



# **Universidad Católica de Cuyo**

## **Facultad Don Bosco de Enología y Ciencias de la Alimentación**

### **Licenciatura en enología e industrias frutihortícolas**

Extracción de taninos procedentes del  
agregado de maltas tostadas, durante la  
elaboración de cervezas oscuras del tipo Stout

**Alumno:** Cristian Jesús Demaldé Cappelloni

**Docente Tutor:** María Estela Jaime

**Docente Revisor:** Elena Caliguli

**Mendoza, 2023**

**Extracción de taninos procedentes del  
agregado de maltas tostadas, durante la  
elaboración de cervezas oscuras del tipo Stout**

Cristian Jesús Demaldé Cappelloni

**Profesores**

Asesor: Lic. *María Estela Jaime*

Revisión Formal: Mgter. Ing. Elena Caliguli

Tipo de Trabajo: Trabajo Final de Carrera

Lugar y Fecha: *Mendoza, Rodeo del Medio, mes y año de Defensa Oral*

***A mi familia***

*Por su sacrificio día a día para poder finalizar mi carrera, por apoyarme y acompañarme en cada decisión que tomé en mi vida.*

*Quiero dedicarles este trabajo final a ellos, que hicieron posible todo esto y me dieron la oportunidad de poder formarme como profesional, en una grandísima institución como lo es la Facultad Don Bosco.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por haberme siempre brindado lo mejor, por los valores inculcados, por su apoyo incondicional, por ser mi ejemplo a seguir, por haberme dado la posibilidad, con su esfuerzo, de estudiar en tan prestigiosa institución.

A mis amigos y compañeros de estudio por compartir horas de vida, esfuerzos y alegrías; momentos que quedarán marcados para siempre.

A mi tutora, Lic. María Estela Jaime, por su predisposición, sabiduría y apoyo durante todo este trabajo.

A Don Bosco por guiarme en el camino correcto.

A mi pareja Agustina, por su amor y compañerismo durante estos últimos años.

Por último, a la Facultad Don Bosco, desde directivos, profesores, personal, estoy profundamente agradecido por haberme formado como profesional y como persona.

**ABSTRACT**

En este trabajo de investigación se busca analizar las diferencias organolépticas y químicas, provocado por la concentración de taninos precedentes del agregado de maltas tostadas, en diferentes estadios del proceso de maceración tanto por infusión simple como por decocción en la elaboración de cervezas oscuras tipo “Stout”, abarcando una técnica que podría reemplazarla la descrita anteriormente, conocida como macerado en frío o cool steep.

## INTRODUCCIÓN

Los taninos son compuestos fenólicos del tipo “Flavonoides” que resultan de la polimerización de muchas moléculas elementales con función fenólica, estos se encuentran de forma natural en las cascara de los granos de cebada malteada y en una proporción mucho menor, en el lúpulo.

La sensación de astringencia en la cerveza, es provocada por la extracción excesiva de taninos precedente de los granos de malta durante la maceración, que es descrita como una sensación áspera en el paladar y un sabor amargo, de esto también dependen factores como: la molienda de la malta, el pH del mosto, pH del agua de lavado, el agregado de maltas oscuras que presentan cierto carácter ácido.

La metodología consistirá en elaborar 7 lotes de cerveza en los cuales, 3 corresponden a una maceración por infusión simple y 3 a una por decocción, en los 3 primeros lotes correspondiente a cada maceración, se modificarán los tiempos de agregado de las maltas tostadas, y en el lote restante se aplicará la técnica del macerado en frío. Se tomará como base la elaboración de una cerveza oscura tipo “Stout” y se observa en los diferentes ensayos la concentración de tanino, su influencia organoléptica y química.

## **CAPÍTULO I: Cebada**

### **1.1 Introducción**

La cebada es la materia prima principal para la fabricación de cerveza. Su utilización se basa en el hecho de que tiene un alto contenido de almidón y que la cáscara sigue adherida al grano aun después de haber sido procesada para ser transformada en malta, está suministra el almidón necesario para la fabricación de cerveza, el cual es transformado posteriormente en la sala de cocción en extracto fermentable por medio del complejo enzimático que posee la malta. También contiene proteínas, generalmente en cantidades más que suficiente para proporcionar los aminoácidos necesarios para el crecimiento de la levadura, y las sustancias nitrogenadas que desarrollan un papel importante en la formación de la espuma<sup>1</sup>.

### **1.2 Tipos de cebada**

En la cebada se diferencia entre el tipo invernal (cebada de invierno), que es sembrado a mediados de septiembre, y el tipo estival (cebada de verano), sembrado de marzo a abril.

---

<sup>1</sup>Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros, pág. 35

En ambos existen variedades según el ordenamiento de los granos sobre el raquis, pueden ser clasificadas en variedades de dos hileras o de seis hileras. Esto no es un aspecto solo estético, sino que influye en el contenido de proteínas y almidones del grano. La cebada que se cultiva en América normalmente es de seis hileras, con una capacidad diastática (que es la cantidad de enzimas, la capacidad de modificar el almidón) mucho más alta que la cebada de dos hileras. La cebada es el único cereal que una vez malteado conserva enzimas. La cebada americana de 6 hileras tiene un exceso de enzimas que permite el uso de otros cereales que carecen de enzimas, con los cuales no podríamos hacer cerveza. Aunque parece muy técnico, simplemente es una forma de decir que el grano de esta cebada tiene la capacidad de desdoblar mucho más almidón del que contiene en su interior, con lo cual le permite al cervecero emplear otros cereales malteados o sin maltear que contienen almidón, pero no enzimas. Los cereales no malteados que se utilizan con más frecuencia son el trigo en las cervezas belgas, maíz y arroz en Estados Unidos.

En las cebadas de seis hileras se encuentran sobre cada nudo del raquis de una espiga tres florecillas fértiles, las cuales forman un grano cada una, luego de la polinización, estas presentan granos de tamaño irregular. Debido a que los granos no tienen suficiente lugar para el crecimiento.

En las cebadas de dos hileras se forma solamente un grano en cada segmento intermodal del raquis, debido a que se encuentre disponible sólo una florecilla fértil, estas presentan granos grandes e hinchados, usualmente con una cáscara delgada, finamente arrugada. Con ello esta cebada contiene relativamente más sustancias útiles y tiene menos cáscara, conteniendo así menos taninos y compuestos amargos. Los granos son todos muy uniformes. El contenido de extractos es comparativamente alto.

Las cebadas de dos hileras son cultivadas preferentemente como cebada de verano y concentran en sí mismas todas las ventajas para la fabricación de malta y cerveza.

Sin embargo, los rendimientos de la cebada de inviernos, con aproximadamente 6000 kg/ha notablemente mayores que los rendimientos de la cebada de verano con aproximadamente 4000 kg/ha, lo cual naturalmente resulta del periodo más corto de vegetación de la cebada de verán (150 días frente a 300 días para la cebada de invierno).

En el cultivo de variedades se da gran importancia a los aspectos cualitativos:

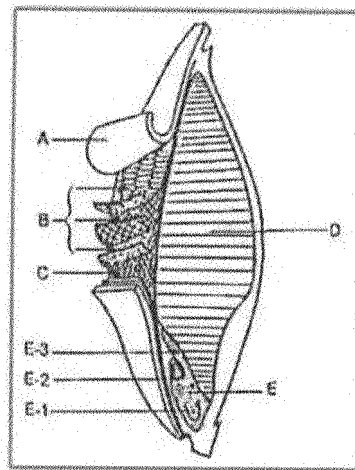
- Resistencias a enfermedades y parásitos.
- Alto rendimiento en granos.
- Buena forma y distribución de los granos.
- Bajo contenidos de albúminas.
- Buena capacidad de formación de enzimas.
- Elevado rendimiento en extracto en el malteado.
- Alto poder germinativo en el momento de maduración de malteado<sup>2</sup>.

1.2.1 Estructura del grano de cebada: El grano de cebada se divide en tres partes principales: la región germinal, el endospermo y las cubiertas del grano.

---

<sup>2</sup>Wolfgang Kunze (2006) Tecnología para cerveceros y malteros, pág. 36

Figura 1: Estructura del grano de cebada



### **Estructura del Grano de Cebada**

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

Nota: En esta imagen se observa las diferentes partes que componen el grano de cebada.

Tomado de Tesis de grado de Rubén Sancho S. 2015 <sup>3</sup>

La región germinal contiene el embrión con nudos de crecimiento para la acrospira y las raicillas. El germen está separado del endospermo por una fina capa de tejido, el escutelo y la capa epitelial. El embrión del grano de cebada está completamente desarrollado y dispuesto a crecer cuando las condiciones del medio sean favorables. Es rico en lípidos, especialmente lecitina.

El endospermo está compuesto por:

- Aleurona: Esta capa rica en proteínas es el punto de partida más importante para la formación de enzimas en el malteado, de las cuales he de mencionar las enzimas hidrolíticas:  $\beta$ -amilasa, endoproteasas y endo- $\beta$ -glucanasas. También hay acumulación de otras sustancias, tales como materias grasas, taninos y colorantes.
- Albumen: Está formado por unas celdas cuyas paredes celulares están constituidas principalmente por  $\beta$ -glucanos. En el interior están los gránulos de

<sup>3</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 28

almidón sobre una matriz proteica, que regula todo tipo de intercambio de materia entre el interior y el exterior.

Las cubiertas del grano, pueden dividirse en tres importantes: la cubierta más interna que rodea la capa de aleurona es la cubierta de semilla o testa. Esta envuelve todo el grano y solo permite el pasaje de agua pura, pero no las disueltas en esa agua. Esto es debido a la semipermeabilidad de la testa.

La cubierta que sigue hacia afuera, el pericarpio, está íntimamente unida a la cubierta de la semilla. Está cubierta rodea la testa y, a su vez, es rodeada por la epidermis, la cual es protegida exteriormente por ambas cáscaras del grano

Las cáscaras están compuesta esencialmente por celulosa, en ellas se encuentran acumuladas pequeñas cantidades de sustancias que pueden tener efectos desagradables sobre la calidad de la cervezas tales como taninos, compuestos amargos y ácido testínico<sup>4</sup>.

1.2.2 Composición y propiedades de los componentes: El contenido de agua de la cebada es de 14 a 15%, en promedio. Puede variar entre el 12% en una cosecha muy seca, y más del 20% para una cosecha húmeda. La cebada húmeda corre riesgos, en lo que respecta a su capacidad de almacenamiento y de germinación, y debe ser secada. La cebada apta para almacenamiento debe tener un contenido de agua menor que el 15%. El contenido restante se denomina materia seca. En promedio, la materia seca de la cebada tiene la siguiente composición:

- Hidratos de carbono totales: 70,0 - 85,9%
- Proteínas: 10,5 - 11,5%
- Sustancias minerales 2,0 - 4,0%

---

<sup>4</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros, pág. 39 a 41

- Grasas: 1,5 - 2,0%
- Otras sustancias 1,0 - 2,0%

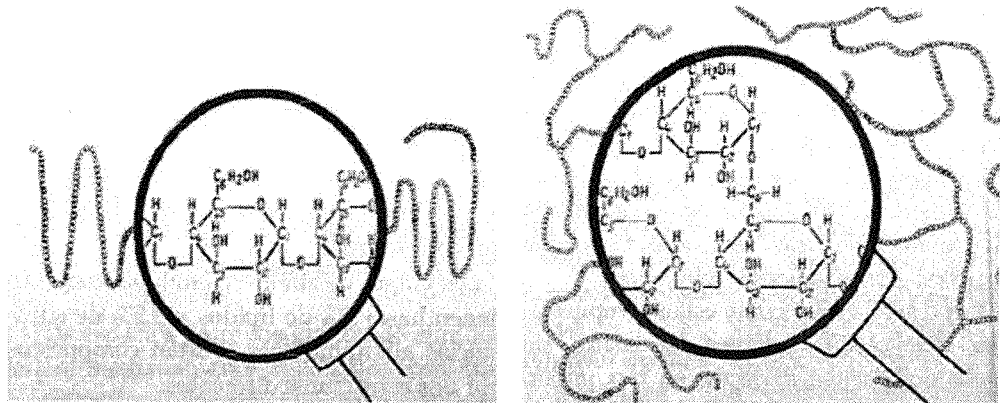
1.2.2.1 Hidratos de carbono: Los hidratos de carbono son el mayor complejo de sustancias, desde el punto de vista cuantitativo. Sin embargo, se diferencian de forma importante en lo referente a sus propiedades de materia y, por lo tanto, en su importancia para el procesamiento y la calidad del producto. Son considerados muy importantes el almidón, los azúcares, la celulosa, así como también la hemicelulosa y las gomas.

1.2.2.1.1 Almidón: El almidón es el componente más importante de la cebada con 63 – 65%, este se forma en el grano de cebada en una maduración lenta, por asimilación y posterior condensación de glucosa. El almidón es almacenado como granos de almidón en las células del endospermo.

Los granos de almidón contienen hasta un 5% de lípidos y 0,5% de sustancias albuminoideas y están compuesto por don estructura diferentes:

- Amilosa: Está compuesta por 200 a 400 residuos de glucosa, los cuales están unidos en una cadena helicoidal sin ramificaciones, por puentes de oxígeno, en las posiciones 1,4: Soluble en agua, no forma engrudo.
- Amilopectina: Está compuesta por residuos de glucosa, que están unidos en las posiciones 1,4 por puentes de oxígeno. Sin embargo, en intervalos de 15 a 30 unidades de glucosa hay aparte un enlace 1,6 de manera tal que las moléculas de amilopectina son comparables en su aspecto a un árbol ramificado, el cual puede contener hasta 6000 residuos de glucosa.

Figura 2: Estructura de la amilosa y la amilopectina



Nota: A la izquierda se observa la estructura de la amilosa, mientras que a la derecha la de la amilopectina. Wolfgang Kunze (2006)<sup>5</sup>

1.2.2.1.2 Azúcar: Con 1,8 a 2,0% el contenido de azúcar en la cebada es muy bajo. El azúcar es el único producto transportable de metabolismo para el embrión. Dado que el grano se encuentra en la cosecha en posición de reposo, sólo hay presentes pocos productos catabólicos, principalmente sacarosa, algo de glucosa y fructosa.

1.2.2.1.3 Celulosa: El 5 a 6% de celulosa se encuentra exclusivamente en la cáscara y actúa como sustancia estructural, está formada por largas cadenas, sin ramificación, de residuos de  $\beta$ -glucosa en el enlace 1,4. Sin embargo, la celulosa es insoluble y no es degradable por las enzimas de la malta.<sup>6</sup>

1.2.2.1.4 Hemicelulosa: Son los componentes principales de las paredes celulares en el endospermo. Están compuestos por  $\beta$ -glucanos y pentosanos, los cuales forman de manera conjunta la estructura celular rígida de las paredes celulares en el endospermo.

<sup>5</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros, pág. 42

<sup>6</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros, pág. 42

- $\beta$ -glucano: Bajo la denominación  $\beta$ -glucano se entienden largas cadenas de moléculas de glucosa que se encuentran unidas entre sí en enlaces  $\beta$  1,4. La degradación de este compuesto es de suma importancia. Una degradación insuficiente de los  $\beta$ -glucanos puede hacerse notar de forma negativa hasta alcanzar el producto final, la cerveza terminada.
- Pentosanos: Están compuesto por las pentosas xilosa y arabinosa, estos contienen principalmente largas cadenas de residuos de 1,4-D-xilosa. Los pentosanos rodean los  $\beta$ -glucanos de las paredes celulares del almidón. Su influencia sobre la fabricación y calidad de la cerveza es de poca importancia.

1.2.2.2 Sustancias albuminoides: El contenido de proteínas en la cebada puede variar entre 8 a 16%. Si bien la cantidad de sustancias albuminoides en la cerveza es relativamente reducida, puede tener una influencia notable sobre la calidad.

Así, las proteínas ayudan notablemente a la estabilidad de la espuma, por otro lado, pueden también estar implicadas de forma predominante en la formación de turbidez en la cerveza. El contenido de extracto en la malta se reduce en casi la misma cantidad (0,7 bis 1%) cómo crece el contenido de proteínas en la cebada. Por ello, las exigencias comerciales usuales son de un máximo de 11,5% de proteínas en la materia seca.

Los elementos constituyentes de las proteínas son los aminoácidos, están formadas por 20 aminoácidos diferentes, los cuales son ordenados por el organismo en una secuencia exactamente definida. De ello resulta una diversidad impresionante de posibilidades.

Debido a su comportamiento en el proceso de elaboración de la cerveza, las sustancias albuminoides de la cebada son divididas en dos grandes grupos: las proteínas y sus productos proteolíticos, en los cuales puede ser degradados.

1.2.2.2.1 Proteínas: Se denomina proteínas a las sustancias albuminoideas de mayor y alto peso molecular, las cuales son insolubles en agua o precipitan en la cocción.

Dado que el mosto es cocido en la sala de cocción, las proteínas insolubles en calor no llegan a la cerveza terminada. La mayor parte de las sustancias albuminoides de la cebada está compuesta por proteínas (aproximadamente 92%). Las albúminas de la cebada se llaman leucositos. Se disuelven en agua pura e integra aproximadamente el 11% de la proteína de la cebada. Precipita completamente en la cocción, después se pueden encontrar otras como la globulina también denominada edestina, esta se disuelve en soluciones salinas diluidas, es decir, también en la maceración. Integra aproximadamente el 15% de la proteína de la cebada. La digestión está compuesta por cuatro componentes, de los cuales la  $\beta$ - globulina sulfurosa no precipita nunca completamente, aún en cocción prolongada, y puede causar turbiedades en la cerveza.

La cantidad de proteínas se reduce en el malteado y en la fabricación de cerveza, dado que son degradadas por medios enzimáticos parcialmente en productos proteolíticos

1.2.2.2.2 Productos proteolíticos: Los productos proteolíticos se caracterizan por ser siempre solubles en agua y por no precipitar durante la cocción. La cerveza terminada contiene casi únicamente productos proteolíticos.

La menor parte de las sustancias albuminoideas de la cebada son productos de degradación (aproximadamente 8%). Su porción crece en el malteado y en la fabricación de cerveza. Se diferencia en los productos proteolíticos:

Los productos de degradación de peso molecular más alto favorecen la estabilidad de la espuma de la cerveza, pero también tienen participación en las turbiedades en la cerveza.

Los productos de degradación de bajo peso molecular están compuestos por los elementos constituyentes más pequeños de las sustancias albuminoideas, los aminoácidos, y los péptidos formados por polimerización.

Dos aminoácidos forman un dipéptido, bajo separación de agua. El enlace - CO-NH - se llama enlace peptídico; el mismo es característico del enlace de la molécula de aminoácido en todas las sustancias albuminoideas.

Se llama oligopéptidos a los compuestos con 3 a 9 aminoácidos. Polipéptidos son aquellos con 10 a 100 aminoácidos: Los productos de degradación de bajo peso molecular son absolutamente esenciales como nutrientes para la levadura.

Cada proteína es caracterizada:

- Por la cantidad y tipo de aminoácidos
- Por la secuencia de enlace de los aminoácidos
- Por la estructura espacial, en la que están ordenados los aminoácidos en la molécula proteica, la estabilidad de esta estructura depende de la temperatura y del valor pH y determinar la solubilidad, la desnaturalización y finalmente la precipitación de las proteínas bajo condiciones determinadas.

Las enzimas son, por lo general, proteínas con una estructura terciaria tal que una abertura o incisión, en un lugar de aquella, posibilita un contacto específico con el sustrato según el principio llave/cerrojo. De la estructura terciaria de la proteína se explican también la temperatura óptima y el valor pH óptimo de las enzimas. Los aminoácidos, son los nutrientes más importantes de la levadura para la formación de

nuevas sustancias celulares. Debido a su tamaño estructural, la levadura solamente puede absorber aminoácidos de forma directa o extraer el grupo amino. El contenido de NH<sub>2</sub> terminal, de suma importancia en la nutrición de la levadura, se denomina  $\alpha$ -aminonitrógeno libre, o  $\alpha$ -aminonitrógeno.

1.2.2.3 Grasas: La cebada contiene aproximadamente 2% de grasa, está depositada en especial en la capa de aleurona y en el embrión.

Los componentes principales de las grasas son los ácidos grasos. Se diferencian aquí:

- Ácidos grasos de cadena corta –pertenece a éstos, por ejemplo, el ácido acético.
- Ácidos grasos de cadena media con 5 a 14 átomos de carbono.
- Ácidos grasos de cadena larga con 16 a 18 átomos de carbono.

Los ácidos grasos no saturados son aquellos que tienen uno o varios enlaces dobles entre determinados átomos de carbono, estos son necesarios para la constitución de la pared celular de la levadura, pero sus derivados son también responsables de los procesos, posteriores al envasado, de envejecimiento del sabor de la cerveza.

Los ácidos grasos no saturados son muy reactivos. Las reacciones pueden ser causadas por la enzima lipoxigenasa o de forma no enzimática, por auto oxidación. Los ácidos grasos de cadena media se forman especialmente en la fermentación principal y son excretados, de manera progresiva durante la maduración de la cerveza, por la levadura. Tienen un efecto particularmente negativo sobre la espuma.

1.2.2.4 Sustancias minerales: El contenido de sustancias minerales en la cebada es de 2 a 3%, los minerales más importantes son los fosfatos, que los encontraremos expresados como óxido de fósforo, la presencia de estos minerales es de gran

importancia para muchos procesos. Así, por ejemplo, no puede tener lugar ninguna fermentación alcohólica sin fosfatos, porque los procesos que tienen lugar en la fermentación están ligados químicamente al ácido fosfórico.

Los silicatos se encuentran muy abundantemente en la cáscara, pero también en el almidón. Son solubles de forma coloidal y detectable en cualquier turbiedad de cerveza. Por último, debe tenerse en cuenta que todos los carbonatos provienen del agua.

1.2.2.5 Taninos y polifenoles: Hay taninos depositados en la cáscara de la cebada y también en la capa de aleurona. En cantidades mayores se caracterizan por un sabor desagradablemente áspero y amargo. Por lo general, su cantidad aumenta con el espesor de la cáscara. Por eso se prefieren cebadas con cáscara delgada, finamente arrugada o se trata, en el caso de cebadas de cáscara gruesa, de extraer ya en la maltería una parte importante de estas sustancias. Lo mismo vale para las resinas amargas depositadas.

En los polifenoles, se trata en especial de las antocianidinas y sus etapas anteriores. Las antocianidinas son siempre sustancias amargas colorantes y aromáticas, que se encuentran en muchos frutos y que pueden cambiar su color, de acuerdo con el valor pH.

Estos compuestos se pueden unir en la cerveza con sustancias albuminoideas de alto peso molecular y pueden causar turbiedades por precipitación, las cuales reducen el valor útil de la cerveza o la convierten en totalmente inservible. A los efectos de impedir este tipo de turbiedades, se deben extraer estos polifenoles antes del envasado. Su presencia es favorable en mostos, en la medida que ayudan a precipitar proteínas, esto se conoce como trub caliente. No obstante, es preferible que la cerveza

no sea excesivamente rica en estos compuestos, porque le aportaría al producto terminado un sabor amargo y una sensación muy astringente.

1.2.2.6 Vitaminas: En el interior del grano de cebada se encuentran principalmente las siguientes vitaminas:

- Vitamina B1 (tiamina) – depositada principalmente en las partes exteriores del grano, es muy importante debido a que favorece la fase exponencial de la levadura.
- Vitamina B2 (riboflavina).
- Vitamina C (ácido ascórbico) en pequeña cantidad.
- Vitamina E (tocoferol) en la grasa del embrión.

1.2.2.7 Enzimas de la cebada: La cebada y la levadura contienen un vasto rango de enzimas. Las numerosas transformaciones que ocurren durante el malteado y la fabricación de cerveza tienen lugar exclusivamente por efecto de las enzimas.

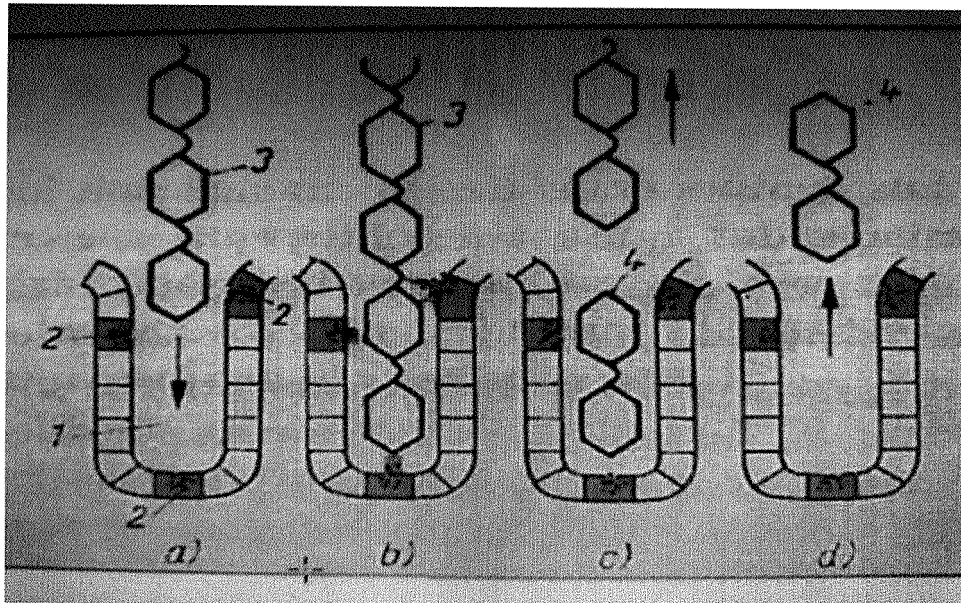
Las enzimas son sustancias albuminoides de alto peso molecular, las cuales, actuando como biocatalizadores, posibilitan o aceleran notablemente determinadas reacciones. Tienen efecto ya en pequeñas concentraciones y determinan la dirección y la velocidad de las transformaciones bioquímicas. La mayoría de las enzimas se forman recién durante la germinación en el malteado.

Los componentes de las enzimas son los aminoácidos, que están unidos entre sí en el enlace peptídico, las cadenas de péptidos constituyen una cadena helicoidal.

Las enzimas están compuestas en todos los casos conocidos por enrollados intrincados de proteínas, los cuales muestran una especie de bolsillo, en los que el sustrato encaja de forma precisa (función llave/cerrojo).

En el bolsillo de la enzima, el cual se forma dentro del enrollado de la molécula, se encuentra el centro activo (2) de la enzima, el cual está compuesto por aminoácidos y otros grupos activos, ordenados de determinada manera. Este centro activo ejerce una fuerza de atracción sobre el sustrato (a). Cuando el sustrato se encuentra en el bolsillo de la enzima, los aminoácidos y otros grupos activos de la enzima se unen al sustrato. Estos enlaces son de naturaleza electrónica o química. Como resultado, se modifica el ordenamiento espacial de los aminoácidos; el sustrato se encuentra en una especie de trampa (b). Luego de la disociación (c), los aminoácidos del centro activo retornan a su posición original, el producto sale por difusión de la enzima (d), y la enzima está preparada para el próximo proceso de disociación (a).

Figura 3: Mecanismo de acción de la enzima



Nota: Mecanismo de acción de la enzima (el ejemplo de principio de acción muestra la  $\beta$ -amilasa). (1) Bolsillo de la enzima, (2) centro activo, (3) sustrato, (4) producto, (a) inserción del sustrato, (b) unión al centro activo, (c) los aminoácidos retornan a su posición original, (d) el producto sale del bolsillo de la enzima. Wolfgang Kunze (2006)<sup>7</sup>.

Como consecuencia, cada enzima puede reaccionar únicamente con un sustrato muy específico. De ello resulta la alta especificidad de todas las enzimas respecto de los sustratos.

En muchas enzimas el efecto catalítico está ligado al acceso de un grupo prostético. Para la función de algunas enzimas son importantes a menudo también iones metálicos divalentes como por ejemplo el hierro, magnesio, calcio, etc. Estos metales son ligados en la enzima.

<sup>7</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 50.

i 2.3 Evaluación de la cebada: La cebada apta para la industria maltera debe cumplir los siguientes parámetros:

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

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

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

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

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

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

Conociendo la composición química de la cebada y el proceso de malteado de forma resumida, será posible entender cuáles son los factores de la malta de cebada y cómo afectan a la calidad del producto final.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> **Wolfgang Kunze (2006).** Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 41 a 53

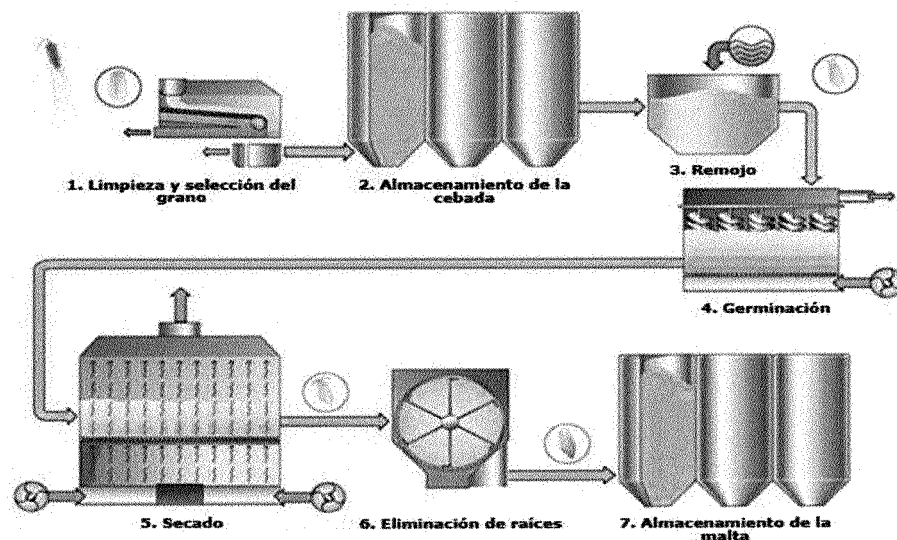
## **CAPÍTULO II: Fabricación de la malta**

### **2.1 Introducción**

Sin malta no se puede fabricar cerveza. El malteado consiste en la obtención de un grano de cebada rico en enzimas y con una estructura del endospermo que permita el ataque enzimático del almidón. Consta de siete etapas en total, de las que se destacan las siguientes por su mayor trascendencia: remojo, germinación y secado (Kunze, 2006).

La mayoría de las fábricas de cerveza no poseen maltería o, si la poseen es una planta totalmente independiente de la de fabricación de cerveza.

Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de malteado



Nota: Se muestran los diferentes procesos para llevar a cabo el malteado de la cebada.

Tomado de Tesis de grado de Rubén Sancho S. (2015)<sup>9</sup>.

## 2.2 Recepción, limpieza, selección y almacenamiento

Antes de pasar a los silos de almacenamiento, como la cebada no viene muy limpia, es necesario someterle a una pre-limpieza.

La máquina limpiadora tiene como objetivo separar la cebada de suciedades bastas, de granos extraños, piezas metálicas, piedras, arena y polvo, esta maquinaria consiste, esencialmente, en un juego de zarandas con movimientos de vaivén. Cada zaranda tiene perforaciones de distintas medidas, en la primera quedan retenidas las piedras, espigas, pajas, etc.; en la segunda la semilla o planta de menor tamaño y en la tercera se separan los granos de cebada. De esta última zaranda salen aún los granos demasiado pequeños (4º clase) y semillas más chicas de distintas hierbas

<sup>9</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 43

Los granos huecos son eliminados en gran parte con la paja por corriente de aire quedando retenidos en la máquina, mientras el polvo es retirado en el “ciclón”. Esta 4ª clase se destina como grano de forraje<sup>10</sup>.

El almacenamiento no tiene solo la función de guardar los granos, sino que con éste se completa la madurez y se hace más uniforme, se almacena en silos durante un periodo mínimo que va de 6 a 8 semanas. Durante este periodo de reposo vegetativo el grano no tiene las condiciones necesarias para germinar. La cebada es más estable seca y mantenida a baja temperatura. Un tratamiento típico consiste en desecarla hasta un 12% de humedad y almacenarla a 25°C, este proceso debe llevarse a cabo de tal forma que permanezca viable la planta embrionaria contenida en cada grano; por consiguiente, es necesario evitar el uso de temperaturas demasiado altas y para acelerar la desecación debe recurrirse a aumentar la velocidad de flujo de aire y a un calentamiento gradual del mismo. La temperatura del grano nunca debe superar los 52°C. Un grano húmedo es fácilmente atacado por insectos y hongos causantes de su deterioro.

En el laboratorio se efectúan otras pruebas; entre ellas la determinación de agua, la viabilidad de los embriones y el contenido de nitrógeno. En las grandes malterías, la humedad se mide por conductividad eléctrica. El contenido de proteínas se mide, bien convirtiéndola en sulfato amónico y titulando el amoníaco, bien mediante técnica de fijación de colorante o por reflectancia en el infrarrojo. Finalmente, la viabilidad de los embriones se calcula seccionando longitudinalmente los granos y sumergiéndolos en una disolución de una sal de tetrazolio. Los embriones vivos, tienen deshidrogenas activas que reducen la sal a un colorante de formazano que tiñe los embriones. Esta prueba rápida suele confirmarse mediante pruebas de germinación a pequeña escala<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> Apuntes de la cátedra de Tecnología de derivados, dictados por la Lic. Ranzuglia G. 2017

<sup>11</sup> Hough J. S. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Pág. 23 a 25

### 2.3 Remojo

Es en este momento cuando empieza realmente la preparación de la malta. El grano mediano contiene entre 10 y 12% de agua de constitución, por lo tanto el remojo es la etapa del proceso de malteado por la que se comunica al grano la humedad necesaria para la germinación<sup>12</sup>.

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

Durante el remojo el grano de cebada, que no es sino una semilla, vive y por tanto se experimentan en él una serie de transformaciones que podemos resumir como respiración, en la que el grano consume azúcares del endospermo y libera agua, anhídrido carbónico y calor. La otra reacción que se puede desencadenar es de fermentación, se producen en el grano la formación de sustancias indeseables originadas por la falta de oxígeno.

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

Un buen remojo debe cumplir los siguientes requisitos:

- El grano no debe de adquirir sabores extraños, por lo que el agua utilizada será agua potable.
- Todos los granos deberán de haber sido humidificados en igual medida. Se sabe que el grado de humidificación depende de numerosos factores entre los

---

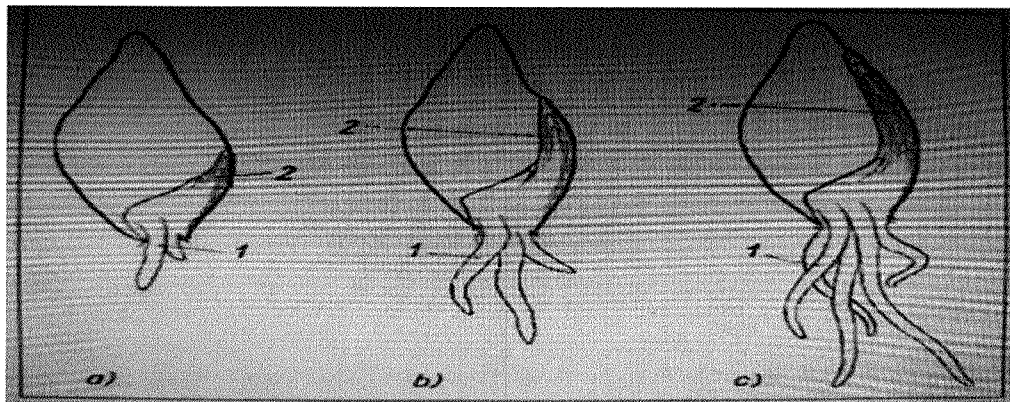
<sup>12</sup> Apuntes de la cátedra de Tecnología de derivados, dictados por la Lic. Ranzuglia G. 2017

- Sistema de bombeo que permita el vaciado y transporte de la cebada a las cajas de germinación, haciéndose frecuentemente con agua<sup>13</sup>.

## 2.4 Germinación

Las sustancias contenidas en el endospermo se encuentran, antes del proceso de malteado, en una forma estable, de alto peso molecular. Dado que cualquier transporte dentro de los organismos únicamente puede ser realizado con ayuda de agua, estas sustancias deben ser degradadas a productos solubles de bajo peso molecular. Esta degradación es realizada por enzimas que se forman durante la germinación.

Figura 5: Crecimiento en germinación



Nota: Procesos de crecimiento en el grano de cebada en germinación. (a) Primer día, (b) al tercer día de germinación, (c) al quinto día de germinación, (1) raicilla, (2) acrospira. Kunze (2007)<sup>14</sup>.

La producción de enzimas es el propósito principal del malteado. Estas enzimas son absolutamente esenciales para la degradación de sustancias en la maceración. Para

<sup>13</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 44 a 46

<sup>14</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 154.

evitar una merma de sustancias, se restringen los procesos de degradación enzimática durante el malteado (Kunze, 2007).

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

Morfológicamente la germinación se caracteriza por las siguientes modificaciones:

- Se desarrolla la radícula formando 3 o 5 raicillas.
- Las células del epitelio se hacen menos transparentes.
- Se disuelven las paredes celulares del endospermo que acogían a los gránulos de almidón como consecuencia de la actuación de las hemicelulosas, quedando el grano quebradizo, friable, pudiendo ser aplastado entre los dedos. Es la llamada desegregación del grano.

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

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

Las amilasas son responsables de la rotura del almidón en azúcares fermentables. Durante la germinación su actuación está limitada por las bajas

temperaturas, desdoblado apenas un 5% del almidón. El grano de cebada ya posee  $\beta$ -amilasas inactivas, mientras que las  $\alpha$ -amilasa se forman en esta etapa de germinación.

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

Además actúan otras enzimas: las lipasas degradando parte de los lípidos, las fitasas produciendo inositol y fosfórico, la catalasa, etc<sup>15</sup>.

2.4.2 Modificación y degradación de los  $\beta$ -glucanos: La pared celular de endospermo está compuesta por una laminilla media de proteínas, la cual está envuelta a ambos lados por una capa de  $\beta$ -glucano. Durante la germinación son degradados los ácidos orgánicos y los pentosanos por parte de las xilanasas, antes de que las glucanasas comienzan la degradación de  $\beta$ -glucano, para que así puedan atacar y destruir visiblemente la estructura celular rígida.

La degradación del  $\beta$ -glucano es realizada por:

- La endo- $\beta$ -1,4-glucanasa,
- la endo- $\beta$ -1,3-glucanasa, así como por
- La exo- $\beta$ -glucanasa, que ya está preformada en el grano.

A ello se le agrega la  $\beta$ -glucanosolubilasa, que libera el  $\beta$ -glucano de las uniones con las proteínas.

---

<sup>15</sup> **Rubén Sancho S. (2015).** Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 46 y 47

El trabajo de los  $\beta$ -glucanos se encadena entre sí, destroza progresivamente la estructura celular rígida, liberando de esta manera, para otras enzimas, el camino al interior del endospermo. De este modo y a partir de ello, la degradación enzimática puede tener lugar más fácilmente.

Este proceso se denomina disolución, modificación o citólisis. La modificación se manifiesta por una progresiva friabilidad del grano. El contenido muy duro del grano de cebada puede ser triturado entre ambos dedos, al final de la germinación.

Las  $\beta$ -glucanasas degradan el  $\beta$ -glucano hasta dextrinas. La  $\beta$ -glucanosolubilasa que tiene una temperatura óptima y una temperatura de inactivación más elevadas que los otros  $\beta$ -glucanos, degrada únicamente a  $\beta$ -glucanos de alto peso molecular. Dado que luego, durante la maceración, se mantienen temperaturas por encima de 60°C, debido a la degradación de almidón -siempre que no se macere a esa temperatura, tal como ocurre hoy en día cada vez más-, los  $\beta$ -glucanos de alto peso molecular formados por la  $\beta$ -glucanosolubilasa ya no pueden ser degradados a glucanos de bajo peso molecular o a dextrinas. Los  $\beta$ -glucano de alto peso molecular tienden, a la formación de geles con un consecuente incremento de la viscosidad, que puede causar dificultades de filtración y otros efectos colaterales. De ello resulta que la citólisis debe ser impulsada en la maltería hasta el grado deseado por la fábrica de cerveza<sup>16</sup>.

2.4.3 Aspectos a tener en cuenta: La energía necesaria para la formación de enzimas procede del consumo de azúcares y en parte de algunas grasas, concretamente una cuarta parte de las materias grasas se degrada durante la germinación. Este consumo de azúcares y grasas junto con las raicillas constituyen las denominadas mermas del malteado, o sea, pérdidas de peso (en base seca) de la malta con respecto a la cebada.

---

<sup>16</sup>Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 157 y 158.

Los procesos de degradación de azúcares, son exotérmicos, por lo que el lecho de cebada en germinación tiende a aumentar espontáneamente su temperatura.

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

La germinación es un proceso vital intensivo, que solo puede tener lugar en presencia de agua en cantidad suficiente. Es por ello importante que el producto en germinación tenga, durante la germinación, un contenido de agua mayor que el 40%. Mientras se evapora una parte del agua se produce continuamente agua (transpiración) por respiración. Si no alcanza la producción por transpiración debe agregarse.

Como consecuencia de la respiración inicial intensiva, el producto en germinación debe ser abastecido con suficiente oxígeno. Con demasiada aireación, se consume por respiración demasiada sustancia del grano. La respiración es máxima al principio y puede ser reducida posteriormente

La temperatura aumenta, debido a la respiración. Pero con esto, aumentan las pérdidas por respiración y crecimiento de raíz y se reduce la cantidad de enzimas. A partir del tercer día de germinación puede ser restringida la respiración

La temperatura ideal para la germinación está entre 15,6 – 23°C y dura aproximadamente entre 5 y 7 días. Para maltas base como la Pilsen, las temperaturas

oscilan desde los 15,6°C hasta los 18°, en cambio en las maltas tostadas los rangos van desde los 23°C hasta los 25°C

Para una realización racional de la germinación es necesario regular el contenido de agua, la aireación y la temperatura.

La malta verde que se retira de la sala de germinación, debe tener un olor fresco y agradable que recuerde a pepinos sin el menor dejo mohoso, ácido, ni olor fuerte que indicaría una respiración intermolecular<sup>17</sup>.

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

Figura 6: Granos de cebado en germinación



Nota: Se observan los granos de cebada que ya están germinando. Extraído de Aftyka, 2018<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Apuntes de la cátedra de Tecnología de derivados, dictados por la Lic. Ranzuglia G. 2017

<sup>18</sup> Ricardo Aftyka (2018). Pasión por la cerveza. Pág. 25

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

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

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

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

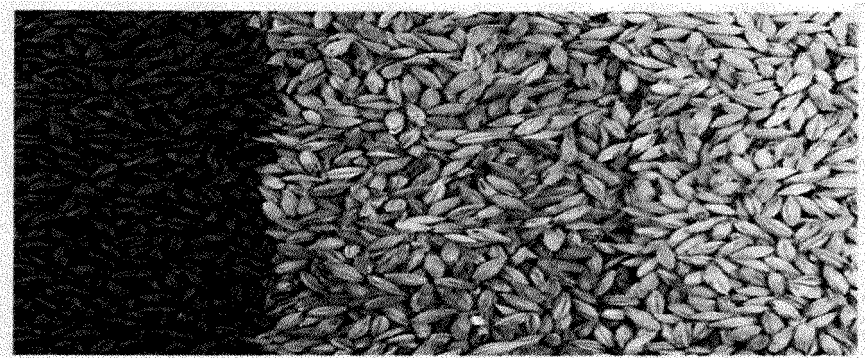
Se llenan las cajas de germinación repartiendo homogéneamente la cebada en un lecho de entre 0,7 y 1,5 m de altura. Hay que tener en cuenta que la germinación ahueca el lecho y se produce un aumento en el espesor de la cebada. A través del fondo de la caja se inyecta aire, que previamente habrá pasado por una unidad de refrigeración y por unas duchas de agua para saturar el aire en humedad. Además, también se aplican duchas superficiales desde el techo de la sala de germinación para mantener la humedad. Cuando se utilizan aditivos se suelen dosificar aprovechando estas duchas. Entre los productos que se pueden añadir destaca el ácido giberélico (0.1 – 0.2 mg/Kg) como activador de la formación de enzimas. También pueden añadir inhibidores del crecimiento de raicillas, para evitar las pérdidas, como el bromato potásico (100-200 mg/kg)

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

## 2.5 Secado y tostado

El proceso de germinación es detenido por el malteador desecando los granos de malta, puede elegir distintos procesos de secado, la deshidratación prolongada y a bajar temperaturas conduce a una malta clara, con gran parte de su contenido enzimático intacto, en tanto que una deshidratación rápida y a temperaturas altas rinde malta oscuras o también conocidas como tostadas que son deficitarias en actividad enzimática (Hough, 1990).

Figura 7: Diferentes tostados de la malta



Nota: Se observan los cambios que sufre la malta al someterla a diferentes clases de tostado. Extraído de Sancho S. 2015<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 51

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

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

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

La evolución del gusto en el período de secado es compleja y se debe a reacciones a alta temperatura entre compuestos del desdoblamiento enzimático, estos son los aminoácidos y los azúcares (maltosa, glucosa, fructosa) procedentes de la degradación por un lado de las proteínas y por otro del almidón, dando como resultado las melanoidinas.

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

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

- Si la malta se calienta excesivamente cuando todavía está húmeda se producirá una destrucción de enzimas importante. Las enzimas en un medio desecado son termoresistentes, soportan incluso 105°C, pero si la humedad es alta se

destruyen a temperaturas más bajas (la temperatura de destrucción depende de la enzima).

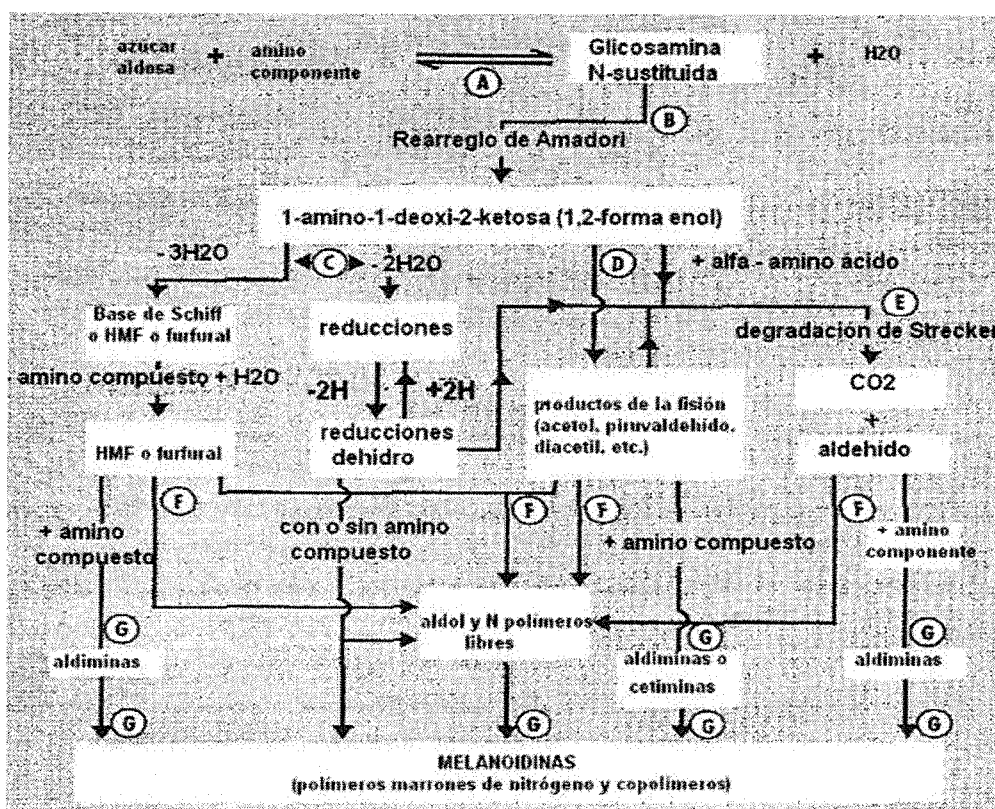
- En condiciones de humedad y temperatura altas, también se producirá la gelificación y endurecimiento del almidón, lo que se conoce con el nombre de vitrificación. Los granos vítreos tienen zonas del endospermo endurecidas que no son útiles en el proceso cervecero. Como norma no se deberá de aumentar la temperatura del grano por encima de 50°C si la humedad es superior al 10%.
- Si se desean maltas muy pálidas hay que evitar la excesiva actividad protelítica. Por ello se aplicarán grandes caudales de aire a baja temperatura.
- Si se desean maltas oscuras es recomendable aplicar al final del proceso el llamado golpe de fuego, que consiste en calentar a temperatura de 100°C durante un cierto tiempo (1-2 horas) al final del secado<sup>20</sup>.

2.5.1 Formación de sustancias colorantes y aromáticas: A temperaturas por encima de 90°C y con tiempos prolongados de acción, los aminoácidos se unen progresivamente con azúcares, formando compuestos rojímarrones, de aroma intenso, las melanoidinas.

---

<sup>20</sup> **Rubén Sancho S. (2015)**. Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 48 a 50.

Figura 8: Formación de melanoidinas



Nota: En esta imagen se puede observar la química que hay detrás de la formación de las melanoidinas. (A) Reacción de Maillard, (B) re arreglo de Amadori, (C) deshidratación del azúcar. La deshidratación del azúcar en la reacción de pardeamiento de amino-azúcar, puede tener lugar en dos maneras. En soluciones de furfural neutrales o ácidas están formadas. En el estado seco o en solventes no acuosos cuando los grupos aminos están presentes, las reducciones están formadas, (D) productos de la fisión del azúcar, (E) degradación de Strecker (para aldehídos que contienen un carbono menos que el amino ácido, con la liberación de dióxido de carbono), (F) condensación de aldol. Hay una reacción altamente probable en la formación de melanoidinas. Los aldoles de nitrógeno libre en general probablemente están para reaccionar con los componentes amino, aldiminas y cetiminas para formar melanoidinas nitrogenadas, (G) polimerización de amino aldehído y formación de melanoidinas.

Aparte de ello, tienen lugar reacciones de compuestos dicarbonílicos y aminoácidos. En esto, se forma un aldehído a partir del aminoácido. Estos aldehídos, formados a partir de aminoácidos, se denominan aldehídos de Strecker, y el proceso, "mecanismo Strecker".

Los aldehídos de Strecker son de aroma muy intenso. La totalidad de estos compuestos estructurados de forma muy complicada y diferenciada está reunida bajo el concepto de "Reacción de Maillard". Las reacciones Maillard y sus productos no pueden ser diferenciados sin un enorme esfuerzo analítico. Por otro lado, sabemos hoy que esos productos son los predecesores de sustancias que causan, junto con otras, el sabor negativo de envejecimiento en la cerveza envasada. Por eso, debe tenerse una medida para saber en qué magnitud esas reacciones ya han tenido lugar. Dado que se desarrollan tanto más intensivamente cuanto mayor es la temperatura y cuanto más tiempo ésta tiene efecto<sup>21</sup>.

Las melanoidinas fueron descritas por Maillard en 1912, y su formación se produce virtualmente en cada producto alimenticio calentado desde el pan tostado hasta las hamburguesas. La investigación más reciente de la ciencia de los alimentos sostiene que las melanoidinas que causan el color en sí mismas no tienen aroma o sabor. A pesar de ello, las reacciones de pardeamiento son una fuente primaria de aroma y sabor para la cerveza y la comida a través de compuestos intermedios y productos finales menores. Por lo tanto, las condiciones que conducen al color también conducen al sabor, aunque los productos y las proporciones exactas variarán en función de las condiciones del ambiente de reacción.

---

<sup>21</sup> **Wolfgang Kunze (2006)**. Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 181.

La mayoría de los sabores a “malta” son atribuibles a estos productos de la reacción de pardeamiento, y una gran variedad de sabores puede resultar de ellos, como se muestra en el siguiente esquema

Dado que los productos Maillard son sustancias colorantes y aromáticas, hay interés en formar muchas de estas sustancias en la malta oscura y en evitar la formación de productos Maillard en la malta pálida.

Los productos Maillard se forman a temperaturas mayores, a partir de azúcares y aminoácidos. Si se desea evitar la formación de estas sustancias, se debe impedir (ampliamente) o al menos restringir la formación de sus productos de partida.

La temperatura cumple una función especial, dado que las transformaciones se inician de forma lenta, modificándose bajo la influencia del valor pH, del contenido de agua y otros factores de influencia.

En la fabricación de malta oscura, las sustancias de partida formadas en la fase de presecado cumplen, junto con la temperatura de curado, una función decisiva para la reacción Maillard.

Con un presecado a mayor temperatura y mayor humedad, se pueden fabricar cervezas con un aroma a malta más agradable e intensas. Los aldehídos de Strecker formados aquí son, al contrario de lo que sucede en la malta pálida, positivos para el sabor. Dado que después del almacenamiento de la malta oscura se producen cambios en el perfil aromático, ésta debería ser almacenada por dos a tres meses antes de su procesamiento<sup>22</sup>.

2.5.2 Etapas del secado: El secado se divide en dos diferentes fases:

---

<sup>22</sup> Ray Daniels (1996). Designing Great Beers: The Ultimate Guide to Brewing Classic Beer Styles. Pág. 104 a 107

1ª Fase: Fase de desecación a temperatura moderada.

Hay actividad enzimática. El calor que recibe el grano se aprovecha en la evaporación del agua. Las menores temperaturas, alrededor de los 50°C y los tiempos prolongados de presecado a esas temperaturas tienen un efecto favorable sobre la estabilidad del sabor.

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

2ª Fase: Fase de calentamiento.

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

- Temperatura de la malta: 60-65 °C

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

- Pálidas: 5 horas a 80 °C
- Oscuras: 5 horas a 100-105 °C

En este último calentamiento se forman las melanoidinas, caracterizadas por su color oscuro, por tener reacción ácida y proporcionar un aroma característico<sup>23</sup>.

Las torres de secado suelen ser de 2 o 3 pisos y se utilizan con calefacción indirecta para evitar que los gases provenientes de la combustión tengan acceso al recinto de secado. Las enzimas son destruidas en gran parte, los sacarificantes son también disminuidos en gran parte, pero se conservan en cantidad suficiente como para

---

<sup>23</sup> **Rubén Sancho S. (2015).** Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 50 a 51.

producir la sacarificación en la sala de cocimiento. La destrucción de las diastasas es mayor en la malta oscura que en la pálida por ser mayor la temperatura.

Se carga el primer piso de malta verde y se distribuye con la madera, en cada piso el cereal se mantiene de 12 a 24 horas (según el tipo de malta que se quiere obtener). Luego se baja al piso inferior donde la temperatura es más alta (40°C y 8 a 10% de humedad para la malta pálida y 50 – 60°C con 20% de humedad para la oscura).

Cuando se alcanzan 80 – 90°C para la malta pálida y 100 – 110°C para la oscura, se mantiene así por 5 a 6 horas. Estas temperaturas marcan la diferencia entre cervezas blancas y oscuras<sup>24</sup>.

## **2.6 Enfriado de la malta curada**

La malta curada aún está aproximadamente a 80°C y no puede ser almacenada a esa temperatura. Para ello debe ser enfriada, existen diferentes métodos para poder llevarlo a cabo tales como, por ejemplo: el soplado de aire fresco y frío, hasta alcanzar por lo menos 35 a 40°C, por enfriamiento, o en malterías pequeñas, por pasaje lento a través del limpiador de malta (Kunze, 2006).

## **2.7 Eliminación de raíces**

La malta seca y enfriada contiene el germen y algunas impurezas que deben ser eliminadas.

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

---

<sup>24</sup> Apuntes de la cátedra de Tecnología de derivados, dictados por la Lic. Ranzuglia G. 2017.

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

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

## **2.8 Almacenamiento**

La malta es almacenada durante 4 semanas como mínimo en silos o graneros. Durante este tiempo el contenido de agua aumenta lentamente, hasta alcanzar un porcentaje del 4 al 5% produciéndose importantes cambios físicos y químicos en el endospermo, que facilitan el procesamiento ulterior. Si fuera procesada inmediatamente, la malta causaría dificultades tanto en la filtración como durante la fermentación. Al ser muy higroscópica, debe evitarse el ingreso de aire húmedo. Transcurrido el tiempo mínimo de almacenamiento y tras los ensayos pertinentes que garanticen su calidad, la malta de cebada ya es apta para la elaboración de la cerveza. Para las maltas oscuras el contenido de agua que alcanzan es del 2 al 3%<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> **Wolfgang Kunze (2006)**. Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 196 y 197

## **CAPÍTULO III: Tipos de maltas**

### **3.1 Introducción**

Para elaborar cervezas tipo “Stout” se utilizan diferentes maltas especiales con el objetivo de obtener esas características que debe tener este estilo, como este trabajo de investigación alberga como tema principal dentro del campo práctico el agregado de maltas tostada en diferentes estadios del proceso de maceración, por ello describiremos, a continuación, los diferentes tipos de malta haciendo mucho más hincapié en las que utilizaremos en el campo práctico de elaboración.

### **3.2 Malta caramelo**

Las maltas caramelo se utilizan para otorgar a la cerveza una profundidad de color, un cuerpo mayor en boca y también lograr acentuar el carácter a malta.

En el desarrollo ulterior se diferencia entre malta caramelo pálida y malta caramelo oscura. En ambos casos la malta verde se introduce en un tambor de tostación.

Las grandes diferencias en cuanto al proceso de elaboración, se dan en los tambores de tostación, en donde la malta caramelo es sacarificada a temperaturas entre 60 y 70°C durante 60 a 90 minutos. La malta caramelo oscura es calentada en

aproximadamente 60 minutos, bajo una rápida salida de vapor de agua a una temperatura de 150 a 180°C, y esa temperatura es mantenida durante 1 a 2 horas para caramelizar el contenido de grano. Del azúcar preformado se forman, en este proceso, compuestos de coloración marrón con típico aroma de caramelo.

La malta caramelo pálida es tratada como la oscura, pero no durante tanto tiempo ni tampoco tan intensivamente.

Las maltas caramelo se fabrican en varios tonos de color, debido a esto se las clasifica de acuerdo a los grados Lovibond, esta es una escala de colores que se usó por mucho tiempo hasta que fue reemplazada por sistemas más modernos como por ejemplo el espectrómetro, consiste en una serie de filminas coloreadas y graduadas, que al ser comparadas con el color de la cerveza determinaban un valor aproximado. Hoy en día, casi no se usa en cervecerías, pero el término “grados Lovibond” es empleado a menudo por los fabricantes de maltas para describir el color que sus granos aportan al mosto, a medida que el grado Lovibond aumenta, denota un tostado más intensivo de la malta, podemos encontrar maltas caramelo que van desde los 30 hasta los 120°L

Las maltas caramelo contribuyen de forma considerable al aumento del cuerpo, la intensificación del aroma de la malta, al sabor lleno, al color profundo de la cerveza y a la estabilidad de la espuma.

### **3.3 Malta ahumada**

La malta ahumada es una especialidad que se requiere para la fabricación de cerveza ahumada. Para ello, antes del tostado, se deja pasar el humo de virutas quemadas de madera de haya a través de la malta. Las nubes de humo que se depositan así le otorgan a la malta un sabor rasposo, el cual queda en la cerveza ahumada fabricada con esa malta y que es típico de esta cerveza.

### **3.4 Malta torrefacta**

La malta torrefacta se utiliza en cantidades de 0,5 a 2% de la carga de materias primas, a los efectos de obtener un color oscuro en la cerveza.

Para la fabricación de malta torrefacta se utiliza una malta pálida tostada, perfectamente modificada. El proceso de torrefacción se realiza en un tambor de tostación. Para ello, la malta tostada es humedecida uniformemente, por inyección de agua y bajo rotación uniforme, a un contenido de agua de 10 a 15% a temperaturas de 70 a 80°C, durante 1,5 a 2 horas.

Posteriormente, se calienta para el proceso de torrefacción en sí, que es realizado en 1 a 1,5 hora a temperaturas entre 180 y 220 °C. Se forman así sustancias acarameladas y otros productos de torrefacción, luego se enfría rápida y uniformemente.

Con el aumento progresivo de temperatura se forman productos con sabor a quemado, que son deseados solamente en pocos tipos de cerveza, como la Stout. Para evitar un sabor a quemado en la malta de color, se inyecta agua de forma controlada, durante el proceso de torrefacción: con el vapor de agua formado se remueven componentes de sabor a quemado volátiles y la malta es desamargada. Para cervezas que deben tener un sabor más suave, se fabrica malta torrefacta a partir de cebada descascarada. Los taninos y las sustancias amargas de la cáscara no pueden afectar entonces el sabor.

### **3.5 Malta diastática**

Bajo malta diastática se entiende que se trata de una malta que ha mantenido ampliamente su potencial enzimático por el curado a temperaturas más bajas. Debido a

su elevado potencial enzimático, la malta es capaz de mejorar el trabajo de maceración o inclusive de degradar también una parte de carga de materias primas de adjuntos<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> **Wolfgang Kunze (2006)**. Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 204 a 209

## CAPÍTULO IV: Los taninos

### 4.1 Introducción

Los taninos son compuestos fenólicos que resultan de la polimerización de muchas moléculas elementales con función fenólica. Estos compuestos reaccionan con el cloruro férrico dando coloraciones azules y verdes.

Dan lugar a:

- Precipitaciones con las proteínas en solución.
- Ralentización o inhibición de las acciones enzimáticas por combinación directa con su fracción proteica (desnaturalización).
- Presentan un sabor astringente (sensación mixta en la lengua entre sequedad intensa y amargor).
- Se oxidan hacia compuestos rojímarrones, los flobafenos.
- Se combinan con sales de hierro para formar compuestos negruzcos.

## 4.2 Taninos hidrolizables

Los taninos hidrolizables son ésteres de glucósidos con ácidos fenólicos o con sus derivados. El primer ácido fenólico que ha sido identificado como componente de los taninos, ha sido el ácido gálico.

El ácido gálico puede formar ésteres reaccionando consigo mismo perdiendo una molécula de agua y dando lugar a dépsidos. Para formar los taninos tanto el ácido gálico como el dépsido digálico siempre deben estar combinados con los azúcares. Se clasifican en galotaninos y elagitaninos.

De todas maneras los taninos hidrolizables pueden encontrarse por haber sido cedidos por las maderas de las vasijas.

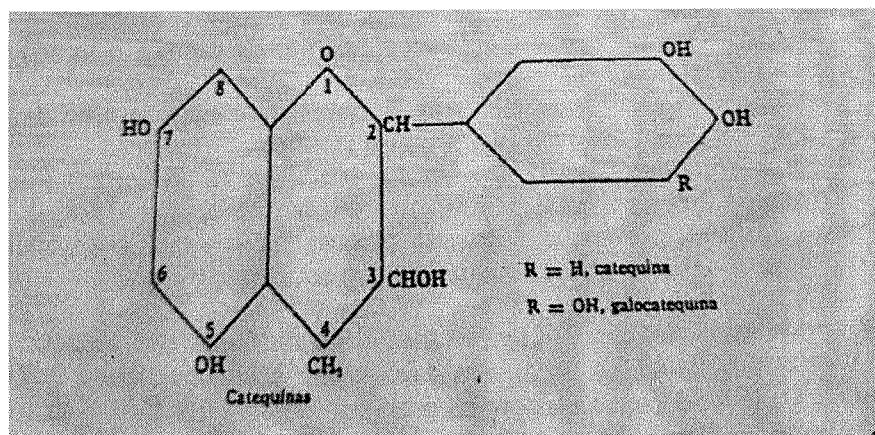
## 4.3 Taninos condensados

Los taninos condensados revisten mucho más interés, estos derivan de dos grupos de polifenoles, que hemos denominado protaninos, a saber: las cataquina (flavanoles 3) y los leucoantocianos (flavanodíoles 3 y 4).

Cuando se calientan en medio ácido fuerte, se hidrolizan dando monómeros de antocianidinas, por eso se llaman "Proantocianidinas".

- Catequinas: Las catequinas no existen en la naturaleza como heterósido. Tanto las formas monómeras (moléculas simples) como las parcialmente condensadas, en ambiente ácido y bajo la influencia del calor, se polimerizan fácilmente formando flobafenos insolubles. Estos son productos de fórmula química no bien definida, de peso molecular elevado, insolubles en el agua, y de un color oscuro con matices de anaranjado a rojo.

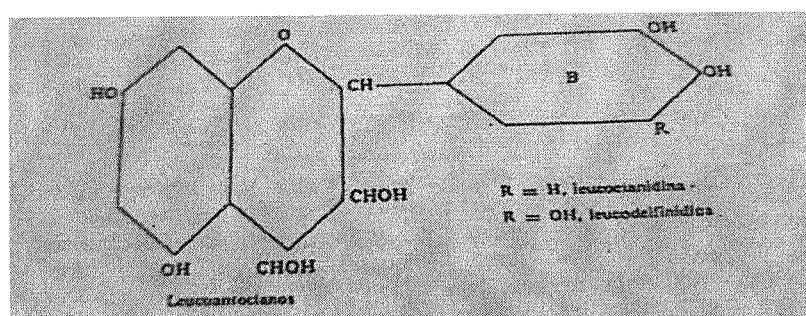
Figura 9: Estructura química de las catequinas.



Nota: Se observa la estructura química de las catequinas, extraído de Oreglia, 1978<sup>27</sup>.

• Leucoantocianos: Se diferencian de las catequinas por poseer un hidroxilo más en el carbono 4, y a su vez en el núcleo B se presentan tres de grados de hidroxilación. Los leucoantocianos, calentados en ambiente ácido, se condensan formando dos tipos de compuestos: hasta el 20 % se transforman en antocianos y el 80% restante se convierten en flobafenos, como en el caso de las catequinas.

Figura 10: Estructura química de los leucoantocianos.



Nota: Se observa la estructura química de los leucoantocianos, extraído de Oreglia, 1978<sup>28</sup>.

<sup>27</sup> Francisco Oreglia (1978), Enología, Teórico – Práctica, volumen primero, segunda edición. Pág. 94.

<sup>28</sup> Francisco Oreglia (1978), Enología, Teórico – Práctica, volumen primero, segunda edición. Pág. 95.

4.3.1 Precipitación de prótidos: Una de las propiedades más importantes de los taninos es su aptitud para combinarse con los prótidos y producir su precipitación. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, a este respecto que los polímeros demasiado voluminosos no precipitan a los prótidos, porque no pueden acercarse a las zonas activas de los mismos<sup>29</sup>.

4.3.1.1 Mecanismos coloidales: Los prótidos son coloides hidrófilos (afinidad por el agua), y en consecuencia su coagulación se hace en dos fases:

- Desolvatación de las partículas coloidales.
- Coagulación (Neutralización de cargas)

El tanino cargado negativamente produce la desolvatación (deshidratación) de la macromolécula proteica, cargada positivamente en medio ácido, convirtiendo el coloide hidrófilo en hidrófobo. A continuación, se une a él por absorción, con lo que forma un nuevo compuesto coloidal, de caracteres electronegativo que permanece en estados de dispersión coloidal hasta que es coagulado por un prótido desolvatado aún no coagulado, otro coloide de carga opuesta (coagulación recíproca) o por acción de los cationes (acción electrostática).

Una vez ya producido la coagulación, el siguiente paso es la floculación, estos coloides electros negativos aceleran las agrupaciones de los pequeños coagulo de tanino – prótidos en grandes flóculos que sedimentan por la acción de la gravedad, para llevar esto a cabo juega un papel importante el Fe +3, se necesitan cantidad entro 1 – 2 mg/l para que pueda accionar como catalizador de la reacción.

---

<sup>29</sup> **Francisco Oreglia (1978)**, Enología, Teórico – Práctica, volumen primero, segunda edición. Pág. 94 y 95.

El pH también juega un papel importante, a pH menores a 3,2 las clarificaciones pueden ser defectuosas, ya que la proteína natural ofrece mayor resistencia al combinarse con los taninos. Esto se debe a que el tanino, con un punto isoeléctrico entre 2,3 – 2,5, contiene grupos fenoles débilmente ácidos y que a pH bajo la cantidad de disociaciones es mínima (tanino activo). Con el aumento del pH aumenta la concentración de tanino activo para reaccionar con los prótidos. El pH óptimo para la combinación es de 3,8<sup>30</sup>.

#### **4.4 Astringencia**

La astringencia que producen los taninos en la degustación, corresponde a los polímeros de dimensiones y, por lo tanto, de pesos intermedios, sin que haya sido posible hasta el presente fijar límite inferior o superior.

La astringencia que se percibe o experimenta al degustar, se debe a una pérdida de las propiedades lubricantes de la saliva, por acción de los taninos sobre las proteínas y glicoproteínas que ella contiene. De manera que la astringencia no es un gusto, sino una sensación táctil, percibida por las mucosas linguales al contacto tánico – proteico precipitado (Oreglia, 1978).

#### **4.5 Color**

Las moléculas elementales de los taninos son incoloras o, a lo más de un amarillo pálido. La condensación de los taninos va acompañada con una evolución de la coloración hacia una tonalidad amarillo – marrón que llega al ocre (Oreglia, 1978).

---

<sup>30</sup> **Rafael Molina Ubeda (2000)**. Teoría de la clarificación de mostos y vinos y sus aplicaciones prácticas. Pág. 58 a 62.

## **CAPÍTULO V: Sala de cocimientos**

### **5.1 Introducción**

El proceso principal en la fabricación de cerveza es la fermentación del azúcar contenido en el mosto, para obtener alcohol y dióxido de carbono. Al efecto de crear las precondiciones para ello, es necesario convertir, con ayuda de las enzimas formadas, los componentes inicialmente insolubles de la malta sobre todo en azúcares fermentables. La conversión y disolución de estos componentes es el propósito de la sala de cocimiento (Kunze, 2006).

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

el trub o turbio caliente, y se enfría en un intercambiador de calor de placas hasta la temperatura requerida de fermentación<sup>31</sup>.

## 5.2 Molturación de la malta

En la maceración, las enzimas deben tener la posibilidad de alcanzar los componentes de la malta, para degradarlos. Para ello, la malta debe ser triturada. Con una trituración progresiva, aumenta la superficie de ataque para las enzimas y mejora la degradación de las sustancias. Pero posteriormente a la maceración se realiza la filtración del mosto. Esto es un proceso en el que se requieren las cáscaras como material filtrante, en dependencia del equipo de filtración de mosto que se utiliza. Es importante molturar la malta justo antes de mezclarla con el agua en la maceración para evitar la oxidación de los ácidos grasos.

Dado que las cáscaras se requieren para la filtración del mosto, éstas deben ser destruidas lo menos posible durante la molturación. Una cáscara seca se astilla fácilmente y debido a la formación de pequeñas partículas por el astillado, se reduce fuertemente la capacidad de filtración de la cáscara. Por otro lado, la cáscara será tanto más elástica, cuanto más húmeda se encuentre. Por humedecimiento, la cáscara se hace más elástica y puede ser protegida más fácilmente; de esta manera, el proceso de filtración de mosto se desarrolla de forma más rápida. Este proceso se denomina acondicionamiento<sup>32</sup>.

En las fábricas de cerveza son frecuentes tanto los molinos secos como los húmedos. Los secos son de dos tipos principales, aunque ambos sean de rodillos. Si la malta está bien desagregada puede bastar con molinos de cilindros más simples,

---

<sup>31</sup> **Rubén Sancho S. (2015)**. Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 53 y 54.

<sup>32</sup> **Wolfgang Kunze (2006)**. Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 225 a 230

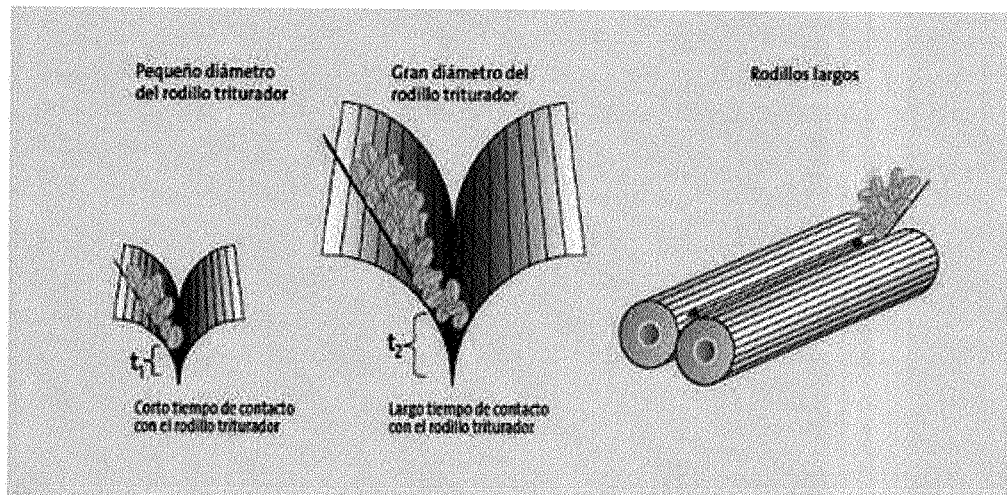
constituidos por dos pares de cilindros que giran en sentido contrario. Las maltas menos desagregadas se caracterizan por tener extremos más duros y necesitan molinos de seis rodillos, capaces de separar los extremos duros de la cascarilla. Las fábricas de gran tamaño suelen elegir molinos de 6 rodillos. El grano, al pasar entre los rodillos, es aplastado y descascarado. Los rodillos son comúnmente estriados para aumentar la fricción y ruedan en sentido contrario uno del otro.

La capacidad y la eficacia de un molino dependen de la longitud, diámetro, velocidad y separación de los rodillos. El aplastado tiene dos efectos, la compresión y el pelado del grano. La compresión está relacionada con la distancia entre los rodillos, y el pelado o descascarado depende de la velocidad de rotación de los mismos. Generalmente la distancia entre los dos rodillos debe de ser de 1mm, de esta forma se conserva la cáscara intacta, aunque es ajustable ya que puede variar según el tipo de malta o cereal. Los molinos de rodillos producen partículas de endospermo de diferentes tamaños, desde sémolas gruesas de 0,3-0,6 mm de diámetro y finas de 0,15 a 0,3 mm, hasta harinas con partículas de menos 0,15mm<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> Hough J. S. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Pág. 65 a 67

Figura 11: Detalle de diferentes tipos de rodillos.



Nota: Se observa diferentes tipos de rodillos y su tiempo de contacto con los granos de cebada. Extraído de Sancho S. 2015<sup>34</sup>.

La molturación debe ser tanto más fina cuanto peor modificada está la malta, pero cuanto más fina es la molienda, tanto menos porosa es la torta filtrante, tanto más rápidamente se contrae y tanto mayor es la duración del proceso de filtración del mosto. La calidad de la molienda afecta: el proceso de maceración, el tiempo de sacarificación, la filtración del mosto, el rendimiento de la sala de cocción, la fermentación, la filtración de la cerveza (contenido de  $\beta$ -glucano), así como el color, sabor y carácter completo de la cerveza (kunze, 2006).

---

<sup>34</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 59.

### 5.3 Maceración

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

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

Son solubles los azúcares, las dextrinas, las sustancias minerales y determinadas proteínas. Son insolubles el almidón, la celulosa, una parte de las proteínas con alto peso molecular y otros compuestos, que quedan como heces al final del proceso de filtración del mosto.

Es importante conseguir la mayor cantidad de extracto posible por motivos económicos. Sin embargo, no es solo de importancia la cantidad, sino en especial la calidad del extracto, debido a que hay ciertas sustancias indeseadas que se pueden extraer en este proceso, como por ejemplo los taninos provenientes de las cascaras de la malta.

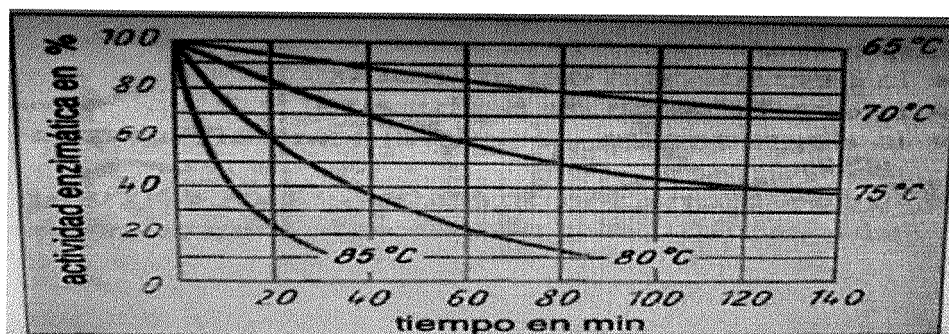
Por eso, el propósito de la maceración es la degradación completa del almidón para la obtención de azúcares y dextrinas solubles. La cantidad principal de extracto recién es formada durante la maceración, por la actividad de las enzimas, las cuales deben actuar con sus temperaturas óptimas.

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

5.3.2.1 Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura: La actividad de las enzimas depende en primer lugar de la temperatura. Aumenta con temperatura creciente y alcanza un valor óptimo específico para cada enzima, a la temperatura óptima. A mayor temperatura tiene lugar una inactivación en rápido aumento, debido a un desdoblamiento de la estructura tridimensional de la enzima, también conocido como desnaturalización. La inactivación y eliminación de la actividad enzimática es tanto mayor, cuanto más hacia arriba es excedida la temperatura óptima. Las enzimas trabajan también a menor temperatura, pero entonces notablemente más lento.

La actividad enzimática típica para una determinada temperatura no es modificable. En tanto que, a bajas temperaturas, la actividad se conserva casi limitadamente, esta disminuye rápidamente con el tiempo, a temperatura creciente.

Figura 12: Actividad enzimáticas con respecto al tiempo de acción.



Nota: Se observa la dependencia de la actividad enzimática del tiempo de acción.

Extraído de Kunze, 2006<sup>35</sup>.

5.3.2.2 Dependencia de la actividad enzimática del valor pH: Dado que la estructura tridimensional de las enzimas, se modifica también en dependencia del valor

<sup>35</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 247.

pH, resulta de ello una dependencia de la actividad enzimática del valor pH. La actividad enzimática alcanza un valor óptimo con un valor pH, que es específico para cada enzima, y disminuye con mayores y menores a este.

La influencia del valor pH sobre la actividad enzimática no es, por lo general, tan grande como la influencia de la temperatura. Se aconseja durante el macerado tener un pH entre 5,2 - 5,5.

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

- La degradación del almidón
- La degradación del  $\beta$ -glucano
- La degradación de sustancias albuminoides
- La licuefacción
- La sacarificación

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

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

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

- Engrudamiento
- Licuefacción

- Sacarificación

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

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

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

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

5.3.3.2 Licuefacción: Las cadenas largas del almidón, formadas por residuos de glucosa (amilosa y amilopectina), son rotas muy rápidamente por la  $\alpha$ -amilasa, en cadenas más pequeñas. Por esto la viscosidad de la templea engrudada disminuye muy rápidamente. La  $\beta$ -amilasa sólo es capaz de degradar lentamente las cadenas largas

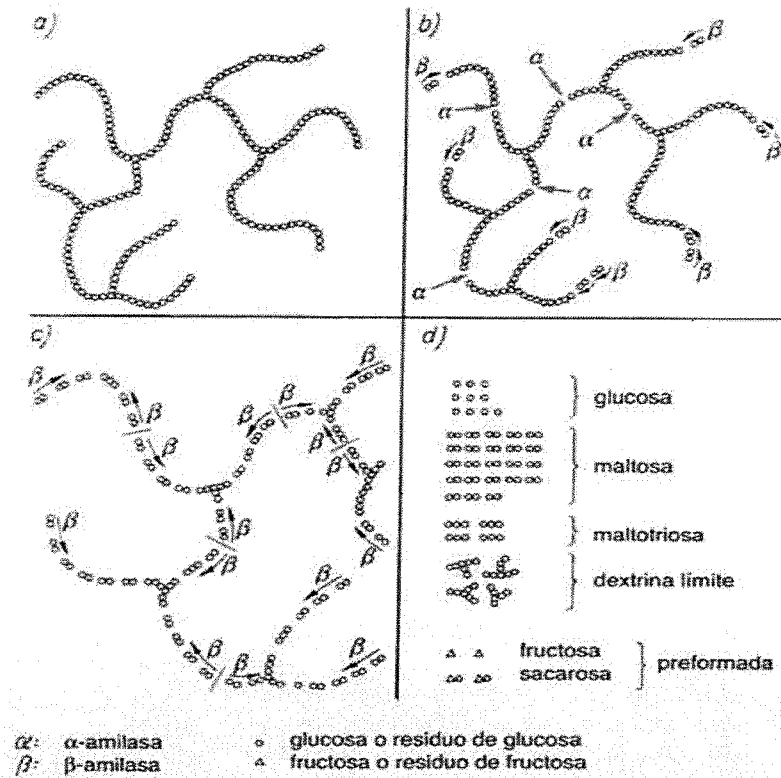
desde el extremo que no reduce, de manera que la degradación únicamente por parte de esta enzima duraría días enteros.

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

5.3.3.3 Sacarificación: La  $\alpha$ -amilasa rompe las cadenas de la amilosa y de la amilopectina progresivamente hasta obtener dextrinas con 7 a 12 residuos de glucosa. La  $\beta$ -amilasa disocia dos residuos (maltosa) de los grupos terminales de las nuevas cadenas formadas. Con esto, la  $\alpha$ -amilasa forma asimismo con cada disociación dos cadenas terminales, que pueden ser atacadas por la  $\beta$ -amilasa, al disociar maltosa. Debido a la diferente longitud de las cadenas, se forman, aparte de maltosa, otros azúcares, tales como glucosa y maltotriosa.

En todos los casos, la degradación de sustancias se detiene 2 a 3 residuos de glucosa antes de los enlaces 1,6 de la amilopectina, dado que estos enlaces 1,6 no pueden ser rotos por la  $\alpha$ -amilasa ni por la  $\beta$ -amilasa. Estas dextrinas límite siempre se encuentran presentes en un mosto normal, aunque un exceso de éstas producirá enturbiamiento de la cerveza final.

Figura 13: Degradación del almidón en la maceración.



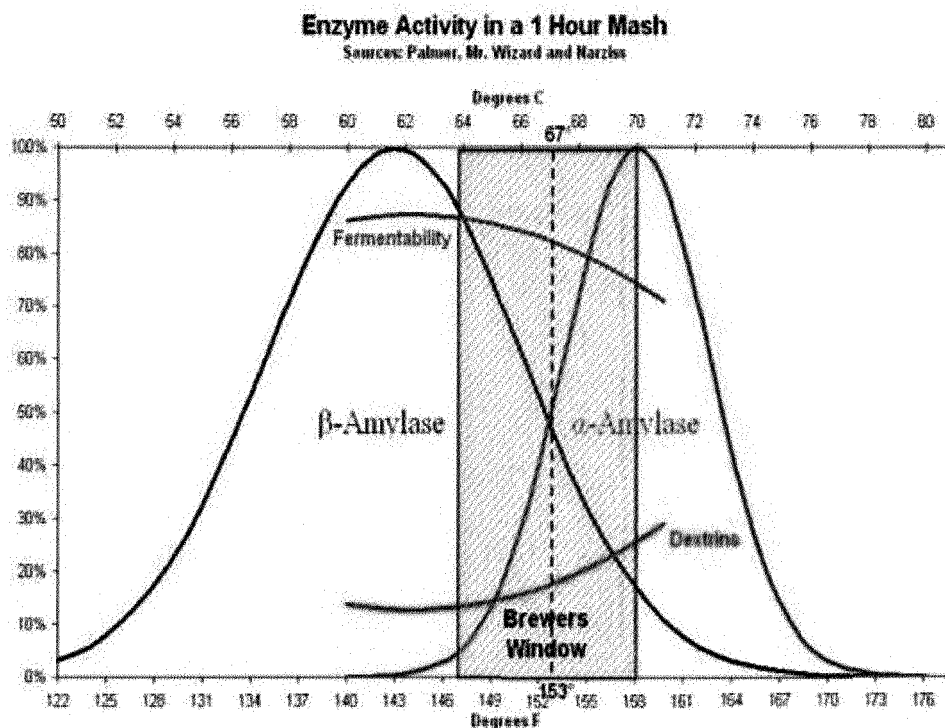
Nota: Se observa la forma de acción de las enzimas durante la degradación del almidón en la maceración. Extraído de Kunze, 2006<sup>36</sup>.

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

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

<sup>36</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 249.

Figura 14: Temperaturas optimas de las enzimas.



Nota: Se puede observar las temperaturas optimas en la que reacción las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa. Extraído de *cervezomicon*<sup>37</sup>.

Es importante controlar la degradación del almidón, dado que si no se consigue su degradación causa un enturbiamiento en la cerveza. En un proceso usual de maceración, se puede esperar que aproximadamente el 65% de los azúcares que entran en solución están compuestos por maltosa, aproximadamente el 18% por maltotriosa e igual porcentaje de sacarosa, glucosa y fructosa.

El control de la degradación del almidón se realiza por medio de tintura de yodo. El examen se llama ensayo de yodo y se realiza siempre con la muestra enfriada de mosto. La solución de yodo produce una coloración de azul a rojo con almidón y dextrinas mayores, mientras que todos los azúcares y dextrinas menores ya no causan una coloración en la tintura de yodo, siendo el resultado de color amarillo-marrón. La

<sup>37</sup> Las cuatro palancas del macerado, recuperado el día 10/08/17. <https://cervezomicon.com/tag/macerado>

degradación de las moléculas de almidón hasta el estado de reacción normal al yodo se llama sacarificación.

Por sacarificación entendemos la degradación sin residuos, por parte de las amilasas, del almidón licuado a maltosa y dextrina límites de reacción normal al yodo.

Los productos de degradación del almidón formados durante la maceración se diferencian notablemente en lo referente a su fermentabilidad por la levadura de cerveza:

- Dextrinas límite: No son fermentable, son las responsables de aportar cuerpo en la cerveza.
- Maltotriosa: Es fermentado por todas las cepas de levadura de fermentación alta. Pero la maltotriosa recién es degradada por la levadura, cuando está fermentada la maltosa. Es decir, recién en la maduración.
- Maltosa: Disacáridos que son fermentados bien y rápidamente por la levadura (azúcar de fermentación)
- Glucosa: Es la primera en ser utilizada por la levadura en el proceso de respiración (azúcar de inicio de fermentación)

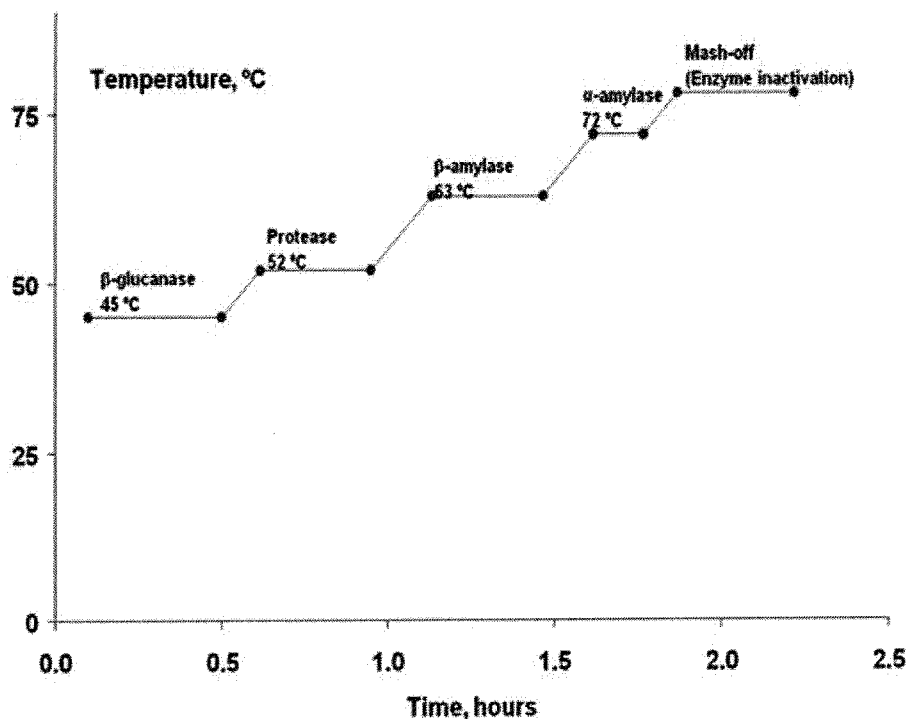
5.3.3.3.1 Influencia de la temperatura: Macerando a temperaturas de 62 a 64°C se obtiene el contenido más alto posible de maltosa y la mayor atenuación límite. Los mostos ricos en maltosa fermentan más rápidamente y mantienen durante más tiempo la levadura en suspensión. A estas temperaturas se obtienen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

Macerando a temperaturas de 72 a 75°C se obtienen cervezas ricas en dextrinas con baja atenuación límite. A estas temperaturas se obtienen mostos dextrinosos, es decir, de cuerpo pesado, en un periodo activo muy corto.

La influencia de las temperaturas de maceración es extremadamente grande, de manera que durante la maceración se mantienen siempre reposos a las temperaturas óptimas de las enzimas. A estos se los llama reposo de formación de maltosa a 62-65°C y reposo de sacarificación a 72-75°C.

En este gráfico se observa el comportamiento de la temperatura durante el transcurso de una maceración, en la que se degradan en primer lugar, los  $\beta$ -glucanos (45°C), en segundo lugar, las proteínas (52°C) en tercer lugar, el almidón con las enzimas  $\beta$ -amilasa (63°C) y  $\alpha$ -amilasa (72°C), finalizando la maceración a 78°C (Sancho, 2015).

Figura 15: Rango de temperaturas de acción que tienen las enzimas.



Nota: Se observa el rango de acción óptimo de las diferentes enzimas en base a la temperatura. Extraído de *cervezamicon*<sup>38</sup>.

5.3.3.3.2 Influencia de la duración del macerado: Las enzimas no actúan de forma uniforme durante el proceso de maceración. El máximo de actividad enzimática es alcanzado luego de 10 a 20 minutos. El máximo de esta actividad, es mayor a temperatura entre 62-64°C que a 67-68°C. Luego de 40 a 60 minutos, la actividad enzimática disminuye primeramente de forma rápida, pero la reducción de actividad decrece de forma continua.

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

<sup>38</sup> Las cuatro palancas del macerado, recuperado el día 10/08/17. <https://cervezomicon.com/tag/macerado>

El tiempo que lleva convertir el almidón en dextrinas y azúcares fermentables varía con la temperatura, cantidad de enzimas y cantidad de almidón a convertir. Generalmente las temperaturas más altas inspirarán conversiones más rápidas, pero producirán más dextrinas. En la práctica, la mayoría de los cerveceros caseros experimentarán la conversión en 15 a 25 minutos a temperaturas de alrededor de los 70°C y conversión en 45 a 90 minutos a temperaturas de alrededor de los 65°C. Estos tiempos están basados en macerados de malta con una proporción de adjuntos no mayores a un 25%<sup>39</sup>.

5.3.3.3 Influencia del valor pH: El pH es una medida numérica ya sea de acidez, neutralidad o alcalinidad. Neutral es 7.0, menos de 7.0 es ácido y mayor a 7.0 es alcalino. El pH óptimo para las enzimas diastáticas es 5.2-5.8. El pH óptimo para las enzimas proteolíticas es 4.3-5.3. Por lo general una transigencia es a 5.2. Afortunadamente un pH de alrededor de 5.2 es naturalmente logrado cuando el agua es mezclada con los granos, debido a que hay enzimas y reacciones químicas que ocurren casi inmediatamente después de la mezcla. Estas reacciones bajan el pH del macerado aun cuando el agua es neutral (John J. Palmer, 1999).

5.3.3.4 Influencia de la concentración del empaste: El empaste es la relación entre kg o litros de agua: kg de malta de cebada del primer mosto. En las maceraciones con una proporción de kg de malta más elevada, las enzimas están más protegidas de una inactivación térmica demasiado rápida. De esta manera, aumenta la cantidad de azúcares fermentables y con ello la atenuación límite. Pero cabe destacar, que esta influencia de las concentraciones de empaste sobre la degradación del almidón es

---

<sup>39</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 246 a 253.

menor que la influencia de los otros factores. Los valores más habituales de empaste son de 2,5:1 a 3:1. Concentraciones de 2:1 retrasarían el proceso de filtración.

Cabe destacar, que la relación del agua con respecto a la malta tendrá un efecto sobre la actividad de las enzimas. Generalmente, macerados más espesos favorecen la actividad proteolítica y macerados menos densos favorecen la actividad diastática<sup>40</sup>.

5.3.3.3.5 Influencia de la de gradación de los  $\beta$ -glucano: Los  $\beta$ -glucanos de mayor peso molecular fueron degradados en su mayor parte durante el malteado. Se encuentran contenidos en las hemicelulosas de las celdillas de los granos de cebada y malta. Durante el macerado, pueden ser degradados entre 45 y 50°C, por las enzimas endo- $\beta$ -glucanasa.

En contraste con las moléculas de almidón helicoidales, las moléculas del  $\beta$ -glucano están sin ramificar y rebordeadas. Muchas de estas moléculas están unidas o asociadas por puentes de hidrógeno. Debido a su aspecto irregular, se las conoce como filamentos finos formados por micelas, dispuestos de forma antiparalela. En esta forma, son solubles. Muchos de estos filamentos finos están reticulados entre sí y en parte están unidos fuertemente con proteínas a la pared celular. Ello vale muy en especial para las partes del grano de malta aún no modificadas del todo, tales como por ejemplo las puntas de grano.

Durante el engrudamiento se desintegra la estructura de los granos de almidón y se liberan los filamentos finos, unidos en parte con proteínas. La endo- $\beta$ -glucanasa puede entonces degradar el  $\beta$ -glucano de estos filamentos finos reticulados. La endo- $\beta$ -1,4- glucanasa tiene una temperatura óptima de 40 a 45°C. Por medio de un reposo más prolongado a esa temperatura, malta bien modificada y un elevado contenido de endo-

---

<sup>40</sup> **Rubén Sancho S. (2015)**. Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 66.

$\beta$ -glucanasa, se degrada la mayor parte de  $\beta$ -glucano a  $\beta$ -glucano soluble y se reduce el riesgo de formación de geles.

Los  $\beta$ -glucanos son como gomas que pueden llegar a dificultar la filtración del mosto, de aquí la importancia de comprar una malta de cebada en la que hayan sido correctamente degradados. Para ello, es fundamental pedir un análisis completo de la malta que se vaya a adquirir para poder escoger una malta de calidad que facilite el proceso de elaboración y que garantice la calidad de la cerveza. Las malterías controlan la degradación de los  $\beta$ -glucanos por medio del control de la friabilidad de los granos de malta, que debería tener un valor de friabilímetro mayor del 85% y de la viscosidad del mosto producido en el laboratorio.

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

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

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

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

El mosto debe contener 20 mg  $\alpha$ -aminonitrógeno/100 ml de mosto, como mínimo. Si esto no está asegurado, se produce:

- Reducción en la propagación de la levadura
- Retardo de la fermentación y maduración
- Conservación en la cerveza de sustancias indeseables de sabor de cerveza verde.

De la malta bien modificada se obtienen siempre mostos con suficientes  $\alpha$ -aminonitrógeno. Sin embargo, si se utilizan también azúcar o jarabe, éstos no aportan aminoácidos al mosto y se debe mantener un reposo a temperatura de 45 a 50°C, hay que tener muy en cuenta que un reposo prolongado a estas temperaturas produce siempre una espuma pobre en el producto final.

A temperaturas de 60 a 70°C se forman más productos de degradación de alto peso molecular, que son responsables de la estabilidad de la espuma. Las proteínas positivas para la formación de la espuma son las que provienen de la fracción de hordeína y de glutelina. El exceso de estas proteínas ayudará a que las cervezas tengan cuerpo y espuma cremosa que las diferenciará de las cervezas de tipo industrial. Finalmente, el hecho de que haya una mayor o una menor cantidad de proteínas dependerá de la cantidad contenida inicialmente en la malta.

5.3.3.3.7 Influencia de la transformación de grasas: Durante la maceración, una parte de los lípidos componentes en la malta es degradada a glicerina y ácidos grasos, por parte de las enzimas (lipasas) degradadoras de grasa.

Se debe prestar especial atención a la degradación tanto oxidativa como enzimática de los ácidos grasos no saturados con tendencia a reaccionar, los cuales son transformados, tanto por las lipooxigenasas como por el oxígeno, a productos

intermedios. Estos últimos luego aportan, como carbonilos de envejecimiento, en la cerveza almacenada el sabor a oxidación.

Ya las cantidades más pequeñas de ácidos grasos no saturados, que llegan a la cerveza en forma de producto intermedios, implican un riesgo para la estabilidad de sabor de la cerveza. Los ácidos grasos no saturados son degradados muy rápidamente a productos intermedios, que pueden ser tenidos en cuenta como predecesores de sabor a envejecimiento.

Las lipooxigenasas fueron formadas durante la germinación y depositadas con preferencia en las acrospiras y las raicillas. Por ello, la enzima está enriquecida en la malta especialmente en la acrospira. La enzima tiene un valor de pH óptimo de 6 y es muy sensible a las altas temperaturas. Por este motivo, una parte importante de las lipooxigenasas fue destruida durante el tostado, más en la malta oscura que en la pálida. Sin embargo, queda activado en la malta más de un tercio de las lipooxigenasas.

Debido a la molturación, las lipooxigenasas que se encuentran en las acrospiras son rápidamente activadas y pueden disociar ácidos grasos no saturados en un tiempo relativamente breve, con las aun a menudo bajas temperaturas de mezcla y el elevado valor pH del agua para iniciar la maceración. Con esto pueden producir productos de autooxidación, que pueden conducir más tarde a los carbonilos de envejecimiento<sup>41</sup>.

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

---

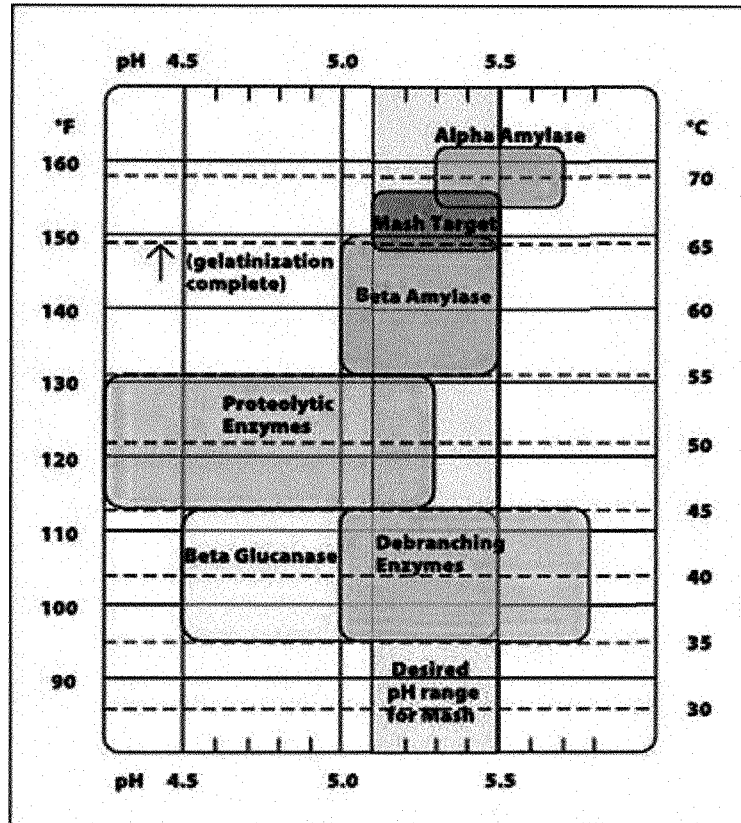
<sup>41</sup> **Wolfgang Kunze (2006)**. Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 253 a 260.

El primer paso es mezclar la malta molida con el agua tratada dentro del tanque de maceración. Debe de realizarse de manera que el agua y la molienda sean mezcladas íntimamente entre sí y sin que se formen grumos. Para ello el agitador girará a bajas revoluciones, en el caso de que se detecten grumos deberán “romperse” con la pala de forma manual. Es importante en este punto evitar la inclusión de oxígeno junto con la malta entrante.

La cantidad de agua está determinada por la cantidad de granos, una relación razonable es 5 litros de agua por kilo de grano, de los cuales 3 litros se emplearán en el empaste, es decir, cuando se mezcla el grano y el agua; los otros dos litros se usarán en otra etapa del proceso, conocida como lavado del grano o filtración del mosto. La temperatura ideal de la mezcla del macerado es de 67°C, aunque puede variar según la receta. Un valor más o menos estándar para el agua es de 72 - 74°C, para obtener un empaste dentro del rango de los 64 - 67°C, dependiendo de las pérdidas de calor del equipo (Aftyca, 2018).

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

Figura 16: Valores óptimos de pH y Temperaturas de las diferentes enzimas.



Nota: Se observa los valores óptimos de pH y Temperaturas en el cual acciona cada enzima durante el macerado. Extraído de Sancho, 2015<sup>42</sup>.

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

Hay múltiples escalas diferentes de temperaturas según estilos de cerveza y gustos. No se debe macerar más de 120 minutos ni aumentar las temperaturas de las diferentes escalas o etapas a más de 1°C por minuto. El agitador debe de girar

<sup>42</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 68.

constantemente, pero sin llegar a hacer un remolino. Se distinguen diferentes etapas de macerado:

- 1ª etapa: Temperatura entre 50 y 55°C durante 10-20 minutos para metabolizar las proteínas y degradar los  $\beta$ -glucano.
- 2ª etapa: Temperatura de 66°C (68°C si se quiere una cerveza más dulce o con más cuerpo) durante 30 minutos. Producción de maltosa y maltotriosa
- 3ª etapa: Temperatura de 72°C durante 30 minutos y al finalizar se aumenta hasta 78°C para facilitar la filtración con la menor densidad del mosto<sup>43</sup>.

Lo fundamental es que luego del macerado no quede ningún almidón, porque no fermentan, solo fermentan los azúcares producto del desdoblamiento del almidón: la maltosa y la maltotriosa. Una forma muy sencilla de saber si la conversión de almidones se realizó correctamente es verificar con tintura de yodo (alcohol yodado). Luego de 60 minutos de macerado, tomamos una muestra de mosto y en un recipiente blanco, colocamos unas gotitas de tintura sobre el mosto. El yodo, de color rojo amarronado, reacciona en presencia de almidón y cambia su color, vira al azul. Si se detecta presencia de almidón, se continúa con el macerado, muy importante es no devolver el resultado de la muestra a la maceración.

Al terminar el macerado, se obtendrá una configuración de azúcares que le darán identidad a la cerveza. Sin entrar en muchos detalles, podemos decir que, si se maceró a más temperatura, la cerveza será más dulce porque hay azúcares menos fermentables; en cambio, si se maceró a menos temperatura, la cerveza será más seca, porque la levadura transforma todo en alcohol. Lo más importante para tener una rica cerveza es que no queden vestigios de almidón.

---

<sup>43</sup> **Rubén Sancho S. (2015)**. Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 67 a 69.

En la actualidad, las maltas que se comercializan presentan una alta modificación, por lo que no es necesario hacer un descanso entre 50 - 55°C para metabolizar las proteínas, ya que presentan la suficiente cantidad de nitrógeno prontamente asimilable para el correcto desarrollo de la fermentación alcohólica, este descanso es muy usado en cervecerías industriales en las cuales se agregan adjuntos como el arroz, que solamente aportan almidón al mosto y no estas sustancias nitrogenadas tan importante para el correcto desarrollo de las levaduras<sup>44</sup>.

5.3.4.1 Maceración por infusión simple o a una única temperatura: El sistema de maceración por infusión es un macerado de una sola temperatura, usado de manera óptima con maltas plenamente modificadas que no requieren descanso de proteínas. Es esencialmente un proceso que involucra la combinación de cantidades predeterminadas de maltas y agua (a una temperatura específica). Cuando son combinadas, las temperaturas de los granos y el agua se estabilizan. El objetivo es estabilizar la temperatura y sostener una temperatura constante durante la conversión de almidón en azúcar y dextrina. Para el cervecero casero práctico, esto por lo general lleva de 30 a 60 minutos.

Este es el método más simple, y se usa para la mayoría de los estilos de cerveza. Se mezcla (infusión) la totalidad de la malta molida con agua caliente para lograr una temperatura del macerado de 65,5 – 70 °C, dependiendo del estilo que se vaya a fabricar. La temperatura del agua de infusión varía dependiendo de la relación agua/grano usada para el macerado, pero en general el agua inicialmente está 5,5 - 8,5 °C por encima del objetivo de temperatura del macerado. El macerado debe mantenerse

---

<sup>44</sup> Ricardo Aftyka (2018). Pasión por la cerveza. Pág. 62 a 65.

a la temperatura de sacarificación por alrededor de una hora, en lo posible sin que pierda más de un par de grados, el objetivo es mantener una temperatura estable.

Las grandes ventajas de los procesos de infusión simple, es que nos permiten una automatización sencilla, tienen una menor demanda de energía y son más fáciles de monitorear, por el contrario, la desventaja más marcada, es el rendimiento en la sala de cocción que suele ser algo más reducido.

5.3.4.2 Maceración escalonada: Un esquema popular de maceración escalonada es: el macerado a 40 - 60 - 70°C usando un descanso de media hora para cada temperatura, este esquema resulta en alta producción y buena fermentabilidad. El tiempo a 40°C mejora la licuefacción del macerado y promueve la actividad enzimática, esto es debido a que varias enzimas están actuando, licuando el macerado y rompiendo el endosperma del almidón para que éste pueda disolverse. Dejar reposar el macerado a esta temperatura ha demostrado mejorar el rendimiento, sin importar la clase de malta que se haya usado. La variación de los tiempos en los descansos de 60 y 70°C permite ajustar los perfiles de azúcares fermentables. Por ejemplo, un descanso de 20 minutos a 60°C, combinado con uno de 40 minutos a 70°C, produce una cerveza dulce, pesada y dextrinosa; mientras que intercambiando los tiempos a esas mismas temperaturas se obtendría una cerveza más seca, con menos cuerpo y más alcohólica, usando en los dos casos la misma cantidad de grano.

Si se usan maltas menos modificadas, como la German Pils, una maceración escalonada producirá cervezas con más sabor a malta, aunque requieren un descanso proteico para aprovechar completamente su potencial. En este caso, el esquema de macerado sugerido por Fix es 50 - 60 - 70 °C, con descansos de media hora. El descanso a 50 °C toma el lugar del descanso de licuefacción a 40 °C, y otorga el necesario descanso proteico. Este esquema se adapta bien para la producción de cervezas Lager

continental. Estos esquemas se usan como guía. El cervecero puede elegir qué hacer con su producto. Juegue con los tiempos y las temperaturas y diviértase.

La maceración escalonada requiere agregar calor para alcanzar las diferentes temperaturas de descanso. Se puede agregar calor de dos maneras: por infusión o por calor directo. La primera temperatura de descanso se logra por infusión, como en el macerado de infusión simple descrito anteriormente. Los descansos siguientes se realizan calentando el macerado cuidadosamente y agitando constantemente para evitar que se pegue en el fondo o se quemé. El macerado y mosto caliente es susceptible a la oxidación debida a la aireación lateral caliente, lo que puede resultar en problemas en la estabilidad del aroma en el largo plazo.

5.3.4.3 Maceración por decocción Es una forma de llevar cabo maceración escalonada sin agregar agua adicional o aplicar calor al recipiente del macerado. Consiste en retirar alrededor de un tercio del macerado y colocarlo en otro recipiente donde es calentado a temperatura de conversión, luego se hierve y se agrega a la maceración principal. La porción que se separa debe estar bastante dura, no debe verse agua por sobre el grano. Este procedimiento implica tres cosas. Primero, el agregado de la mezcla hirviendo al macerado principal eleva su temperatura para el próximo descanso. Segundo, el proceso de hervido divide las moléculas de almidón del grano no convertido y produce un mayor grado de extracción en las maltas continentales moderadamente modificadas.

La extracción y cocción de templeas hervidas tienen los siguientes efectos:

- Menor degradación de proteínas en la templea parcial, debido al calentamiento más rápido.
- Un engrudamiento y una licuación más extensivos del almidón.

- Un enjuague más intensivo de los componentes de las cáscaras.
- Mayor formación de melanoidinas.
- Mayor eliminación de sulfuro de dimetilo libre (DMS).
- Reducción de la cantidad de enzimas en la templa total.

Los procesos de decocción tienen, debido a la cocción de las templeas parciales, un mayor consumo de energía, el cual es aproximadamente 10 – 20% mayor que en los procesos de infusión, porque el calentamiento de la templa naturalmente también consume energía.

El tipo y la cantidad de templeas hervidas son de particular importancia para los procesos de degradación durante la maceración. La templa espesa se deposita en el fondo del recipiente, en tanto que las partes disueltas del macerado, se denomina templa fluida y se acumula en la parte superior del recipiente. La templa espesa debe ser cocida, para desintegrar las partículas de almidón que aún contiene, la templa fluida no debe ser cocida, porque se encuentran enriquecida con las enzimas ya disueltas.

Por cierto, si planeas una maceración por decocción, no te olvides de calcular un poco de agua adicional a considerar por la evaporación durante las partes de hervor de la decocción.

5.3.5 Consideraciones del macerado: Durante la maceración y el lavado, la preocupación por la extracción de polifenoles de la cáscara continúa y surgen nuevas preocupaciones sobre las actividades que pueden oxidar los compuestos en su forma de producir el color.

Con respecto a la extracción, el pH es un problema importante. El aumento del pH aumenta la extracción de polifenoles durante la maceración y el lavado. La química de agua debe ser evaluada para asegurar que las sales de calcio adecuadas se agreguen

para compensar todo carbonato presente en el agua. En general, el pH de la maceración debe ser de 5,7 o inferior, algo por encima de 9,5 es claramente problemático.

A medida que aumenta el tiempo de maceración, la extracción de polifenoles aumentará. Esto indica que las maceraciones se deben mantener un régimen de tiempo mínimo cuando el color es fundamental. Para lograr esto, las infusiones simples pueden ser empleadas. Una prueba de yodo puede ayudar a comenzar la extracción tan pronto como sea posible.

Las maceraciones por decocción, debido a su duración y a la cantidad real de hervor de una porción del macerado, tienden a producir mostos más oscuros, aunque el sabor de los compuestos producidos por decocción desempeña un papel clave en el carácter de los estilos de cerveza, como en las bocks.

Las condiciones del lavado de los granos también pueden conspirar para extraer los polifenoles del macerado. Los lavados por encima de 75°C (167° F) incrementarán la extracción de polifenoles cuando lo permita la alcalinidad no compensada en el agua. El pH de cada macerado aumentará después de un cierto período de lavado. Los cerveceros deben evitar el lavado en exceso, un método consiste en dejar de coleccionar el mosto cuando el pH sube por encima de 6,0.

Cuando el procesamiento del grano llega a su conclusión, la preocupación por la extracción de polifenoles llega a su fin. Sin embargo, incluso antes de que esto suceda, debes comenzar a preocuparte de la oxidación de aquellos polifenoles que han sido extraídos en su forma productora de color. Este problema implica lo que se conoce comúnmente como la aireación en caliente del mosto (hot-side aeration).

Cualquier exposición del macerado o el mosto al aire resulta en la captación rápida de oxígeno por los polifenoles. Alguna exposición al aire es inherente al proceso,

porque no es práctico ni deseable llevar a cabo estas operaciones en un ambiente libre de oxígeno. Las principales preocupaciones son las operaciones que generan aireación innecesaria durante la transferencia del macerado y durante la recolección y trasvase del mosto.

Al revolver el macerado se presenta la primera oportunidad para la aireación en caliente del mosto. En su mayoría esta actividad en pequeña escala se hace a mano. En general, la agitación se debe limitar a lo estrictamente necesario para mantener las temperaturas de la maceración de manera uniforme e ideal. Durante esta fase, los cerveceros deben revolver suavemente y evitar salpicaduras. Al revolver no se debe crear un vórtice que succione el aire en el mosto.

Estas mismas preocupaciones se aplican cuando se usan mezcladores motorizados para la maceración. Los mezcladores deben girar despacio y, cuando sea posible, deben ser configurados para que funcionen periódicamente en lugar de hacerlo de manera continua. En ningún momento un mezclador para la maceración debe crear un vórtice en el macerado.

Toda transferencia desde el macerador se debe hacer de una manera que reduzca las salpicaduras y la posibilidad de introducir aire. En general, estas transferencias se deben evitar, si es posible, en la elaboración casera. En las cervecerías comerciales, las entradas de maceradores deben colocarse en o cerca del fondo del recipiente.

Airear el macerado caliente y el mosto es una fuente reconocida de color y de componentes de envejecimiento en la cerveza. Los cerveceros deben evaluar los procedimientos utilizados desde la maceración hasta el enfriamiento del mosto para asegurar que las fuentes de aireación, tales como las salpicaduras y la agitación demasiado agresiva, sean minimizadas. En configuraciones avanzadas, las bombas

pueden ser una fuente de aireación no deseada si generan espuma en el mosto caliente o introducen aire por cavitación. Las estructuras de trasvase basadas en la gravedad reducen al mínimo este problema —incluso si a veces están un poco más difíciles en la parte de atrás.

Los cerveceros también deben tomar medidas para reducir la aireación durante la recolección del mosto. Esto requiere la reducción al mínimo de salpicaduras en la olla de hervor y en los puntos intermedios, como durante el trasvase a través del recipiente de recolección del mosto<sup>45</sup>.

#### **5.4 Filtración del mosto**

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

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

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

---

<sup>45</sup> **Ray Daniels (1996)**. *Designing Great Beers: The Ultimate Guide to Brewing Classic Beer Styles*. Pág. 113 a 115

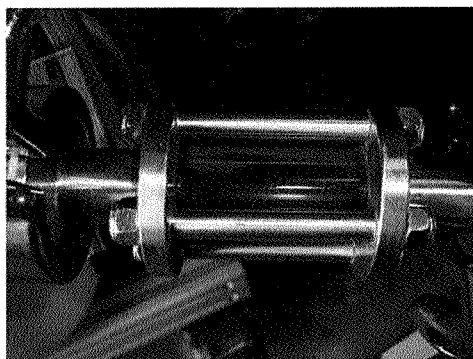
- Filtración del primer mosto
- Lavado del bagazo

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

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

Para filtrar el mosto, se recircula sacándolo por la válvula inferior y reingresándolo por la parte superior del tanque. Se controla su claridad a través de una mirilla colocada justo detrás de la bomba que recircula el mosto. Los primeros litros son casi siempre turbios con proteínas y partículas de granos, esta etapa filtra el material indeseable para evitar que llegue a la olla de hervido. El mosto se debería limpiar bastante rápido. Luego de que el mosto comienza a aclararse, usted está listo para juntar el mosto y lavar la cama de granos. La recirculación puede ser necesaria cada vez que la cama de granos se mueva y pequeñas partes de grano y cáscara aparezcan en mosto extraído.

Figura 17: Mosto una vez finalizado el proceso de recirculación.



Nota: Se observa la claridad del mosto una vez finalizado el proceso de recirculación del mismo. Extraído de Sancho, 2015<sup>46</sup>.

5.4.2 Lavado del bagazo: El extracto retenido por el bagazo es extraído mediante el lavado con agua caliente. Este proceso se denomina riego o lavado del grano. A este mosto más diluido también se le llama mosto secundario. Su contenido de extractos disminuye primero rápidamente y luego de forma cada vez más lenta, dado que el último extracto solamente es lavado de las heces con dificultad. Se trata aquí sobre todo de un proceso de difusión.

El pH del agua de lavado debe ser de 5,8 para evitar la extracción de sustancias indeseadas, tales como taninos, compuestos amargos de las cascaras y ácido silícico. Para reducir el pH del agua de lavado se adiciona comúnmente ácido fosfórico de grado alimentario.

La temperatura del agua de lavado debe ser de 75°C, dado que la  $\alpha$ -amilasa es destruida a 80°C y se necesita para transformar el almidón no disuelto remanente en el bagazo, además temperaturas más elevadas ocasionan una mayor extracción de sustancias indeseadas en el mosto. El agua será añadida en dos o tres tandas y la

---

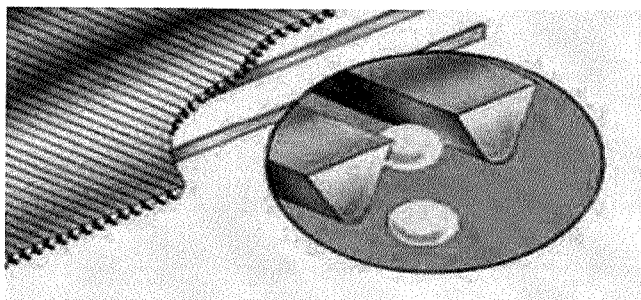
<sup>46</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 72

cantidad total a añadir será la misma en litros que de mosto obtenido tras el primer filtrado (primer mosto).

El método de lavado continuo usualmente resulta en mejores extracciones. El mosto es recirculado y drenado hasta que cerca de 2.54 cm de mosto permanecen sobre la cama de granos. El agua de lavado es gentilmente agregada, en cantidad necesaria, para mantener el fluido por lo menos en ese nivel. El objetivo es reemplazar gradualmente el mosto con el agua, deteniendo el lavado cuando la densidad es 1.008 o cuando se ha recolectado la cantidad suficiente de mosto, lo que suceda primero. Éste método demanda más atención por parte del cervecero, pero puede producir un rendimiento más alto.

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

Figura 18: Falso fondo con varillas triangulares.



Nota: Se puede observar cómo debería ser un falso fondo para la recirculación del mosto. Extraído de Sancho, 2015<sup>47</sup>.

Dispone también de un agitador formado por unas cuchillas colgantes que permitan “cortar” la cama de grano filtrante de forma uniforme. Tiene una apertura superior y una lateral a la altura de la criba para poder sacar el grano una vez concluido el proceso de filtrado, así como desmontar y retirar el falso fondo para su limpieza. También incluye una bola de limpieza CIP en la parte superior<sup>48</sup>.

### 5.5 Cocción del mosto

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

La cocción del mosto ocurre en la paila de mosto, que está equipada con todo lo necesario para la cocción. Cuando todo el cocimiento se encuentra en la paila, se

<sup>47</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 73.

<sup>48</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 71 a 74.

había del mosto de paila llena. El producto final de la cocción es llamado mosto caliente o mosto al bombear.

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

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

Cuanto más tiempo hierve el lúpulo en el mosto, más amargor le aporta y más se evaporan los aceites que otorgan el aroma. Así, una adición al principio tendrá un impacto mayor en el amargor y nada en aroma, mientras que una adición al final aportará únicamente aroma y nada de amargor. En las adiciones intermedias tendremos un poco de cada cosa, además de sabor. Son las llamadas “adiciones de flavor”

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

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

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

- Naturaleza de la isohumulona: Los diferentes componentes de los  $\alpha$ -ácidos son isomerizados con diferente intensidad. La cohumulona da los mejores rendimientos de isohumulona. Utilizando variedades de lúpulo con mayor proporción de cohumulona se obtiene un mayor amargor en la cerveza con una menor cantidad de lúpulo.
- Duración del proceso de cocción: Cuanto más dura la cocción, mayor es el rendimiento de isohumulona. La mayor parte de los  $\alpha$ -ácidos es isomerizada al inicio de la cocción, creciendo el rendimiento cada vez más lentamente, a medida que aumenta la duración de la cocción. Después de 1h de cocción, la mayor parte de los compuestos amargos está isomerizada.
- Valor de pH: Un valor de pH más alto da siempre como resultado una mejor isomerización, pero el amargor obtenido a un pH más bajo siempre es considerado más balanceado y más fino
- Precipitación de isohumulonas con el trub de cocción: Una parte considerable de la isohumulona es absorbida por el trub de cocción (sustancias precipitadas de desecho).
- El grado de trituración del lúpulo: La trituración incrementa la velocidad de extracción y con ello el rendimiento de los compuestos amargos, un ejemplo claro es la utilización de lúpulo en pellets.

Los aceites esenciales del lúpulo son volátiles durante la cocción, tanto más, cuanto más se cuece el mosto. Los diferentes aceites esenciales del lúpulo huelen muy diferentemente fuerte y agradable. Por ello, dependiendo del perfil aromático que se

quiera aportar a la cerveza, se agregará el lúpulo en un tiempo u otro. Si se desea retener estos aceites esenciales para otorgar sus aromas a la cerveza, se deberá agregar el lúpulo aromático entre los últimos 15-20 minutos antes de bombear el mosto caliente.

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

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

Los taninos del lúpulo y de la malta se disuelven completamente en el mosto y se combinan con las sustancias albuminoideas complejas del mosto. Los taninos de la malta tienen aquí una inercia de reacción algo mayor que los del lúpulo. Dado que los taninos se encuentran parcialmente en forma oxidada y que las sustancias albuminoideas tienen diferentes tamaños moleculares, resultan diferentes compuestos con distintas propiedades.

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

- Una mayor duración de la cocción (90 minutos es lo adecuado)

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

El mosto caliente (clarificado) contiene aproximadamente 1000 mg de nitrógeno total/l. De éstos corresponden aproximadamente 200 mg/l (150 - 350 mg/l) a nitrógeno precipitable con sulfato de magnesio (MgCO<sub>4</sub>-N). Con este método se cubren los componentes proteicos de alto peso molecular. Existe una relación entre el MgSO<sub>4</sub>-N y la espuma de la cerveza. Un mayor valor de MgSO<sub>4</sub>-N permite esperar una mejor retención de la espuma.

Aparte de esto, se determina en el mosto caliente el aminonitrógeno libre (FAN), a través del cual se cubren los aminoácidos y los grupos amino terminales de los péptidos y proteínas. Para una fermentación satisfactoria se requieren 220 a 250 mg de aminonitrógeno libre por litro en el mosto caliente. Dado que la levadura no puede utilizar todos los aminoácidos, permanecen todavía en la cerveza 100 a 120 mg de FAN por litro.

Reduciendo la duración de la cocción queda más nitrógeno coagulable en el mosto, permitiendo esperar una mejor retención de la espuma. Son deseables 20 a 30 mg de nitrógeno coagulable/litro de mosto frío.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Con el aumento de la duración de la cocción se impulsa la disociación térmica del precursor de DMS, la S-metilmationina y se purga el DMS libre. En el caso de un

acortamiento de la duración de cocción, aparece una posformación de DMS libre después de la finalización de la cocción.

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

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

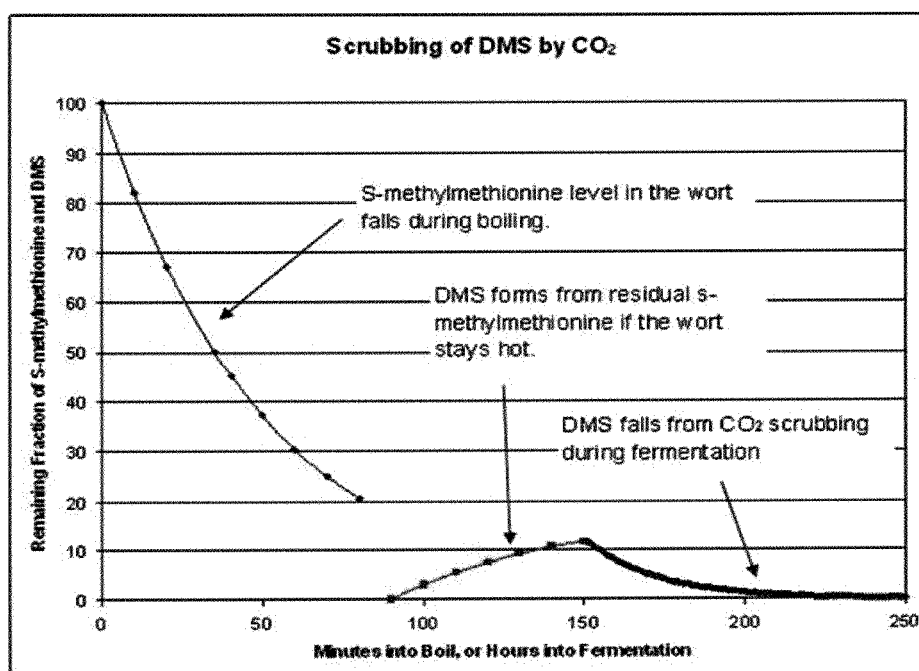
También durante la fermentación se separa todavía DMS libre con los gases de fermentación. Aunque en lo esencial, el contenido de DMS del mosto al inicio de la fermentación se encuentra nuevamente en la cerveza terminada<sup>49</sup>.

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

---

<sup>49</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 322 a 330.

Figura 19: Evaporación de sustancias aromáticas en la cocción y la fermentación.



Nota: Se observa la evaporación de sustancias aromáticas indeseables, tales como el DMS, tanto en la cocción como en la fermentación. Extraído de Sancho, 2015<sup>50</sup>.

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

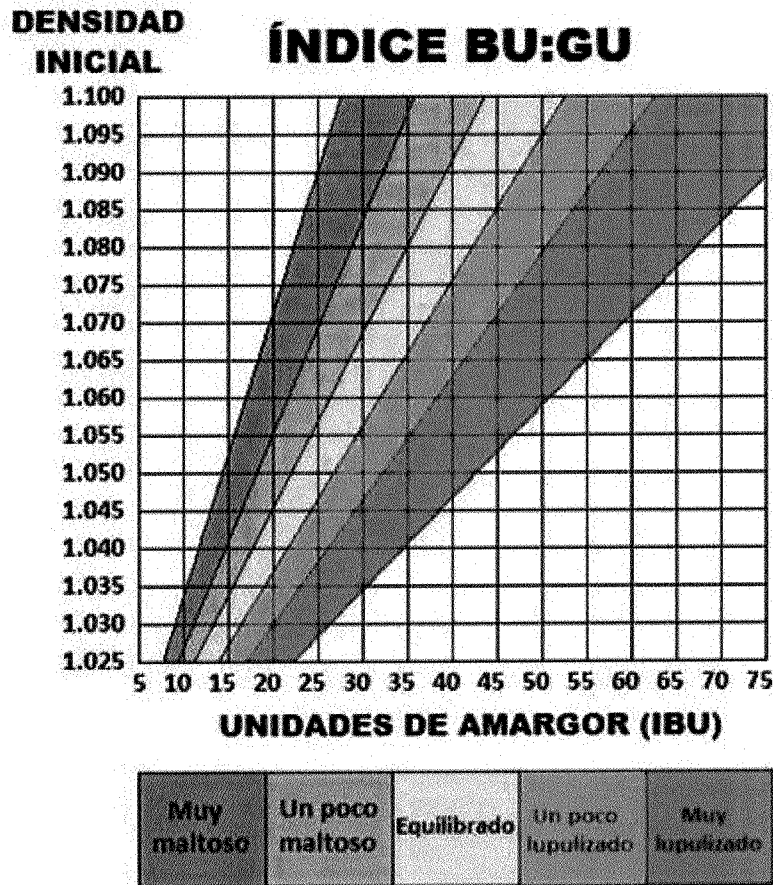
El amargor se expresa en las unidades de amargor IBU (International Bitterness Unit), en las que 1 IBU equivale a 1 mg de  $\alpha$ -ácidos por litro de cerveza. Cada estilo de cerveza tiene un rango de valores de IBU determinados. A continuación, se muestran valores típicos de unidades de amargor en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

<sup>50</sup> Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 79.

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

A medida que el lúpulo hierve por más tiempo en el mosto, se pronuncia el amargor; mientras que, cuanto menos tiempo está hirviendo mayor es el sabor y el aroma que permanece en el mosto, es necesario tener en cuenta la densidad del mosto al finalizar el hervor para poder estimar de forma más precisa cual será el perfil final otorgado por el lúpulo a la cerveza (Aftyca, 2018).

Figura 20: Índice de amargor en base a la densidad inicial.



Nota: Perfil de la cerveza según la densidad del mosto al final de la cocción dependiendo de las unidades de amargor (IBU). Extraído de cervazomicon<sup>51</sup>.

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

<sup>51</sup> Índice BU: GU, recuperado el día 03/12/14. <https://cervazomicon.com/2014/12/03/indice-bugu/>

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

### **5.6 Filtración del trub caliente**

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

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

trasegados junto al mosto a los tanques de fermentación, la calidad de la cerveza se vería afectada gravemente de forma negativa.

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

## **5.7 Enfriado del mosto**

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

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

El agua procedente de red saldrá por el otro extremo del intercambiador a una temperatura aproximada de 60°C, una vez hecho el intercambio calorífico.

En este momento, con el mosto ya enfriado a la temperatura de fermentación, es muy importante airearlo. Esto se consigue a través de un difusor de acero inoxidable instalado en la salida del intercambiador de placas, mediante un compresor de aire y un filtro para el aire de 0,2 micrones. Es importante que el aire entre en contacto con el mosto en forma de pequeñas burbujas, de ahí el hecho que se necesite un difusor. Para disolver el aire en el mosto frío se debe pulverizar aire finamente y mezclarlo de forma turbulenta con el mosto frío. Se trata de alcanzar con esto un ingreso de oxígeno de 8 a 9 mg/l.

Sabemos que la levadura necesita oxígeno para su propagación. Si descuidamos la aireación o no la realizamos de forma efectiva, esto afectará directamente de formas negativa las velocidades de fermentación y la propagación de la levadura. El oxígeno es absolutamente necesario para la levadura, para la síntesis de ácidos grasos, que forman el componente principal de las membranas celulares (Kunze, 2006).

La aireación del mosto frío para el abastecimiento de la levadura es la única vez, durante todo el proceso de fabricación de cerveza en la que se realiza el suministro de oxígeno de forma deliberada. Este oxígeno es consumido por la levadura en término de unas pocas horas y no perjudica la calidad del mosto<sup>52</sup>.

---

<sup>52</sup> **Rubén Sancho S. (2015)**. Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 79 a 85.

## **CAPÍTULO VI: Fabricación de la cerveza**

### **6.1 Historia y origen de la cerveza**

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

La fabricación y despacho de cerveza fueron reglamentados de forma precisa en el conjunto de leyes del rey babilónico Hammurabi (1728 a 1686 a.C.). Existen también muchas ilustraciones y objetos pertenecientes al antiguo Egipto que muestran que se empezó a elaborar cerveza a gran escala. Estos conocimientos llegaron hasta Europa donde se popularizó esta bebida. En aquellos tiempos ya se conocía que la cerveza estaba libre de gérmenes peligrosos, mientras que el agua podía causar algunas

enfermedades. Además, contenía una gran cantidad de nutrientes lo que hacía que fuese un importante alimento. Por ello la cerveza eran las únicas bebidas que eran consumidas tanto por los soberanos como por los trabajadores.

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

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

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

El francés Louis Pasteur mostró en el año 1860 que los procesos de fermentación son atribuibles a la actividad de microorganismos y escribió la siguiente

frase: “La fermentación es la vida sin oxígeno”. Fue sin duda el precursor de la microbiología moderna. En 1883, Emil Christian Hansen desarrolló un método de cultivo de levadura pura que fue mejorado 10 años más tarde por Paul Lindner. Ambos eran trabajadores del Laboratorio Carlsberg en Copenhage. De esta forma se consiguió aislar levaduras puras (*Saccharomyces Carlsbergensis*), disminuyendo la presencia de contaminantes.

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

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

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

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

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

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

También a inicios del siglo XX se empezaron a crear las malterías comerciales. Así pues, cada vez eran menos las fábricas de cerveza que tenían un espacio para elaborar su propia malta. De esta forma se diferenciaban aún más estos dos procesos que poco tienen en común, aunque uno dependa del otro; la fabricación de malta por un lado y la fabricación de cerveza por otro. Después de la fermentación, la maduración y el reposo, la cerveza es filtrada y estabilizada tanto biológica como coloidalmente, a los efectos de mantener la brillantez<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> **Rubén Sancho S. (2015).** Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 15 a 18.

## 6.2 Transformación durante la fermentación y la maduración

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

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

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

Lo que debe hacer la levadura no es determinado por el maestro cervecero, sino que debe manejar los factores que regulan el trabajo de la levadura. No debe olvidarse que los intereses de la célula de levadura son de un tipo totalmente diferente de los del cervecero: mientras el cervecero está particularmente interesado en los productos finales alcohol y CO<sub>2</sub>, justamente estos últimos son venenos celulares, de los cuales debe deshacerse nuevamente la célula de levadura, excretándolos. Para la célula de

levadura sólo es importante la ganancia de energía, para poder vivir y formar nueva sustancia celular, bajo la recepción de nutrientes.

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

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

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

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

Debido a este empuje de energía, le es posible a la levadura no sólo comenzar con la fermentación, sino simultáneamente formar nueva sustancia celular y propagarse

por gemación. Del mosto toma la materia necesaria para la formación de nuevas sustancias celulares. El cervecero se debe encargar únicamente de que estén presentes en el mosto los elementos constituyentes necesarios, por ejemplo:

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

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

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

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

Tan pronto como ha sido consumido por respiración el oxígeno suministrado, la levadura debe restringir nuevamente su administración energética de forma total a la glicólisis anaerobia y debe vivir con una ganancia mínima de energía, debida a la fermentación de azúcar a alcohol y CO<sub>2</sub>.

La fase logarítmica llega lentamente a su fin, dado que la oferta de azúcares fermentables ha disminuido fuertemente, no quedando finalmente casi nada más para fermentar. La fermentación ha finalizado. La levadura comienza a flocular, la propagación se ha detenido y el alcohol y el CO<sub>2</sub> estorban progresivamente, como venenos celulares, a la célula de levadura. Dado que las turbulencias en el tanque durante la intensiva fermentación principal han disminuido o finalizado totalmente, las células de levadura descienden lentamente hacia el fondo, donde se las puede cosechar. Viene ahora un periodo malo para la levadura, porque comienza a haber una deficiencia en el suministro de energía, debiendo ella hacer uso de sus propias reservas.

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

medios nutritivos bienvenidos para los contaminantes. Por ello, el maestro cervecero debe encargarse a tiempo y repetidamente de la cosecha de levadura.

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

Es muy importante crear las condiciones óptimas a la levadura para que pueda realizar la fermentación de forma correcta y poder alcanzar resultados también óptimos en la calidad de la cerveza<sup>54</sup>.

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

- La fermentación de los azúcares y el metabolismo de los hidratos de carbono.
- El metabolismo proteico.
- El metabolismo de grasas.
- Formación y degradación de productos secundarios de fermentación

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

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

- La formación de nuevas sustancias celulares.

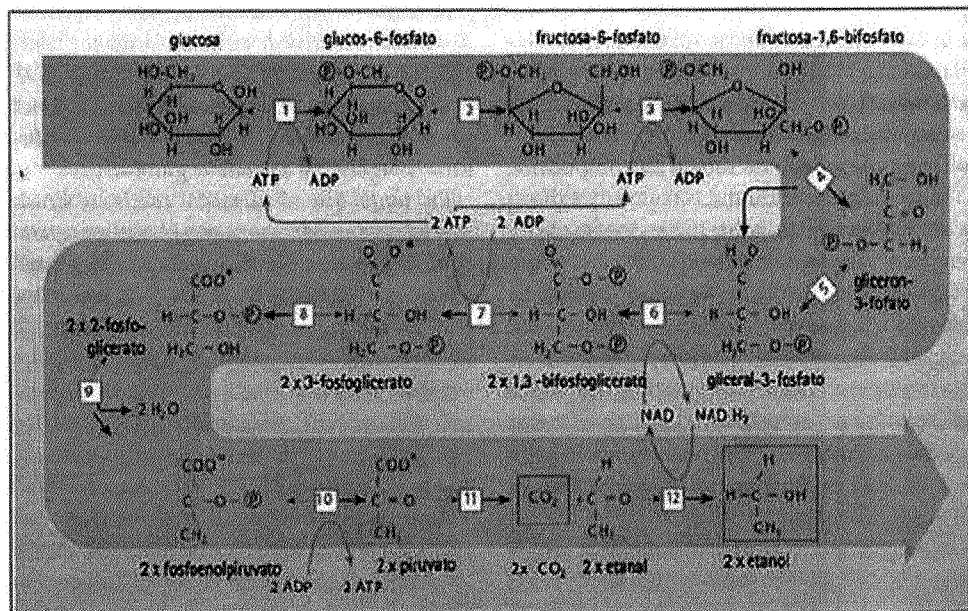
---

<sup>54</sup> **Rubén Sancho S. (2015).** Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 87 a 90.

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

La mayoría de los seres vivos obtiene la energía necesaria por respiración. El proceso comienza con la degradación de glucosa en el citoplasma (citósol) (Figura 47. Esquema de la fermentación alcohólica, según Embden-Meyerhof-Parnas. Fuente: Wolfgang Kunze. Tecnología para cerveceros y malteros.. Se forma en esto, luego de una serie de etapas intermedias complicadas, piruvato (ácido pirúvico), el cual es finalmente transformado en etanol (alcohol) y CO<sub>2</sub>.

Figura 21: Esquema de fermentación alcohólica.



Nota: Se puede observar el bioquimismo de la fermentación alcohólica. Extraído de Kunze, 2006<sup>55</sup>.

En la glicólisis, la glucosa es combinada primeramente con fósforo (fosforilada). Esto sucede por recepción de un átomo de fósforo de ATP (adenosin

<sup>55</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 420.

trifosfato) y la transformación de este último en ADP (adenosin difosfato) (1). Se forma glucosa-6-fosfato, que a continuación es transformada en fructosa-6-fosfato (2), con ayuda de la isomerasa de glucosa-fosfato. A continuación, ocurre una nueva fosforilación por pasaje de otro átomo P de ATP por parte de la 6-fosfofructoquinasa. Se forma fructosa-1,6-bifosfato (3).

A continuación, ocurre una disociación en dos triosa-fosfatos isómeros por la fructosa-bifosfatoaldolasa (4). El glicerol- y gliceron-3-fosfato (5) formado es reducido ahora por la deshidrogenasa de gliceral-3-fosfato a 2 moléculas de 1,3- bifosfoglicerato (6) y al mismo tiempo es ligado un ion hidrógeno por NAD. Luego ocurre una doble desfosforilación, por la fosfogliceratoquinasa, a dos moléculas de fosfoglicerato (7). En esto, el fósforo es ligado nuevamente dos veces por conversión de ADP en ATP (en 1 y en 3) y se lo suministra con ello nuevamente al ciclo.

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

En tanto que el piruvato continúa siendo degradado durante la respiración, éste es separado en la fermentación alcohólica (glicólisis anaerobia), por parte de la piruvato decarboxilasa (11), en CO<sub>2</sub> y etanal (acetaldehído). Luego, el etanal es convertido por la alcoholdehidrogenasa (bajo la presencia necesaria de cinc) en etanol (alcohol etílico) (12), donde el NADH<sub>2</sub> entrega su ion hidrógeno guardado, siendo nuevamente NAD.

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

La conversión de la glucosa en 2 piruvatos, a través de 10 etapas intermedias, se denomina glicólisis. Tiene lugar en todas las células de plantas, animales y seres humanos. Posteriormente, se conduce aquí el piruvato a las mitocondrias y se lo degrada (se consume por respiración) completamente, a través del ciclo de ácido cítrico y la cadena de respiración, en muchas etapas intermedias a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , con una enorme ganancia de energía (36 ATP/mol). La levadura es el único ser vivo que, bajo determinadas circunstancias, como la ausencia de aire, puede conmutar a fermentación alcohólica, partir del piruvato.

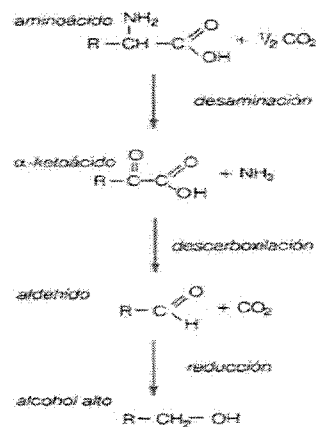
En ausencia de oxígeno, la levadura es capaz de fermentar el piruvato. Sin embargo, en presencia de oxígeno, la fermentación es fuertemente restringida o impedida completamente (efecto Pasteur). Si, por otro lado, hay azúcar presente en concentraciones mayores que 0,1 g/l, el complejo de enzimas de respiración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

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

De 1 mol de glucosa = 180g se forman durante la fermentación alcohólica 92 g de alcohol y 88 g de CO<sub>2</sub>. Es decir, que el azúcar es separado en partes casi iguales en masa de alcohol y CO<sub>2</sub>. En esto, la porción volumétrica del dióxido de carbono es incomparablemente más grande que la del alcohol, dado que los gases tienen una densidad substancialmente menor.

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

Figura 22: Formación de alcoholes superiores.



Nota: Se observa el bioquimismo que desencadena la formación de alcoholes superiores. Extraído de Kunze, 2006<sup>56</sup>.

Estos aminoácidos son absorbidos por la levadura en una determinada secuencia, la cual sin embargo no puede ser influenciada por el cervecero. Son absorbidos únicamente los aminoácidos de bajo peso molecular, de hasta cuatro átomos de carbono. Para la levadura es importante aquí el grupo libre de NH<sub>2</sub>, el grupo amino,

<sup>56</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 423.

el cual ella extrae y utiliza para la formación de proteínas propias de la célula (FAN). Se forma en esto, a partir del aminoácido, por desaminación (extracción y transposición del grupo amino), descarboxilación (extracción de CO<sub>2</sub>) y reducción (extracción de oxígeno) un alcohol superior, el cual es nuevamente excretado (mecanismo Ehrlich) como producto secundario de fermentación. A continuación, se muestra la representación de esta transformación, siendo la R (radical) una cadena de longitud variable (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> +H.

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

6.2.2.3 Metabolismo de grasas: La levadura absorbe ácidos grasos presentes en el mosto. Pero, también es capaz de formar ella misma ácidos grasos: Pero para esto, ella necesita oxígeno. La formación comienza con el piruvato (ácido pirúvico) y prosigue a través de ácido acético activado, como producto intermedio. La levadura también es capaz de formar ácidos grasos insaturados, para cuya formación también se requiere oxígeno. Los ácidos grasos insaturados tienen una gran influencia sobre la ductilidad de la membrana celular. Si hay demasiado pocos ácidos grasos insaturados

de cadena larga presentes, puede sufrir la capacidad de absorción de la membrana celular o puede detenerse completamente la absorción de aminoácidos.

El metabolismo proteico tiene prioridad frente al metabolismo de grasas. El metabolismo de grasas recién comienza cuando las fuentes de nitrógeno están ampliamente consumidas. Dado que por otro lado el metabolismo de grasas está ligado al oxígeno, es de importancia decisiva una síntesis de los ácidos grasos, por medio de una provisión buena y abundante de oxígeno, al inicio de la fermentación.

Los ácidos grasos de cadena larga producidos por la levadura no deben ser valorados negativamente para la estabilidad de sabor de la cerveza dado que están ligados firmemente en las membranas celulares. Sin embargo, con el inicio de la autólisis, existe un altísimo riesgo, dado que los ácidos grasos insaturados liberados son muy propensos a reaccionar.

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

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

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

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

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

Se pueden clasificar como:

- Sustancias de bouquet de cerveza verde: En este grupo se encuentran el diacetilo, aldehídos y los compuestos de azufre, estos le otorgan a la cerveza un sabor y un olor impuro, joven, inmaduro, inarmónico y en alta concentración

afectan negativamente la calidad de la cerveza. Pueden ser extraídas nuevamente de la cerveza durante el desarrollo de la fermentación y la maduración por medios bioquímicos. En ello reside el objetivo de la maduración de la cerveza.

- Sustancias de bouquet: En este grupo se encuentran los alcoholes superiores y los ésteres, estos compuestos determinan de forma esencial el aroma de la cerveza y su presencia es, bajo determinados rangos de concentración, una precondición para una cerveza de calidad. Al contrario de las sustancias de bouquet de cerveza verde, las sustancias de bouquet no pueden ser extraídas nuevamente de la cerveza por medios tecnológicos.

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

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

6.2.2.5.2 Aldehídos: El aldehído más importante es el acetaldehído, el cual se forma como producto intermedio normal durante la fermentación alcohólica. El acetaldehído es excretado por la levadura durante los tres primeros días en la cerveza

verde. Es responsable del sabor “verde” de la cerveza joven, el cual también es denominado sabor de cava o a moho.

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

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

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

Su concentración aumenta principalmente en la fase intensiva de la fermentación, más mientras mayores son las temperaturas de fermentación. En la fase de maduración, depende de la fermentación secundaria (maltotriosas) y puede llegar hasta una duplicación de la cantidad de ésteres en el caso de una prolongada fermentación secundaria. Su formación también es estimulada con una intensificación de la aireación del mosto.

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

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

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

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

6.2.3.1 Cambios en la composición de las sustancias albuminoides: La oferta de nutrientes se ha agotado sustancialmente. La levadura vive, pero los procesos vitales se han debilitado. La levadura excreta ahora sustancias, las cuales contribuyen, dentro de un marco determinado, a redondear el sabor y a aumentar el cuerpo. Estas sustancias incluyen aminoácidos y péptidos, vitaminas, fosfatos, glicoproteínas y enzimas. Este cambio de sabor de la cerveza puede ser considerado como una importante contribución para la maduración de la cerveza. Por ello una extracción demasiado temprana de la levadura puede producir cervezas vacías y secas, aun cuando después se madura durante más tiempo.

6.2.3.2 Disminución del valor pH: El valor pH disminuye considerablemente durante la fermentación. Al finalizar el proceso de maceración, habiéndolo realizado de forma correcta, utilizando el agua adecuada, deberíamos contar con un pH entre 5,2 – 5,3. Una vez finalizada la fermentación nos encontraremos con un pH entre 4,2 – 4,6, es decir, en la cerveza.

El valor de pH disminuye particularmente en la fase primaria y logarítmica, debido a la formación de ácidos orgánicos por desaminación, el consumo de fosfatos primario por parte de la levadura, la absorción de iones de amonio y potasio por la levadura y la entrega de iones hidrogeno a la cerveza.

Durante la fase de fermentación, el valor pH ya sólo disminuye lentamente y finalmente permanece constante. Un incremento del valor pH indica una incipiente autólisis de la levadura.

Un valor de pH tiene una influencia esencial sobre la calidad de la cerveza. El objetivo es lograr un valor entre 4,2 y 4,4 en la cerveza. Este rango de valores estimula la precipitación de compuestos coloidales inestables de proteínas-polifenoles, la velocidad de maduración, el refinamiento en el sabor de la cerveza y es precondición para una mejor estabilidad biológica de la cerveza.

Los siguientes factores favorecen una disminución del valor pH:

- Ablandamiento del agua para cerveza.
- Acidificación biológica de la templa y el mosto
- Evitar una incipiente autólisis de la levadura
- Buena propagación de la levadura
- Fermentación sin ningún tipo de desviación

6.2.3.3 Cambios en las propiedades redox de la cerveza: Como propiedades redox o potencial redox se entiende la relación de fuerzas reductoras y oxidantes en una solución. Un importante cambio en la fermentación del mosto, es el aumento de la fuerza reductora de la cerveza. El aumento de la fuerza reductora está en estrecha relación con el consumo, por parte de la levadura, del oxígeno disuelto en el mosto.

El contenido de oxígeno del mosto al inicio de la fermentación es consumido muy rápidamente por la levadura, alcanzando en el tanque de maduración valores de 0,00 a 0,01 mg de Oxígeno/l de cerveza.

Pero veremos que tenemos grandes dificultades de mantener tan bajo el contenido de oxígeno en el tramo de envasado. Se pueden obtener cervezas con bajo valor rH en el proceso de fermentación y maduración por medio de:

- Utilización de recipientes cerrados.
- Fermentación eficaz e intensiva.
- Evitar el ingreso de oxígeno, en especial después del inicio de la fermentación del mosto.

6.2.3.4 Precipitación de compuestos amargos y taninos: Debido a la disminución del pH durante la fermentación, una serie de compuestos amargos y taninos disueltos de forma coloidal alcanzan el rango de su punto isoeléctrico y son precipitados como compuestos tensioactivos en las burbujas de CO<sub>2</sub> en la capa de espuma o por adsorción en las sustancias albuminoideas y las células de levadura.

Los  $\alpha$ -ácidos no isomerizados durante el proceso de cocción del mosto son precipitados, porque ya sólo son escasamente solubles con un valor pH menor que 5,0 y temperaturas menores que 10°C.

También una parte de las isohumulonas precipita en la tapa que cubre las superficies, porque son fuertemente tensioactivas y son captadas y arrastradas hacia arriba por las burbujas ascendentes de CO<sub>2</sub>.

La espuma formada sobre la superficie, que contiene las sustancias precipitadas, es denominada capa de espuma. En la operación de fermentación abierta estas capas de espuma son extraídas (como capa colapsada) al final de la fermentación principal. En el caso de la fermentación cerrada, la capa colapsada cae finalmente y una parte de los compuestos amargos precipitados entra nuevamente en solución.

Debido a la formación de la capa de espuma, se debe calcular un volumen de capa de espuma del 20% en el tanque cilíndrico.

Del contenido de compuestos amargos del mosto frío al inicio de la fermentación (100 %) se pierde en la fermentación y maduración clásicas:

- 25 a 30% y un 70 a 80% de éste hasta el final de la fermentación principal
- hasta el 50% con operación de fermentación a muy alta temperatura.

6.2.3.5 Cambio en el color de la cerveza: En los primeros días de fermentación, el color de la cerveza se aclara aproximadamente tres unidades EBC. Ello se debe a la decoloración de algunas sustancias causada por la disminución del valor pH y la adsorción de sustancias de colores intensos en células de levadura o la precipitación de aquellas en la capa de espuma y en los fondos de tanque.

6.2.3.6 Contenido de dióxido de carbono de la cerveza: El contenido de CO<sub>2</sub> de la cerveza es uno de sus criterios de calidad más importantes. Las cervezas chispeantes y con buena cantidad de espuma tienen un contenido de CO<sub>2</sub> de 0,45 a 0,50%.

Solo aproximadamente el 15% del CO<sub>2</sub> formado permanece soluble en la cerveza. La mayor parte se desprende durante la fermentación y está disponible para la recuperación de CO<sub>2</sub>.

La solubilidad del CO<sub>2</sub> en la cerveza depende de la temperatura; la solubilidad disminuye con temperatura creciente, y la presión sobre el líquido; la solubilidad aumenta proporcionalmente con la presión.

6.2.3.7 Clarificación y estabilización coloidal de la cerveza: La última fase del proceso de maduración sirve para la clarificación y mejoramiento de la filtrabilidad de la cerveza, así como para aumentar su estabilidad coloidal.

Una medida para el proceso de clarificación de la cerveza es la concentración de células de levadura en suspensión, la cual debe ser menor que 2.000.000 de células/ml.

La clarificación de la cerveza es influenciada por:

- Fermentación primaria intensiva y una caída, en lo posible grande, del valor pH resultante de ello.
- Enfriamiento de la cerveza (1 a 2 semanas a temperaturas de 0 a -1°C).
- Intensidad de la fermentación secundaria.
- Bajo contenido de β-glucano de la cerveza.
- Valor de pH de la cerveza (valores entre 4,2 – 4,4 favorece la clarificación).
- Formas del recipiente de maduración.
- La viscosidad de la cerveza<sup>57</sup>.

---

<sup>57</sup> Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros Pág. 418 a 438.

### 6.3 Proceso de fermentación y maduración

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

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

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

Una vez el fermentador este completamente lleno con el mosto a la temperatura adecuada, se debe controlar con bastante precisión que la temperatura esté siempre al nivel óptimo. En cervezas de tipo lager (baja fermentación), con una levadura en buenas condiciones debería de fermentar un grado plato al día; mientras que en cervezas ale (alta fermentación) pueden llegar a fermentar hasta 4 grados plato al día. Si estos

tiempos son mayores, es muy posible que las células queden en suspensión aportando un sabor a levadura que no será posible eliminar, esto ocurrirá también si se utilizan aguas con niveles de calcio por debajo de 50 ppm.

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

Antes de finalizar la fermentación, se debe ajustar una válvula de escape de presión que permita tarar la presión a un nivel determinado para que escape el CO<sub>2</sub> restante. De esta forma, se puede cerrar el tanque para que los últimos azúcares fermentables (entre 1 y 1,5 grados plato) produzcan el CO<sub>2</sub> que quedará finalmente disuelto en la cerveza, ajustando el nivel de carbonatación deseado. Se puede carbonatar también con botellas de CO<sub>2</sub> de calidad alimentaria a través de piedras de difusión de acero inoxidable instaladas en los depósitos.

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

Se baja la temperatura de la cerveza hasta 14°C en el caso de realizar dry-hopping (adición de lúpulo durante la fermentación durante 3-5 días) o hasta la temperatura de maduración (entre 0 y -1,5°C dependiendo del porcentaje de alcohol). Hay que tener en cuenta que dependiendo de la temperatura a la que se encuentre la cerveza, está contendrá más o menos CO<sub>2</sub> disuelto.

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

En el momento que finalice la maduración de la cerveza, ésta debe ser envasada. Para realizar el trasiego hasta la embotelladora es importante realizar purgas de CO<sub>2</sub> en tanque vacío y con agua las mangueras de trasiego. El trasiego se realizará empujando con CO<sub>2</sub> procedente de una bomba de calidad alimentaria.

#### **6.4 Envasado de la cerveza**

El envasado es una de las etapas críticas para poder mantener la calidad del producto en el tiempo. Es fundamental mantener el nivel CO<sub>2</sub> disuelto que se encuentra presente en la cerveza al momento de envasar, cosa de evitar pérdidas de calidad, sensación en boca, y finalmente una percepción organoléptica deficiente (Daniels, 1990).

6.4.1 Etiquetado de las botellas: Se comenzará la línea de envasado, etiquetando las botellas de cerveza vacías. Estas botellas no tendrán ningún uso anterior, por lo que únicamente serán enjuagadas antes de su llenado. El hecho de que se comience por el etiquetado es debido a que al envasar la cerveza en frío (0-1°C) se producirá

condensación en la botella siendo imposible que se peguen. Las etiquetas, suministradas en bobinas, deben de ser impermeables para evitar que se deterioren durante el proceso.

6.4.2 Embotellado de la cerveza: El envasado de la cerveza debe ocurrir de tal manera que las propiedades se mantengan de forma durable y completa. La cerveza es una bebida que se caracterizan por tener un elevado contenido de CO<sub>2</sub>, que debe mantenerse intacto hasta llegar al consumidor. Además, es vulnerable frente a microorganismos. Por ello, las botellas deben ser aclaradas con agua a altas temperaturas.

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

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

A partir de este momento, se deja de ingresar CO<sub>2</sub> en la botella y comienza a llenarse con la cerveza. Para ello, la cerveza procedente del depósito cilíndrico debe estar a una presión superior a 2 bares para que se produzca el transporte por diferencia de presiones hasta la botella. Hay que tener en cuenta que se perderá parte de la carbonatación en la cerveza durante el proceso de llenado, por ello, es conveniente que la cerveza contenga más CO<sub>2</sub> disuelto del deseado para compensar estas pérdidas.

Se utilizan llenadoras de contrapresión para el envasado de todas las bebidas que contienen CO<sub>2</sub>. Si se envasaran bebidas que contienen CO<sub>2</sub> bajo presión normal, éstas comenzarían a espumar inmediatamente y no se lograría llenar botella alguna.

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

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

6.4.3 Taponado de botella: Para taponar las botellas se utilizan tapones corona de 26mm. Las botellas se taponarán justo después de ser llenadas, para evitar la intrusión de oxígeno, la pérdida de carbonatación o el ingreso de bacterias o microorganismos<sup>58</sup>.

---

<sup>58</sup> **Rubén Sancho S. (2015).** Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 98 a 102.

## **CAPÍTULO VII: Control de calidad**

### **7.1 Introducción**

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

### **7.2 Calidad de la cerveza**

La calidad de una cerveza se basa en:

- Consistencia del producto de un lote a otro.
- Ausencia de sabores desagradables.
- Equilibrio en el sabor (ingredientes y técnicas de elaboración).

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

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

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

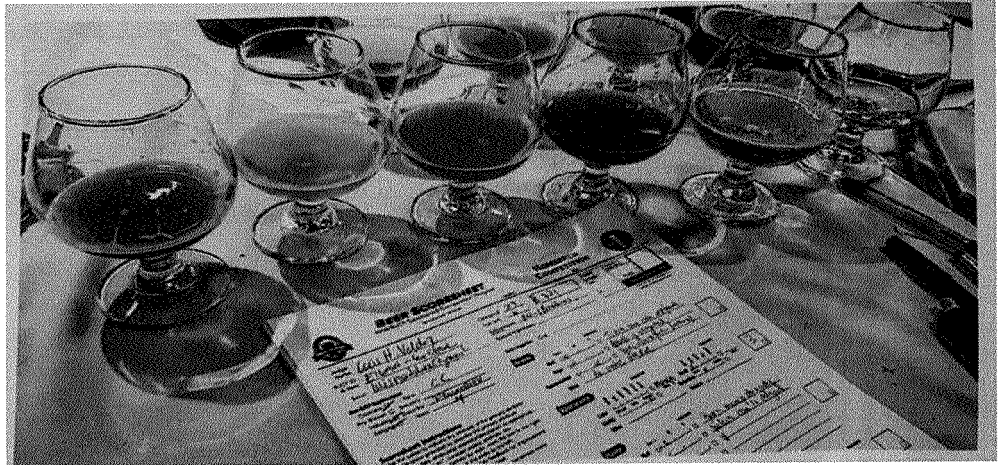
- Por degustación de la cerveza.
- A través de un control microbiológico.
- A través de un examen químico – técnico<sup>59</sup>.

7.2.1 Análisis sensorial de la cerveza: Los nombres de los estilos que leemos en los pizarrones o las etiquetas perteneces a un idioma universal que usan todos los cerveceros del mundo. Es un catálogo compilado y actualizado regularmente por la asociación sin fines de lucro Beer Judge Certification Program (BJCP) que reúne miembros en más de 50 países, incluida la Argentina. Actualmente se encuentran registrados 45 jueces activos en el país que son convocados para las competencias locales, regionales e internacionales. Como la World Beer Cup.

---

<sup>59</sup> **Rubén Sancho S. (2015)**. Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 105.

Figura 23: Análisis sensorial según la BJCP.



Nota: Se observa la planilla aportada por la BJCP, para el análisis sensorial de la cerveza. Extraído de Aftyca, 2008<sup>60</sup>.

7.2.1.1 Flavor: Llamamos flavor a la combinación de sabor y aroma que se percibe en boca. Aquí intervienen las papilas gustativas para el sabor, el olfato para el aroma y un tercer componente que se produce en la nariz. Al tener gas disuelto que se libera con la temperatura, muchos de los compuestos aromáticos so arrastrados desde la boca y suben por detrás de la garganta dando lugar a la percepción retronasal, que completa la trilogía del flavor.

En la descripción de cada estilo, tendremos flavors apropiados, deseables que denominaremos on flavors, mientras que otros serán inapropiados o no deseables, estos últimos se denominarán off flavors.

Las características de flavor varían de un estilo a otra. Un flavor puede ser deseable en un estilo y ser indeseable en otro. Por sí solo, el flavor es un descriptor, si es deseable o no, dependerá del estilo que se esté evaluando. Un flavor a café torrado proveniente de la malta es un descriptor deseable en una Stout, pero indeseable en una

<sup>60</sup> Ricardo Aftyka (2018). Pasión por la cerveza. Pág. 88

Dunkelweizen. El diacetilo, producto de la levadura, es aceptable en bajos niveles en la Scottish, pero nunca debería encontrarse en una Pilsen.

La fermentación es el proceso mediante el cual la célula de levadura transforma los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, produciendo, según las características de la cepa, compuestos secundarios de sabor y aroma. Algunos de estos compuestos, que depende de la cepa de levadura y se encuentran en la cerveza terminada, puede ser ésteres, que se identifican con sabores frutados, o bien fenoles, que percibimos como aromas especiados. La levadura durante su proceso va retomando compuestos que produce, que ingresan varias veces a la célula, para devolverlos transformados a la cerveza. La secuencia de fabricación del alcohol se da en varias etapas, por eso durante la fermentación encontraremos compuesto intermedios como los aldehídos, el diacetilo o los sulfuros. Todos estos compuestos, si permitimos que la levadura complete la fermentación, normalmente son reprocesado, absorbidos o volatilizados. Muchos de estos se consideran off flavors, porque son indicadores de una fermentación incompleta. La inestabilidad de las temperaturas de fermentación afectará el metabolismo de la levadura, dando lugar a la producción en exceso de algunos compuestos intermedios que luego no serán reprocesado y aparecerán en la cerveza terminada, como los alcoholes superiores (fúsel), descriptos habitualmente como aromas a “quita-esmalte” o acetonas, los aldehídos que presentan aromas a manzana verdes o el exceso de diacetilo (mantecoso).

Muchas veces nos encontramos con cervezas que tienen sabores ajenos a los ingredientes con las que se elaboraron. Estas contaminaciones pueden ser metálicas, por trabajar con materiales no aptos para el contacto con la cerveza, que, recordemos, contiene alcohol y un pH bajo que puede degradar metales distintos del acero inoxidable. Por eso se usa acero inoxidable y no otro metal, porque el resto se degrada

con la acidez. Los elementos plásticos no aptos para este tipo de alimento a veces transfieren sabores indeseados. Así también, los sanitizantes a base de cloro o el enjuague deficiente también introducirán un flavor extraño al producto terminado, percibido como clorofenoles, plástico, goma o medicinal.

La utilización de lúpulos con aceites oxidados se percibe en la cerveza como aromas lácticos o a queso rancio.

7.2.1.2 Apariencia: Antes de probar, hay muchas conclusiones que podemos sacar con solo mirar la copa y observar cómo se comporta al servirla. Los primeros atributos de apariencia que evaluamos en una cerveza son el color y la opacidad. El color se mide en una escala llamada SRM que va del 0, para una cerveza color pajizo, amarillo blancuzco, hasta el 50, donde encontramos las completamente negras. En el medio, recorreremos todos dorados, cobre, ámbar y marrón hasta llegar al negro. La opacidad refiere a la turbidez que puede tener por la levadura en suspensión, el lúpulo u otros sedimentos, dado que gran parte de las artesanales no se filtran. Aun así, es una característica que depende del estilo porque no todos los estilos admiten turbidez. Sin filtrar, es igualmente posible obtener una cerveza perfectamente cristalina siguiendo los procesos adecuados.

Luego se evalúa la espuma, teniendo en cuenta su formación al servirla en la copa. Esta nos dará una idea de su nivel de carbonatación antes de probar el producto.

También evaluaremos su textura, veremos si es compacta gracias al tamaño de las burbujas que la componen. En las Stouts irlandesas “nitrogenadas” observaremos una corona de espuma casi como una crema, debido a que se utiliza una mezcla de dióxido de carbono y nitrógeno por lo que presenta una burbuja más pequeña.

Una vez servida, evaluaremos su capacidad de retención en el tiempo mientras se encuentra en reposo. Lo que rompe la espuma son las burbujas que escapan del líquido y la atraviesan, haciendo que se caiga como un castillo de naipes. Si la corona de espuma permanece quiere decir que la tensión superficial de la cerveza es alta, dando una idea del cuerpo que posee. A mayor cuerpo, más resistencia a que las burbujas se escapen del líquido. Los aceites del lúpulo también son un agente que cohesionan la espuma, facilitando su formación y sosteniendo unidas las estructuras.

7.2.1.3 Aroma: Dentro de la percepción de los aromas trataremos de encontrar los provenientes del lúpulo, de la malta y de la levadura o la fermentación.

Según cada estilo, definimos no solo si la cerveza presenta los aromas que corresponden, sino también la intensidad en la que deben percibirse. Así, algún aroma invasivo es considerado inapropiado

Los aromas derivados del lúpulo suelen ser cítricos (pomelo, mandarinas o naranjas), de frutas tropicales (como mango y maracuyá), resinosos (pino), florales (rosas y jazmines), especiados (pimienta o canela) y herbales (pasto recién cortado o vegetal)

A partir de la malta se pueden percibir aromas a grano, costra de pan, pan tostado, caramelo dulce. Caramelo quemado, higos, pasas, ciruelas, nueces, almendras, avellanas, chocolate, cacao, café, café torrado, quemado y ahumado.

La levadura será la responsable de gran parte de los aromas: ésteres, fenoles y otros subproductos de la fermentación. Los ésteres se pueden percibir en aromas frutados como banana, peras o manzanas rojas entre los más comunes. Los fenoles clásicos son el 4-vinyl-guayacol, que es el compuesto del clavo de olor, y el aroma a otras especias, principalmente la pimienta.

La mayoría de los otros subproductos de la fermentación son considerados off flavors. En general, se trata de estadios intermedios en la fabricación del etanol, ya que la levadura primero consume los azúcares más simples que encuentra y devuelve al mosto algunos compuestos que tomará luego para completar su metabolismo. Por ejemplo, los llamados aldehídos, percibidos como aromas a manzanas verdes, son alcoholes pesados con formaciones moleculares complejas que los hacen difíciles de digerir para nuestro hígado. Además, son los responsables de la famosa “resaca” al circular de la sangre a los órganos sin que ninguno pueda deshacerse de ellos, afectando así las neuronas: dolor de cabeza, malestar general. Se eliminan finalmente por transpiración, por eso nada mejor que volver del bar caminando. Otro de los subproductos más frecuente es el diacetilo, que tiene aroma a manteca. La levadura lo produce en las primeras horas y luego lo reabsorbe antes de finalizarla. Para reducirlo es importante que la levadura este vital hasta el final de la fermentación., por eso no se debe retirar antes de tiempo ni enfriarse la preparación. El exceso de diacetilo o de aldehídos evidencia una cerveza apurada, que no maduro correctamente.

Por último, hay algunos aromas que pueden trasladarse debido a la utilización de elementos o materiales deficientes durante el proceso; por ejemplo, el olor a plástico o clorofenoles (medicinal, a cinta adhesiva), que se produce por el uso de agua con cloro en la elaboración. Otro ejemplo típico es el sabor metálico, cuando se emplean otros materiales que no sean acero inoxidable.

7.2.1.4 Sabor: Este es el momento de probar la cerveza. Lo haremos con un pequeño sorbo permitiendo que se deslice por toda la boca, de esta forma se pone en contacto con todas las papilas gustativas de la lengua. Según su localización en la lengua, las papilas detectan mejor cierto tipo de sabor: el dulce se percibe al frente, lo

salado justo detrás de la punta de la lengua, la acidez a los laterales traseros y el amargor hacia al fondo de la lengua.

En la descripción del sabor de una cerveza encontraremos siempre una referencia a la intensidad de dos de estos sabores, el dulce de la malta y el amargo del lúpulo, que contribuyen el balance. Todos los estilos tendrán un balance de tipo neutro, donde no predominan la malta ni el lúpulo, o bien con una tendencia maltosa o lupulada. Muchas veces este balance no solo hace mención al dulzor y el amargor, sino también al sabor: puede ser maltoso, es decir, tener sabores propios derivados de la malta, sin ser necesariamente dulce. Lo mismo ocurre con el lúpulo ya que podemos obtener todo el abanico de sabores propios del lúpulo sin tener necesariamente una cerveza amarga, es decir, se puede usar solo para aportar sabor sin proporcionar amargor, como sucede con las adiciones tardías durante el proceso.

Los sabores derivados de la malta y del lúpulo son equivalentes a los percibidos en aroma, y dependen de la variedad y la técnica utilizadas. De igual manera sucede con los flavors de la levadura. Todo el abanico de flavors descripto para el aroma puede, o no, aparecer en el sabor.

Eso no significa que encontraremos los mismos sabores que percibimos en aroma: una cerveza puede tener aromas cítricos derivados del lúpulo, mientras que en sabor aparecen otros como resinosos o herbales, todo dependerá de la variedad y del momento en que se agregaron al proceso.

Al final encontraremos un fenómeno llamado retrogusto. Esto es la sensación que perdura en la boca que tragamos la cerveza, en los segundos próximos a diluirse el sabor. El retrogusto puede corresponder al balance o no. En ocasiones una cerveza balanceada nos deja un retrogusto amargo desagradable, que solo se percibe una vez

que la maltosidad desaparece de la boca producto de la salivación. A veces el retrogusto de una cerveza dulce es empalagoso y permanece largamente. Esta característica también está indicada para cada estilo y el cervecero tiene herramientas para obtener el resultado deseado.

7.2.1.5 Sensación en boca: La cerveza también tiene una textura. La primera sensación es el cuerpo: una con mucho cuerpo se percibe llena o pesada, mientras que una con bajo cuerpo es liviana y fluye por el paladar. La malta y la atenuación de la levadura desempeñan un papel fundamental en el cuerpo final de la cerveza, ya que esta última será la responsable de consumir los azúcares complejos. Cuantos más azúcares quedan sin consumir por la levadura, mayor cuerpo tendrá. Otras veces se utilizan granos distintos de la malta de cebada, como la avena, que aumentan la sensación de cuerpo lleno. La levadura en suspensión también otorga una cremosidad que se percibe como más cuerpo.

Otra de las sensaciones en boca se debe a la carbonatación: la cerveza con alta carbonatación será chispeante, con un pico en la lengua, mientras que una cerveza con baja carbonatación será más chata, a veces percibida como aguada si tiene bajo cuerpo o licorosa si el cuerpo es alto. Todos los estilos tienen indicado un nivel óptimo de carbonatación, que será determinante para la percepción. El gas disuelto arrastra compuestos aromáticos y cambia la forma en que las papilas de la lengua transmiten los sabores.

Otra sensación relacionada con la textura es la cremosidad o untuosidad que tiene el paladar. La astringencia es una característica sensorial descrita como “secar la lengua” y provocadas por unos compuestos llamados taninos, habituales en el vino y en el té. Normalmente la astringencia en la cerveza es considerada un off flavor.

Para finalizar, describiremos el calentamiento en boca y en retrogusto que tiene la cerveza, provocado por el alcohol etílico. No siempre es un off flavor, hay algunas de alta graduación alcohólica en las que esta sensación es acogedora y deseable<sup>61</sup>.

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

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

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

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

---

<sup>61</sup> Ricardo Aftyka (2018). Pasión por la cerveza. Pág. 88 a 97.

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

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

- La determinación de la densidad original y la densidad final con la determinación del contenido de alcohol.
- La determinación del valor de pH.
- La determinación del contenido de oxígeno disuelto en la cerveza.
- La determinación de las unidades de amargor.
- La determinación del contenido de CO<sub>2</sub>.

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

#### 7.2.3.1 Determinación de la densidad inicial y final con el contenido de alcohol:

Se utilizará un densímetro o hidrómetro de precisión con una escala que varíe desde 1,000 g/ml hasta 1,100 g/ml, para medir la densidad en cervezas con un contenido alcohólico normal (< 7% en vol.). Para cervezas de mayor graduación se utilizará otro densímetro con una escala mayor. La densidad indicará la cantidad de azúcar disuelta en el agua. Debe tenerse en cuenta la temperatura a la que se realizan las medidas,

puesto que el densímetro suele estar calibrado entre 20 y 15°C. En caso de no realizar las medidas a la temperatura a la que está calibrado, se debe corregir mediante los valores de una tabla estandarizada.

La densidad original del mosto se medirá justo a la salida del enfriador de placas y nos dará un valor del total de azúcares disueltos en el mosto con respecto al valor de la densidad del agua. La densidad final será la obtenida con el hidrómetro, justo al final de la maduración (se irá midiendo en diferentes tiempos para ver cómo evoluciona en la fermentación). Este valor de densidad no es exacto debido a la presencia de CO<sub>2</sub> en la cerveza, y sobre todo, a la presencia de alcohol que tiene una densidad menor que la del agua. Por ello este valor de densidad final será un valor aparente y no real.

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

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

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

7.2.3.3 Determinación del contenido de oxígeno en la cerveza: Uno de los controles más importantes durante la fabricación de cerveza es el monitoreo del

contenido de oxígeno. Valores altos de oxígeno tienen una influencia muy negativa sobre la calidad de la cerveza y sobre su estabilidad de sabor.

Deben evitarse todas aquellas operaciones en las que se pueda introducir aire, para evitar el ingreso de oxígeno, prácticamente un movimiento de trasiegos sin protección al aire provoca la oxidación y la pérdida del 20% del perfil aromático.

Para medir la cantidad de O<sub>2</sub> disuelto en el mosto o la cerveza, se utiliza un medidor de oxígeno disuelto.

Tabla 1: Niveles de oxígeno óptimos durante la elaboración.

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

Nota: Se observa los valores de oxígeno disuelto que debe tener el producto, durante las diferentes etapas del proceso. Extraído de Sancho, 2005<sup>62</sup>.

7.2.3.4 Determinación de las unidades de amargor: La determinación de las unidades de amargor es un control importante, puesto que el amargor influencia considerablemente el sabor de la cerveza. La determinación de las unidades de amargor (según EBC/ASBC) se realiza a partir de espectrofotometría, según un proceso el cual no se entrará en detalle aquí.

7.2.3.5 Determinación del dióxido de carbono: El contenido en CO<sub>2</sub> disuelto en la cerveza es un criterio de calidad importante, puesto que afecta directamente al sabor de ésta. Para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto, bastará con la observación de la presión que indique el manómetro instalado en el fermentador y a partir de la

<sup>62</sup>Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 110.

temperatura a la que se encuentre la cerveza, se obtendrá el valor deseado. La tabla es la siguiente:

Para poder cuantificar el CO<sub>2</sub> que se pierde desde el fermentador hasta el proceso de embotellado, se podrá ver a partir de medidores de CO<sub>2</sub> para botellas. Una vez obtenido el valor se deberá carbonatar unas unidades de más según la carbonatación que se desea finalmente<sup>63</sup>.

---

<sup>63</sup> **Rubén Sancho S. (2015)**. Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña. Pág. 107 a 110.

## CAPITULO VIII: Normativa de la cerveza

### 8.1 Definiciones

8.1.1 Cerveza: Se entiende exclusivamente por cerveza a la bebida resultante de fermentar, mediante levadura cervecera, al mosto de cebada malteada o de extracto de malta, sometido previamente a un proceso de cocción, adicionado de lúpulo. Una parte de la cebada malteada o de extracto de malta podrá ser reemplazada por adjuntos cerveceros.

La cerveza negra podrá ser azucarada.

La cerveza podrá ser adicionada de colorantes, saborizantes y aromatizantes.

8.1.2 Malta líquida: Se entiende por malta líquida la bebida no alcohólica, resultante del mosto de cebada malteada o de extracto de malta y agua potable, sometido previamente a un proceso de cocción, adicionada o no con lúpulo, coloreada o no con colorante caramelo, carbonatada o no. Una parte de la cebada malteada o de extracto de malta podrá ser reemplazada por adjuntos cerveceros.

8.1.3 Cebada malteada o malta: Se entiende exclusivamente por cebada malteada o malta al grano de cebada cervecera sometido a germinación parcial y posterior deshidratación y/o tostado en condiciones tecnológicas adecuadas.

Cualquier otro cereal sometido a un proceso de malteo deberá denominarse "malta de..." seguido del nombre del cereal.

8.1.4 Extracto de Malta: Se entiende exclusivamente por extracto de malta al producto seco o de consistencia siruposa o pastosa, obtenido exclusivamente de malta o de cebada malteada.

8.1.5 Adjuntos cerveceros: Se entiende por adjuntos cerveceros a las materias primas que sustituyan parcialmente a la malta, o al extracto de malta en la elaboración de cerveza. Su empleo no podrá ser en su conjunto superior al 45% en relación al extracto primitivo.

Se consideran adjuntos cerveceros a la cebada cervecera y a los cereales, malteados o no, aptos para el consumo humano, a excepción de los productos definidos en los numerales, 8.1.3 y 8.1.4.

También se consideran adjuntos cerveceros a los almidones y azúcares de origen vegetal.

Cuando se trate de azúcares de origen vegetal distintos de los que provienen de cereales, la cantidad máxima de azúcar empleada en relación a su extracto primitivo deberá ser:

- a. cerveza clara, menor o igual al 10% en peso
- b. cerveza oscura, menor o igual al 25% en peso

8.1.6 Mosto: Es la solución en agua potable de carbohidratos, proteínas, sales minerales y demás compuestos resultantes de la degradación enzimática de la malta, con o sin adjuntos cerveceros, realizada mediante procesos tecnológicos adecuados.

## 8.2 Consideraciones específicas

Es obligatoria la declaración del contenido alcohólico (a excepción de la cerveza sin alcohol y de la malta líquida) expresándolo en porcentaje en volumen (% vol.) con una tolerancia  $\pm 0,5$  vol. En el caso de la cerveza sin alcohol se autoriza a realzar esta característica.

## 8.3 Métodos de análisis

Los métodos de análisis de rutina para la determinación de extracto primitivo, grado alcohólico y color que se utilizan son los de las normas ASBC y para análisis de referencia se aplican los métodos analíticos EBC<sup>64</sup>.

---

<sup>64</sup> Código Alimentario Argentino (2021), Capítulo 13, Bebidas fermentadas.

## CAPÍTULO IX: Materiales y métodos

### 9.1 Introducción

En este capítulo, se detallan los materiales y metodología utilizada para realizar las diferentes elaboraciones de cerveza tipo Stout, tanto por infusión simple como por decocción. Además, se abordara el estudio químico y sensorial de las cervezas elaboradas con estos dos métodos diferentes de maceración sumado también una técnica de macerado en frío, también conocida como cold steeping.

Para llevar a cabo el estudio químico se realizaron análisis de mosto y cerveza. En una primera parte se realizó: pH y densidad durante la maceración. Luego a la cerveza terminada, se le realizó: pH, acidez total, alcohol, taninos condensados, índice de color e índice de polifenoles totales.

Por último, para el estudio sensorial, se realizó una degustación a ciegas, en donde los degustadores son personas que no están entrenadas para el análisis sensorial, con el objetivo, de poder escuchar sus diferentes opiniones y poder lograr ver cuál de las cervezas elaboradas, es la que mejor se adapta hacia un consumidor estándar. Además, las muestras fueron degustadas por la Lic. Estela Jaime y el Lic. Lucas Dho

ligeramente quemada. Pueden estar presentes sabores a alcohol hasta niveles medios, pero deben ser suaves.

9.2.1.5 Sensación en boca: Cuerpo medio a pleno. Puede ser algo cremosa, particularmente si una pequeña cantidad de avena se ha utilizado para mejorar la sensación en boca. Puede tener un poco de astringencia derivada del tostado, pero este carácter no debe ser excesivo. Carbonatación media-alta a alta. Calidez de alcohol ligera a moderadamente fuerte, pero suave y no excesivamente caliente.

9.2.1.6 Estadísticas vitales:

- Densidad inicial: 1.050 – 1.075
- Densidad final: 1.010 – 1.022
- IBUs: 35 – 70
- Alcohol (V%V): 5.0 – 7.0%

9.2.1.5 Ingredientes característicos: Maltas base y levaduras americanas comunes. Variado uso de maltas oscuras y tostadas, así como maltas tipo caramelo. Pueden estar presentes adjuntos tales como avena en cantidades bajas. Variedades de lúpulos americanos<sup>65</sup>.

9.2.2 Ingredientes: A continuación, describiremos cada uno de los ingredientes que componen la receta, que se utilizaran para el ensayo y la forma de calcular la cantidad que necesitamos de cada uno de estos.

9.2.2.1 Malta: En esta receta vamos a apuntar a una densidad inicial de 1056, en la cual 4 puntos de densidad equivale a 1% de azúcar. A continuación, se describe la forma de calcular la cantidad de cada una de las maltas utilizadas en este estilo de cerveza del tipo Stout:

---

<sup>65</sup> **Beer Judge Certification Program.** Guía de estilos de cerveza 2015. Disponible en [www.bjcp.org](http://www.bjcp.org).

con el objetivo de tener también, una apreciación mucho más técnica desde el punto de vista sensorial.

## **9.2 Confección de la receta**

9.2.1 Descripción del estilo en la guía BJCP: A continuación, se hará una descripción del estilo que se elaboró para este estudio, es una Stout del tipo americana con un gran contenido de maltas especiales.

9.2.1.1 Impresión general: Una Stout oscura, bastante fuerte, altamente tostada, amarga y lupulada. Tiene el cuerpo y los sabores oscuros típicos de las Stout, con un carácter a lúpulos americanos más agresivo y amargo.

9.2.1.2 Aroma: Moderado a fuerte aroma de maltas tostadas, a menudo con una cualidad a café tostado o chocolate oscuro. Aromas quemados o a carbón son aceptables en bajos niveles. Aroma a lúpulo de medio a muy bajo, a menudo con un carácter cítrico o resinoso. Ésteres medios o ausentes. Ligeros aromáticos derivados del alcohol también son opcionales.

9.2.1.3 Apariencia: Generalmente un color negro azabache, aunque en algunas puede parecer marrón muy oscuro. Espuma grande, persistente, de color canela suave a marrón claro. Usualmente opaca.

9.2.1.4 Sabor: Moderados a muy altos sabores a malta tostada, a menudo a degustación de café, granos de café tostados, chocolate oscuro o amargo. Puede tener sabor a granos de café molido ligeramente quemados, pero este carácter no debe ser destacado. Bajo a medio dulzor maltoso, a menudo con sabores a chocolate o caramelo. Amargor medio a alto. Sabor a lúpulo bajo a alto, generalmente cítrico o resinoso. Ésteres bajos a ninguno. Final medio a seco, ocasionalmente con una cualidad

4 Puntos de densidad  $\longrightarrow$  1% de azúcar

56 Punto de densidad  $\longrightarrow$  14% de azúcar

14 g de azúcar  $\longrightarrow$  100 g de solución

14 g de azúcar  $\longrightarrow$  86 g de agua

Como consideramos que la densidad del agua es de 1000 kg/m<sup>3</sup>

14 g de azúcar  $\longrightarrow$  86 ml de agua

0,086 l de agua  $\longrightarrow$  14 g de azúcar

16 l de agua  $\longrightarrow$  2605 g de azúcar

0,1 l de mosto  $\longrightarrow$  14 g de azúcar

16 l de mosto  $\longrightarrow$  2240 g de azúcar

Sabemos entonces que necesitamos 2240 gramos de azúcar en 16 litros de mosto, para lograr la densidad inicial de la receta, ahora en el equipo en el que se elabora la cerveza para esta investigación, se evaporan 4 litros de agua durante proceso de hervor del mosto. Entonces necesitamos saber que densidad necesitamos previa al hervor del mosto, para que una vez finalizado este obtengamos los 16 litros de mosto con una densidad de 1.056.

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

$$C1 \times 20 \text{ l} = 56 \text{ Puntos de densidad} \times 16 \text{ l}$$

$$C1 = 56 \text{ Puntos de densidad} \times 16 \text{ l} / 20 \text{ l}$$

$$C1 = 44,8 \text{ Puntos de densidad}$$

Esto explica que el lavado del grano, debe realizarse hasta obtener una densidad de 1.044,8, esta se denomina densidad previa al hervor del mosto.

Como se dijo anteriormente, necesitamos extraer de la malta 2240 gramos de azúcar. Por lo tanto, debemos conocer básicamente dos cosas:

- 1) El extracto potencial de las maltas en cuestión.
- 2) Rendimiento de extracción.

El extracto potencial es el contenido de azúcar que potencialmente podríamos llegar a extraerle a la malta, y es una información que debe ofrecer el proveedor de maltas. La siguiente tabla muestra unos valores estimativos que se pueden tomar como base para los cálculos.

Figura 24: Extracto potencial de los diferentes tipos de malta.

TIPO DE MALTA (O ADJUNTO)	John Palmer		Ray Daniels	
	Max. Yield	Max. PPG	1 lb / 1 gl	0,1 kg / 1 l
Malta Lager (2-row)	<b>80</b>	37	1.035 - 1.037	<b>1,029 - 1,030</b>
Malta Pale (2-row)	<b>81</b>	38	1.035 - 1.037	<b>1,029 - 1,030</b>
Malta Biscuit/Victory	<b>75</b>	35	1.035 - 1.036	<b>1,029 - 1,030</b>
Malta Vienna	<b>75</b>	35	1.035 - 1.036	<b>1,029 - 1,030</b>
Malta Munich	<b>75</b>	35	1.035 - 1.036	<b>1,029 - 1,030</b>
Malta Brown	<b>70</b>	32	1.032	1,028
Malta Crystal (10 - 15L)	<b>75</b>	35	1.035	<b>1,029</b>
Malta Crystal (25 - 40L)	<b>74</b>	34	1.034	<b>1,029</b>
Malta Crystal (60 - 75L)	<b>74</b>	34	1.034	<b>1,029</b>
Malta Crystal (120L)	<b>72</b>	33	1.033	<b>1,028</b>
Special B	<b>68</b>	31	1.031	1,028
Malta Chocolate	<b>60</b>	28	1.025 - 1.030	<b>1,021 - 1,025</b>
Cebada tostada	<b>55</b>	25	1.025 - 1.030	<b>1,021 - 1,025</b>
Malta Black	<b>55</b>	25	1.025 - 1.030	<b>1,021 - 1,025</b>
Malta de Trigo	<b>79</b>	37	1.037 - 1.039	<b>1,031 - 1,033</b>
Malta de Centeno	<b>63</b>	29	1.029	<b>1,030</b>
Copos de avena	<b>70</b>	32	1.032	<b>1,028</b>
Copos de maíz	<b>84</b>	39	1.037 - 1.039	<b>1,031 - 1,033</b>
Copos de cebada	<b>70</b>	32	1.032	<b>1,024</b>
Copos de trigo	<b>77</b>	36	1.036	<b>1,030</b>
Copos de arroz	<b>82</b>	38	1.038	<b>1,032</b>
Azúcar blanco	<b>100</b>	46	1.046	<b>1,038</b>

Nota: Se puede observar el extracto potencial de los diferentes tipos de malta o adjuntos, tomados desde dos puntos de vista diferente, tanto el de John Palmer, como el de Ray Daniels<sup>66</sup>.

Por otro lado, el rendimiento de extracción del equipo que se utilizó para la elaboración es del 70%, este valor se calcula en base a la experiencia usando el equipo de cocción.

Conociendo estos dos parámetros, a continuación describiremos la cantidad de maltas necesarias para nuestra densidad objetivo y los porcentajes de cada una de estas, que se tomaron para esta receta:

- Malta Pale ale: 79,3 %

<sup>66</sup> Matemática cervecera, recuperado el día 25/06/15. <https://cervezomicon.com/2015/06/25/matematica-cervecera-los-puntos-de-densidad/comment-page-1/>

100% —————> 2240 g de azúcar

79,3% —————> 1776,32 g de malta pale ale

100% —————> 2240 g de azúcar

5,0% —————> 112 g de malta caramelo 120

100% —————> 2240 g de azúcar

6,7% —————> 150,1 g de malta chocolate

100% —————> 2240 g de azúcar

3,9% —————> 87,36 g de copos de avena

100% —————> 2240 g de azúcar

5,1% —————> 114,24 g de cebada tostada

Ahora necesitamos tomar en cuenta el extracto potencial de cada malta y el rendimiento del equipo de elaboración.

$$1776,32 / 0,81 / 0,70 = 3132,8 \text{ g} = 3,133 \text{ kg de malta pale ale}$$

$$112 / 0,72 / 0,70 = 222,22 \text{ g de malta caramelo 120}$$

$$150,1 / 0,60 / 0,70 = 250 \text{ g de malta chocolate}$$

$$87,36 / 0,80 / 0,70 = 124,8 \text{ g de copos de avena}$$

$$114,24 / 0,80 / 0,70 = 208 \text{ g de cebada tostada}$$

9.2.2.2 Lúpulo: Para calcular la cantidad de lúpulo, hay que conocer el grado de utilización del lúpulo, de acuerdo al tiempo en el que se agrega en el hervor.

Tabla 2: Grado de aprovechamiento del lúpulo según el tiempo de hervor.

Tiempo de hervor en minutos	Porcentaje de utilización	
	Flor	Pellets
0 a 9	5	6
10 a 19	12	15
20 a 29	15	19
30 a 44	19	24
45 a 59	22	27
Más de 60	27	34

Nota: Se puede observar el aprovechamiento del lúpulo, tanto en flor como en pellets, con respecto al tiempo de hervor en minutos<sup>67</sup>.

Luego es importante conocer el % de Alfa ácidos contenidos en el lúpulo, dato que debe ofrecer el proveedor de insumos, en esta investigación se utilizó un lúpulo cascade americano con 6,3 % AA y Saaz de la Patagonia con 3,8% AA. Se buscaron lúpulos de los denominados nobles, con el objetivo de lograr un amargor agradable al paladar. También necesitamos saber a qué cantidad de IBUs vamos a apuntar para el estilo a elaborar, en este caso se apuntó a un IBUs de 45, para no salirnos de los parámetros que nos indica la BJCP para este estilo.

Por último, se debe aplicar un factor de corrección, en caso de ser la densidad inicial menos a 1050, ese factor es 1, pero no es este el caso, así que el mismo se calculó de la siguiente forma:

<sup>67</sup> Sebastián Oddone (2018). Matemática de la cerveza. Pág. 27

$$FC = 1 + \left[ \frac{\frac{Ev}{1000} - 1.050}{0,2} \right]$$

$$FC = 1 + \left[ \frac{\frac{1044,8}{1000} - 1.050}{0,2} \right] = 0,974$$

$$EV = \left\{ \left[ \left( \frac{Di}{1000} - 1 \right) \times \frac{V}{V_{pre\ boll}} \right] + 1 \right\} \times 1000$$

$$EV = \left\{ \left[ \left( \frac{1056}{1000} - 1 \right) \times \frac{16}{20} \right] + 1 \right\} \times 1000 = 1044,8$$

$$Gramos = \frac{IBUs \times Volumen\ frío \times 10 \times Fc}{\%U \times \%AA}$$

$$Gramos = \frac{37 \times 16 \times 10 \times 0,974}{34 \times 6,3} = 26,9 \text{ g de Lúpulo Cascade (1era adición)}$$

$$Gramos = \frac{6 \times 16 \times 10 \times 0,974}{15 \times 3,8} = 16,4 \text{ g de Lúpulo Saaz (2da adición)}$$

$$Gramos = \frac{2 \times 16 \times 10 \times 0,974}{6 \times 3,8} = 13,67 \text{ g de Lúpulo Saaz (3era adición)}$$

La primera adición se realizó cuando restaban 60 minutos para culminar el hervor, la segunda cuando restaba 15 minutos para finalizar, y la última cuando restaban 5 minutos.

### **9.3 Elaboración de la cerveza**

9.3.1 Molienda de la malta: Se realizó por medio de un molino de discos, en el cual se buscó la ruptura del grano de cebada, para poner en liberación al almidón con el menor porcentaje posible de harina, para así no dificultar la operación de recirculado.

9.3.2 Empaste: Se tomó una relación de 2,5 litros de agua por kilo de malta para la maceración por infusión simple y de 3 litros de agua por kilo de malta para la decocción, estos es debido a las pérdidas de evaporación de esta última. Se debe provocar una agitación prolongada por unos minutos, para lograr así que no se formen grumos que dificulten la difusión del almidón del grano al agua.

9.3.2.1 Preparación del agua: El agua utilizada es previamente filtraba a través de un filtro de tres cartuchos, el agua ingresa primero por un filtro de partículas en suspensión de 10 micrones, seguido de unos de 5 micrones y terminando con el filtro de carbón activado para la eliminación del cloro. El pH del agua utilizada es de 5,98.

Figura 25: Filtración del agua y llenado del macerador.



Nota: Se puede observar el llenado del macerador, con el agua proveniente del filtro, previo al inicio del empaste<sup>68</sup>.

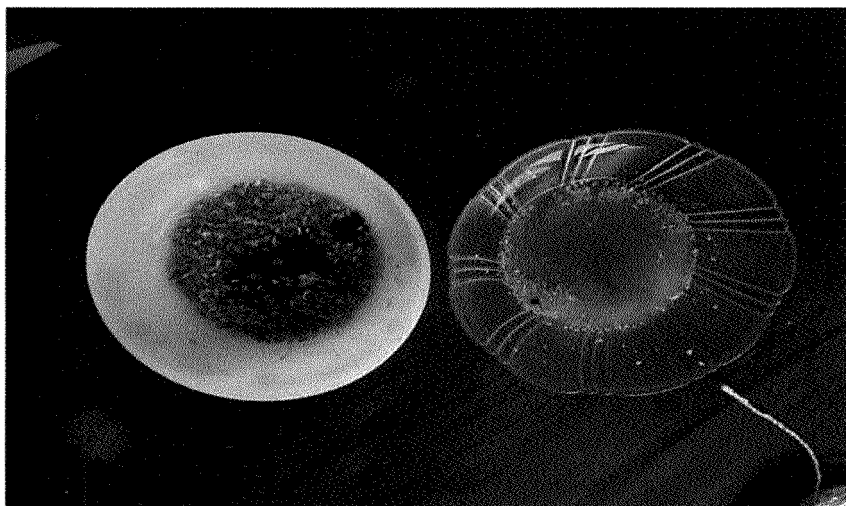
9.3.2.2 Calentamiento del agua: Para la maceración por infusión simple se calentó el agua dentro de la olla de maceración a 73°C, para lograr así que una vez adicionada la malta molida, la temperatura baje a 68°C por la diferencia de temperatura, entre los granos de malta y el agua, mientras que para la decocción se calentara el agua a 58°C para así lograr en el empaste una temperatura de 53°C.

9.3.3 Maceración: El tiempo utilizado para la conversión del almidón en azúcares fermentables para la levadura fue de 90 minutos, en el cual su finalización fue determinada a través de la prueba con tintura de yodo 0,01N, no presentando luego del tiempo estipulado, ningún tipo de cambio hacia un azul violáceo, que determinaría la presencia de almidón, y por lo tanto que el proceso de maceración no se haya completado.

---

<sup>68</sup> Las figuras que aparecen en este capítulo son de fuente propia.

Figura 26: Prueba con tintura de yodo 0,01N.



Nota: Se puede observar a la izquierda el empaste previo a comenzar la maceración, como vira el color a azul violáceo, en cambio a la derecha se puede observar como no se produce ningún cambio, eso significa que el proceso de maceración ha concluido.

9.3.3.1 Infusión simple: Se maceró durante 90 minutos a una única temperatura, la cual fue de 68°C, con el objetivo de que trabajaran tanto la  $\alpha$ -amilasa, como la  $\beta$ -amilasa, para así lograr los azúcares fermentables para llegar a la densidad inicial deseada para este estilo de cerveza y a su vez, liberar dextrinas que le aportaran mayor cuerpo a la cerveza.

Figura 27: Temperatura de empaste en la maceración por infusión simple.



Nota: Se puede observar en el termómetro la temperatura a la cual se realizó la maceración por infusión simple, que a los 68°C.

9.3.3.2 Decocción: Diferenciándose de la infusión simple primero se maceró a 53°C durante 15 minutos, luego se extrajo 1/3 del macerado y se lo colocó en una olla y se lo llevó a hervor por 20 minutos, luego lo volvió a colocar en la olla de maceración, se aprovechó la subida de la temperatura del macerado alcanzando el escalón de sacarificación, es decir, a unos 65°C. La temperatura de sacarificación mencionada anteriormente se mantuvo por 45 minutos, luego se extrajo nuevamente un 1/3 del macerado y se llevó nuevamente a hervor por 20 minutos, y luego nuevamente fue incorporada al macerado, subiendo así la temperatura a 75°C, esta se mantuvo por otros 20 minutos para dar por finalizado esta etapa en el proceso de elaboración.

9.3.3.3 Cold steeping: Como se dijo anteriormente en este estudio sobre extracción de taninos, se realizó una prueba, macerando en frío las maltas oscuras, para luego agregarlas en el hervor del mosto.

9.3.3.3.1 Principio: La idea era encontrar una forma de extraer los sabores favorables de los granos especiales oscuros, pero dejar atrás las duras características, dando al cervecero un mayor nivel de control sobre el color y el sabor de la cerveza.

Gruber descubrió que para algunos granos oscuros remojar los granos triturados en agua a temperatura ambiente durante 24 horas crea un extracto que se puede agregar a la olla de ebullición o al fermentador. Dejando a un lado los sabores astringentes y aportando sabores típicos de las maltas torrefactadas como es el café o el regaliz, gruber observo que cuanto menos calor implicaba el proceso, más ricos eran los aromas<sup>69</sup>.

9.3.3.3.2 Aplicación: Para realizar la elaboración con este método, se colocó las maltas oscuras, en la misma proporción de la receta, previamente molidas, en un recipiente y se agregó la misma proporción de agua utilizada en la receta, se tapó y se dejó en la heladera por 24 horas, luego el día de la cocción se filtró el líquido y se agregó 10 minutos antes de terminar el hervor del mosto. Para este método se aplicó el mismo tipo de maceración por infusión simple.

---

<sup>69</sup> Cold steeping: Aprovechando las maltas oscuras, recuperado el día 20/06/18. <https://cervecing.es/cold-steeping-con-maltas-oscuras/>

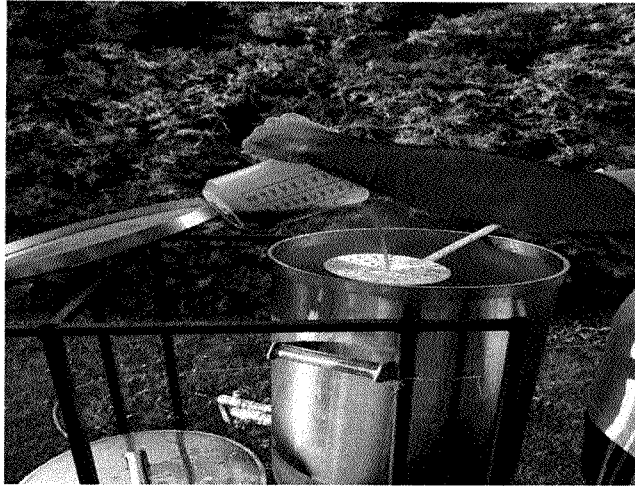
Figura 28: Colado de las maltas oscuras.



Nota: Se puede observar el proceso de colado de las maltas oscuras, maceradas en frío por 24 horas, previo a ser agregado el filtrado a la olla de hervor, en la elaboración que se utilizó el método cold steeping.

9.3.4 Recirculación: Esta etapa se realizó durante 30 minutos, sacando el mosto que se filtra a través del falso fondo colocado en la olla de maceración, por medio de una válvula de paso, colocándolo en una jarra y luego volcando el líquido nuevamente en la olla de maceración, haciendo chocar previo, con una espumadera para simular un efecto de lluvia, y no genera un nivel elevado de oxidación en el mosto, este proceso se realizó hasta que el mosto queda perfectamente claro, lo que ocurre es una filtración del mosto debido al método de filtración por torta, que en este caso es la masa de grano que asienta en el falso fondo.

Figura 29: Recirculado del mosto.

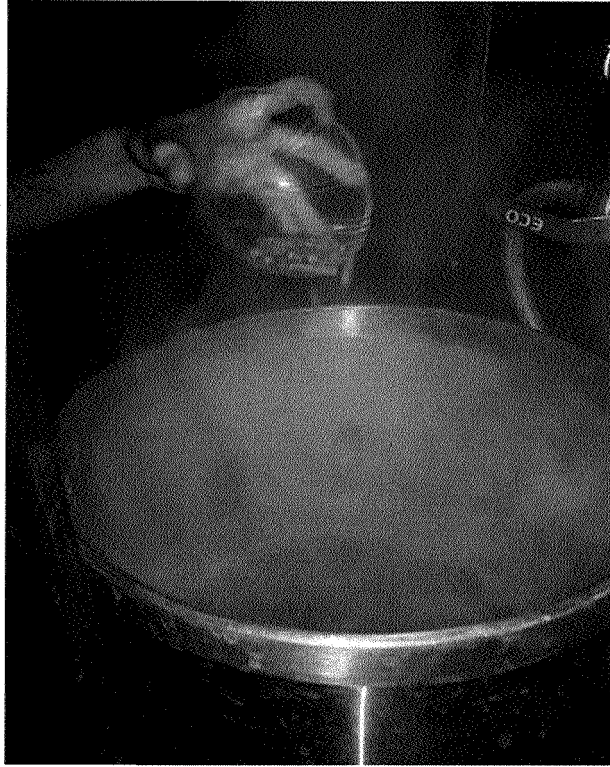


Nota: Se puede observar el método utilizado para recircular el mosto, con espumadera y jarra.

9.3.5 Lavado del grano: Primero, a la mitad de la maceración, se fue calentando el agua de lavado en la olla de hervor hasta una temperatura de 74°C, con el objetivo de ganar tiempo, y así comenzar esta etapa, ni bien terminado el recirculado. Se realizó el agregado del agua a 74°C, por encima de la olla de maceración con el objetivo de extraer más azúcares del grano de malta, siempre se debe realizar en forma de lluvia para no generar canales en donde el agua solo va a diluir el mosto, se lavó hasta que se llegó a una densidad de 1048.

9.3.6 Hervor del mosto: El mosto se cocinó durante 70 minutos, con el objetivo, de primero esterilizarlo y luego solubilizar en el mosto los  $\alpha$ -ácidos del lúpulo para aportar el amargor correspondiente a la cerveza, además este proceso favorece la formación de coágulos proteicos, el proceso nombrado anteriormente será ayudado con el agregado de un clarificante llamado whirtfloc, que se agregó 15 minutos antes de terminar el hervor del mosto. En esta etapa de elaboración es en la cual se agregó el lúpulo en los diferentes tiempos que indica la receta para este ensayo de investigación.

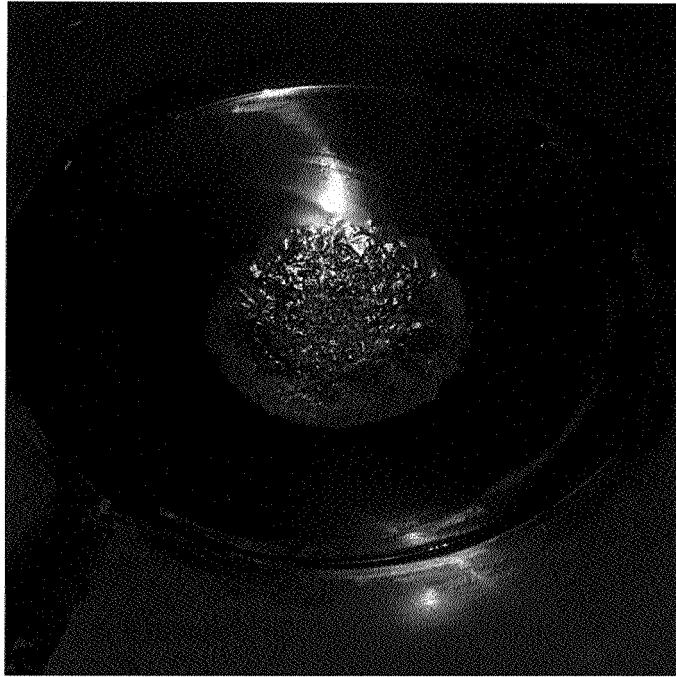
Figura 30: Agregado de lúpulo



Nota: Se puede observar la segunda adición del lúpulo durante el hervor del mosto.

9.3.7 Whirlpool: En esta etapa se realiza con nuestro agitador manual, un movimiento de remolino, en sentido de las agujas del reloj por 3 minutos, para generar una fuerza centrípeta que favorece la aglomeración de los coágulos proteicos formados durante el hervor y su posterior floculación hacia el centro del fondo de la olla, permitiendo así la obtención de un mosto mucho más claro.

Figura 31: Floculación de las proteínas.



Nota: Se puede observar, como debido a la acción de la fuerza centrípeta los coágulos proteicos floculan hacia el fondo de la olla de hervor, esta imagen fue tomada cuando se estaba concluyendo la fase de enfriado del mosto, y comienza a hacerse visibles estos coágulos proteicos.

9.3.8 Enfriado del mosto: Se realizó mediante un intercambiador de calor a contracorriente de aluminio, al circular el agua fría y el mosto hirviendo a direcciones opuestas se generó un choque térmico que permitió bajar la temperatura a unos 20°C, para poder inocular las levaduras, previo al realizar el enfriado se esterilizó el intercambiador, haciéndole pasar un poco de mosto hirviendo por el interior de la cañería de aluminio, sin todavía proceder con el agua de enfriado para no perder temperatura, esa pequeña cantidad de mosto fue descartado y luego se comenzó con el enfriado. La duración del proceso fue aproximadamente de unos 20 minutos.

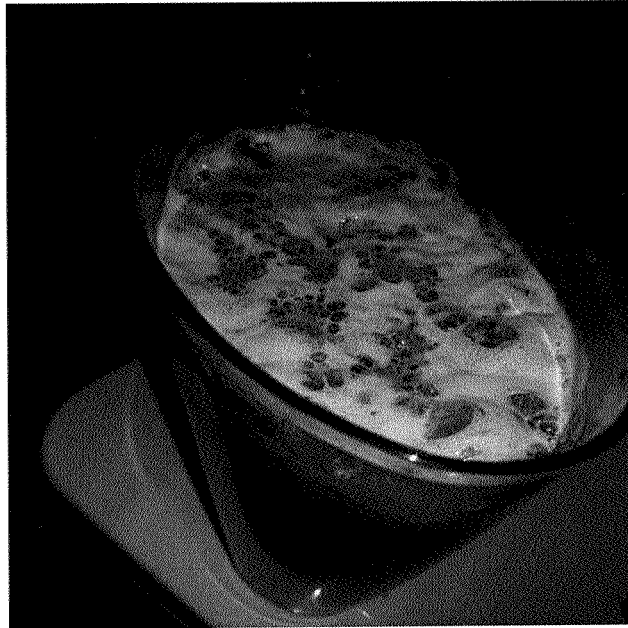
Figura 32: Enfriado del mosto.



Nota: Se puede observar, la manera en la cual se realizó el enfriado del mosto, la entrada del mosto caliente y salida del mosto frío al fermentador.

9.3.9 Inoculación: Las levaduras fueron preparadas en un recipiente cerrado de 1 litro en el cual se colocó 400 ml de mosto después de la segunda adición de lúpulo, más 400 ml de agua filtrada, luego se enfrió en la heladera hasta  $38^{\circ}\text{C}$ , para agregar 11 gramos de levadura, luego se dejó reposar por unos 35 minutos, hasta poder notar una gran actividad en el recipiente. Luego se fue bajando de a  $5^{\circ}\text{C}$  la temperatura con mosto frío y con reposos de 10 minutos, hasta llegar a  $22^{\circ}\text{C}$  y así poder inocularle en todo el mosto.

Figura 33: Activación de las levaduras.



Nota: Se puede observar las levaduras ya activadas y listas para ser agregadas al fermentador, luego de lograr bajar la temperatura a 22°C, y así no provocarles un stress a las levaduras a la hora de adicionarlas.

9.3.10 Fermentación: Los 7 lotes de cerveza fueron fermentados en una heladera con controlador de temperatura, también conocido como combistato. Las primeras 72 horas de fermentación fueron entre 17 – 18 °C, para luego liberarla a 20 – 21°C hasta su finalización. Luego del séptimo día, y en el cual la densidad no presentó ningún cambio, se precedió a la fermentación secundaria, maduración en caliente o también llamado descanso del diacetilo, este proceso se realizó durante 7 días, a una temperatura de 21°C en cada uno de los diferentes lotes.

Tabla 3: Monitoreo de Fermentación alcohólica.

Días	Temperatura	Densidad	Baumé
1	17°C	1.056	7,69
2	18°C	1.042	5,84
3	18°C	1.034	4,77
4	20°C	1.027	3,81
5	20°C	1.022	3,12
6	21°C	1.017	2,42
7	21°C	1.017	2,42
8	21°C	1.017	2,42
9	21°C	1.017	2,42
10	21°C	1.017	2,42
11	21°C	1.017	2,42
12	21°C	1.017	2,42
13	21°C	1.017	2,42
14	21°C	1.017	2,42
15 (Refrigeración)	12°C	1.017	2,42
16	9°C	1.017	2,42
17	4°C	1.017	2,42
18	4°C	1.017	2,42
19	4°C	1.017	2,42
20	4°C	1.017	2,42
21	4°C	1.017	2,42

Nota: Se observa como a medida que avanzan los días de fermentación, la densidad va disminuyendo, debido al consumo de azúcares por parte de la levadura para generar alcohol y dióxido de carbono, también se observan las temperaturas diarias durante este proceso. Elaboración propia<sup>70</sup>.

9.3.11 Clarificación: Se sometió una vez finalizada la fermentación secundaria, a la acción del frío, como se describe en la figura 24, el objetivo es lograr obtener un

<sup>70</sup> Las tablas observadas en este capítulo son de fuente propia.

producto cristalino, el frío permite que ciertas proteínas que no fueron precipitadas en el Whirlpool, sean depositadas en el fondo del fermentador, esto es por el cambio de estado que estas sufren al disminuir la temperatura, así se elimina el conocido “turbio frío” o también llamado chill haze.

9.3.12 Envasado: Se realizó agregando un almíbar, se dosificaron 10 ml por botella. Se envasaron 12 litros de cerveza, la botella utilizada fue de 500 ml de color caramelo, para reducir así los procesos oxidativos. El envasado se realizó en la menor ausencia posible de oxígeno, purgando el oxígeno con gas carbónico. El volumen de Co<sub>2</sub> en la cerveza final es de 1,5l que atribuye a una carbonatación baja, ideal para estos estilos de cerveza. Para lograr esta generación del gas carbónico, se dejaron las botellas por 30 días a una temperatura de 20°C, para así poder lograr esta segunda fermentación dentro de la botella.

9.3.12.1 Preparación del almíbar: Se preparó para lograr una concentración de 6 g/l en los 12 litros de cerveza, se mezcló 72 g de azúcar de maíz en 168 ml de agua filtrada previamente calentada para facilitar la disolución, luego se esterilizo el almíbar, dejándolo en ebullición por 10 minutos. La solución fue llevada a 17, 14 °Bé.

168 ml H <sub>2</sub> O	→	72 g Azúcar de maíz
1000 ml H <sub>2</sub> O	→	428,6 g Azúcar de maíz
25 g Azúcar de maíz	→	1 °Bé
428,6 g Azúcar de maíz	→	17, 14 °Bé

9.3.12.2 Dosificación del almíbar: Este proceso se realizó por medio de una jeringa de 5 ml, en el cual se agregó por botella 10 ml del almíbar, previo a realizar el

llenado de las botellas y después de haberla sanitizado las misma con ácido per acético al 3%.

9.3.12.3 Volúmenes de Co<sub>2</sub>: Es importante recordar que un 1l de CO<sub>2</sub> produce 1kg/cm<sup>2</sup> de presión, por lo tanto, la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelta en la cerveza se determina de la siguiente manera:

180 g Azúcar de maíz	→	88 g CO <sub>2</sub>	
4 g Azúcar de maíz	→	1,96 g CO <sub>2</sub>	
44 g CO <sub>2</sub>	→	22,4 l CO <sub>2</sub>	
1,96 g CO <sub>2</sub>	→	1 l CO <sub>2</sub>	
4 g de Azúcar de maíz	→	1 l CO <sub>2</sub>	
4 g/l Azúcar de maíz	→	1 l CO <sub>2</sub>	→ 1 Kg/cm <sup>2</sup>
6 g/l Azúcar de maíz	→	1,5 l CO <sub>2</sub>	→ 1,5 Kg/cm <sup>2</sup>

## 9.4 Análisis químicos

### 9.4.1 Análisis químico del mosto

Para realizar dicho estudio, se sacó una muestra del macerador 10 minutos después del agregado de las maltas oscuras. Los análisis que se le realizaron a dichas muestras fueron: densidad – método densimétrico y pH. En la elaboración del cold stepping se sacó la muestra 10 minutos antes de terminar la maceración, además para el pH se sacó una muestra extra, antes de agregar las maltas oscuras, para su comparación, en cada una de las elaboraciones del estudio.

#### 9.4.1.1 Densidad – método densimétrico

9.4.1.1.1 Fundamento: Se trata de la determinación de la densidad utilizando aerómetros de escala adecuada con apreciación de 0,001 de unidad.

9.4.1.1.2 Técnica:

1. Se enjuaga la probeta de 250 ml con la muestra a analizar. Se vierten 200 ml de la muestra, se homogeniza y se lleva a 15 °C. En esta investigación, debido que la muestra se encuentra en el macerado a 68°C, se utilizó una tabla de corrección de Temperatura.

2. Se sumerge suavemente girando el densímetro cuidando introducirlo a una altura que no sobrepase en más de 2 a 3 divisiones de la lectura probable.

3. Una vez en reposo se efectúa la lectura en el borde superior del menisco.

Resultado de las muestras en las diferentes elaboraciones:

Tabla 4: Medida de densidad.

Elaboración	Densidad a 15°C
1	1054
2	1054
3	1053
4	1054
5	1055
6	1054
7	1050

Nota: Se observan los valores de densidad en las diferentes elaboraciones.

Una vez terminado el macerado, se procedió al lavado del grano, hasta la densidad de 1044,8 para lograr la densidad inicial buscada después del hervor. El agua de lavado no debe superar los 75°C, para no provocar una extracción excesiva de taninos astringente, que perjudicaran luego el productor final.

#### 9.4.1.2 Técnica de pH

9.4.1.2.1 Fundamento: Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, indica la concentración de iones hidronio. Se mide la diferencia de potencial entre dos electrodos sumergidos en el líquido a estudio. Uno de estos electrodos tiene un potencial que es una función definida del pH de ese mismo líquido. El otro tiene un potencial fijo y conocido, constituyendo el electrodo de referencia. El pH debe determinarse con un error de 0,05 unidades de pH.

9.4.1.2.2 Calibración del aparato: Se sumergen los electrodos en la solución tampón de pH 3,57 a 20°C se lee sobre la escala de pH. Se corrige mediante el botón respectivo en el caso de no coincidir en la escala de pH. Se lavan cuidadosamente los electrodos con agua destilada. Se sumerge en solución de pH 4 a 20°C. La aguja debe indicar el valor 4 en la escala. Lavar de nuevo los electrodos.

9.4.1.2.3 Técnica: Se coloca la muestra en un vaso de precipitación de 250 ml se lleva a temperatura entre 20°C a 25°C, luego se introduce el electrodo del peachimetro y se lee directamente sobre la escala el valor de pH.

9.4.1.2.4 Interpretación de resultados: Se debe observar el display del peachimetro, el resultado se exprese en unidades de pH con dos cifras decimales. A continuación, se observa los resultados obtenidos:

Tabla 5: Medida de pH antes y después del agregado de maltas oscuras.

<b>Elaboración</b>	<b>pH antes del agregado</b>	<b>pH después del agregado</b>
1	5,30	5,22
2	5,30	5,22
3	5,28	5,20
4	5,32	5,20
5	5,32	5,20
6	5,30	5,19
7	5,30	X

Nota: Se puede observar los valores de pH en las diferentes elaboraciones, antes y después del agregado de las maltas oscuras.

#### 9.4.2 Análisis químico de la cerveza terminada

##### 9.4.2.1 Determinación del grado alcohólico por destilación

###### 9.4.2.1.1 Materiales y equipos

- Matraz aforado de 250 ml
- Matraz esférico fondo redondo 1000 ml
- Alcohómetro escala 0 a 10 y de 10 a 20 controlados por picnometría.
- Probeta de 350 ml
- Termómetro
- Batea de destilación

###### 9.4.2.1.2 Reactivos

- Agua destilada
- Soda caustica 10%
- Antiespuma

9.4.2.1.3 Técnica: Se miden 250 ml de la muestra en el matraz aforado y se introduce en el matraz de destilación. Enjuagar 2 veces el matraz aforado con 40 ml de agua destilada. Luego, se agrega antiespuma y se neutraliza la muestra agregando soda cáustica, hasta coloración verde. Una vez finalizado esto, se coloca el matraz sobre el mechero y se procede a destilar hasta llenar el matraz de 250 ml a falta de unos 2 cm del enrase, retirar del destilador y enrasar con agua destilada. Por último se vierte el líquido destilado en la probeta, se corrige a 20 °C y se sumerge el alcoholómetro haciéndolo girar suavemente e introduciendo el vástago hasta las proximidades del grado. Se efectúa la lectura tangente al menisco inferior.

9.4.2.1.4 Interpretación de resultados: Observar el alcoholómetro y leer sobre el menisco a 20 °C. La lectura a 20°C es el grado alcohólico de la muestra, expresado en alcohol % en volumen a 20°C /20°C:

Tabla 6: Medida de grado alcohólico.

<b>Elaboración</b>	<b>Grado alcohólico v%v</b>
1	5,30
2	5,20
3	5,10
4	5,20
5	5,50
6	5,30
7	5,10

Nota: Se puede observar los valores de graduación alcohólica para cada una de las diferentes elaboraciones.

#### 9.4.2.2 Técnica de la acidez por método volumétrico

9.4.2.2.1 Principio del método: Es la suma de los ácidos valorables cuando se lleva el pH a 7 añadiendo una solución alcalina valorada. El punto de equivalencia se determina por el viraje del indicador.

#### 9.4.2.2.2 Materiales y equipos:

- Erlenmeyer de 250 ml
- Pipeta doble aforo 10 ml

#### 9.4.2.2.3 Reactivos:

- Hidróxido de Sodio N/10
- Azul de bromotimol

9.4.2.2.4 Técnica: Se toman 10 ml de muestra con la pipeta doble aforo y se colocan en un Erlenmeyer de 250 ml Luego se agregan 4 gotas de indicador azul de bromotimol y se titula con hidróxido de sodio N/10 hasta coloración verde-azulado.

#### 9.4.2.2.5 Interpretación de los resultados:

Acidez total g/L ácido tartárico:  $n \cdot 0,75$

n= Gasto de hidróxido de Sodio

Tabla 7: Medida de la acidez total.

Elaboración	Acidez total g/L ácido tartárico
1	2,60
2	2,56
3	2,29
4	2,30
5	2,50
6	2,45
7	2,29

Nota: Se puede observar los valores de acidez total, correspondiente a cada una de las diferentes cervezas del estudio.

### 9.4.2.3 Índice de color

#### 9.4.2.3.1 Materiales

- Espectrofotómetro UV – visible
- Cubeta de cuarzo de 1mm de paso óptico
- Centrifuga
- Tubos de centrifuga
- Alternativa: Filtros de fibra de vidrio

#### 9.4.2.3.2 Técnica

Preparación de las muestras:

1. Las muestras se centrifugan durante 5 minutos a velocidad media.
2. Realizar el blanco en el espectrofotómetro con agua destilada.
3. Enjuagar la cubeta de cuarzo 3 veces con la muestra.
4. Determinar los valores de absorbancia a 420 nm y 520 nm

#### 9.4.2.3.3 Interpretación de resultados

Índice de color: (Índice de color (I) / matiz o tonalidad del color (T) x 1000

$$(I) = A_{420\text{nm}} + A_{520\text{nm}}$$

$$(T) = A_{420\text{nm}} / A_{520\text{nm}}$$

Tabla 8: Medida del índice de color.

Elaboración	Índice de color a 430nm	Índice de color a 700nm
1	3,89	0,62
2	3,93	0,62
3	4,76	0,69
4	4,78	0,69
5	5,13	0,7
6	5,15	0,7
7	1,8	0,31

Nota: Se puede observar el valor del índice de color en cada elaboración del estudio.

#### 9.4.2.4 Taninos condensados o proantocianidinas

9.4.2.4.1 Principio del método: Para la determinación de proantocianidinas o taninos condensados, se somete la muestra a una hidrólisis ácida en caliente, en presencia de butanol y de una sal de hierro (Fe) como catalizador. La hidrólisis transforma las proantocianidinas en antocianidinas (cianidina y delfinidina). Estas antocianidinas desarrolladas se miden por espectrofotometría de luz visible, previa deducción de las que ya poseía la muestra antes de la hidrólisis ácida. La medición de absorbancia óptica se realiza a una longitud de onda de 550 nm. A partir de esta lectura, mediante cálculos, se determina cantidad de taninos o proantocianidinas en mg L<sup>-1</sup> vino. La escala patrón se realiza con una solución de distintas concentraciones de cianidina.

#### 9.4.2.4.2 Materiales

- Baño maría a ebullición
- Micropipetas automáticas de 100 µL a 1000 µL y 1000 a 5000 µL
- Espectrofotómetro de luz visible (Longitud de onda 550 nm)
- Cubetas de vidrio de 1 cm de paso óptico
- Microtubos plásticos con tapa de 2 mL (tipo eppendorf)
- Tubos de vidrio con tapa a rosca

• Reactivos:

a) Solución de sulfato de hierro y amonio, en butanol acidificado con ácido clorhídrico

b) Butanol p.a.

9.4.2.4.3 Técnica

Blanco:

En un tubo se agrega 400  $\mu\text{L}$  de butanol y 3,6 mL de solución de sulfato de hierro y amonio, se tapa y agita. Con este blanco asignamos el cero al espectrofotómetro para este método.

Muestra:

Hacer una dilución de la muestra 1:10, con butanol, en un microtubo plástico con tapa (2 mL). Para hacer esta dilución se debe medir en micropipetas 100  $\mu\text{L}$  de muestra y 900  $\mu\text{L}$  de butanol, luego tapar y agitar el tubo.

En dos tubos de vidrio con tapa a rosca, se colocan 400  $\mu\text{L}$  de esta dilución con butanol y 3,6 mL solución de sulfato de hierro y amonio acidificada, se tapan y agitan. Uno de los tubos se lleva a baño maría en ebullición por 30 o 40 minutos para transformar las proantocianidinas, enfriándolo antes de la lectura en espectrofotómetro. Se saca el tubo y se enfría un instante en agua con hielo. Se realiza la lectura en espectrofotómetro inmediatamente. Es importante que la lectura no se prolongue más allá de unos pocos minutos después de haber sacado el microtubo del baño hirviendo ya que las antocianidinas generadas son muy inestables y se oxidan rápidamente. Luego de enfriados y mientras se realizan las lecturas, los tubos que están a la espera, cuando se hacen una tanda de varias muestras, deben cubrirse con papel aluminio para evitar la foto-oxidación.

El otro tubo no se lleva a ebullición sino se lee directamente con espectrofotómetro.

Cada tubo (el que ha sido sometido a hidrólisis caliente y el que no) se vuelca en una cubeta del espectrofotómetro VIS (1 cm de paso óptico). Se hace la lectura y registro de la absorbancia a una longitud de onda de 550 nm llevando a cero con el blanco preparado anteriormente.

Nota: Cuando se analiza más de una muestra, se realiza primero una tanda de lecturas con los tubos que no van a ebullición. Cuando los tubos que van a ebullición han terminado se leen en una segunda tanda.

#### 9.4.2.4.4 Interpretación de los resultados:

Lectura DO 547 nm = L2 – L1

L1: Lectura inicial DO547nm con la muestra sin baño maría

L2: Lectura final DO547nm con la muestra con baño maría

La concentración de taninos se calcula en mg L<sup>-1</sup> de la solución evaluada en cubeta a partir de la última curva de calibración. La misma se realiza registrando las distintas DO a 547 nm obtenidas por diferentes concentraciones de cianidina. En la última curva de calibración realizada en el Laboratorio de Viticultura, se determinó la siguiente ecuación:

$$\text{Taninos (mg L}^{-1}\text{ muestra)} = [\text{Lectura DO 547} \times 441] \times \text{Dilución (10)}$$

Tabla 9: Concentración de taninos.

Elaboración	Taninos (gr/litro)
1	0,75
2	0,75
3	0,88
4	0,90
5	0,98
6	0,99
7	0,54

Nota: Tabla que indica el valor de la concentración de taninos en las diferentes elaboraciones del estudio.

#### 9.4.2.5 Índice de polifenoles totales por Folin-Ciocalteu

9.4.2.5.1 Principio del método: Los compuestos fenólicos del vino son oxidados por el reactivo de Folin- Ciocalteu. Este reactivo contiene una mezcla de ácido fosfotúngstico y el ácido fosfomolibdico que se reduce por oxidación de los fenoles del vino, originando óxidos de tungsteno y de molibdeno de color azul. La coloración azul producida es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos presentes en el vino, y posee una absorción máxima a 765 nm. Es importante tener en cuenta que este método tiene interferencia por el contenido de azúcar en mostos o vinos.

Los valores más habituales del índice Folin-Ciocalteu para vino blanco son 3 a 5, para rosados 5 a 10 y para tintos de 20 a 50. Para expresar los fenoles totales en mg L-1 de ácido gálico debe construirse una curva de calibración empleando concentraciones crecientes de ácido gálico. A partir de la ecuación de regresión obtenida se calcula la concentración a partir de la densidad óptica a 765 nm.

#### 9.4.2.5.2 Materiales

- Matraz 100 ml
- Cubetas de vidrio de 1 cm de paso óptico, para lectura en espectrofotómetro
- Pipetas aforadas de 1 ml, 5 ml, 20 ml y 50 ml
- Espectrofotómetro de luz visible (Longitud de onda para lectura: 765 nm)

• Reactivos:

- a) Reactivo Folin Ciocalteu
- b) Solución de carbonato de sodio al 20%

#### 9.4.2.5.3 Técnica

Blanco:

Asignamos el cero del espectrofotómetro con agua destilada para este método.

Muestra:

Vino blanco:

En un matraz aforado de 100 ml, se introducen respetando el siguiente orden: 1 ml de vino, 50 ml de agua destilada, 5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu, 20 ml de la solución de carbonato de sodio (20%), todos medidos con pipetas aforadas. Luego se enrasa el matraz a 100 mL con agua destilada. Se agita para homogeneizar y se espera 30 minutos para estabilizar la reacción. Transcurrido el tiempo indicado, colocar esta solución en una cubeta de vidrio de 1 cm de paso óptico. Realizar lectura a 765 nm de longitud de onda, frente al blanco con agua destilada.

Vino tinto:

El vino tinto se diluye 1:5 en forma previa a la marcha. Con la dilución se procede de igual forma que con el vino blanco. Debido a la intensidad de color de una cerveza tipo Stout, el análisis fue realizado efectuando una dilución, tal como la describe para el vino tinto.

#### 9.4.2.5.3 Interpretación de los resultados

$$\text{Índice de Folin-Ciocalteu para vino tinto} = [D_{0765} \times 100]$$

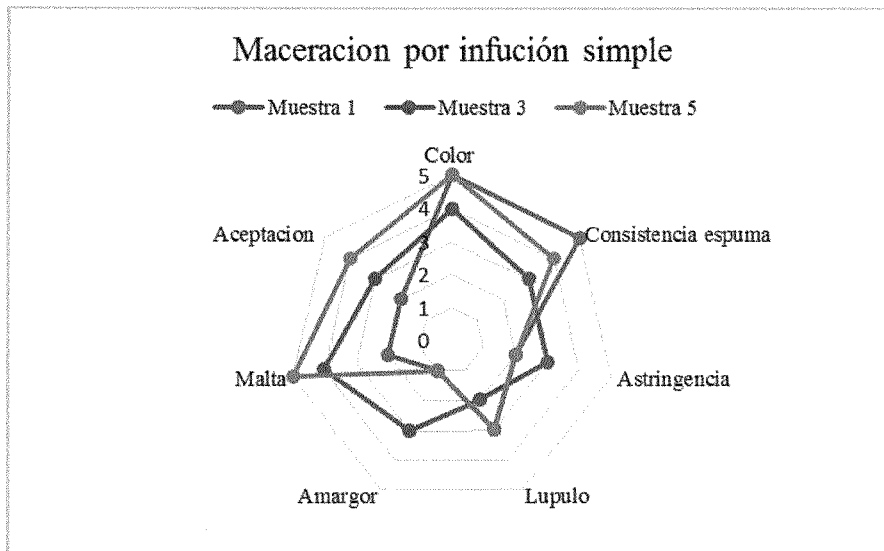
domicilio las correspondientes muestras y la planilla para el análisis organoléptico del producto, debido al difícil momento que atraviesa nuestro país, no pudo realizarse de forma presencial.

9.5.1 Preparación de la muestra: Las muestra fueron entregadas una vez finalizada la carbonatación de las mismas y fueron degustadas a una temperatura de entre 8 y 12 °C, que es la temperatura ideal para este estilo de cerveza. El orden de las muestras fue de izquierda a derecha y en el siguiente orden:

- Muestra 1: Maceración por infusión simple, a la cual se le agregó las maltas oscuras a los 5 minutos de finalizar la maceración.
- Muestra 2: Maceración por decocción, a la cual se le agregó las maltas oscuras a los 5 minutos de finalizar la maceración.
- Muestra 3: Maceración por infusión simple, a la cual se le agregó las maltas oscuras a los 30 minutos de terminar la maceración.
- Muestra 4: Maceración por decocción, a la cual se le agregó las maltas oscuras a los 30 minutos de terminar la maceración
- Muestra 5: Maceración por infusión simple, a la cual se le agregó las maltas oscuras al inicio de la maceración, es decir durante 90 minutos.
- Muestra 6: Maceración por decocción, a la cual se le agregó las maltas oscuras al inicio de la maceración, es decir durante 90 minutos.
- Muestras 7: Esta muestra fue elaborada por la técnica conocida como macerado en frío, o también llamado cold steeping.

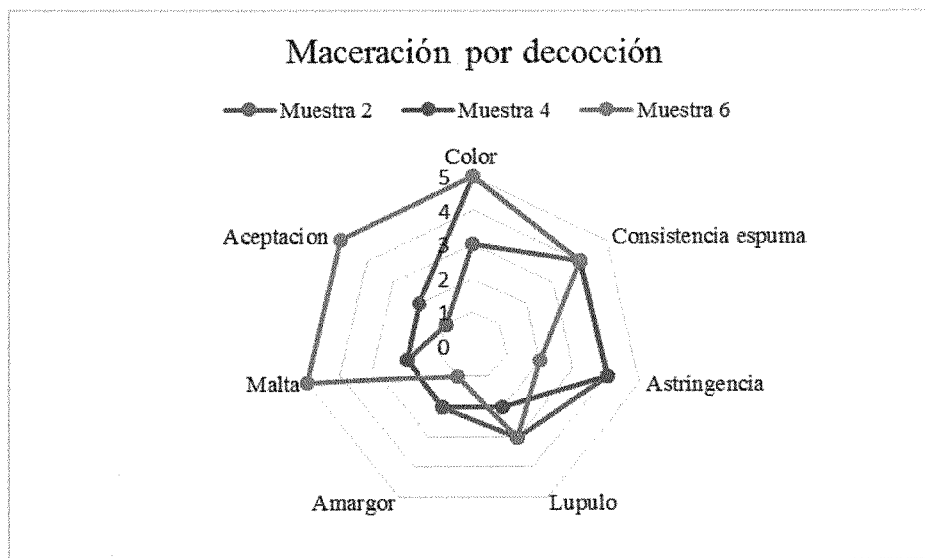
9.5.2 Degustación: En primera instancia, los degustadores no son personas especializadas, con el objetivo, de poder escuchar sus diferentes opiniones en cuanto a

Grafico 1: Calificación de las muestras por infusión simple.



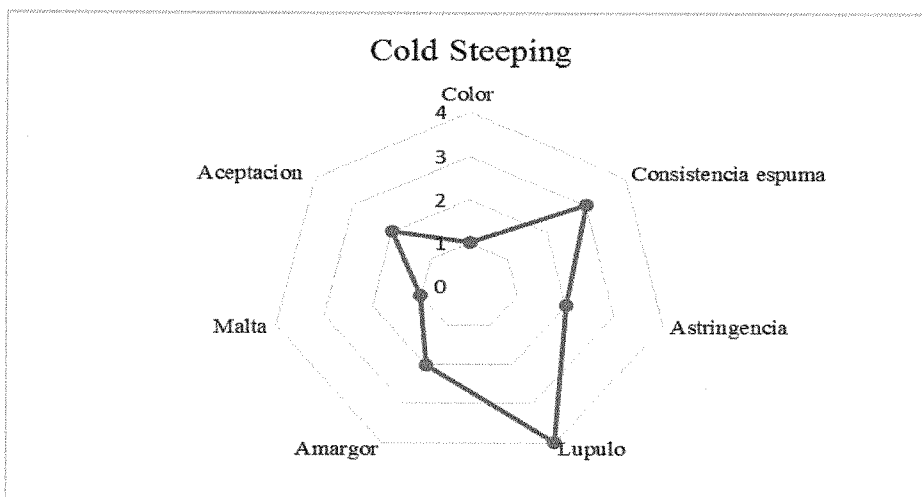
Nota: Grafico araña con las principales características organolépticas de las muestras elaboradas con la maceración por infusión simple.

Grafico 2: Calificación de las muestras por decocción.



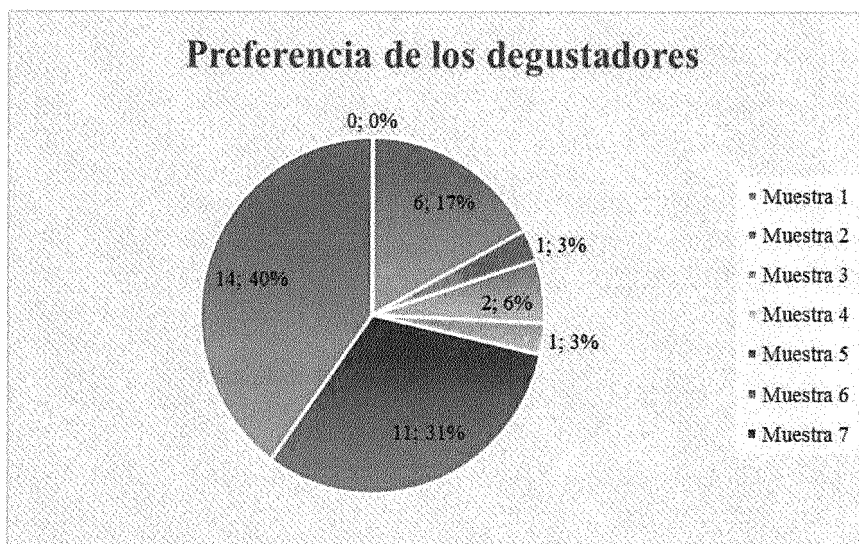
Nota: Grafico araña con las principales características organolépticas de las muestras elaboradas con la maceración por decocción.

Grafico 3: Calificación de la muestras por Cold Steeping.



Nota: Grafico araña con las principales características organolépticas de la muestra elaborada con el método Cold Steeping.

Grafico 4: Preferencia de los degustadores



Nota: Grafico de anillos que indica el porcentaje con respecto, a cuál fue la muestra más elegida por los degustadores como su preferida, en relación al total de personas que realizaron la degustación, que fueron 35.

## Conclusiones

Analizando todos los estudios realizados en las diferentes muestras, las primeras conclusiones que logro sacar, es que tanto en la maceración por infusión simple como en la decocción prácticamente hay muy poca diferencia desde el punto de vista analítico, esto creo que es debido, a que hoy en día las tecnologías de malteado son muy elevadas, y las maltas que salen al mercado, tiene un alto grado de modificación, en el cual el cervecero se debe preocupar, solamente por las temperatura de degradación del almidón, pero si es cierto que desde la parte sensorial las muestras que se realizaron por decocción denotaron notas del tipo biscocho y pasa de uva aún más marcadas, esto se debe a productos de Maillard que se forman mientras se pone a hervir una parte del macerado. El problema de esta maceración que tiene un trabajo mucho más duro y un gasto energético mucho mayor que la infusión simple, y no sé si se justifica realizar hoy en día este tipo de proceso.

Centrándonos más el tema principal de esta investigación, los análisis químicos marcan una mayor extracción de taninos en las muestras donde se maceraron las maltas oscuras por más tiempo, es cierto hay diferencia pero no es tan marcada como creía que iba a ser, esto creo que es debido a que hay dos factores mucho más importantes que el tiempo, el primer factor primordial es el pH, macerando a valores de 5,2 – 5,4, nos permite mantener la concentración de taninos dentro de los parámetros del estilo, las malta oscuras permiten ajustar también el pH, logrando bajarlo entre 0,8 – 0,12 unidades de pH, para una baja extracción de taninos, el pH del macerado no debe

superar 5,8, pH mayores a 6 en el macerado, terminara en cervezas con una elevada astringencia. El otro factor importante es el agua de lavado que nunca debe superar los 76°C, a temperatura de 77°C la extracción de taninos aumenta considerablemente, tampoco el pH del agua de lavado debe ser mayor a 6.

Por otro lado, las muestras 5 y 6 fueron las de mayor aceptación por los degustadores, son las muestras que de antemano debía ser la más astringente y difíciles de tomar, pero que por el contrario tenían un gran equilibrio entre el amargor aportado por el lúpulo y el cuerpo que le aportan las maltas oscuras agregadas desde el principio del macerado. También estas dos muestras, durante sus respectivas elaboraciones, fueron en las que mejor se formó el cono de sedimentos en el fondo de la olla de hervor luego del Whirlpool, esto creo que es debido a que a mayor concentración de tanino la coagulación con las proteínas es inmediata, más las uniones de los taninos de la malta con los antocianos del lúpulo, que son inestables y precipitan, esto explicaría porque en índice de polifenoles totales las muestras 5 y 6, tienen una menor concentración que la 3 y 4.

Con respecto a la técnica de macerado en frío o Cold Steeping, no obtuvo los resultados esperado, ya que no se pudo adquirir las características de este estilo, quedando fuera de los parámetros que exige la BJCP, para las cervezas americanas tipo Stout, especialmente en el color. Para una segunda etapa sería interesante probar diferentes cantidades de maltas oscuras maceradas en frío, hasta conocer la cantidad que permita que la cerveza elaborada bajo este método, adquiriera las características que tiene que tener este estilo, desde todo punto de vista, y así poder analizar si vale la pena ese gasto en agregar una mayor cantidad de maltas oscuras.

### Índice Bibliográfico

Wolfgang Kunze (2006). Tecnología para cerveceros y malteros. Primera edición en español.

Ricardo Aftyka (2018). Pasión por la cerveza. Primera edición.

Hough J. S. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta.

Rafael Molina Ubeda (2000). Teoría de la clarificación de mostos y vinos y sus aplicaciones prácticas.

Sebastián Oddone (2018). Matemática de la cerveza.

Francisco Oreglia (1978), Enología, Teórico – Práctica, volumen primero, segunda edición.

Ray Daniels (1996). Designing Great Beers: The Ultimate Guide to Brewing Classic Beer Styles.

John Palmer (1999). How to brew: Everything you need to know to brew beer right the first time.

Charlie Papazian (2003). The complete joy of home brewing. Tercera edición. Traducido al español.

Rubén Sancho S. (2015). Diseño de una micro – planta de fabricación de cerveza y estudios de técnicas y procesos de producción (tesina de grado). Universidad politécnica de Cataluña.

Apuntes de la cátedra de Tecnología de derivados, dictados por la Lic. Ranzuglia G. (2017).

Código Alimentario Argentino (2021), Capítulo 13, Bebidas fermentadas.

Beer Judge Certification Program. Guía de estilos de cerveza 2015. Disponible en [www.bjcp.org](http://www.bjcp.org)

Cold steeping: Aprovechando las maltas oscuras. <https://cervecing.es/cold-steeping-con-maltas-oscuras/>

Las cuatro palancas del macerado. <https://cervezomicon.com/tag/macerado>

Matemática cervecera. <https://cervezomicon.com/2015/06/25/matematica-cervecera-los-puntos-de-densidad/comment-page-1/>

Índice BU: GU. <https://cervezomicon.com/2014/12/03/indice-bugu/>

### Índice de figuras

Figura 1: Estructura del grano de cebada.....	10
Figura 2: Estructura de la amilosa y la amilopectina.....	13
Figura 3: Mecanismo de acción de la enzima.....	21
Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de malteado.....	25
Figura 5: Crecimiento en germinación.....	30
Figura 6: Granos de cebado en germinación.....	35
Figura 7: Diferentes tostados de la malta.....	37
Figura 8: Formación de melanoidinas.....	40
Figura 9: Estructura química de las catequinas.....	52
Figura 10: Estructura química de los leucoantocianos.....	52
Figura 11: Detalle de diferentes tipos de rodillos.....	58
Figura 12: Actividad enzimática con respecto al tiempo de acción.....	60
Figura 13: Degradación del almidón en la maceración.....	64
Figura 14: Temperaturas óptimas de las enzimas.....	65
Figura 15: Rango de temperaturas de acción que tienen las enzimas.....	68
Figura 16: Valores óptimos de pH y Temperaturas de las diferentes enzimas.....	75
Figura 17: Mosto una vez finalizado el proceso de recirculación.....	85

Figura 18: Falso fondo con varillas triangulares. ....	87
Figura 19: Evaporación de sustancias aromáticas en la cocción y la fermentación. ....	95
Figura 20: Índice de amargor en base a la densidad inicial. ....	97
Figura 21: Esquema de fermentación alcohólica. ....	110
Figura 22: Formación de alcoholes superiores. ....	113
Figura 23: Análisis sensorial según la BJCP. ....	131
Figura 24: Extracto potencial de los diferentes tipos de malta. ....	151
Figura 25: Filtración del agua y llenado del macerador. ....	157
Figura 26: Prueba con tintura de yodo 0,01N. ....	158
Figura 27: Temperatura de empaste en la maceración por infusión simple. ....	159
Figura 28: Colado de las maltas oscuras. ....	161
Figura 29: Recirculado del mosto. ....	162
Figura 30: Agregado de lúpulo. ....	163
Figura 31: Floculación de las proteínas. ....	164
Figura 32: Enfriado del mosto. ....	165
Figura 33: Activación de las levaduras. ....	166

**Índice de tablas**

Tabla 1: Niveles de oxígeno óptimos durante la elaboración.....	141
Tabla 2: Grado de aprovechamiento del lúpulo según el tiempo de hervor. ....	154
Tabla 3: Monitoreo de Fermentación alcohólica. ....	167
Tabla 4: Medida de densidad.....	170
Tabla 5: Medida de pH antes y después del agregado de maltas oscuras.....	172
Tabla 6: Medida de grado alcohólico. ....	173
Tabla 7: Medida de la acidez total.....	174
Tabla 8: Medida del índice de color. ....	176
Tabla 9: Concentración de taninos. ....	179
Tabla 10: Medida de polifenoles totales.....	181
Tabla 11: Medida de pH en la cerveza terminada. ....	181
Tabla 12: Descriptores de las diferentes muestras.....	183

### Índice de gráficos

Gráfico 1: Calificación de las muestras por infusión simple.....	184
Gráfico 2: Calificación de las muestras por decocción.....	184
Gráfico 3: Calificación de las muestras por Cold Steeping.....	185
Gráfico 4: Preferencia de los degustadores.....	185

## Índice general

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>CAPÍTULO I: Cebada</b> .....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Tipos de cebada .....	7
<b>CAPÍTULO II: Fabricación de la malta</b> .....	24
2.1 Introducción.....	24
2.2 Recepción, limpieza, selección y almacenamiento .....	25
2.3 Remojo.....	27
2.4 Germinación .....	30
2.5 Secado y tostado.....	37
2.6 Enfriado de la malta curada.....	44
2.7 Eliminación de raíces .....	44
2.8 Almacenamiento.....	45
<b>CAPÍTULO III: Tipos de maltas</b> .....	46
3.1 Introducción.....	46

3.2 Malta caramelo.....	46
3.3 Malta ahumada.....	47
3.4 Malta torrefacta.....	48
3.5 Malta diastática .....	48
<b>CAPÍTULO IV: Los taninos .....</b>	<b>50</b>
4.1 Introducción.....	50
4.2 Taninos hidrolizables .....	51
4.3 Taninos condensados .....	51
4.4 Astringencia .....	54
4.5 Color.....	54
<b>CAPÍTULO V: Sala de cocimientos.....</b>	<b>55</b>
5.1 Introducción.....	55
5.2 Molturación de la malta .....	56
5.3 Maceración .....	59
5.4 Filtración del mosto .....	83
5.5 Cocción del mosto .....	87
5.6 Filtración del trub caliente.....	98
5.7 Enfriado del mosto .....	99
<b>CAPÍTULO VI: Fabricación de la cerveza .....</b>	<b>101</b>
6.1 Historia y origen de la cerveza.....	101
6.2 Transformación durante la fermentación y la maduración.....	105

6.3 Proceso de fermentación y maduración.....	124
<b>CAPÍTULO VII: Control de calidad .....</b>	<b>129</b>
7.1 Introducción.....	129
7.2 Calidad de la cerveza .....	129
<b>CAPÍTULO VIII: Normativa de la cerveza .....</b>	<b>143</b>
8.1 Definiciones .....	143
8.2 Consideraciones específicas .....	145
8.3 Métodos de análisis.....	145
<b>CAPÍTULO IX: Materiales y métodos .....</b>	<b>146</b>
9.1 Introducción.....	146
9.2 Confección de la receta .....	147
9.3 Elaboración de la cerveza .....	156
9.4 Análisis químicos.....	169
9.5 Estudio organoléptico.....	181
<b>Conclusiones.....</b>	<b>186</b>
<b>Índice Bibliográfico .....</b>	<b>188</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>190</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>192</b>
<b>Índice de gráficos .....</b>	<b>193</b>
<b>Índice general .....</b>	<b>194</b>