Estos turbios pueden verse a simple vista formando inicialmente una especie de espuma marrón arriba del mosto y luego cúmulos mayores. La formación de los turbios calientes puede ser favorecida con la adición de productos específicos, usualmente extractos de algas como el Irish Moss que, cargado negativamente, atraen las proteínas del mosto que tienen carga positiva.

Un pH por debajo de 5,2 causa que los cúmulos de proteínas sean más grandes y más estables, y la presencia de iones de calcio ayudan la agregación de las proteínas, manteniéndolas juntas. A pesar de la cocción prolongada, algunos

compuestos de alto peso molecular, aún coagulables, producto de la degradación de proteínas y de taninos, permanecen en solución hasta el final de la cocción del mosto y precipitan recién durante el enfriamiento del mismo formando lo turbios fríos.

### **5.3 Irish Moss**

El irish moss es un polímero del azúcar galactosa derivado de un alga. En él los grupos hidroxilos son sustituidos por grupos sulfatos que le otorgan una carga negativa, permitiéndole atraer a las proteínas cargadas positivamente. Es necesario un correcto uso de este producto. Usualmente se adiciona 15 minutos antes de finalizar el hervor agregando dosis de 15 a 20 gr/Hl. Mucha cantidad dará mostos muy claros pero con una cantidad mucho mayor de sedimentos en la olla que se traduce en desperdicio de mosto. Además, un exceso de este producto puede reducir considerablemente el nivel de proteínas responsables de la formación de la espuma en la cerveza.

### **5.4 Lúpulo**

El lúpulo es muy importante para la cerveza. Contribuye significativamente en el sabor y el aroma de muchos de los estilos. Sus aceites aportan el amargor imprescindible para balancear el dulzor de la malta. Además contribuyen a la preservación de la cerveza. Si observamos una receta, veremos que las adiciones de lúpulo se realizan en tiempos diferentes. Algunos casi al comienzo del hervor y otros de la mitad y hacia al final del mismo.

Esto dependerá de las propiedades que se quieran obtener del lúpulo. Las características más delicadas como ser sabor y aroma se pierde muy rápidamente con el hervor, en cambio el amargor necesita tiempo para liberarse y ser absorbido por el mosto. Generalmente, el sabor se extrae y se preserva mejor si el lúpulo es adicionado a partir de los 10 minutos finales y los compuestos aromáticos en los últimos 2 minutos, en cambio, para obtener el amargor característico del lúpulo se debe hervir el mosto por aproximadamente una hora. En pocas palabras, cuanto antes agreguemos el lúpulo, más amarga será nuestra cerveza y cuanto más tarde lo hagamos más lupulada será.

La cantidad de amargor se expresa en International Bittering Units IBU y existen fórmulas para calcularla dependiendo del tiempo que el lúpulo será sometido a ebullición y del valor de alfa-ácidos que éste tenga. Esto permitirá hacer nuestro producto tan amargo como sea posible.

#### **5.4.1 Disolución e isomerización de los lúpulos**

De todas las reacciones que ocurren en el hervido, la primera en interés es la isomerización y subsecuente disolución de los alfa-ácidos. Los alfa-ácidos isomerizados son los responsables del sabor amargo de la cerveza.

El componente principal de los alfa-ácidos es la humulona. La isomerización de la humulona en isohumulona es facilitada por la presencia de iones de magnesio. La extracción e isomerización son muy ineficiente, tanto que el

70% de los alfa-ácidos permanecen sin convertir y por consiguiente se mantienen en forma insolubles.

#### **5.4.2 Factores que afectan la utilización del lúpulo**

El rendimiento de isohumulona en la cocción y consecuentemente el amargor de la cerveza depende esencialmente de varios factores. La naturaleza de la isohumulona afecta en la medida que los distintos componentes de los alfa-ácidos son isomerizados con diferente intensidad; la cohumulona da los mejores rendimientos de isohumulona. Por medio de la utilización de variedades de lúpulo con una mayor porción de cohumulona se obtiene un mayor amargor en la cerveza.

Al aumentar la duración de la cocción, aumenta el rendimiento de isohumulona. La mayor parte de los alfa-ácidos es isomerizada al inicio de la cocción, creciendo el rendimiento cada vez más lentamente, a medida que avanza el hervor. Después de 1 hora de cocción, la mayor parte de los compuestos amargos esta isomerizada. La isomerización se intensifica con la ayuda de una mayor temperatura de cocción.

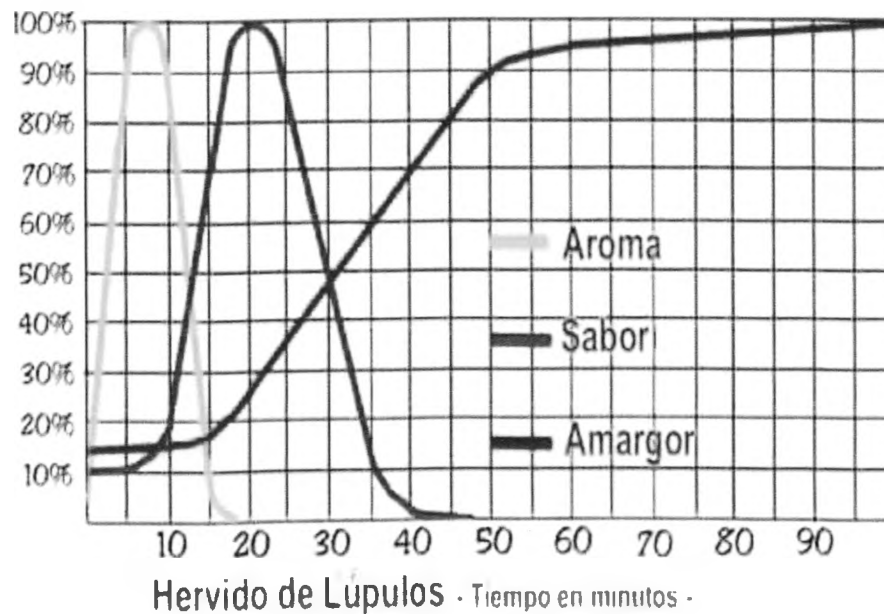
Un pH más alto da siempre una mejor isomerización y solubilidad de la humulona, pero el amargor obtenido a un valor pH más bajo siempre es considerado más balanceado y más fino. Con una adición creciente de lúpulo se consigue una alta concentración de humulona que, al contrario de lo que debería ser, disminuye el rendimiento de isohumulona. Sin embargo, la disminución se mueve en un rango

pequeño. Una parte considerable de la isohumulona es absorbida por los turbios calientes de la cocción. Los lúpulos se asocian con las proteínas que precipitan durante el hervor. Por esta razón, muchos cerveceros caseros esperan hasta que comience a formarse el turbio caliente para hacer la primera adición de lúpulo.

Por último, la forma de lúpulo usada también es otro factor. El extracto es el que produce más amargor, seguido del pellet y por último las flores. La trituración incrementa la velocidad de extracción y con ello el rendimiento de los compuestos amargos.

**Figura 5.1**

*Formas de lupulado.*



Nota: Tomado de *How to Brew* (p.65), por Jonh Palmer, 2017, editorial Brewers Publications.

### **5.4.3 Aroma a lúpulo**

El lúpulo contiene aceites esenciales como componente y es el responsable del aroma característico a lúpulo. Cada aceite imparte su propio olor y el aroma a lúpulo está formado por varios olores. Los aceites son solubles en el mosto caliente y son muy volátiles, por lo tanto se eliminan rápidamente junto con el vapor de agua durante el hervor. Por eso muchos cerveceros hacen una adición lo más tarde posible tratando de atrapar el aroma antes que se evapore.

### **5.4.4 Evaporación de compuestos aromáticos indeseables**

Se encuentran en el mosto una serie de sustancias aromáticas de volatilidad variable, que resultan poco agradables al ser percibidas en el aroma de la cerveza. Para lograr un buen perfil aromático, es necesario deshacerse de estas sustancias indeseadas que incluyen, aparte del sulfuro de dimetilo o DMS, también productos de degradación de grasas, como el hexanal, algunos aldehídos, como el 2-metilbutanal, y productos Maillard, como el furfural.

El sulfuro de dimetilo o DMS es un compuesto intensamente aromático presente en la mayoría de las cervezas. Cuando éste está presente en grandes cantidades y puede ser percibido por su sabor y aroma se puede estar frente a un perfil

característico o frente a un defecto. El aroma de este compuesto puede asemejarse al maíz hervido, a vegetales sobrecozidos, o incluso a ajo. El DMS está formado a partir de S-metilmetionina SMM que a su vez es producida por aminoácidos durante el malteado.

### **5.5. Evaporación**

El DMS que es volátil y se remueve junto con el vapor de agua durante la cocción del mosto. La cantidad principal de DMS libre se elimina con 30 minutos de cocción pero si la disociación térmica fue insuficiente durante el hervor puede aparecer una formación de DMS libre al finalizar la cocción, que se deberá purgar, lo más posible.

Antes de llenar el fermentador para que no perdure en la cerveza terminada los técnicos no deben hervir con la olla tapada a menos que se busque intencionalmente un alto contenido de DMS y se debe intentar enfriar sus mostos tan rápido como les sea posible, después del hervor para reducir al máximo este problema.

### **5.6. Desarrollo del color**

El color obtenido en el hervor es una combinación de varios factores. El caramelizado de los azúcares del mosto lo oscurecen durante el hervor. A medida que las moléculas de azúcar pierden agua van cambiando la forma de absorber la luz afectando el color del mosto.

### **5.7. Concentración del Mosto**

La concentración del mosto se logra por la evaporación del agua en forma de vapor y es directamente proporcional a la tasa evaporación de la olla. A nivel simple podemos confirmar que una típica olla fabricada en acero inoxidable de capacidad 50 litros tiene un índice de la evaporación de 11% a 13% aproximadamente, pero de todos modos es conveniente que los técnicos midan este índice para tener una idea de cuánto evapora la olla usada y saber así que cantidad de agua hirviendo se debe agregar al final del hervor si se planea compensar la evaporación.

### **5.8. Descenso del valor pH en el mosto**

El mosto se acidifica levemente, primariamente por la precipitación del fosfato de calcio. Los iones de calcio del agua reaccionan con los fosfato de la malta y forman fosfato de calcio e iones de hidrógeno, que bajan el pH del mosto.

Las melanoidinas formadas durante la cocción y el lúpulo contribuyen también con algo de ácido. El pH del mosto caerá de 5,8 o 5,6 al comenzar el hervor a alrededor de 5,2 o 5,4 al final. Un exceso de iones de calcio en el mosto después del macerado puede ser favorable. Para lograr el nivel deseado del pH se usan agentes ácidos como el Sulfato de Calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) para bajarlo o agentes alcalinos como el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para subirlo.

Se logra una buena precipitación de los compuestos formados por proteínas y polifenoles durante la cocción del mosto con un valor pH de 5,2. Se reduce el aumento

de coloración del mosto. El amargor del lúpulo es más fino y más noble. Favorecer el crecimiento de las levaduras. Ayudan a inhibir contaminaciones, es decir, hace más estable a la cerveza durante su almacenamiento.

Una desventaja del bajo valor pH es el menor aprovechamiento de los compuestos amargos del lúpulo, por lo cual se requiere más lúpulo. Por ello es preferible acidificar también el mosto a un valor pH de 5,1 a 5,2, poco antes del final de la cocción.

## **Capítulo VI Fermentación**

Podemos decir que la fermentación es un fenómeno bioquímico que se produce por la acción anaeróbica (sin oxígeno) de ciertos organismos microscópicos sobre los azúcares. Por lo general estos son levaduras pero también existen otros, como algunas bacterias, que son capaces de actuar del mismo modo.

La fermentación es el proceso que más tiempo requiere en la elaboración de una cerveza y en este caso, se busca obtener una fermentación del tipo alcohólica. Normalmente identificamos este tipo de fermentación como la transformación de azúcares en alcohol y dióxido de carbono, pero remitirnos sólo a eso sería simplificar un proceso que en realidad es algo más complejo y delicado. Porque la levadura no sólo procesa los azúcares, produciendo alcohol y dióxido de carbono. Sino también necesita de varios componentes que deben estar presentes en el mosto y, además, como fruto de su crecimiento y su metabolismo, produce otros subproductos, aparte de dióxido de carbono, que influyen directamente en el sabor, aroma y calidad de la cerveza terminada.

Este proceso requiere de nuestro cuidado porque cualquier falla que tengamos en el proceso tendrá consecuencias siempre negativas en la cerveza. Si bien podremos solucionar, posiblemente, algunas de esas fallas, en todos los casos el carácter del producto final no será el que buscamos originalmente.

Si se han realizado correctamente, todos los procesos, terminada la ebullición, se tiene en la olla de hervor el mosto terminado, completamente estéril, conteniendo cantidades más que suficientes de nutrientes para cubrir todos los requerimientos de la levadura, a excepción del oxígeno. Antes de pasar al fermentador se deben separar del mosto lo que se conoce como turbio caliente formado por conjuntos de proteínas, materiales ricos en lípidos, componentes insolubles del lúpulo, que coagulan durante el hervor.

Inmediatamente después de esto, se enfría el mosto en el menor tiempo posible hasta llevarlo a la temperatura de inoculación que dependerá de la cepa y la variedad de levadura que se vaya a usar. Durante el enfriado comienza la formación de otro tipo de materia insoluble de turbios fríos que continuará aún durante la fermentación. Una vez clarificado y enfriado el mosto está listo para llenar el fermentador.

### **6.1 Aireación del mosto**

Como se ha dicho anteriormente, el oxígeno es el único nutriente que un mosto, correctamente elaborado, no puede suministrarle a la levadura.

Es importante para el crecimiento de ésta y por lo tanto para una correcta fermentación. La cantidad requerida dependerá de la cepa de levadura y de sus requerimientos, por ejemplo, si se necesita una mayor tolerancia al alcohol será preciso sintetizar más ácidos grasos insaturados y esteroides, tarea que requiere una mayor cantidad de oxígeno.

Después de enfriado, el mosto es generalmente aireado en su camino hacia el fermentador por medio de la inyección de aire estéril, que al hacerse a presión disuelve más oxígeno. El uso de oxígeno puro para airear el mosto, es una forma de incrementar la concentración de éste, si fuera necesario.

## **6.2 Siembra de levaduras**

Normalmente se busca para inocular, una concentración de unas 10 millones de células vivas por mililitro, pero esta proporción se debe incrementar a medida que aumenta la densidad del mosto.

Para un mosto de una densidad inicial de 1050 una dosis de 45 a 50gr/Hl de levaduras será suficiente para tener una fermentación normal pero la dosis a utilizar como la forma de adicionarla al fermentador serán determinadas por las especificaciones del proveedor y del tenor alcohólico final que contenga el mosto a fermentar.

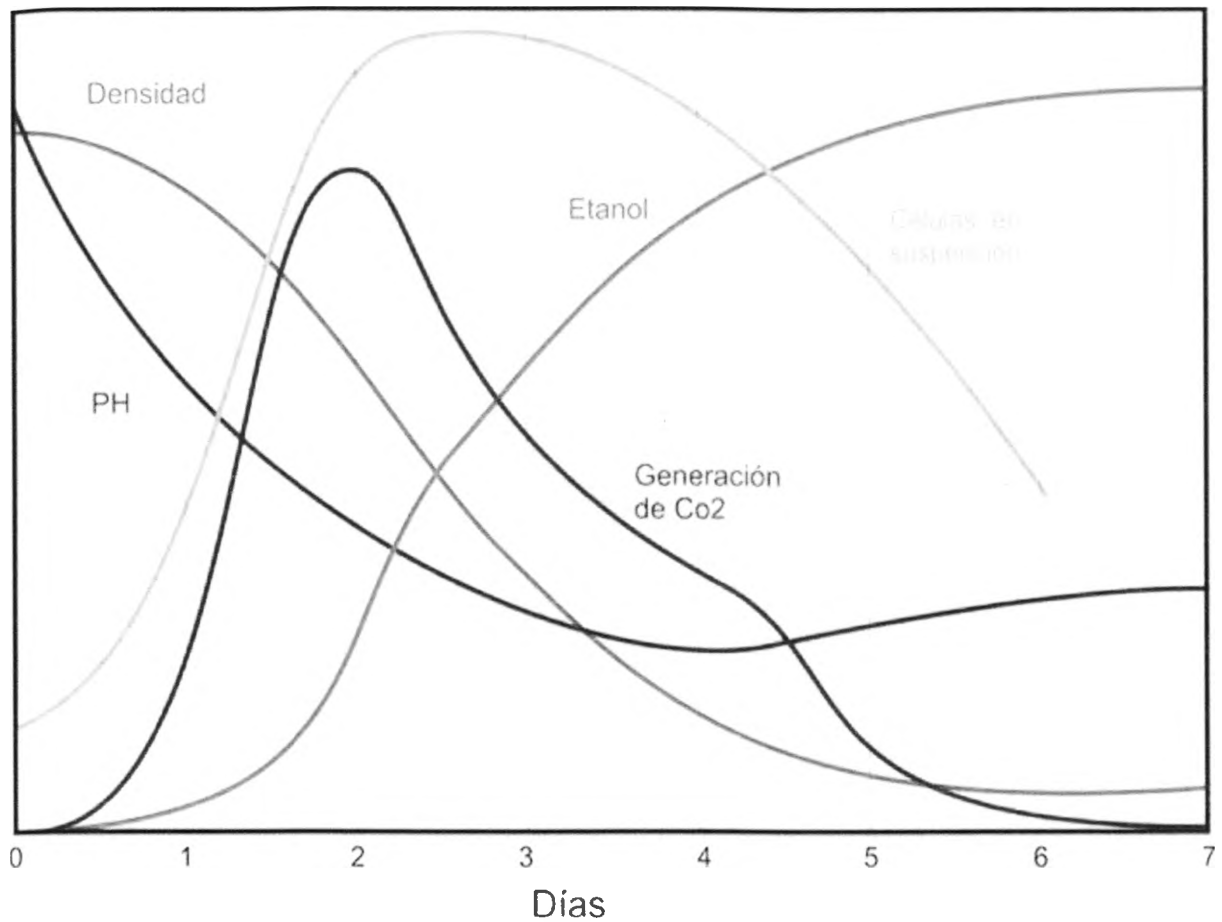
La tasa de inoculación, no depende únicamente de la densidad del mosto, sino que también se tienen que considerar, la temperatura de fermentación, la cepa de levadura y la atenuación, entre otras cosas.

### **6.3 Fases de la fermentación**

Una vez inoculado el mosto la levadura empieza un proceso de adaptación a las nuevas condiciones que le brinda un mosto rico en nutrientes, que se extiende desde que se activa la levadura hasta el comienzo de una actividad fermentativa apreciable. En condiciones normales, no se prolonga más allá de las 12 horas, un tiempo mayor, es decir más de 24 horas nos estaría indicando algún tipo de problema. A esta primera etapa se la conoce también como Fase de adaptación, la levadura pone en marcha su ruta metabólica para poder crecer. Inicialmente, sintetiza enzimas y otros componentes necesarios para poder utilizar los nutrientes que el nuevo medio le ofrece y para soportar su crecimiento.

**Figura 6.1**

*Evolución en días de la fermentación alcohólica.*



Nota: Tomado de *How to Brew* (p.65), por John Palmer, 2017, editorial Brewers Publications.

La asimilación de oxígeno se torna importante en esta primera etapa, porque es usado por la levadura para producir los ácidos grasos insaturados y los esteroides

esenciales para que las paredes celulares se vuelvan permeables a los nutrientes del mosto.

Sabemos que debemos oxigenar el mosto una vez frío antes de la inoculación pero cuando este es de una densidad muy alta suele ser beneficioso un segundo aporte de oxígeno entre 12 y las 18 horas posteriores a la activación de la levadura.

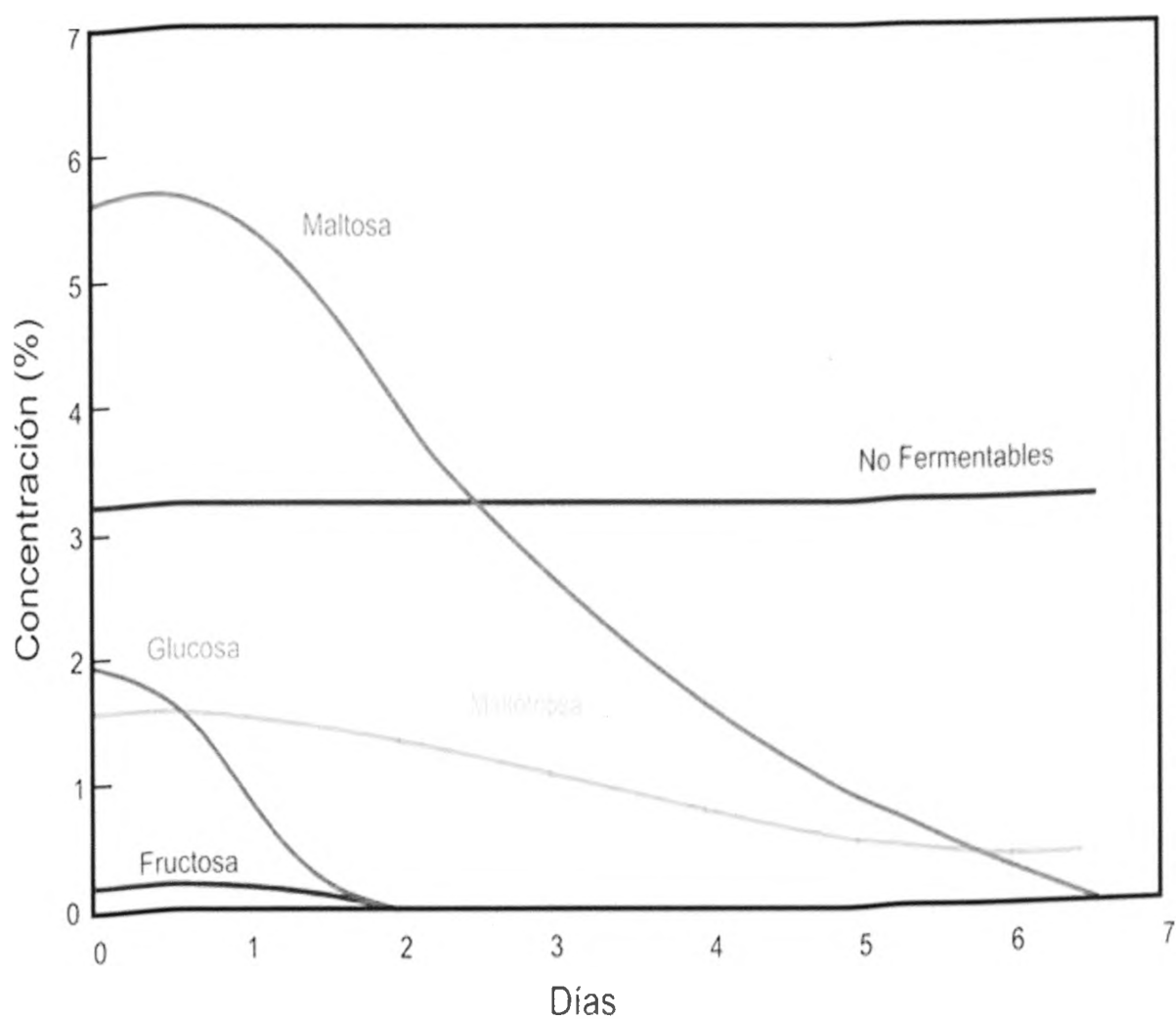
Toda esta actividad celular inicial, necesita una fuente de energía que la levadura encuentra en sus propias reservas de glucógeno ya que, en esta fase, los azúcares del mosto no son asimilados. El glucógeno es un polímero de glucosa que, en condiciones adecuadas, se descompone en glucosa, y produce la energía necesaria para las funciones metabólicas de la célula antes de que ésta comience la asimilación de la glucosa del mosto.

Terminada la adaptación, la levadura empieza a reproducirse, dando comienzo a lo que se conoce como fase de crecimiento exponencial. Se denomina así porque el crecimiento de la población celular aumenta a un ritmo logarítmico debido a la abundancia de nutrientes. La levadura, comienza a asimilar y metabolizar esos nutrientes para convertirlos en la energía que necesita para su crecimiento y reproducción y como resultado de esos procesos metabólicos, produce subproductos que devuelve al mosto. La levadura requiere, además de vitaminas y minerales, fuentes de carbono, que encontrará en los azúcares fermentables, y de nitrógeno, que le será proporcionado por los aminoácidos, conocidos como nitrógeno fácilmente

asimilable. Dependiendo de la cepa a la que pertenece, estos requerimientos pueden variar en sus proporciones.

### Figura 6.2

*Evolución de azúcares durante los días de fermentación.*



Nota: Tomado de *How to Brew* (p.65), por John Palmer, 2017, editorial Brewers Publications.

Cuando la levadura comienza a asimilar los carbohidratos fermentables, lo hace en un orden específico empezando por los azúcares simples, primero la glucosa, luego la fructosa y la sacarosa. Después le toca el turno a la maltosa que es el azúcar que más abunda en el mosto (casi un 60% del total de carbohidratos) y que tiene gran influencia en la formación de compuestos de sabor en la cerveza.

En esta etapa de crecimiento exponencial podemos observar una actividad vigorosa que se manifiesta formando, en la parte superior del fermentador, una corona o cresta de espuma, formada por levadura viva y muerta, proteínas del mosto, resinas del lúpulo entre otros compuestos, que de disolverse en el mosto, le darían un sabor desagradable. Por suerte estas sustancias son poco solubles y cuando la cresta de espuma va desapareciendo, al final de la fermentación, quedan adheridas en las paredes del fermentador separándose del mosto.

Hay que tener en cuenta que debemos tener un control de la temperatura interna del fermentador para mantenerla dentro del rango óptimo.

Se produce, también en esta fase, la mayor parte de la atenuación<sup>3</sup> de los azúcares. La densidad de la cerveza disminuye llegando a medir de 1/3 a 1/4 de la densidad inicial. El tiempo que requiere dependerá de la cepa de levadura utilizada y

---

<sup>3</sup> Disminución de la concentración de azúcares en el mosto en fermentación en función del tiempo.

de las condiciones del medio. Puede ir de los 2 a los 6 días en el caso de los estilos ales, o entre 4 y 10 días cuando se trate de variedades lagers. A medida que los nutrientes se agotan, la actividad pierde fuerza, la levadura comienza, en su mayoría, a asentarse en el fondo, y la cresta de espuma desaparece progresivamente. Al finalizar esta fase, la mayor parte de los compuestos de aroma y sabor de la cerveza, estará formada, los buscados y algunos no deseados como levadura, manteca, manzana verde, que deberán desaparecer en la siguiente etapa si ésta se realiza correctamente. Este es el momento de transferir la cerveza a un segundo recipiente, si es que se planea hacerlo, separando la mayor parte de levadura que debe quedar en el primer fermentador. Siempre cuidando de airear la cerveza lo menos posible para evitar una contaminación o la oxidación que arruinaría el sabor de la cerveza.

Comienza, entonces lo que se conoce como fase estacionaria o de acondicionamiento. La efusiva actividad desaparece y la mayoría de las células de levadura se inactivan, para después sedimentar, quedan algunas todavía activas. La función de esta etapa es la de reducir todo los azúcares fermentables remanentes y eliminar los subproductos originados en las fases anteriores tales como acetaldehído, ésteres, aminoácidos, cetonas, dimetil sulfuro, etc. La mayoría de los azúcares fácilmente fermentables se han convertido en alcohol, y la levadura comienza a trabajar sobre los azúcares más pesados, absorber el diacetilo y el acetaldehído producido en la etapa anterior, mientras que el sulfuro de hidrógeno, causante del característico olor a huevo podrido, se libera del fermentador.

Los alcoholes superiores producidos en la etapa anterior son transformados por la levadura en ésteres aportando un carácter frutal mucho más agradable que el sabor similar al solvente que dan los primeros. La fase estacionaria se puede extender varias semanas pero la cerveza no debe quedar más de 3 semanas en contacto con el sedimento. La levadura podrá consumir, bajo ciertas condiciones, algunos de los componentes del sedimento produciendo sabores extraños. Si el contacto del sedimento con la cerveza se prolonga, la levadura inactiva comienza a morir y produce lo que se conoce como autólisis<sup>4</sup>. Muchos técnicos aseguran que el trasvase a un segundo fermentador no mejora el sabor mientras que los riesgos de contaminación superan a los beneficios, pero muchos otros, afirman que la realización de la fase secundaria en un recipiente distinto beneficia a casi todos los estilos de cerveza.

Una vez que se ha alcanzado el máximo de atenuación se empieza a enfriar el mosto para facilitar la sedimentación de la levadura que había quedado en suspensión. Hay que tener en cuenta que este enfriamiento se debe hacer en forma progresiva para darle tiempo a la levadura a que termine de limpiar el mosto de compuestos indeseables, principalmente del diacetil.

#### **6.4 Lagers y Ales**

Si comparamos los procesos de elaboración de cervezas Lagers y Ales veremos que las diferencias se encuentran en la fermentación. Estas diferencias se

---

<sup>4</sup>Ruptura de la pared celular de las levaduras, permitiendo la cesión de compuestos responsables de otorgar aromas y sabores a la cerveza.

deben fundamentalmente a la cepa de levadura que usan unas y otras. En el caso de las Lagers, se utiliza la cepa *Saccharomyces uvarum* o la *Saccharomyces carlsbergensis* que tiene la particularidad de formar flóculos o grumos, que al ser más densos que la cerveza, tienden a depositarse en el fondo del tanque hacia el final de la fermentación. Por esto último se conoce a esta cepa de levadura como de fermentación baja.

### Figura 6.3

*Diferentes tipos de levaduras*



Nota: Tomado de *How to Brew* (p.65), por John Palmer, 2017, editorial Brewers Publications.

El rango de temperatura óptimo para esta levadura se encuentra entre 7°C a 14°C aproximadamente. Si bien fermenta más rápido a temperaturas altas, los subproductos producidos no son de sabor y aroma deseables. Tradicionalmente la duración del proceso oscila entre 8 a 20 días, pero las levaduras modernas han llegado a reducir ese tiempo hasta aproximadamente 7 días.

Para las cervezas ales, se usa la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, una cepa conocida como de fermentación alta porque sube a la superficie del mosto al final de la fermentación debido a que los grumos que forma atrapan dióxido de carbono y flotan. Los mostos ale son inoculados a una temperatura más alta que las lager y permiten que la temperatura pueda elevarse a aproximadamente 20°C o más. Normalmente, este tipo de fermentación tarda entre 4 y 6 días pero con prácticas tales como la de mezclar y airear el mosto, mientras la fermentación es aún activa, es posible el proceso se complete en menos tiempo.

### **6.5 Factores que afectan la fermentación**

Se sabe que parte del perfil de sabor de la cerveza se basa en metabolismo de la levadura durante la fermentación. En consecuencia, la composición del mosto y las condiciones de proceso que afectan el rendimiento de la levadura en fermentación también afectaran a la calidad de la cerveza. Estos factores se interrelacionan tan de cerca, que a menudo resulta difícil destacar claramente la influencia que un solo factor ejerce sobre la calidad del producto o sobre el desarrollo de la fermentación. Intentar

modificar un parámetro del proceso para influir en un resultado casi siempre causa otros resultados, alguno los cuales puede no ser el deseado.

### **6.5.1 La levadura**

La levadura es la gran protagonista de este proceso y los técnicos han seleccionado y clasificado durante siglos sus cepas de manera que pudieran adaptarse al proceso de elaboración de la cerveza, logrando una gran variedad de las mismas.

Por si sola, la levadura, es uno de los mayores contribuyentes de sabor y el técnico debe tener en cuenta el perfil producido por cada cepa a la hora de elegir. En esta elección influirán también, otras características de la cepa consideradas importantes: la importancia relativa de los requerimientos de oxígeno, métodos de cultivo, límites de atenuación, tasa de fermentación, entre otras. Si bien son muchas las cepas disponibles, algunas son inaceptables para la elaboración de cerveza por lo que le aportan al producto final. Otra cosa que se debe tener en cuenta es que cada cepa de levadura se puede desempeñar de forma diferente bajo un determinado conjunto de condiciones de fermentación.

La levadura debe ser manejada cuidadosamente porque su condición en el momento de la inoculación ha demostrado influir de formas notable en la fermentación. Por ejemplo, la levadura almacenada bajo condiciones extremas no puede responder normalmente, debido a que reduce su glucógeno en respuesta al estrés. También, una mala aireación, deficiencias de zinc, o residuos de fermentaciones anteriores pueden

causar un retraso excesivo en fase logarítmica o bien atenuaciones incompletas, es decir finales de fermentación con cantidades importantes de azúcares residuales capaces de ser re fermentados.

Otra característica importante de la cepa es la floculación. La levadura ideal debería decantar tan rápidamente como el mosto alcance el límite de atenuación pero en la práctica no es así. Una cepa de floculación lenta dejará demasiada levadura en suspensión al final de la fermentación y hará más difícil la separación de la cerveza. Una de floculación rápida, en cambio, no puede completar la fermentación.

Si se planea una fermentación secundaria, sería deseable el uso de una cepa de floculación más lenta, que pueda dejar un mayor número de las células en suspensión al momento de transferir al depósito donde se decida realizar la segunda fermentación.

### **6.5.2 Inoculación y crecimiento de la levadura**

La cantidad de levadura con la que se inocula influye directamente en la tasa de fermentación, que depende de la temperatura y la población celular. Más células utilizando azúcares a un ritmo constante resultan en un aumento general en la velocidad de utilización de los hidratos de carbono. Una mayor masa en la inoculación produce fases logarítmicas más cortas, mayores temperaturas de fermentación y tiempos más cortos para alcanzar la máxima atenuación.

Un volumen típico de inoculación, para una densidad normal de un mosto lager, alrededor de 12° Plato requiere aproximadamente de unas 10 a 15 x 10<sup>6</sup> células por mililitro, pero la concentración exacta elegida dependerá, entre otras cosas, de la cepa de levadura y que características se busquen en la fermentación. Como muchas cervecerías no cuentan con la capacidad de realizar técnicas de recuento de levaduras, dosis mencionadas anteriormente de 45gr/Hl a 50gr/Hl es suficiente para obtener una fermentación correcta y completa.

En inóculos demasiado pobres, la cantidad de oxígeno que se utiliza para generar los esteroides necesarios para la formación de nuevas células será menor ocasionando así una reducción del crecimiento general.

Un crecimiento celular insuficiente conducirá a fermentaciones más lentas y tal vez incompletas además de posibilitar altas concentraciones de ácido sulfhídrico.

### **6.5.3 Temperatura**

La temperatura afecta decisivamente a la levadura e influye directamente en la velocidad de fermentación, cuanto más alta sea, más rápida será la fermentación y si es demasiado baja las levaduras se inactivarían y la fermentación se vería interrumpida.

Las altas temperaturas favorecen la formación de alcoholes superiores, conocidos como fúseles y que le dan a la cerveza aromas y gustos vinosos. Muchos de estos alcoholes se convierten luego en ésteres durante la segunda fermentación,

llegando a dominar el perfil de la cerveza terminada. Un claro ejemplo de esto es la presencia muy notoria de aroma y gusto a banana en la cerveza.

Un nivel muy alto de diacetil puede ser producto, también, de las altas temperatura de fermentación. Muchas veces se inocula a una temperatura más alta que la recomendada y al enfriarse lentamente el mosto, cuando se lo intenta llevar a la temperatura indicada, se produce diacetil en cantidades que la levadura no podrá reabsorber en pasos posteriores quedando presente en la cerveza. La actividad celular inicial produce una reacción exógena, es decir genera calor. La temperatura dentro del fermentador puede ascender hasta 5°C más que la del ambiente que lo rodea. Por tal motivo el exceso de calor debe ser eliminado enfriando el fermentador y mantener así la temperatura dentro de los límites deseados.

Estos límites dependerán fundamentalmente de la cepa que se esté utilizando y de los perfiles de sabor y aroma que se busquen. Por ejemplo, las temperaturas a las que normalmente se fermentan las cervezas de tipo Ale harán que la levadura produzca ésteres y otros subproductos muchas veces buscados en este tipo de cervezas. En cambio, en las lagers una temperatura mayor a la recomendada para estas cervezas, acortará el proceso de fermentación pero los subproductos producidos que no son deseables.

#### **6.5.4 Oxígeno**

La concentración de oxígeno disuelto en el mosto influirá en la multiplicación celular ya que la levadura requiere de éste componente para producir compuestos esenciales para la formación de nuevas células, tarea que requiere una gran cantidad de energía que obtiene más eficientemente cuando el proceso se realiza de forma aeróbica. Por lo tanto una cantidad adecuada de oxígeno en el mosto disminuye el tiempo de adaptación y aumenta la tasa de crecimiento de la levadura asegurando una buena fermentación. Cuanto mayor sea la tasa de crecimiento, más vigorosa será la fermentación inicial debido a la vitalidad de las células nuevas.

Si la cantidad de oxígeno disuelta en el mosto es pobre, al momento de la adición de levadura, se tiende a producir una cantidad de ésteres mayor, la levadura perderá viabilidad y la fermentación será lenta o incompleta. Por lo general, la saturación del mosto con aire le proporciona el suficiente oxígeno para el crecimiento correcto de la levadura. Sin embargo, un control exacto del oxígeno disuelto en el mosto es esencial para obtener un crecimiento uniforme en cada fermentación y lograr así compuestos de aroma y sabor constantes.

#### **6.5.5 Zinc**

El zinc, es requerido como cofactor en reacciones enzimáticas dentro de la célula y por lo tanto es un requisito para el crecimiento de la misma. La adición de zinc ha sido claramente vinculada al aumento de la tasa de fermentación. Se pueden dar

fermentaciones incompletas debido a la carencia de zinc. Normalmente, la malta de cebada, contiene el zinc necesario pero ciertas cepas de levadura pueden requerir más de lo normal, por lo que podrá ser necesario suplementar el mosto con sales de zinc. Una concentración de 0,3ppm es adecuada pero por encima de 1ppm puede inhibir la actividad de la levadura.

#### **6.5.6 El pH**

Para su óptima multiplicación, la levadura necesita un mosto con un PH entre 5,1 y 5,5. Difícilmente haya que controlar este parámetro si se hicieron las cosas bien en los procesos anteriores a la fermentación, por ejemplo usando agua que no sea demasiado alcalina o pesada.

Como consecuencia del metabolismo celular de la levadura, el pH desciende durante los primeros días de fermentación, fundamentalmente por la producción de ácidos orgánicos. El pH mínimo alcanzado durante la fermentación depende del mosto elaborado, de su capacidad buffer y del crecimiento de levadura.

El pH alcanza un mínimo de 3.8 a 4.4 y sube ligeramente hacia el final de fermentación. Un pH bajo inhibe el deterioro a causa de bacterias.

## **Capítulo VII: Estabilización**

### **7.1 La Maduración**

Lo que sucede durante el proceso de maduración puede tener un profundo efecto en la calidad de la cerveza, sin embargo, es a menudo el área en la que los fabricantes de cerveza tienden a hacer algunos sacrificios, en las cervecerías comerciales por una cuestión de costos y en el caso de los cerveceros artesanales, por el sentimiento de impaciencia que significa darles a nuestros productos el tiempo suficiente. Pero muchas veces, el desarrollo correcto de este proceso puede ser la única diferencia entre la mediocridad y la excelencia en una cerveza.

Finalizada la fermentación primaria, la mayoría de las células de levadura se ha inactivado y se ha depositado en fondo del fermentador. Con el tiempo, esa levadura inactiva, comenzará a excretar aminoácidos y ácidos grasos, para luego morir dejando sabores y aromas reductivos no deseables.

En determinadas condiciones, la levadura que aún permanece activa procesará también algunos de los componentes de ese sedimento añadiendo otros sabores extraños. Por todo eso, no se aconseja dejar un tiempo prolongado de más de 3 semanas el mosto fermentado en contacto con las borras del fermentador primario

y es importante también, eliminar el sedimento que se forma durante el acondicionamiento.

Generalmente lo que muchos técnicos realizan, es trasvasar la cerveza a otro recipiente intentando separarla de todos los sólidos decantados en la fermentación, para luego dar comienzo a la maduración. Si bien las grandes cervecerías y una parte importante de cerveceros artesanales siguen haciéndolo de esta manera, muchas empresas tienden a utilizar fermentadores cilindro-cónicos en los que la fermentación y maduración son casi un proceso continuo y donde, la levadura depositada se va extrayendo, a medida que se acumula, por una válvula en la parte inferior del cono del recipiente.

El acondicionamiento o maduración es una tarea que debe realizar la levadura, por eso la cerveza transferida desde el fermentador debe contar con un pequeño porcentaje de extracto fermentable y una cantidad óptima de levaduras en suspensión que va de  $1 \pm 4$  millones de cel/ml. Por lo tanto la elección de la cepa de levadura es importante y debe hacerse no sólo pensando en sus cualidades fermentativas, sino que también, hay que tener en cuenta el posterior proceso de maduración. Con una cepa de baja floculación, la cerveza trasvasada contendría demasiadas células de levadura, la fermentación secundaria se produciría demasiado rápido pero la clarificación sería más difícil debido a que la levadura tardaría más en decantar.

Por el contrario, con una cepa de alta floculación, se transferiría muy poca levadura del fermentador al madurador y la fermentación secundaria no se llegaría a

completar a menos que, de algún modo, se la fomente con el agregado de más fermentables o volviendo a airear la cerveza con los riesgos que esto último representa.

Lo generalmente realizado por los técnicos cuando la fermentación primaria se ha completado, se mantiene la cerveza en el fermentador un periodo de 24 a 54 horas más, a la misma temperatura de fermentación o unos pocos grados por encima. Esto le permite a la levadura, que permanece en suspensión, reabsorber los compuestos de sabor y aroma no deseados, antes de que la cerveza sea enfriada y transferida a otro recipiente donde permanecerá unas pocas semanas a temperaturas de  $-2^{\circ}\text{C}$  a  $4^{\circ}\text{C}$ .

El éxito de esta técnica se basa en la suficiente levadura activa que queda en suspensión en el final de la fermentación primaria y la duración de la misma será hasta que se cumpla una especificación de calidad que, por lo general, trata del diacetilo, y por lo tanto es a menudo llamado descanso de diacetilo.

La levadura puede ser removida por filtración, así los largos períodos de sedimentación y el tiempo de espera para clarificar la cerveza se tornan innecesarios. También, la cerveza puede ser estabilizada para resistir la aparición de los turbios a causa del frío por una variedad de técnicas, incluyendo filtración en frío y el uso de compuestos químicos absorbentes y, por último, la carbonatación se puede ajustar de forma artificial llevándola a valores precisos. Es por todo esto, que los tiempos actuales de maduración se han acortado significativamente.

Como sabemos, el rango óptimo de temperaturas para el trabajo de las levaduras del tipo ale es más alto que para las lagers. Como consecuencia de esto las condiciones de maduración serán también más cálidas, es decir entre 12°C a 20°C, lo que hace que los azúcares residuales se metabolicen con mayor rapidez y que la eliminación de sabores verdes<sup>5</sup> se complete normalmente en 1 a 2 semanas dependiendo del tipo de cerveza.

En la elaboración de cervezas ales, para bajar los niveles de diacetilo, basta prolongar la fermentación primaria unos días sin variar la temperatura, aunque algunos aconsejan bajarla unos 2°C o 3°C los últimos días.

Si hemos sido cuidadosos durante todo el proceso de elaboración, al término de la fermentación, obtendremos una cerveza que tendrá la mayoría de las características planeadas, pero con una excesiva turbidez debido a los residuos de levadura y otros sólidos que aún permanecen en suspensión. Además, tendrá un porcentaje significativo de azúcares residuales y una cantidad apreciable de subproductos de la fermentación que no deben percibirse en una cerveza terminada. Estas son las causas, no sólo de un aspecto visual poco atractivo, sino que también, de aromas y sabores que no deseamos tener en nuestra creación, que a esta altura la denominamos generalmente como cerveza verde.

---

<sup>5</sup> Compuestos que se transforman con el paso del tiempo mejorando las características organolépticas de la cerveza.

La maduración es el período posterior a la fermentación primaria o fermentación alcohólica, durante el cual mantenemos la cerveza en reposo, a temperaturas determinadas, con el fin de mejorar las condiciones organolépticas de la misma antes de ser finalmente consumida. En esta fase, la levadura reduce lentamente los fermentables remanentes, formados en mayor medida por azúcares más pesados como la maltotriosa, generando dióxido de carbono que suma carbonatación a la cerveza y transforma ciertos subproductos de la fermentación como el diacetilo, la 2,3 pentanodiona y el acetaldehído.

Básicamente, el propósito de la maduración es convertir una bebida rústica en una que sea agradable para todos nuestros sentidos.

Para lograr esto, la maduración debe cumplir tres objetivos principales: Desarrollo del sabor, Clarificación y Carbonatación.

### **7.2. Desarrollo del sabor**

Proceso en el que evolucionan los sabores deseados y se reducen aquellos indeseables que corresponden a la cerveza verde como el diacetilo, acetaldehído y sulfuro de hidrógeno que pueden haberse originado en la fermentación alcohólica o el contacto prolongado de nuestra cerveza con sus lías de fermentación.

El desarrollo del sabor es considerado, por lo general, la consecuencia más importante de la guarda y acabado de una cerveza. Dicha etapa se ha vuelto cada vez

más importante a medida que se ha ido incrementando la tendencia a producir cervezas más livianas, en las cuales los umbrales de detección de los compuestos no deseados son menores. Sin embargo, en cervezas más fuertes la presencia de concentraciones elevadas de otros compuestos de sabor logra enmascarar algunos aromas y sabores no deseables.

Para poder evaluar las técnicas de maduración es importante comprender qué sabores son controlados en la misma y cuales cambian un poco con el tiempo. Se han llegado a identificar cientos de compuestos químicos en la cerveza. Algunos de ellos aumentan durante la guarda, otros disminuyen y otros permanecen inalterados.

Puesto que la mayoría de los compuestos que intervienen en la maduración del aroma y gusto de la cerveza son el resultado del metabolismo de la levadura, se entiende el papel principal que desempeña ésta en todo el proceso.

### **7.2.1 Dicetonas vecinales**

Las dicetonas vecinales son subproductos de la síntesis de los aminoácidos valina, leucina e isoleucina. El diacetilo o 2,3 butanodiona y la 2,3 pentanodiona son las dos dicetonas vecinales más comunes encontradas en la cerveza y es de suma importancia, para todo cervecero, saber cómo controlar los métodos de formación y posterior reabsorción de las mismas, para poder lograr las concentraciones aceptables para cada estilo.

El umbral de detección depende del resto de los sabores presentes en la cerveza y en el caso del diacetilo es mucho menor que el que tiene la pentanodiona. Ambos tienen un sabor mantecoso que deja una sensación grasosa en boca. El diacetilo tira más a caramelo o a la mezcla de azúcar con manteca y la pentanodiona a la miel. La percepción de estos sabores es considerada un defecto.

Para poder sintetizar proteínas, la célula de levadura necesita de dos aminoácidos, valina y leucina, que consigue gracias a la producción de Alfa-acetolactato que, además de ser el precursor en la obtención de dichos aminoácidos, también lo es en la formación de diacetilo. La célula de levadura produce alfa-acetolactato adicional, para asegurar que no haya retrasos en la biosíntesis de los aminoácidos. Parte de ese alfa-acetolactato es excretado por la levadura y, una vez fuera de la célula, se oxida y se descarboxila para producir diacetilo espontáneamente.

Es importante tener en cuenta que no se requiere oxígeno para la oxidación de alfa acetolactato, y es la presencia de metales tales como cobre, aluminio o hierro la que causará fácilmente esta reacción, que será favorecida con un pH más bajo y las condiciones de temperatura más altas.

Una vez que el diacetilo se ha formado, se mantendrá fuera de la célula hasta el final de la fermentación. Dada la oportunidad y las condiciones necesarias, la levadura absorberá el diacetilo para reducirlo a acetoína y finalmente a 2,3 butanodiol (un alcohol superior muy poco aromático). Así, el sabor a mantequilla se desvanecerá.

Esta reducción, dependerá en gran medida de la salud de levadura y de la temperatura y el tiempo que se la deje actuar. Para facilitar la eliminación de diacetilo, el cervecero debe asegurarse primero que éste se forme de manera rápida y consistente durante la fermentación primaria. Una fermentación rápida pH bajo y suficiente cobre o hierro, esto ayudará en la formación de diacetilo. Hay que tener en cuenta que la eliminación de la levadura antes del final de la maduración dejará diacetilo residual en la cerveza terminada.

Si la levadura no es saludable pueden tener membranas rígidas, resultando en una mala absorción de diacetilo o poder reductor insuficiente para reducirlo a 2,3 butanodiol. Las levaduras con deficiencia respiratoria también tienden a dejar dicetonas vecinales en la cerveza, ya que carecen de poder reductor al final de la fermentación. La forma tradicional para reducir diacetilo es simplemente madurar la cerveza hasta que el nivel ha caído por debajo del umbral de sabor. Eliminación rápida depende de contacto con la levadura saludable, y la velocidad de eliminación se incrementa con temperaturas más altas.

### **7.2.2 Acetaldehído**

El acetaldehído, es el responsable de los sabores a hierba, a manzana verde y ajerezado en la cerveza inmadura. Es un producto de la metabolización de los hidratos de carbonos, llevada a cabo en fermentación primaria, que termina reduciéndose en etanol. En caso de sufrir una oxidación se convierte en ácido acético y luego, por reacción enzimática, se reduce a etanol en la etapa final de la segunda

fermentación alcohólica. La formación de acetaldehído se ve favorecida generalmente por condiciones de alto metabolismo, unido a un bajo crecimiento. Los factores que fomentan una superproducción de este compuesto pueden ser:

- temperaturas de fermentación más cálidas, mayores a 8°C
- tasa alta de inoculación.
- mala aireación del mosto.
- agitación en la fermentación.
- aireaciones excesivas en los trasiegos.

El zinc parece ser un cofactor en la conversión del acetaldehído a etanol, por lo que se requiere la presencia de cierta cantidad de este metal para la conversión. El zinc es un oligoelemento que se encuentra en la malta y el agua y que también se lixivia de los metales utilizados en la fabricación de equipos cerveceros tradicionales, tales como cobre y latón.

### **7.2.3 Compuestos Sulfurosos**

Para poder sintetizar proteínas, la levadura necesita compuestos sulfurosos que normalmente se encuentran en el mosto, o bien son producto del propio metabolismo, como ser el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el sulfuro de dimetilo (DMS). Estos compuestos no son absorbidos por la levadura.

El sulfuro de hidrógeno es un problema que afecta en mayor medida a las cervezas de estilo lager, las levaduras ale producen pequeñas cantidades de sulfuro de hidrogeno así que esto no suele ser un problema. La levadura, mientras produce ciertos aminoácidos, toma iones de sulfato del agua y los convierte en sulfito que luego liberará de la célula. El sulfuro de hidrógeno es una molécula altamente volátil, responsable del olor a huevo podrido en la cerveza verde y es el único de los compuestos sulfurosos que puede ser eliminado durante la maduración, venteándolo junto con el exceso de dióxido de carbono generado en ese proceso.

El dióxido de azufre también se encuentra presente en la cerveza, pero su escasa concentración, menos de 10 ppm, hace que no tenga una influencia significativa en el sabor y el aroma de la mayoría de las cervezas.

El sulfuro de dimetilo proviene mayoritariamente de un precursor existente en la malta. Hay quienes afirman que, en pequeñas concentraciones, pero en concentraciones más elevadas aporta un sabor y un aroma distintivos que recuerdan al del maíz o al de verduras cocidas y se considera un defecto.

#### **7.2.4 Volátiles**

Son compuestos de fácil evaporación que, al separarse de la cerveza, contribuyen a crear su aroma. Alcoholes superiores, ácidos grasos y ésteres son parte de ellos. De todos los alcoholes superiores, el alcohol amílico es el único que puede aumentar su concentración cuando la guarda es prolongada.

Los ésteres son compuestos químicos que aportan tanto aroma como sabor. En su justa medida, le aportan a la cerveza perfiles florales o frutales que la favorecen, en especial en los estilos ales. En concentraciones altas dejan de ser agradables generando aromas como a solventes o a quitaesmalte de uñas. La cantidad de ésteres producidos dependerá principalmente de la temperatura de fermentación, de la cepa de levadura usada y se verá favorecida por cualquier situación de estrés que esta última sufra. Una oxigenación deficiente del mosto, una tasa de inoculación baja o cambios bruscos de temperatura pueden ser algunas de esas situaciones estresantes.

Durante la guarda su concentración puede aumentar en la medida que aumente, también la cantidad de etanol.

#### **7.2.5 No Volátiles**

La cerveza contiene, otros compuestos no volátiles que complementan su sabor. Entre ellos podemos encontrar aminoácidos, nucleótidos, ácidos orgánicos, fosfatos inorgánicos y otros iones. Algunos de éstos se producen en la fermentación y otros son liberados posteriormente por la levadura cuando su membrana celular se hace más permeable.

#### **7.2.6 Autólisis de la Levadura**

El sabor de la cerveza también puede ser influenciado por la autólisis de la levadura. Se conoce con este término al proceso de disolución de las células muertas llevado a cabo por sus propios sistemas enzimáticos.

Los productos de este proceso pasan al medio y se traducen en aromas y sabores desagradables como amargo, soja. Normalmente la autólisis se produce cuando no hay más fermentables que procesar o bien con temperaturas elevadas. Es un problema particularmente normal para los técnicos que elaboran estilos Lager donde se busca acelerar la maduración a temperaturas más altas, mayores a 14°C.

Dejar la cerveza expuesta a grandes cantidades de células de levadura inactiva por períodos largos después de que la fermentación primaria se ha completado, sin ninguna refrigeración o trasvase a otro recipiente para la maduración secundaria, es casi seguro que causará este problema. Lo mismo ocurrirá si se envasa la cerveza con demasiada levadura en suspensión.

### **7.3 Clarificación**

Es la eliminación de la levadura y las partículas que causan turbidez como restos de proteínas coaguladas producidas en la fermentación o restos de lúpulo que no fueron separados correctamente durante la cocción del mosto.

Otra cuestión que impone la maduración es la transparencia de la cerveza. Desde que se descubrió que la cerveza mantenida durante largos períodos a bajas temperaturas desarrollaba una claridad excelente, y tanto la levadura como los turbios no-biológicos se separaban de la cerveza acumulándose en la parte inferior del recipiente, el método de enfriamiento pasó a ser usual entre los técnicos, al final del

proceso, se obtenía una cerveza perfectamente cristalina gracias a las características de la levadura usada.

Como hemos dicho más arriba, una fábrica de cerveza moderna para disminuir sus costos energéticos, no puede darse el lujo de largos períodos de maduración y recurre a clarificantes o al filtrado de sus cervezas para darles brillo y limpieza visual. También los pequeños productores pueden acortar los tiempos de maduración del mismo modo.

Básicamente la clarificación se obtiene por sedimentación. Con el tiempo, las partículas sólidas en suspensión en la cerveza se depositan en el fondo del recipiente y la velocidad a la que se asientan está determinada por varios parámetros, incluyendo el tamaño y la densidad de la partícula, la viscosidad y la densidad del líquido, y la gravedad.

### **7.3.1 Ley de Stokes**

La ley que rige la tasa de sedimentación es la Ley de Stokes que afirma que:

#### **Ecuación 1.1**

*Ley de Stokes*

$$V_s = \frac{2 r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{9 \eta}$$

Donde:

- $V_s$ , velocidad de caída de las partículas,
- $g$ , aceleración de la gravedad,
- $\rho_p$ , densidad de las partículas
- $\rho_f$ , densidad del fluido.
- $h$ , viscosidad del fluido.
- $r$ , radio equivalente de la partícula.

Se puede observar que la mejor manera de acelerar la tasa de sedimentación de las partículas es aumentar su diámetro. La levadura con fuertes características de floculación tienden a pegarse con mayor facilidad y aumentar su tamaño de partícula de forma espectacular.

La mejor manera de mejorar el tiempo necesario para que la cerveza se aclare es reducir la distancia que tienen que recorrer las partículas. Los antiguos técnicos hacen esto con tanques de envejecimiento horizontales. En algunos casos y en menor medida se utilizan centrifugas que disminuyen la distancia de sedimentación y aumentan drásticamente el componente de la gravedad de la Ley de Stokes con la fuerza centrífuga.

### **7.3.2 Isinglass**

Este producto se extrae de la vejiga natatoria del esturión, y algunos otros peces tropicales o subtropicales. Se prepara por inmersión en una mezcla de ácidos

durante muchas semanas. El líquido incoloro y viscoso producido por este tratamiento es rico en colágeno, con una carga eléctrica positiva.

La estructura es como la de una gran red que une las células de levadura con carga negativa, junto con algunas proteínas, lípidos y agentes antiespumantes. Las partículas forman flóculos grandes que se hunden rápidamente a la parte inferior del tanque o recipiente.

Usado en combinación con agente clarificantes a base de sílice, el isinglass puede reducir significativamente la levadura en suspensión en la cerveza pero no funciona demasiado bien con recuentos altos de levaduras y si se deja que la temperatura suba un poco su funcionamiento mejora dado que, al ser una proteína extraída del pescado, se desnaturaliza a temperaturas relativamente frías.

Sin embargo nunca se debe permitir que la temperatura se eleve por encima de 20°C, incluso en el almacenamiento.

### **7.3.3 La centrifugación**

La centrifugación es un método popular de reducir el contenido de la levadura y se utiliza en casos donde no se utilizan agentes clarificantes, pero también, en combinación con ellos. Muchos técnicos que practican el acondicionado en frío usan centrifugadoras, ya que ofrecen un mayor grado de control sobre el recuento de levaduras y eliminan el tiempo necesario para la maduración y acondicionado.

Las máquinas centrífugas tienen una serie de ventajas tales como pequeña necesidad de espacio, claridad más consistente, la mayoría es de auto limpieza, la disolución de oxígeno mínima, y pueden funcionar de forma continua durante un período indefinido.

El proceso se puede realizar de dos formas diferentes:

- Durante el Trasiego, en este primer método se centrifuga para separar el cultivo de levadura mientras la cerveza se transfiere desde el fermentador a los tanques de acondicionamiento. Esto logra la transferencia y la recolección de la levadura de cerveza en un solo paso.
- Próximo a la sedimentación de la levadura: consiste en usar una centrífuga para clarificar la cerveza después que la levadura ha sido separada por sedimentación.

#### **7.4 Estabilidad coloidal**

Muchas veces hemos notado que tenemos una cerveza brillantemente cristalina del lugar donde realizo la fermentación primaria y luego cuando la sometemos a bajas temperaturas, se vuelve turbia. Esto se debe a ciertos compuestos presentes en la cerveza que forman un precipitado sólido cuando se enfría. Este enturbiamiento se conoce como neblina fría y se forma cuando los compuestos extraídos de la malta y el lúpulo, conocido como polifenoles o taninos, se combinan químicamente con los polipéptidos formadores de proteínas.

Técnicos modernos tratan a la cerveza con productos químicos absorbentes, tales como sílica gel o PVPP, que eliminan o bien la proteína o el polifenol, o ambos.

Muchos técnicos para evitar esta turbidez utilizan los siguientes productos:

#### **7.4.1 Enzimas proteolíticas**

Se preparan a partir de papaína o pepsina y actúan sobre las proteínas degradándolas a moléculas más pequeñas.

#### **7.4.2 Ácido tánico**

Se utiliza tradicionalmente para eliminar el material que produce la turbidez.

#### **7.4.3 Taninos hidrolizables**

Son utilizados para precipitar proteínas. Las cervezas tratadas con taninos hidrolizables muestran una excelente estabilidad coloidal así como valores de claridad aceptables.

#### **7.4.4 Silica Gel**

Los geles de sílice son muy eficaces y eliminan las proteínas de alto peso molecular responsables de la formación de turbidez sin detrimento de la estabilidad de la espuma.

#### **7.4.5 Bentonita**

Es un Silicato de Aluminio insoluble que también se puede utilizar como un adsorbente de proteínas, pero tiene muchas desventajas, ya que disminuye notablemente la estabilidad de la espuma.

#### **7.4.6 Polivinilpolipirrolidona PVPP**

Se utiliza para absorber materiales polifenólicos. Parte del éxito PVPP como un estabilizador de la cerveza proviene del hecho de que imita la acción de las proteínas mediante la combinación con polifenoles pero en mayor magnitud.

### **7.5 Carbonatación**

El nivel de dióxido de carbono disuelto en la cerveza después de una fermentación normal es entre 1,2 a 1,7 volúmenes, dependiendo de la temperatura. Esta cantidad de gas, es la que la cerveza puede mantener en solución, sin que se le aplique una presión superior y sin que se varíe la temperatura de fermentación.

Es conveniente saber que un volumen de gas disuelto en un líquido se refiere a que el gas y el líquido ocupan, el mismo volumen, es decir que cuando decimos que una cerveza está carbonatada con un volumen de dióxido de carbono, estamos diciendo que un litro de esa cerveza contiene disuelto un litro de dióxido de carbono.

La ley que regula la cantidad de gas que entrará en solución es la Ley de Henry y establece que la concentración de un gas ligeramente soluble en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial del gas.

La solubilidad del dióxido de carbono está influenciada por la temperatura. Una cerveza más fría permitirá que más podrá permanecer en solución. Por lo tanto, la carbonatación en la cerveza es un acto de equilibrio entre la temperatura y la presión. En general, cuanto menor sea la temperatura y cuanto mayor sea la presión, más gas dióxido de carbono permanecerá en solución.

Para envasar una cerveza terminada es habitual elevar el nivel de dióxido de carbono obtenido en la fermentación, llevándolo a 2,4 u 2,8 volúmenes. Esto se puede lograr de dos maneras mediante la carbonatación natural o la carbonatación forzada.

### **7.5.1 Carbonatación Natural**

Esta es la forma clásica, y se consigue cerrando herméticamente el recipiente en donde la cerveza madura para que el dióxido de carbono generado en una segunda fermentación no escape y se disuelva en el líquido saturándolo.

La segunda fermentación que se produce genera suficiente gas para carbonatarla a 2,8 volúmenes sin elevar la presión del tanque por encima de 1 Bar. Por lo tanto, será necesario un recipiente que soporte una presión cercana a los 2 Bar. La cerveza, a esa presión, no puede servirse bien, por lo que necesitará ser refrigerada antes de servirla. Esta técnica es mucho más fácil de controlar en un barril donde el

exceso de presión, si se desarrolla, puede ventilarse. En la botella, en cambio, es más complicado, ya sea que sólo una vez abierta se sabe si el nivel de dióxido de carbono es correcto o no.

### **7.5.2 Carbonatación Forzada**

Esta es una técnica que se realiza inyectando dióxido de carbono a presiones elevadas para que se disuelva en la cerveza gracias a las bajas temperaturas.

Hay dos técnicas principales para la conseguir una carbonatación artificial o forzada, en línea y en tanque de carbonatación.

#### **7.5.2.1 Carbonatación en línea**

Este método se utiliza generalmente en todas las grandes fábricas, ya sea como una carbonatación primaria o como una puesta a punto final para alcanzar la especificación estándar para la carbonatación justo antes del envasado. El dióxido de carbono se puede inyectar en la cerveza a medida que pasa a través de un tubo de un recipiente a otro. El gas se inyecta a través de un difusor de acero inoxidable sinterizado que crea burbujas muy finas 10 a 100 micras de diámetro, que se disuelven fácilmente en la cerveza insaturada. La carbonatación rara vez se hace antes de la filtración debido al riesgo de que las burbujas de dióxido de carbono perturben la filtración.

### **7.5.3 Carbonatación en tanque**

Aquí se aumenta la presión interna de tanque inyectándole dióxido de carbono. De esta manera, la mayor presión en el interior de tanque, fuerza al dióxido de carbono a disolverse en la superficie líquida, que está en contacto con el espacio superior del contenedor, hasta lograr la saturación en toda la cerveza. El nivel de saturación estará determinado por la temperatura y la presión usadas en la técnica.

El proceso se realizará más rápido cuanto más grande sea el área líquida en contacto con el gas. Es por ello que un buen resultado se obtiene cuando después de realizar este agitado se deja reposar a bajas temperaturas por una semana nuevamente el barril para tener nuevamente clarificada la cerveza.

## **Conclusión**

El proceso de elaboración de cerveza, sea de forma artesanal o industrial no es lo suficientemente sofisticado, en la mayoría de los casos es un proceso estandarizado donde las variables a modificar son muy pocas, las herramientas de medición para poder conocer las características de un mosto durante la maceración son simplemente un peachimetro y termómetro. Con estos instrumentos podemos conducir nuestra maceración para obtener mostos más o menos fermentables en base al trabajo de las enzimas que deseamos poner en marcha dentro de nuestro macerador.

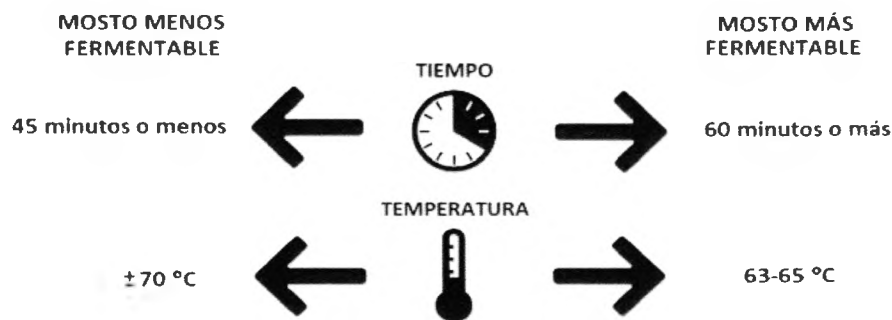
Realizando macerados por debajo de los 65°C y con niveles de pH comprendidos entre 5,2 - 5,4 estaríamos favoreciendo la actividad de la enzima B-amilasa, la cual generará mostos altamente fermentable, secos y de un rendimiento en alcohol más elevado, debido a que las estructuras obtenidas durante el proceso de macerado son principalmente glucosa y fructosa. Finalmente obtenemos cervezas más secas, de mayor contenido alcohólico y al mismo tiempo de características fluida.

Conduciendo la maceración a mayor temperatura, arriba de 65,5°C hasta los 70°C y ajustando los niveles de pH a valores de 5,4 – 5,6 obtendremos mostos con

alta cantidades de dextrinas, glucosa y fructosa. Estas primeras son estructuras de gran tamaño y las levaduras no tienen la posibilidad de metabolizar durante la fermentación, quedando remanentes luego de la fermentación obteniéndose cervezas con un final dulce, una mayor sensación de estructura pero al mismo tiempo con un nivel alcohólico menor.

### Figura 6.4

*Resumen de Tiempo y Temperatura.*



Existen otros parámetros que también influyen en el macerado, pero no tan importantes como los anteriormente mencionados, la molienda influirá en el macerado, pero no es algo que estimo se pueda manipular a placer para conseguir un efecto u otro, salvo para las industrias cerveceras que cuentan con la tecnología necesaria en la regulación de la molienda. Es importante que la molienda no sea exagerada para evitar la producción de harinas que dificultarán la limpieza del mosto obtenido en el macerado por más recirculados que realicemos.

El poder diastásico de la malta anteriormente mencionado, también influirá en el resultado del macerado, pero muchas veces ni lo conoceremos, por lo que al igual que la molienda, lo recomendado es conseguir malta fresca de calidad, bien modificada.

**Índice de Tablas**

<i>Tabla 1.1. Composición química de los distintos cereales</i>	11
<i>Tabla 3.1. Temperaturas óptimas para enzimas amilasas</i>	34

## Índice de Figuras

<i>Fig. 1.1 Planta de cebada</i>	6
<i>Fig. 1.2 Cebada 2 hileras (a)/ Cebada 6 hileras (b)</i>	7
<i>Fig. 1.3 Corte transversal grano de cebada</i>	8
<i>Fig. 1.4 Molécula de Almidón</i>	9
<i>Fig. 1.5 Estructura de amilosa y amilopectina</i>	12
<i>Fig. 1.6 Carbohidratos solubles comunes en el grano de cebada</i>	13
<i>Fig. 3.1 Ramificaciones de alfa y beta amilasas</i>	26
<i>Fig. 3.2 Proceso de transformación del almidón.</i>	30
<i>Fig 3.3. Actividad enzimática en el macerado</i>	35
<i>Fig. 3.4 Rangos de pH óptimos en el macerado</i>	38
<i>Fig. 5.1 Formas de lupulado</i>	55
<i>Fig. 6.1 Evolución en días de la fermentación alcohólica</i>	64
<i>Fig. 6.2 Evolución de azúcares durante los días de fermentación</i>	66
<i>Fig. 6.3 Diferentes tipos de levaduras</i>	70
<i>Fig. 6.4 Consideraciones finales sobre maceración</i>	100

**Índice de Ecuaciones**

---

<i>Ecuación. 7.1 Ley de Stockes)</i>	90
--------------------------------------	----

## **Apéndice**

<u>Introducción</u>	<u>2</u>
<u>Capítulo I: Características de la Cebada Cervecera</u>	<u>5</u>
<u>1.1. Composición Morfológica y Química</u>	<u>5</u>
<u>Capítulo II: Malteado</u>	<u>15</u>
<u>Capítulo III: Factores que influyen en el rendimiento del macerado</u>	<u>21</u>
<u>3.1. Poder Diastásico o “El poder Enzimático”</u>	<u>27</u>
<u>3.2. Fases del macerado</u>	<u>28</u>
<u>3.3 Influencia Enzimática del Tiempo</u>	<u>31</u>
<u>3.4. Influencia Enzimática de la Temperatura</u>	<u>33</u>
<u>3.5. Influencia Enzimática del pH</u>	<u>36</u>
<u>3.6. Influencia Enzimática del empaste o relación litros de agua / kilos de grano</u>	<u>39</u>
<u>3.7. Temperatura final y lavado del grano</u>	<u>40</u>
<u>Capítulo IV: Maceración</u>	<u>41</u>
<u>4.1. Maltas comúnmente utilizadas</u>	<u>42</u>
<u>4.2 Proceso</u>	<u>43</u>

4.3 Fases del macerado	46
Capítulo V: Ebullición con Lúpulo	49
5.1. Esterilización del mosto	50
5.2 Efecto del hervor sobre las proteínas	50
5.3 Irish Moss	52
5.4. Lúpulo	52
5.5 Evaporación	57
5.6. Desarrollo del color	57
5.7. Concentración del mosto	58
5.8. Descenso del valor del pH en el mosto	58
Capítulo VI: Fermentación	60
6.1. Aireación del mosto	61
6.2. Siembra de Levaduras	62
6.3. Fases de la Fermentación	63
6.4. Levaduras Lagers y Ales	69
6.5 Factores que afectan a la Fermentación	71
Capitulo VII: Estabilización	81
7.1. La maduración	81

7.2 Desarrollo del sabor	92
7.3 Clarificación	95
7.4 Estabilidad Coloidal	98
7.5 Carbonatación	98
Conclusión	99
Índice Tablas	102
Índice Figura	103
Índice Ecuaciones	104
Apéndice	105
Índice Bibliográfico	108

### Índice Bibliográfico

Zymurgy, Marc Sedam (Abril 2002) - *Mashing Basics Technology*. Las Condes editions.

Gigliarelli, Pablo (2004) - *Teoría de la Maceración*. *Revista Mash*, (2), 3-5

Palmer, John (2006) - *The Theory of Mashing* – ABC editions

Gregory J. Noonan (2010) - *New Brewing Lager Beer* – ABC editions

Dave Green (2008) - *The Science of Step Mashing* – Record editions.

Michael J. Lewis y Tom W Young (2012) – *Brewing* – ABC editions

Tom Flores (1999) - *Managing Mash Thickness* – AS & B editions

Chris Colby (2006) - *Mashing Variables and Techniques* - Las Condes ediciones

Randy Mosher (1998) - *The Brewer's Companion* – Academic press editorial

Instituto nacional de tecnología agropecuaria: *características de la cebada cervecera*,

<https://inta.gob.ar/servicios/analisis-de-calidad-comercial-e-industrial-de-cebada-cervecera>

Wolfgang Kunze (2012) - *Tecnología para Cerveceros y Malteros* – ABC ediciones

Charlie Papazian (2010) - *The Complete Joy of Homebrewing* - Association of Jesuit University Presses

James H. Munroe (1996) - *Handbook of Brewing* - Association of Jesuit University  
Presses

Kunze (2016) - *Tecnología para Cerveceros y Malteros* – ABC ediciones

Broris de Mesones (2016) - *Manual Práctico del Cerveceros* – Editorial El Planeta

Charles A. Masschelein (2010) - *The Biochemistry of Maturation* – ABC editions

J. S. Hough (2009) - *Biología de la Cerveza y de la Malta* - Association of Jesuit  
University Presses