



Universidad Católica de Cuyo

Facultad Don Bosco de Enología y

Ciencias de la Alimentación

Análisis de elaboración de Cerveza Ácida comparando el método Kettle Sour con el método de elaboración tradicional añadiendo levadura *Lachancea* spp

Licenciatura en Tecnología de Alimentos

Alumno: Gonzalo Agustin Castro Ubaldini

Rodeo del Medio, Mendoza. 2024

Profesores

Docente Asesor: **Lionel Suffia**

Revisión Formal: Elena Caliguli

Lugar y Fecha: Mendoza, Rodeo del Medio, diciembre, 2024

Defensa Oral

Libro:_____ Folio N° _____: Acta N° _____

Fecha:_____

Calificación:_____

Firmas y Aclaración del Tribunal Examinador

Índice

| | |
|--|----|
| Materias Primas..... | 11 |
| 1.1 Agua..... | 11 |
| 1.1.1 pH..... | 11 |
| 1.1.2 Principales Iones presentes en el agua de elaboración..... | 12 |
| 1.1.3 Dureza | 15 |
| 1.1.4 Alcalinidad | 16 |
| 1.2 Malta | 16 |
| 1.2.1 La cebada..... | 16 |
| 1.2.2 Grano de cebada | 17 |
| 1.2.3 Malteado..... | 17 |
| 1.2.4 ¿Qué sucede dentro del grano de cebada durante el malteado?..... | 18 |
| 1.2.5 Modificación de la malta..... | 19 |
| 1.2.6 Poder diastásico de la malta | 20 |
| 1.2.7 Horneado de la malta..... | 20 |
| 1.3 Lúpulo | 21 |
| 1.3.1 Química | 22 |
| 1.4 Levadura | 23 |
| 1.4.1 Bioquímica..... | 24 |
| 1.4.2 Cepas | 25 |
| 1.4.3 Reproducción y crecimiento de las levaduras | 26 |

| | |
|---|----|
| Fase de Latencia o lag | 26 |
| Fase de aceleración | 27 |
| Fase exponencial | 27 |
| Fase de desaceleración | 27 |
| Fase estacionaria | 27 |
| Fase de muerte | 27 |
| 1.5 Bacterias ácido lácticas | 28 |
| 1.5.1 Bacterias ácido lácticas y su aplicación en la elaboración de cerveza | 28 |
| Proceso de elaboración tradicional | 30 |
| 2.1 Tratamiento previo a la elaboración de la malta | 30 |
| 2.1.1 Limpieza y clasificación de la cebada | 30 |
| 2.1.2 SECADO Y ALMACENAMIENTO | 32 |
| Respiración de la cebada | 32 |
| Secado de la cebada | 33 |
| Enfriamiento de la cebada | 35 |
| Almacenamiento | 36 |
| 2.2 Malteado | 38 |
| 2.2.1 Remojo, germinación y secado | 38 |
| 2.2.2 Tostado | 39 |
| 2.2.3 Almacenamiento | 40 |
| 2.3 Molienda de la malta | 40 |

| | |
|---|----|
| 2.4 Empaste y macerado..... | 41 |
| 2.5 Filtrado del mosto y lavado..... | 43 |
| 2.6 Cocción del mosto y lupulado..... | 44 |
| 2.6.1 Procesos que suceden durante el hervor..... | 44 |
| Esterilización..... | 44 |
| Desnaturalización de las enzimas..... | 44 |
| Volatilización..... | 44 |
| Desarrollo de color..... | 45 |
| Isomerización de alfa-ácidos..... | 46 |
| Formación del turbio caliente..... | 47 |
| Concentración..... | 47 |
| 2.7 Enfriado del mosto..... | 48 |
| 2.8 Fermentación..... | 50 |
| 2.8.1 Temperatura de fermentación..... | 51 |
| 2.8.2 Cambios en la fermentación alta..... | 51 |
| 2.8.3 Cambios en la fermentación baja..... | 52 |
| 2.9 Fermentación con Lachancea spp..... | 52 |
| 2.10 Filtrado y envasado..... | 53 |
| Proceso de elaboración por el método Kettle Sour..... | 55 |
| 3.1 Primer hervor..... | 55 |
| 3.2 Enfriado..... | 55 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.3 Fermentación láctica | 55 |
| Elaboración..... | 57 |
| 4.1 Método tradicional | 57 |
| 4.1.1 Obtención del mosto | 57 |
| 4.1.2 Ebullición del mosto | 58 |
| 4.1.4 Enfriado y fermentación | 59 |
| 4.1.5 Embotellado..... | 60 |
| 4.2 Método kettle sour..... | 61 |
| 4.2.1 Primer hervor | 61 |
| Resultados..... | 63 |
| 5.1 Análisis fisicoquímicos..... | 63 |
| 5.1.1 Método tradicional..... | 63 |
| 5.1.2 Método kettle sour | 65 |
| 5.2 Análisis sensorial..... | 66 |
| 5.2.1 Método tradicional..... | 66 |
| 5.2.2 Método kettle sour | 68 |
| 5.2.3 Observaciones generales | 70 |
| 5.2.4 Datos a tener en cuenta..... | 70 |
| Astringencia: | 70 |
| Sabor Tostado:..... | 70 |
| Estabilidad de Espuma:..... | 70 |

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Conclusión..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Índice Bibliográfico..... | 74 |
| Índice de Tablas | 77 |
| Índice de Ilustraciones | 78 |

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, quienes siempre han sido mi mayor soporte. Su amor, comprensión y apoyo incondicional me dieron la fortaleza necesaria para alcanzar este objetivo. En especial, por su confianza y palabras de aliento en los momentos más difíciles.

Introducción

La cerveza es una bebida alcohólica elaborada a partir de la fermentación de cereales, generalmente cebada, con agua, levadura y lúpulo. Es una de las bebidas más populares del mundo y se elabora en una amplia variedad de estilos, cada uno con su propio sabor, aroma y color característicos (Bamforth, 2009). Uno de los estilos de cerveza más populares es la cerveza ácida, esta se caracteriza por su sabor ácido, que se debe a la presencia de ácido láctico; el ácido láctico es producido por bacterias lácticas, que se añaden al mosto antes o durante la fermentación.

Existen dos métodos principales para elaborar cerveza ácida: el método Kettle Sour y el método tradicional de adición de levadura *Lachancea* spp. El método Kettle Sour es más común y consiste en añadir bacterias lácticas al mosto antes de la fermentación; y el método tradicional consiste en añadir levadura *Lachancea* spp. al mosto, que produce ácido láctico como subproducto de la fermentación (Osburn et al., 2018); lo que da lugar a un perfil de sabor complejo en la cerveza. Aunque ambos métodos pueden producir cervezas con el nivel de acidez deseado, cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes.

En este trabajo se elaboraron de manera artesanal 15 litros de cerveza ácida con el método tradicional con 4 kg de malta, y utilizando jugo de 2kg frutos rojos como saborizante, los frutos fueron previamente blanqueados para evitar contaminaciones, siguiendo con estos parámetros, se elaboró posteriormente la cerveza con el método Kettle Sour.

En esta investigación se analizaron parámetros organolépticos (aroma, color, sabor, acidez y calidad general) y parámetros fisicoquímicos (Acidez, Densidad, Alcohol y extracto primitivo).

El objetivo de este trabajo es comparar los dos métodos de elaboración de cerveza ácida para determinar qué método produce una cerveza con mejor sabor, aroma y color, manteniendo los mismos parámetros de elaboración.

Para ello, se utiliza una metodología cualitativa y cuantitativa para la elaboración de dos cervezas ácidas, una con el método Kettle Sour y otra con el método tradicional, y se compararon sus características organolépticas y fisicoquímicas.

Se espera que los resultados de este trabajo sean referentes para la elección del mejor método para la elaboración de cerveza acida, en función del estilo de cerveza que se quiera elaborar, o también de la tendencia del mercado, tanto para la industria cervecera, como para productores de menor escala.

Materias Primas

Agua, Malta, Lúpulo y Levadura son los insumos indispensables para producir una cerveza, a partir del estilo de cerveza que se quiera elaborar, se van a usar distintas cantidades de estos ingredientes, dándole sabores y aromas particulares de cada uno de los estilos. Hay ciertos estilos que requieren de agregados de algunos “adjuntos” como miel, azúcar, melazas, frutas, otros cereales no malteados (trigo, avena) o cebada no malteada, etc.

1.1 Agua

Es el ingrediente en mayor proporción en todo el producto, aproximadamente el 95%, y aunque hay personas que no le toman demasiada importancia., sin embargo, todas las aguas utilizadas para producir cerveza deben cumplir con un único requerimiento: ser potable, es decir que estén libres de contaminantes orgánicos, inorgánicos o microbiológicos. De este modo, debe cumplir con los requerimientos fisicoquímicos y microbiológicos que detalla el artículo 982 del CAA (Código Alimentario Argentino, 2001, artículo 982).

Es importante recordar que el agua pura no existe en la naturaleza ya que siempre se encuentran sales disueltas en ella. Estas sales interaccionan con los compuestos provenientes de la malta y el lúpulo y contribuyen profundamente al aroma y sabor de la cerveza, sobre todo si tenemos en cuenta que el agua representa más del 98% de los componentes de la cerveza.

1.1.1 pH

Tabla 1

Escala de pH y concentración de iones H⁺ (González, 2017, p. 56)

| pH | [H ⁺] |
|----|-------------------|
| 1 | 0.1 |
| 2 | 0.01 |
| 3 | 0.001 |
| 4 | 0.0001 |
| 5 | 0.00001 |

| | |
|----|------------------|
| 6 | 0.000001 |
| 7 | 0.0000001 |
| 8 | 0.00000001 |
| 9 | 0.000000001 |
| 10 | 0.0000000001 |
| 11 | 0.00000000001 |
| 12 | 0.000000000001 |
| 13 | 0.0000000000001 |
| 14 | 0.00000000000001 |

La ionización de moléculas de agua produce iones hidrógeno (H+) e hidroxilos (OH-). La presencia de estos iones en una solución acuosa determina si es ácida (exceso de H+) o alcalina (exceso de OH-). El término “pH” se refiere a la concentración en agua de iones hidrógeno (H+) y se define como menos el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno (-log ([H+])) (Briggs et al., 2004).

La escala de pH va de 0 a 14, donde 7 es una solución neutra. Por encima de 7 tenemos una solución alcalina y por debajo una solución ácida.

1.1.2 Principales Iones presentes en el agua de elaboración

CALCIO (Ca²⁺)

- Cantidad típica: 50 a 150 ppm.
- Acidifica la maceración.
- Mejora la actividad enzimática.
- Mejora la clarificación y disminuye la extracción de taninos y compuestos coloreados.
- Disminuye la isomerización de alfa ácidos y produce mostos menos amargos.
- Mejora la formación del turbio caliente.
- Mejora la floculación de las levaduras.

- Aumenta la estabilidad de la cerveza terminada.
- En exceso puede disminuir la concentración de fosfato (nutriente para las levaduras) y producir un sabor áspero o sensación de poco cuerpo.
- Principal componente de la dureza.

MAGNESIO (Mg^{+2})

- Cantidad típica 10 a 30 ppm.
- Se comporta de forma similar al calcio.
- En exceso (> 50 ppm) ocasiona un sabor amargo desagradable.
- Micronutriente importante para las levaduras.

SODIO (Na^{+1})

- Cantidad típica 0 a 150 ppm
- Concentraciones de 75 a 150 ppm redondea los sabores de la cerveza, acentuando la dulzura de la malta.
- Por encima de 150 ppm la cerveza comienza a tener sabor salado.
- La combinación con una alta concentración de ion sulfato (> 150 ppm) puede generar un sabor amargo áspero.

POTASIO (K^{+1})

- Cantidad típica 0,5 a 2 ppm
- Este ion se comporta de forma similar al sodio.
- Es un importante micronutriente de las levaduras.
- En exceso aporta sabor salado a la cerveza.

NITRATO (NO_3^{-1})

- Cantidad típica <1 ppm
- Indica una contaminación de la fuente de agua.
- Tóxico para las levaduras.

- En concentraciones elevadas es tóxico para el ser humano.

CLORURO (Cl^{-1})

Cantidad típica 0 a 250 ppm

Las sales de calcio y/o magnesio le dan cuerpo, untuosidad en la boca y un suave dulzor a la cerveza.

Concentraciones mayores a 300 ppm pueden desarrollar aromas y sabores medicinales, debido a la formación de compuestos dicloro fenol.

SULFATO (SO_4^{-2})

- Cantidad típica:
 - 50 a 150 ppm para cervezas con un nivel de amargor normal.
 - 150 a 350 ppm para cervezas muy amargas.
- Afecta positivamente la degradación del almidón, lo que favorece la filtración y la formación del turbio caliente.
- Acentúa el amargor del lúpulo haciendo que parezca más seco y chispeante.
- En concentraciones mayores a 400 ppm el amargor del lúpulo no se extrae fácilmente y resulta astringente y desagradable.
- En concentraciones mayores a 750 ppm la cerveza terminada tendrá un carácter áspero, salado y puede ser laxante.

CARBONATO / BICARBONATO / ÁCIDO CARBÓNICO (CO_3^{-2} / HCO_3^{-1} / H_2CO_3)

- Cantidades típicas:
 - 0 a 50 ppm para cervezas pálidas, elaboradas con alto porcentaje de malta base.
 - 50 a 150 ppm para cervezas ámbar, elaboradas con maltas tostadas
 - 150 a 250 ppm para cervezas oscuras, elaboradas con maltas quemadas

- Aguas con valores de alcalinidad mayores a 280 deben ser tratadas para disminuirla
- Puede eliminarse por hervor dependiendo de la dureza que acompañe a esa alcalinidad en el agua.
- Les dan tonos rojizos a las cervezas pálidas.
- Enfatiza el amargor de forma desagradable en cervezas claras.
- Son iones alcalinos que elevan el pH del empaste y neutralizan la acidez de las maltas negras.
- Dificultan la separación de las proteínas y de los compuestos proteínas-taninos haciendo menos eficiente la formación de los turbios caliente y frío.

1.1.3 Dureza

En general, mide la concentración de cationes metálicos de calcio y magnesio en nuestra agua, en sus diversas formas. Se habla de agua dura si tiene concentraciones de estos iones superiores a 50 ppm y muy dura para concentraciones superiores a 150 ppm. Las aguas con concentraciones inferiores a 50 ppm se denominan aguas blandas. El agua dura es mejor para la elaboración de cerveza porque reduce el pH, además, la concentración adecuada de cationes de Ca y Mg puede reducir el nivel de turbidez en la cerveza y aumentar la actividad de la levadura.

La dureza del agua puede tener un impacto significativo en la elaboración de cerveza. El agua dura puede ayudar a reducir el pH del mosto, lo que es importante para la elaboración de cervezas con un sabor más equilibrado. El agua dura también puede ayudar a mejorar la claridad y la estabilidad de la cerveza. Sin embargo, el agua muy dura puede tener un impacto negativo en la actividad de la levadura y la turbidez de la cerveza (Bamforth, 2009).

1.1.4 Alcalinidad

Se puede medir por la concentración de aniones metálicos (siendo los más importantes Ca y Mg). Su presencia actúa como un tampón en la solución, evitando que su pH cambie, por lo que las aguas altamente alcalinas son muy poco adecuadas para la elaboración de cerveza y deben evitarse. Dicho esto, se debe entender que existen varios escenarios que conducen a aguas alcalinas y que estos están en función de la presencia adicional de carbonatos (CO_3 y HCO_3). La coexistencia de calcio y magnesio con carbonatos hace que el agua sea apta para el tratamiento por simple calentamiento y agitación, lo que conduce a la precipitación de los metales. Si por el contrario tenemos agua alcalina con poca cantidad de carbonatos (menos de 50 mg), esta es agua que no podemos utilizar para elaborar cerveza. Además, el tratamiento químico de estas aguas para “fijarlas” es un proceso complejo (Garrett, 2010).

La alcalinidad del agua puede tener un impacto significativo en la elaboración de cerveza. El agua alcalina puede ayudar a proteger la cerveza de la acidificación. Sin embargo, el agua muy alcalina puede tener un impacto negativo en el sabor y la estabilidad de la cerveza.

1.2 Malta

La Malta es el grano de Cebada que fue sometido al proceso de Malteado, este se logra germinando de manera controlada el grano de Cebada y luego se seca y se hace un tostado para prepararlo para la elaboración de cerveza.

1.2.1 La cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*) es una planta gramínea anual, originaria de Asia occidental. Hay dos variedades de cebada: cebada cervecera o de dos carreras (*Hordeum distichum*) que presenta dos hileras de semillas, y la cebada de seis carreras (*Hordeum hexastichon*) con seis hileras de semillas. La variedad de dos carreras es más apta para la elaboración de la cerveza porque produce más azúcares fermentables y tiene menos proteínas.

1.2.2 Grano de cebada

Luego de la cosecha el grano se seca hasta un contenido de agua que oscila entre el 12 y el 14%. Tiene una forma aproximadamente ovoide y está compuesta por las capas protectoras de la cascarilla. Luego el embrión o estructura podemos reconocer tres partes principales: primero la envoltura, germen que se ubica en uno de los extremos del grano, compuesto por la plúmula que dará origen a los órganos aéreos y la radícula que formará las raíces, y tercero el endospermo que consiste básicamente en un almacén de nutrientes para la joven planta. La mayor parte del endospermo se compone de grandes células muertas que tienen paredes celulares gruesas constituidas principalmente por B-glucano (un polímero de glucosa). Estas células contienen gránulos de almidón grandes (12-20 μ m de diámetro) y pequeños (2-5 μ m de diámetro). Hay muchos más gránulos pequeños que grandes, pero solo suponen un 5% del peso total del almidón. Los gránulos se encuentran embebidos en una matriz proteica que constituye la reserva de péptidos y aminoácidos, y debe representar el 10-12% del peso total del grano. Todo el endospermo amiláceo se encuentra rodeado por una capa triple de células vivas denominada aleurona.

1.2.3 Malteado

El objetivo global del proceso de malteado es el de deshacerse de la mayor parte posible de los β -glucanos de las paredes celulares y parte de la fracción proteica insoluble los cuales, de otro modo, restringirán el acceso de las enzimas a los gránulos de almidón. Al mismo tiempo se activan las enzimas que, en la fábrica de cerveza degradarán el almidón en compuestos más pequeños y solubles (maltosa, dextrinas, etc.). El malteado comienza con un remojo del grano de cebada el cual lleva su contenido de agua a aproximadamente el 45%.

Durante alrededor de 48 horas el grano es sumergido en agua y se intercala con períodos de aireado en los que se escurre el agua y se hace circular aire fresco humidificado

con el fin de proporcionar oxígeno al embrión y evitar la desecación. Este aumento de la humedad estimula la germinación e hidrata las reservas de almidón.

A continuación, se deja germinar el grano, esta etapa puede extenderse entre 3 y 6 días durante los cuales se hace circular aire frío humidificado a través del lecho de granos para mantener la temperatura por debajo de 16 °C y evitar la desecación por evaporación. Como consecuencia de la respiración del embrión se acumula CO₂ que se elimina aireando el lecho de granos por volteo, lo que también permite homogeneizar la temperatura, brindarle aire fresco al embrión, evitar la formación de una red de raicillas que surgen de los granos y lograr una germinación pareja. Durante este período el maestro maletero realiza un seguimiento del largo del acróspiro (tallo embrionario) y determina cuándo detener la germinación.

La malta verde húmeda se somete a un proceso de secado en horno para dar lugar a un producto estable que pueda ser almacenado de modo seguro. Este proceso también elimina los componentes volátiles responsables de aromas y sabores no deseados como el “grano” y facilita el desarrollo de otros más atractivos como “malta” o “galleta”. Las maltas también se pueden hornear a temperaturas más altas (hasta 200°C) para producir maltas con distintos sabores que pueden ir desde nuez hasta caramelo o sabores a tostado o quemado y desarrollar una gran gama de colores, desde el dorado hasta el negro profundo.

Es la función del maestro cervecero utilizar las distintas maltas en las proporciones adecuadas para obtener cervezas con un amplio rango de colores y sabores.

1.2.4 ¿Qué sucede dentro del grano de cebada durante el malteado?

Durante la germinación del embrión se produce una serie de procesos biosintéticos, los cuales se localizan principalmente en la capa de aleurona. Allí se producen las enzimas que degradan las proteínas (proteolíticas), el almidón (amilolíticas) y las paredes celulares (celulíticas). Dentro de las enzimas celulíticas, las β -glucanasas son las que degradan las paredes celulares del endosperma haciendo accesible el almidón a las enzimas amilolíticas, de

estas las dos más importantes son α y β -amilasa que degrada el almidón y producen azúcares simples como la maltosa.

Todas las enzimas pueden difundir libremente al endospermo y comenzar el proceso de ruptura de la estructura celular y las reservas de proteínas, almidón y lípidos, con el fin de proporcionar nutrientes a la nueva planta. Este proceso es controlado estrictamente por el maestro maltero que determina la finalización del proceso. En este momento la mayor parte de las paredes celulares ya han sido digeridas, pero de persistir en la malta final, pueden provocar problemas en diversas etapas de la elaboración de cerveza. Parte de las proteínas insolubles de alto peso molecular también han sido degradadas a 7 fragmentos más pequeños y se han sintetizado cantidades suficientes de amilasas. La mayor parte del almidón permanece intacto con la excepción de los gránulos pequeños, que son los primeros en ser degradados durante el malteado. Si subsisten estos gránulos podrán dar lugar a problemas de filtración durante el proceso de elaboración de cerveza.

1.2.5 Modificación de la malta

El grado de modificación de la malta influye directamente en la eficiencia del proceso de maceración y en el rendimiento del extracto, siendo un aspecto clave en la elaboración de cerveza (Bamforth, 2009). El grado de modificación de la malta está estrechamente relacionado con el período de tiempo en que se ha dejado que evolucione la germinación. Por lo tanto, una malta muy modificada ha sido germinada por períodos extensos de tiempo y ha sufrido una mayor cantidad de modificaciones internas, entre ellas, la degradación completa de B-glucanos, y una degradación parcial de proteínas y almidón.

El maestro cervecero tiene dos formas empíricas de determinar el grado de modificación de la malta, primero se debe remover la cáscara de al menos 10 granos de malta y determinar el largo del acróspiro, para las maltas muy modificadas el tallo embrionario debe superar el 75% del largo total del grano. Luego mordiendo algunos granos, si los granos son muy harinosos

estamos en presencia de una malta muy modificadas, si son duros o vítreos la malta está menos modificada.

El grado de modificación de la malta nos permite determinar los programas de maceración que será necesario utilizar en el proceso de elaboración de cerveza.

Las maltas poco modificadas suelen requerir programas de maceración complejos que implican escaleras de temperaturas, las cuales tienen por objetivo la degradación de los componentes del grano que no fueron degradados durante el proceso de malteo.

1.2.6 Poder diastásico de la malta

“Diastasas” es un nombre colectivo para todas las enzimas provenientes de la malta que están involucradas en la degradación del almidón durante el proceso de maceración. Por lo tanto, el poder diastásico de una malta es el potencial enzimático que posee para degradar almidón. Las maltas más claras, como las Pilsen o Lager, tienen el mayor poder diastásico (Briggs et al., 2004). A estas maltas también se las denomina malta base ya que poseen suficiente poder diastásico como para degradar su propio almidón y el almidón proveniente de otras fuentes, como granos no malteados

Durante el proceso de secado y horneado muchas proteínas termosensibles son eliminadas (desnaturalizadas) del grano de malta por lo tanto cuanto más oscuras son las maltas, menor es su poder diastásico.

1.2.7 Horneado de la malta

La temperatura de horneado, combinado con el grado de modificación determinan el tipo y las características de la malta. La malta tipo Viena se hornea a una temperatura de 63 °C, las maltas Pale Ale inglesas entre 55°C y 82°C y las maltas Lagers tipo Pilsen secan elevando la temperatura lentamente - de 49°C hasta 77°C y luego se hornean a 81 °C. La malta tipo Múnich se seca a baja temperatura y luego se hornea entre 99 °C y 118 °C. Este proceso desarrolla aroma y sabor a melanoidinas, que se producen por reacción entre los aminoácidos y los

azúcares de la malta y que luego además aportarán cuerpo al producto terminado. Las maltas Ámbar (Biscuit, Victory, etc.) son maltas bien modificadas que se secan y rápidamente son horneadas a 93 °C, la temperatura luego se eleva a 138-185 °C la que se mantiene hasta que se desarrolle el color deseado.

Las maltas Crystal y Caramelo se producen desde maltas bien modificadas que se secan hasta un contenido de humedad del 50%. Luego la temperatura se eleva a 66 - 77 °C y es mantenida por 90 a 120 minutos. Esto esencialmente convierte el almidón en azúcares dentro del grano. Finalmente, la malta se tuesta y dependiendo del tiempo empleado varía el grado de desarrollo de color, de aromas y de sabores.

Las maltas quemadas como la Chocolate o Black Patent, son maltas poco modificadas que se secan hasta un contenido de humedad del 5% y luego son horneadas a 216 - 232 °C, el tiempo al cual se somete la malta a esta temperatura determina el grado de desarrollo de color.

También se puede secar la malta con fuego proveniente de la quema de diferentes maderas.

Las maltas secadas de esta manera adquirirán aromas y sabores a ahumado característicos de la madera que se utilice que luego trasladarán a la cerveza. Las maltas quemadas o ahumadas necesitan de un almacenamiento que no suele ser inferior a un mes antes de ser utilizadas en la fabricación de cerveza.

1.3 Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta dioica de la familia Cannabinaceae, que incluye el género *Cannabis*. Las resinas del lúpulo son las principales responsables del amargor de la cerveza.

El lúpulo es una planta dioica, es decir que las flores masculinas y femeninas se encuentran en plantas diferentes. Vive de 10 a 20 años, gracias a la formación de rizomas (estructuras de resistencia de la raíz), a partir de los cuales cada primavera brota el vástago.

Los tallos son trepadores y pueden crecer hasta ocho metros de altura si son guiados por postes o sistemas de alambres, los que facilitan la cosecha. En el hemisferio sur la época de crecimiento es entre octubre y enero, las flores se desarrollan entre enero y febrero y la cosecha se realiza desde fines de febrero hasta fines de marzo.

La inflorescencia (conjunto de flores) femenina, denominada cono o estróbilo, es la parte de la planta que tiene utilidad en cervecería, mide entre 3 y 5 cm y está formada por un eje central y pequeñas hojas modificadas denominadas brácteas, en el ángulo que se forma entre el eje y las brácteas, se encuentran las glándulas de lupulina, las cuales poseen las resinas amargas que la imparten amargor y los aceites esenciales que imparten sabor y aroma a la cerveza.

1.3.1 Química

Hoy en día se sabe que 100 gr de lúpulo seco contienen:

- 40% Materiales vegetativos (celulosa, lignina, etc)
- 10-20% Proteínas
- 8-12% Agua
- 5-9% Cenizas
- 5% Lípidos, ceras y pectina
- 2-5% Taninos y Polifenoles
- 2-3% Monosacáridos
- 0,1-3% Aceites esenciales
- 5-24% Resinas totales (Kunze, 2004)

Los α -Ácidos que aparecen en la fracción de resinas blandas, son los principales responsables de impartir amargor a la cerveza. Durante el hervor los tres α -ácidos (humulona, cohumulona y adhumulona) sufren un cambio estructural llamado isomerización, que los

convierte en sustancias más solubles y más amargas. La proporción de estos tres α -ácidos difiere en cada variedad de lúpulo.

Existen algunas diferencias cualitativas y quizás cuantitativas, al amargor que producen los tres α -ácidos individualmente. Algunos investigadores proponen que la cohumulona es la responsable mayoritaria del amargor en la cerveza. Otros plantean que el amargor producido por variedades de alta concentración de cohumulona, es picante y poco placentero.

Los α -ácidos además contribuyen a la formación y retención de la espuma y en altas concentraciones tienen efectos bacteriostáticos lo que permitió a los cerveceros hacer cervezas más livianas, sin la necesidad de obtener altos niveles de alcohol para preservarla de infecciones bacterianas (Steenackers et al., 2015).

Los β -ácidos, también pueden isomerizarse durante el hervor para crear compuestos amargos, pero como su solubilidad en el mosto es muy baja, la contribución de estos al sabor amargo es casi despreciable.

1.4 Levadura

Para comenzar daremos una definición: Las levaduras cerveceras son hongos unicelulares heterótrofos, aerobios facultativos.

Hongo: Los hongos, como *Saccharomyces cerevisiae*, son organismos eucariotas con una estructura celular única, que incluye una pared celular rígida y un núcleo bien definido (Deacon, 2006).

Los miembros de este grupo de organismos pueden ser multicelulares (miceliales) como los mohos del pan, del queso roquefort (*Penicillium roqueforti*) o como los champiñones, y de forma unicelular, es decir que el microorganismo está compuesto de una sola célula que puede variar en tamaño desde 4 a 10 μm .

Heterótrofo: los organismos heterótrofos no son capaces de producir su propio alimento, lo toman del medio ambiente y con él producen la energía necesaria para su supervivencia.

Aerobios facultativos: existen microorganismos que solamente son capaces de vivir y reproducirse en presencia de oxígeno, estos se denominan organismos aerobios. Para otros microorganismos el oxígeno es tóxico y requieren que la atmósfera en donde proliferan sea libre de este gas, estos se denominan anaerobios. Sin embargo, hay otros microorganismos que son capaces de adaptarse a las condiciones de oxígeno del medio ambiente, a estos se los denomina facultativos.

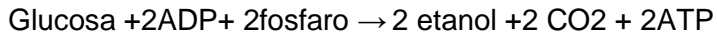
Los organismos aerobios utilizan O_2 y azúcar para producir energía metabólica a través de un proceso denominado respiración, como subproductos de esta se obtienen CO_2 y H_2O . Los microorganismos que no utilizan O_2 , obtienen energía metabólica a través de la fermentación, proceso por el cual se obtiene menor energía que en la respiración y dependiendo del microorganismo se pueden liberar como subproductos alcohol, ácido láctico u otros compuestos.

Por lo tanto, describiendo la definición planteada al comienzo, podemos decir que las levaduras cerveceras, cuyo nombre científico es *Saccharomyces cerevisiae*, pueden respirar en presencia de O_2 , mientras que en ausencia de este sobreviven gracias a la fermentación alcohólica, cuyos subproductos son CO_2 y etanol (alcohol) (Bamforth, 2017).

1.4.1 Bioquímica

Desde el punto de vista bioquímico la transformación de una molécula de glucosa en energía, CO_2 y H_2O requiere la actividad de al menos tres vías metabólicas muy importantes, la primera es la vía de Embden-Meyerhof o glicólisis, esta vía involucra 10 enzimas y como producto se obtiene una molécula de ácido pirúvico, el cual entra en la segunda vía metabólica denominada Ciclo de Krebs o ciclo de los ácidos tricarboxílicos, con ocho enzimas involucradas. Acoplada a este último ciclo se encuentra la Cadena de Transporte de Electrones, donde a través de un gradiente de protones (H^+) y oxígeno molecular (O_2) se obtiene energía (Madigan et al., 2015).

En cambio, durante el proceso de fermentación alcohólica ocurriría lo siguiente:



En este caso una molécula de glucosa, por medio de la acción de las enzimas involucradas en el proceso fermentativo, da como producto dos moléculas de etanol, dos moléculas de dióxido de carbono y solamente 2 moléculas de ATP.

La bioquímica de esta transformación sólo involucra la vía de la glucólisis, pero el ácido pirúvico es luego transformado en acetaldehído y finalmente en etanol.

Evidentemente si las levaduras pudieran elegir, elegirían respirar en lugar de fermentar, ya que este proceso le permite obtener mayor energía metabólica a partir de la misma fuente. Esto también se verifica si observamos que la población microbiana se duplica en dos a tres horas aproximadamente, si el microorganismo está respirando y si fermenta la población se duplica entre diez y doce horas.

1.4.2 Cepas

En la industria cervecera se utiliza exclusivamente la levadura cuyo género y especie es *Saccharomyces cerevisiae*. Sin embargo, pequeñas variaciones genéticas dan como resultados variaciones morfológicas y fisiológicas que le confieren características fermentativas únicas, aportando aromas y sabores particulares o haciéndolas más resistentes al alcohol o aumentando su floculación entre otras características (White y Zainasheff, 2010). A las levaduras del mismo género y especie que presentan variaciones con respecto a la especie tipo se las denomina cepa. Existen al menos unas 1000 cepas de *Saccharomyces cerevisiae* y cada una posee características particulares. Existen dos grandes grupos de cepas de *Saccharomyces cerevisiae*.

Las levaduras de fermentación baja:

- Fermentan a temperaturas entre 7 y 15 °C

- Al final de la fermentación tienden a flocular acumulándose en el fondo del fermentador.
- Se usaban tradicionalmente para elaborar las cervezas tipo Lager.
- También denominadas *Saccharomyces uvarum* o *Saccharomyces carlbergensis*.

Las levaduras de fermentación alta

- Fermentan normalmente entre 16 y 22 °C.
- Son menos floculantes
- Tradicionalmente utilizadas en fermentadores abiertos y cosechadas por la superficie (skimmed)

1.4.3 Reproducción y crecimiento de las levaduras

Como ya dijimos el crecimiento se define como el incremento en el número de células de una población microbiana. Este puede ser medido como un incremento en la masa celular o biomasa.

La velocidad de crecimiento es el incremento en el número de células o de biomasa por unidad de tiempo.

El intervalo para la formación de dos células hijas a partir de una célula madre se denomina generación, y el tiempo para que esto ocurra, tiempo generacional. De esta forma, el tiempo generacional es el tiempo requerido por una población celular para duplicarse.

Si estudiamos el crecimiento de una población de levaduras, ya sea por conteo directo de levaduras individuales o por el aumento de peso de la biomasa celular, se obtiene una curva que puede dividirse en varias fases:

Fase de Latencia o lag: Una población de microorganismos que está creciendo activamente se inocular en un medio de cultivo fresco de la misma composición y bajo las mismas condiciones de cultivo, la fase de latencia no se observa o es mínima, por el contrario si

el cultivo previo es viejo, está creciendo en un medio de cultivo distinto o las células se encuentran dañadas (estresadas) de alguna forma, se observa un período donde la masa celular no aumenta perceptiblemente, ya que las células deben adaptar su sistema metabólico a las nuevas condiciones de cultivo (Boulton y Quain, 2001).

Fase de aceleración: Es una fase intermedia, en donde comienza a aumentar el crecimiento, pero todavía no en forma exponencial.

Fase exponencial: Esta fase es la fase de crecimiento propiamente dicho, una levadura se duplica para dar dos células hijas y estas dos se dividen para dar cuatro células y así sucesivamente, es decir en forma exponencial. La mayoría de los microorganismos crecen en forma exponencial, pero las velocidades de crecimiento varían, ya sea por la genética del microorganismo, las condiciones de cultivo, temperatura, nutrientes, etc.

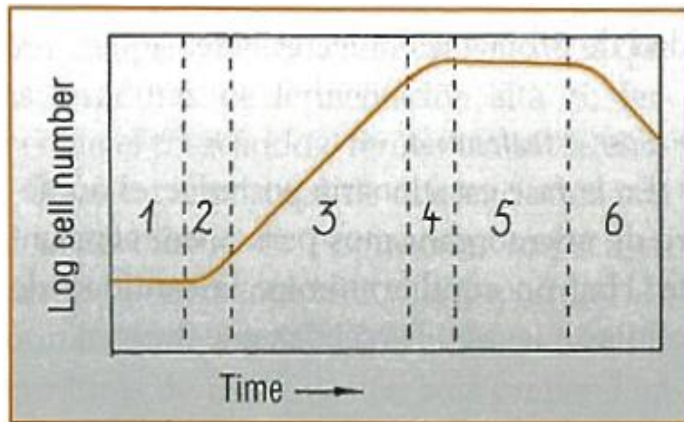
Fase de desaceleración: Es otra fase intermedia, en la cual el cultivo empieza a disminuir la velocidad de crecimiento, constituyéndose en el prelude de la fase estacionaria.

Fase estacionaria: La fase estacionaria se caracteriza porque la biomasa celular no aumenta ni disminuye, esto se debe a que el número de microorganismos que se genera es igual al número que mueren. Debido a que los nutrientes del medio de cultivo se han agotado o a que algún producto de desecho del microorganismo aumenta su concentración e inhibe el crecimiento de este.

Fase de muerte: En esta fase la tasa de crecimiento de los microorganismos es menor a la de las células muertas, por lo que la biomasa comienza a disminuir lentamente. Las células muertas dejan de tener funciones metabólicas y posteriormente se autolisan, es decir se produce la ruptura celular con la consecuente liberación de su contenido.

Ilustración 1

Fases de la propagación de levadura



Nota: (1) fase de Latencia, (2) fase de aceleración, (3) fase exponencial, (4) fase de desaceleración, (5) fase estacionaria, (6) fase de muerte

1.5 Bacterias ácido lácticas

Las bacterias ácido lácticas son un grupo de bacterias que son importantes en la producción de alimentos fermentados, como el yogur, el queso y el chucrut. Estas bacterias tienen la capacidad de producir ácido láctico a partir de la fermentación de los azúcares presentes en los alimentos. La producción de este ácido es beneficiosa para la conservación de los alimentos, ya que disminuye el pH y crea un ambiente hostil para otras bacterias no deseables. Además, estas bacterias pueden producir compuestos aromáticos que contribuyen al sabor y aroma característicos de los alimentos fermentados.

1.5.1 Bacterias ácido lácticas y su aplicación en la elaboración de cerveza

Las bacterias ácido lácticas son uno de los factores clave para la elaboración de cerveza ácida. Estas bacterias fermentan el azúcar en el mosto para producir acidez y un sabor a fruta. Esta reacción le otorga a la cerveza un delicado equilibrio entre dulzor y acidez (Bokulich y Bamforth, 2013). Además, las bacterias ácido lácticas aportan una cantidad adicional de proteínas al producto final, mejorando así la estabilidad de la espuma. La adición

de estas bacterias a la cerveza también le proporciona textura y sabor complejo que no se puede conseguir con otro tipo de microorganismos, lo que explica su uso en muchos estilos tradicionales como el lambic, berliner weisse o gose.

Las BAL también contribuyen a la estabilidad de la espuma en la cerveza, ya que aportan una cantidad adicional de proteínas al producto final. Según un estudio de Lowe y Arendt (2004), las proteínas derivadas de las BAL pueden mejorar significativamente la retención y calidad de la espuma en cervezas ácidas.

Sin embargo, debido a su naturaleza volátil, este proceso requiere mucha precisión para controlar los niveles de acidez y alcanzar el equilibrio deseado. El pH del mosto es importante ya que determinará cuánta acidez producirá la bacteria durante el proceso de fermentación. Para garantizar que se alcanzan los niveles adecuados durante todo el proceso se utilizan varios procedimientos comunes para monitorear continuamente los niveles del pH y obtener resultados consistentes. Por ejemplo, algunos cerveceros optan por agregar malta acidificada o ácidos orgánicos antes del inicio de la fermentación para reducir los niveles del pH inicialmente. También es posible adaptar las temperaturas y tiempos de fermentación para conseguir resultados específicos.

Proceso de elaboración tradicional

2.1 Tratamiento previo a la elaboración de la malta

2.1.1 Limpieza y clasificación de la cebada

El proceso de limpieza y clasificación de la cebada implica varios pasos para eliminar las impurezas y separar los granos en función de su tamaño y calidad. El proceso comienza con la recepción de la cebada, que puede ser entregada por vehículos o barcos. Es importante garantizar una descarga rápida y un examen inmediato de la cebada para determinar si cumple con los estándares de calidad requeridos. Si la entrega no cumple con los estándares, se rechaza.

Luego, la cebada se somete a un proceso de limpieza previa, que incluye limpieza mecánica utilizando dispositivos como aspiradores, separadores y dispositivos magnéticos. Este paso ayuda a eliminar las impurezas más grandes como cintas de saco, fragmentos de madera y granos de arena. Luego, la cebada se almacena antes de pasar a la etapa principal de limpieza y clasificación.

En la etapa principal de limpieza y clasificación, el objetivo es eliminar cualquier impureza que no sea cebada, como fragmentos de paja, cintas de saco, pedazos de madera, clavos, piedras, granos quebrados y partículas extrañas. Esto se logra mediante el uso de succión de aire para eliminar los contaminantes polvorientos, seguido de tamizado para separar las impurezas más grandes y más finas. El proceso de limpieza puede involucrar varias máquinas conectadas en serie para garantizar la eliminación completa de las impurezas.

Un punto crítico del proceso es el correcto funcionamiento y mantenimiento de las máquinas de limpieza. La inspección y limpieza regular de las máquinas, incluidos los tamices y los sistemas de succión, son esenciales para mantener su eficiencia y eficacia. Cualquier mal funcionamiento o bloqueo en las máquinas puede provocar una limpieza incompleta y afectar la calidad del producto final.

Otro punto crítico es el control de la humedad y la temperatura durante el proceso de limpieza. La cebada con un alto contenido de humedad puede provocar el crecimiento de moho y el deterioro, mientras que el calor excesivo puede dañar los granos. Por lo tanto, es crucial controlar y mantener niveles de humedad y temperaturas adecuados durante todo el proceso de limpieza y clasificación.

Además, la clasificación de la cebada en función del tamaño es un aspecto importante del proceso. Los granos de cebada se clasifican en diferentes fracciones, como granos bien llenos, cebada industrial y cribas. Los granos bien llenos son los granos más grandes y gruesos, que se prefieren para la producción de malta y cerveza. La cebada industrial se refiere a la porción que pasa por un tamiz de 2,5 mm, pero es retenida por un tamiz de 2,2 mm. Los tamizados consisten en granos más pequeños y delgados que no son adecuados para la producción de malta y que a menudo se usan como alimento para animales.

Según un estudio realizado por Johnson et al. (2018), la proporción ideal de granos bien llenos para la producción de malta de alta calidad debe ser superior al 90% del total de la cebada clasificada.

Para garantizar una clasificación precisa, es crucial el uso de tamaños de tamiz adecuados y la calibración regular del equipo de tamizado. O'Rourke (2002) sugiere realizar calibraciones al menos una vez por semana o cada vez que se cambie el lote de cebada a procesar.

En resumen, la limpieza y clasificación de la cebada implica varios puntos críticos del proceso, incluido el funcionamiento y mantenimiento adecuados de las máquinas de limpieza, el control de la humedad y la temperatura, y una clasificación precisa basada en el tamaño. El cumplimiento de estos puntos críticos garantiza la producción de cebada de alta calidad para su posterior procesamiento en la industria de la malta y la cerveza (Mallett, 2014).

2.1.2 Secado y almacenamiento

Respiración de la cebada. El proceso de respiración en la cebada es un fenómeno bioquímico crucial que afecta significativamente la calidad y viabilidad del grano durante el almacenamiento. Según Bamforth (2006), este proceso puede resumirse en la siguiente ecuación química:



Este proceso requiere oxígeno y produce dióxido de carbono y agua como subproductos. La cantidad de dióxido de carbono producido durante la respiración está influenciada por el contenido de humedad y la temperatura de la cebada. Por ejemplo, a una temperatura de 15 °C, la cantidad de dióxido de carbono producida por 1 kg de cebada con un contenido de humedad del 14 % es de aproximadamente 1,3-1,5 mg en 24 horas. Sin embargo, a una temperatura de 40 °C, la cantidad de dióxido de carbono producido aumenta a alrededor de 20 mg en el mismo período de tiempo.

El contenido de humedad de la cebada también juega un papel importante en la respiración. Cuando la cebada se almacena con un contenido de humedad superior al 15%, aumenta el proceso de respiración, lo que lleva a un mayor consumo de almidón. El almidón es esencial para su uso posterior como una fuente importante de extracto durante el proceso de malteado. Por lo tanto, minimizar el consumo de almidón a través de la respiración es fundamental para reducir las pérdidas durante el malteado.

Lewis y Young (2001) enfatizan que minimizar el consumo de almidón a través de la respiración es fundamental para reducir las pérdidas durante el malteado. Según sus estudios, una pérdida del 1% en el contenido de almidón puede resultar en una disminución de hasta 0,8% en el rendimiento de extracto de malta.

La respiración de la cebada continúa durante el almacenamiento, aunque las funciones vitales se restringen al mínimo. El embrión de la cebada vive y respira durante el

almacenamiento y se producen cambios químicos. Sin embargo, las funciones están limitadas debido al metabolismo mínimo.

El proceso de respiración durante el almacenamiento está influenciado por factores como el contenido de humedad y la temperatura. Es necesaria una aireación adecuada para suministrar a la cebada suficiente oxígeno. La aireación insuficiente puede conducir a la respiración intramolecular, lo que puede resultar en la muerte del embrión.

En resumen, la respiración de la cebada implica el consumo de almidón y la producción de dióxido de carbono y agua. Factores como la temperatura y el contenido de humedad influyen en la tasa de respiración. La aireación adecuada durante el almacenamiento es esencial para mantener la viabilidad de la cebada. El proceso de respiración debe minimizarse para reducir las pérdidas de almidón, que es importante para la producción de extracto durante el malteado.

Secado de la cebada. El secado de la cebada es un proceso importante que se realiza para reducir el contenido de agua de los granos y evitar su deterioro durante el almacenamiento.

Se pueden utilizar secadores por aire caliente o secadores al vacío para llevar a cabo este proceso. Kunze (2010) señala que la temperatura y el contenido de agua en los granos son factores clave que determinan la duración del almacenamiento sin deterioro. Cuanto menor sea el contenido de agua, mayor será la duración del almacenamiento. El secador de granos por aire caliente es un equipo que consta de cuatro compartimentos en los que la cebada se seca lentamente mientras se expone a una corriente de aire caliente. Es importante controlar la temperatura del aire caliente para evitar dañar los embriones de la cebada. Después del secado, la cebada debe ser enfriada antes de ser almacenada para preservar su calidad. En caso de no contar con un secador por aire caliente propio, las malterías pueden secar la cebada en el tostadero al comienzo de la campaña. El enfriamiento de la cebada es otro

proceso importante para prolongar su duración de almacenamiento. Se utiliza un equipo enfriador de cereales para enfriar la cebada almacenada, lo que ayuda a prevenir el crecimiento de microorganismos y mohos. Se elige una temperatura de almacenamiento por debajo de 15°C para proteger contra insectos y mohos.

Durante el almacenamiento de la cebada, la respiración es un proceso que ocurre y puede afectar su calidad. El embrión de la cebada vive y respira, lo que genera calor y humedad. Cuanto más caliente y húmeda esté la cebada, más rápido será el proceso de respiración y mayor será el desarrollo de microorganismos, mohos, bacterias e insectos. Por lo tanto, es importante mantener la cebada almacenada lo más fría posible para reducir estos riesgos. Además, la cebada almacenada en estado húmedo puede perder su capacidad de germinación y producir una malta de baja calidad. Por lo tanto, se recomienda secar la cebada antes del almacenamiento si su contenido de agua es superior al 15%. El contenido de agua en la cebada puede variar dependiendo de las condiciones climáticas durante la cosecha.

La cebada almacenada debe ser aireada para mantener su viabilidad. Sin embargo, la respiración durante el almacenamiento puede consumir almidón, que es un componente importante para la producción de extracto durante el proceso de malteado. Por lo tanto, es necesario minimizar la pérdida de almidón durante la respiración. Durante el reposo vegetativo después de la cosecha, el embrión de la cebada no puede germinar y la cebada pasa por un proceso de madurez de malteado antes de ser malteada. Durante este tiempo, es importante mantener la pérdida por respiración lo más baja posible. El contenido de agua y la temperatura de almacenamiento son factores que influyen en la respiración de la cebada. Cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la cantidad de dióxido de carbono espirado por la cebada. Además, la temperatura también afecta la cantidad de dióxido de carbono espirado.

En resumen, el secado de la cebada es un proceso esencial para reducir el contenido de agua y evitar el deterioro durante el almacenamiento. El secado se puede realizar con

secadores por aire caliente o al vacío. Después del secado, la cebada debe ser enfriada antes de ser almacenada. Durante el almacenamiento, es crucial controlar la temperatura y el contenido de agua para prevenir el crecimiento de microorganismos y mantener la calidad de la cebada. La respiración durante el almacenamiento puede consumir almidón, por lo que es necesario minimizar esta pérdida. La cebada almacenada debe ser aireada y se recomienda secarla antes del almacenamiento si su contenido de agua es alto (Briggs et al., 2004).

Enfriamiento de la cebada. El enfriamiento de la cebada es un proceso importante para preservar su calidad y prolongar su duración de almacenamiento. La cebada cosechada en estado húmedo debe ser enfriada antes de ser almacenada, ya que el calor y la humedad generados por la respiración del grano pueden acelerar el desarrollo de microorganismos, mohos y bacterias, lo que puede dañar la cebada y reducir su viabilidad.

El proceso de enfriamiento se puede realizar utilizando equipos especializados. Kunze (2004) describe el equipo enfriador de cereales Granifrigor de la empresa Sulzer Escher-Wyss como un ejemplo de tecnología utilizada en la industria. Este equipo utiliza aire frío para enfriar gradualmente la cebada almacenada en un silo. El aire frío ingresa por la parte inferior del equipo y enfría la capa inferior de cereales. A medida que avanza el enfriamiento, se genera una zona de enfriamiento que se mueve hacia arriba a lo largo del período de enfriamiento. El proceso de enfriamiento se considera completo cuando el aire más frío emerge por la parte superior del silo.

Mallett (2014) destaca la importancia de la uniformidad en el proceso de enfriamiento. Señala que las variaciones de temperatura dentro del silo pueden llevar a la formación de "puntos calientes" donde la actividad microbiana puede acelerarse, comprometiendo la calidad de lotes enteros de cebada.

Es importante destacar que la temperatura de almacenamiento de la cebada debe ser elegida cuidadosamente para protegerla contra insectos y mohos. Se recomienda una temperatura de almacenamiento por debajo de 15°C.

Además del enfriamiento, es necesario asegurarse de que la cebada esté seca antes de ser almacenada. El contenido de agua en la cebada afecta su duración de almacenamiento. Por ejemplo, la cebada con un contenido de agua del 12-15% puede almacenarse indefinidamente a una temperatura de 9-12°C, mientras que la cebada con un contenido de agua del 25-30% solo puede almacenarse durante 2-3 días a una temperatura de 4-5°C.

En resumen, el enfriamiento de la cebada es necesario para preservar su calidad y prolongar su duración de almacenamiento. Se recomienda enfriar la cebada antes de almacenarla, utilizando equipos especializados como el equipo enfriador de cereales Granifrigor. Además, es crucial asegurarse de que la cebada esté seca antes de almacenarla, ya que el contenido de agua afecta significativamente su duración de almacenamiento. La temperatura de almacenamiento también debe ser controlada cuidadosamente para evitar el crecimiento de insectos y mohos, manteniendo la calidad óptima de la cebada para su posterior procesamiento en malta (Briggs et al., 2004).

Almacenamiento. El almacenamiento de la cebada es un proceso crítico que requiere condiciones controladas para mantener la calidad del grano. Según Briggs (1998), la cebada se almacena generalmente en silos o graneros, pero es crucial considerar el calor y la humedad generados por la respiración de la cebada durante este período.

El contenido de agua de la cebada almacenada varía y puede afectar su duración de almacenamiento. Por ejemplo, la cebada con un contenido de agua del 12% al 15% puede almacenarse indefinidamente a una temperatura de 9-12°C. A medida que aumenta el contenido de agua, la duración de almacenamiento disminuye. Por ejemplo, la cebada con un contenido de agua del 25% al 30% solo puede almacenarse durante 2-3 días a una temperatura

de 4-5°C. Es importante mantener la cebada seca y fresca durante el almacenamiento para evitar el deterioro y la infestación de mohos e insectos.

El secado de la cebada es un proceso importante antes del almacenamiento. La cebada húmeda debe secarse para reducir su contenido de agua antes de ser almacenada. El secado se puede realizar utilizando secadores de aire caliente o secadores al vacío. La temperatura y el tiempo de secado dependen del contenido de agua inicial de la cebada. Por ejemplo, la cebada con un contenido de agua del 18% al 20% se seca a una temperatura de 5°C durante 3-4 meses. Es importante tener cuidado al secar la cebada para evitar un calentamiento excesivo que pueda dañar la capacidad de germinación de los granos.

Durante el almacenamiento de la cebada, es importante mantenerla aireada para mantener su viabilidad. Esto implica extraer dióxido de carbono, agua y calor, y suministrar oxígeno. Además, el enfriamiento de la cebada puede prolongar su estabilidad de almacenamiento. La cebada almacenada se enfría a una temperatura por debajo de 15°C para protegerla contra insectos y mohos. El enfriamiento se puede lograr utilizando equipos enfriadores de cereales que permiten que el aire frío ingrese al silo y enfríe gradualmente la cebada almacenada. El enfriamiento es especialmente importante para reducir la respiración de la cebada y minimizar las pérdidas durante el almacenamiento.

En resumen, el almacenamiento de la cebada requiere condiciones adecuadas para evitar el deterioro y la infestación de mohos e insectos. El secado de la cebada antes del almacenamiento es crucial para reducir su contenido de agua. Durante el almacenamiento, es fundamental mantener la cebada aireada y enfriada para mantener su viabilidad y prolongar su estabilidad de almacenamiento. Las temperaturas y el contenido de agua específicos varían, pero es esencial seguir las pautas mencionadas para garantizar un almacenamiento adecuado y prolongado de la cebada (Briggs et al., 2004).

2.2 Malteado

El malteado es un proceso crucial en la producción de cerveza que consiste en germinar y tostar el grano de cebada para obtener malta. Según Briggs (1998), este proceso es fundamental para activar las enzimas que transforman el almidón del grano en azúcares simples metabolizables por la levadura. Además, Kunze (2004) señala que el malteado confiere a la malta características específicas de color, aroma y sabor que influyen significativamente en el producto final.

Bamforth et al. (2009) describen el malteado como un proceso que se realiza en varias etapas: remojo, germinación, secado y tostado. Cada una de estas etapas juega un papel crucial en la calidad final de la malta.

2.2.1 Remojo, germinación y secado

La germinación del grano de cebada es un proceso que consiste en activar el desarrollo de la plántula dentro del grano. Para ello, se necesita humedad, oxígeno y una temperatura adecuada. El objetivo es obtener un grano germinado con un alto contenido de enzimas que faciliten la transformación del almidón en azúcares fermentables.

Para germinar el grano de cebada, se debe seguir una serie de pasos:

- I. Seleccionar el grano de cebada de buena calidad, con un alto poder germinativo y libre de impurezas.
- II. Remojar el grano en agua durante unas 12 horas, cambiando el agua cada 4 horas para evitar la proliferación de microorganismos.
- III. Escurrir el grano y colocarlo en una bandeja o recipiente con agujeros para permitir la aireación. La capa de grano no debe ser muy gruesa para evitar el sobrecalentamiento y la asfixia.
- IV. Mantener el grano húmedo y a una temperatura entre 15 y 20°C durante unos 5 días, removiendo el grano cada 12 horas para favorecer la uniformidad de la germinación.

V. Detener la germinación cuando el grano presente un brote blanco de unos 2 mm de longitud. Para ello, se puede secar el grano en un horno a una temperatura entre 40 y 50°C durante unas 24 horas, o bien enfriarlo rápidamente con aire frío.

VI. Almacenar el grano germinado en un lugar fresco y seco hasta su uso.

Un aspecto adicional a considerar, según Bamforth et al. (2009), es el desarrollo de sabores y aromas durante la germinación. Los compuestos volátiles formados en esta etapa, como el dimetil sulfuro (DMS), pueden tener un impacto significativo en el perfil sensorial de la cerveza final.

2.2.2 Tostado

Tras la germinación llega el momento de otorgarle la personalidad a la futura malta mediante el secado y el tostado del grano, lo que dibujarán su tonalidad, que transmitirá a la cerveza que se elabore con ella, y determinará su rendimiento durante la maceración (Kunze, 2004). La malta verde es transferida a los hornos de secado, donde se detendrá la germinación y reducirá la humedad hasta dejarla por debajo de un 4%. Si la germinación no se detuviera, el grano continuaría creciendo y todas las reservas de almidón que necesitará el cervecero serían consumidas por la planta en crecimiento.

Las denominadas maltas base, esenciales en cualquier receta, se secan en horno a una temperatura que oscila entre los 80°C y 90°C durante 2 a 3 horas. Este proceso le permite desarrollar matices suavemente maltosos.

Las maltas llamadas especiales, usadas para dotar de mayor complejidad y riqueza sensorial a la cerveza, se secan y tuestan en un horno a temperaturas más elevadas durante períodos de tiempo más prolongados, lo que les permite desarrollar sus características de color, aroma y sabor.

Cuanto mayor y más intensa sea la duración de la fase de secado y tostado, menor será la capacidad enzimática de la malta, por lo que la duración de esta fase dependerá del tipo de malta que se desee obtener.

Una vez secado el grano, se procede a retirar las raíces y tallos que se pudieron desarrollar durante la germinación, y la malta ya se encuentra lista para su uso, dispuesta a formar parte de nuestra amada bebida.

2.2.3 Almacenamiento

La malta tostada debe conservarse en condiciones adecuadas de humedad y temperatura para evitar la pérdida de aromas, el deterioro microbiológico y la oxidación. La humedad óptima para el almacenamiento de la malta tostada es entre el 4% y el 6%, ya que una humedad mayor favorece el crecimiento de hongos y bacterias, y una humedad menor provoca la deshidratación y la fragilidad de los granos. La temperatura ideal para el almacenamiento de la malta tostada es entre 15°C y 25°C, ya que una temperatura más alta acelera las reacciones químicas que afectan al color, al sabor y al poder diastásico de la malta, y una temperatura más baja puede causar condensación y aumentar la humedad. El almacenamiento de la malta tostada debe realizarse en recipientes herméticos, limpios y secos, que protejan la malta de la luz, el aire, los insectos y los roedores (Lewis y Young, 2001). La exposición a la luz, especialmente a la radiación UV, puede provocar la formación de compuestos indeseables como el 3-metil-2-buten-1-ol (MBT), responsable del conocido "sabor a luz" en la cerveza (De Keukeleire et al., 2008).

2.3 Molienda de la malta

El molido consiste en romper los granos sin pulverizarlos, para facilitar la filtración del mosto y evitar la extracción de sustancias indeseables. La forma más común de moler la malta es con un molino de rodillos, que aplasta los granos entre dos cilindros giratorios. El grado de molido depende del tipo de cerveza que se quiera obtener y del equipo que se utilice.

Moler la malta tiene varios beneficios para la calidad de la cerveza. En primer lugar, permite liberar las enzimas que transforman el almidón en azúcares simples durante la maceración. Estos azúcares son los que alimentan a las levaduras y determinan el grado alcohólico y el cuerpo de la cerveza. En segundo lugar, facilita la separación del mosto del bagazo, que es el residuo sólido que queda después de la maceración. Un buen molido evita que el bagazo se compacte y obstruya el filtro, lo que puede provocar problemas de rendimiento y claridad. En tercer lugar, mejora el aprovechamiento de los granos y reduce el costo de producción. Un molido adecuado permite extraer más azúcares y aromas de la malta, lo que se traduce en una cerveza más sabrosa y económica (Hieronymus, 2012). Estudios han demostrado que una molienda optimizada puede aumentar el rendimiento de extracto en hasta un 5% (O'Rourke, 2002).

2.4 Empaste y macerado

El empaste consiste en mezclar los granos de malta molidos con agua caliente, para activar las enzimas que degradan el almidón y las proteínas del grano. El macerado es la etapa en la que se extraen los azúcares fermentables y los nutrientes del grano, mediante una serie de lavados con agua a diferentes temperaturas. Estos procesos influyen en el color, el sabor, el cuerpo y la espuma de la cerveza.

La temperatura y la cantidad de agua y granos son variables que hay que controlar cuidadosamente durante el empaste y el malteado, ya que afectan al rendimiento y a la composición del mosto. La temperatura óptima para el empaste suele estar entre 60 y 70°C, dependiendo del tipo de malta y de las enzimas que se quieran activar. Una temperatura demasiado alta o demasiado baja puede inhibir la actividad enzimática o producir sabores indeseados. La cantidad de agua debe ser suficiente para cubrir los granos y permitir una buena agitación, pero no excesiva para evitar una dilución del mosto. La proporción habitual de agua y granos es de 3 a 4 litros por kilogramo.

El macerado se realiza mediante una serie de lavados con agua a diferentes temperaturas, que se denominan rampas. Cada rampa tiene una duración y una finalidad específica, según el tipo de cerveza que se quiera obtener. Por ejemplo, una rampa a 63°C favorece la formación de azúcares simples, que dan una cerveza más seca y alcohólica. Una rampa a 72°C favorece la formación de azúcares complejos, que dan una cerveza más dulce y con más cuerpo. Una rampa a 78°C detiene la actividad enzimática y estabiliza el mosto. La cantidad de agua que se usa en cada rampa depende del rendimiento que se quiera obtener y del grado de concentración del mosto. Un mayor volumen de agua implica una mayor extracción de azúcares, pero también una menor densidad del mosto.

Durante el macerado el mosto sufre diferentes transformaciones químicas y físicas que afectan a la calidad del producto final. Estas son algunas de las principales transformaciones que ocurren durante la maceración:

Sacarificación del almidón y otros hidratos de carbono: El almidón es el principal componente del grano de malta, y se encuentra en forma de gránulos insolubles. Para convertirlo en azúcares fermentables, se necesita la acción de unas enzimas llamadas amilasas, que rompen las cadenas de almidón en unidades más pequeñas (Briggs, 1998). Estas enzimas se activan a diferentes temperaturas y pH, y producen distintos tipos de azúcares, como maltosa, glucosa o dextrinas (Esslinger, 2009). La sacarificación es el proceso más importante desde el punto de vista del rendimiento y el perfil fermentativo de la cerveza.

Peptidación de los compuestos nitrogenados. Los compuestos nitrogenados son esenciales para la nutrición de las levaduras, y también influyen en el sabor, el aroma y la estabilidad de la espuma de la cerveza. Estos compuestos provienen principalmente de las proteínas del grano, que se hidrolizan por la acción de unas enzimas llamadas proteasas. Estas enzimas liberan péptidos y aminoácidos, que son más solubles y asimilables por las levaduras.

La peptidación es un proceso que debe controlarse para evitar la formación de compuestos indeseables, como amoníaco o aminas biógenas.

Solubilización de las sales minerales. Las sales minerales son importantes para el equilibrio iónico y el pH del mosto, así como para la actividad enzimática y la salud de las levaduras (Kunze, 2014). Estas sales se encuentran en el agua de maceración y en el grano, y se disuelven durante el proceso. Algunas de las sales más relevantes son el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio, el cloruro, el sulfato y el fosfato. La composición mineral del agua y del grano puede variar según su origen, por lo que es conveniente ajustarla según el tipo de cerveza que se quiera elaborar.

Liberación de compuestos aromáticos, que provienen principalmente de los granos tostados o caramelizados. Estos compuestos contribuyen al color, al sabor y al aroma de la cerveza, y pueden ser volátiles o solubles. Algunos ejemplos son las melanoidinas, los furanos, los aldehídos o los ésteres. La cantidad y el tipo de compuestos aromáticos dependen del grado de tostado o caramelización del grano, así como de las condiciones de temperatura y tiempo de la maceración.

2.5 Filtrado del mosto y lavado

Permite separar el líquido de los granos molidos y obtener un mosto claro y rico en azúcares. La olla de macerado puede contener falso fondo cribado que retiene el bagazo (la parte sólida) y deja pasar el mosto (la parte líquida), esto también se puede hacer con una bolsa de macerado si no se tiene una olla con falso fondo. El mosto se recircula varias veces por la tina de filtración hasta que se aclara, y luego se extrae hacia la olla de cocción (Kunze, 2014).

Durante la extracción, se agrega agua caliente al bagazo para lavarlo y recuperar el máximo de extracto posible. Este proceso se llama lavado del grano o "sparging". El lavado consiste en rociar el bagazo con agua a una temperatura entre 70 y 75°C, que disuelve los

azúcares residuales y los arrastra hacia el mosto. Este debe controlarse para evitar la extracción de sustancias indeseables que pueden afectar el sabor y la estabilidad de la cerveza. La filtración del mosto debe ser rápida y eficiente, para evitar pérdidas de extracto y problemas de calidad en la cerveza. Algunos factores que influyen en la filtrabilidad del mosto son: la calidad de la malta, el tipo y grado de molienda, la temperatura y el pH del mosto, el uso de enzimas o aditivos clarificantes, y el diseño y operación de la tina de filtración (Mallett, 2014).

2.6 Cocción del mosto y lupulado

El mosto clarificado debe ser hervido intensiva y vigorosamente por 1 a 2 horas y es durante este período de tiempo en que se agrega el lúpulo (Hieronymus, 2012). En líneas generales hervimos para extraer los componentes amargos y aromáticos del lúpulo y precipitar las proteínas que, de permanecer, conferirá turbidez a la cerveza. Sin embargo, ocurre una variedad de procesos importantes que pasaremos a describir.

2.6.1 Procesos que suceden durante el hervor

Esterilización. El mosto contiene numerosos microorganismos (levaduras y bacterias) que si no son eliminados contaminarán la cerveza final, produciendo aromas y sabores desagradables, a la vez que alterarán el crecimiento de las levaduras de cultivo (Eßlinger, 2009). Para eliminarlos se debe hervir el mosto por al menos 45 minutos (Bamforth, 2006).

Desnaturalización de las enzimas. Las enzimas que son de tanta utilidad durante la maceración, deben ser desnaturalizadas en este paso, para evitar que se produzcan alteraciones indeseadas en las características del mosto obtenido, por ejemplo, cambiando la relación entre dextrinas y maltosa. Esto se consigue hirviendo el mosto por al menos 10 minutos (Kunze, 2004).

Volatilización. Producto de la temperatura a la que es sometido el mosto se produce la volatilización de compuestos como el sulfuro de dimetilo (DMS), aldehídos e hidrocarburos componentes de los aceites esenciales del lúpulo (Briggs, 1998). El DMS es el principal

derivado volátil de la malta y es quien le confiere a las cervezas tipo lager los sabores no deseados (off-flavor) descritos como “maíz dulce, repollo cocido o sopa de verduras”. Este compuesto se forma a partir de la S-metil-metionina (SMM) que es el precursor y el dimetil-sulfóxido (DMSO) que es un intermediario. Cuanto más tiempo y a mayor intensidad se hierve el mosto, mayor será la cantidad de DMS formado y menor la cantidad de SMM y DMSO remanente. El DMS no puede ser volatilizado a temperaturas inferiores a la de la ebullición, pero si puede producirse a partir de sus precursores, por lo tanto, la permanencia de estos últimos al finalizar el hervor puede generar valores indeseables de DMS en la cerveza terminada. Por lo tanto, es importante enfriar el mosto lo más rápido posible una vez que deje de hervir. Normalmente un hervor de 80-90 minutos suele ser suficiente para convertir todo el SMM (si no supera los 5 mg/kg) proveniente de la malta. Por otro lado, el lúpulo posee además de los α -ácidos otros compuestos volátiles que, si no son completamente eliminados durante el hervor, le confieren a la cerveza un sabor amargo que recuerda a pasto (Hieronimus, 2012).

Desarrollo de color. Durante el hervido el mosto se torna más oscuro debido a la formación melanoidinas, a la oxidación de polifenoles y a la caramelización de los azúcares.

En el mosto en ebullición se produce la unión entre los azúcares reductores y los aminoácidos libres presentes, por la reacción de Maillard, lo que genera diversos compuestos pigmentados, denominados melanoidinas. Si bien esta reacción ocurre en mayor proporción durante el malteado, hasta un tercio de las melanoidinas totales presentes en el producto terminado puede ser formada durante el hervido (Kunze, 2004).

La oxidación de polifenoles es otra fuente de formación de color en la cerveza. Altos niveles de carbonatos en el agua incrementan la extracción de polifenoles de la malta y el lúpulo y por lo tanto la formación de color debidos a ellos.

La caramelización es un proceso que afecta a los azúcares sometidos a una temperatura mayor a los 200 °C. El calentamiento a fuego directo de la olla y el diseño de la

misma pueden aumentar el grado de caramelización, lo mismo que el hervido por periodos extensos. Sin embargo, en algunos estilos, como las cervezas tipo ale escocesas (Scotch ales) es una característica deseable.

Isomerización de alfa-ácidos. Por acción del calor del hervor se produce la extracción y transformación de las resinas del lúpulo, principalmente la isomerización de los α -ácidos insolubles a iso- α -ácidos solubles, que son los que le confieren el

tan característico sabor amargo a la cerveza.

Los aceites esenciales del lúpulo (humuleno y mirceno), son muy volátiles por lo que a mayor tiempo de hervor menor es su incidencia en el sabor y el aroma. Sin embargo, por acción del calor se generan derivados oxigenados (como, linalol, geraniol, geranio isobutirato) con un perfil de aromas y sabores diferente (florales frutales y cítricos) (Hieronymus, 2012). Por esto los lúpulos agregados durante la mitad del tiempo de hervor tendrán un impacto mayor sobre el sabor y aquellos agregados en el último cuarto del tiempo aportarán aroma. La permanencia de los compuestos aromáticos o saborizantes depende de la potencia del hervor y de la fermentación, ya que la evolución de gases y vapor de agua durante el hervido y de dióxido de carbono durante la fermentación pueden arrastrar los compuestos saborizantes y aromatizantes activos.

La práctica de "First wort hopping", se refiere al agregado de lúpulo a la olla de hervido a medida que el mosto va entrando y antes que comience el hervor.

Normalmente, las resinas y aceites esenciales del lúpulo se volatilizan rápidamente a la temperatura de ebullición, en esta práctica en cambio, disponen de más tiempo para sufrir reacciones químicas (todavía no muy caracterizadas) que de otra forma no sucederían, generando así, cervezas muy armoniosas con un aroma más refinado y un amargor más uniforme. Esta práctica, es originaria de Alemania y ha sido usada típicamente para la fabricación de cervezas Pilsen.

Formación del turbio caliente. Las proteínas de alto peso molecular que provienen de la malta son capaces de reaccionar con carbohidratos y polifenoles tanto de la malta como del lúpulo para formar complejos de tamaño muy variable. Esto se debe a la diversidad de tamaño y grado de desnaturalización de las proteínas y a los diferentes estados de oxidación de los polifenoles, producto de la temperatura. Estos complejos forman coágulos que pueden precipitar en diversos momentos dependiendo de su tamaño y composición. Según el momento en los que precipitan forman parte del denominado turbio caliente o turbio frío (Kunze, 2004), este último sólo contiene el 10-20% del turbio total. Sin embargo, si el hervor y/o el posterior enfriado del mosto son insuficientes, pueden quedar proteínas sin reaccionar o complejos sin precipitar que lo harán luego, cuando el producto se encuentre a temperaturas bajas causando el denominado chill haze. De ahí, que la obtención de una buena cantidad y calidad de turbio tanto caliente como frío es fundamental. De todas formas, no es posible obtener una precipitación total de las proteínas presentes en el mosto, ni tampoco es aconsejable, ya que en bajas proporciones estas, mejoran la retención de la espuma y la apreciación del sabor.

Concentración. El hervido intensivo, produce movimientos vigorosos del líquido y promueve una extensiva evaporación de agua. A consecuencia de la pérdida de agua el mosto sufre una concentración. Para poder estimar el grado de concentración que se obtendrá luego del hervido es necesario conocer la tasa de evaporación, y esta depende del diseño y el material de la olla, del sistema de calentamiento y de la presión de aire. Además, como dijimos antes, la cantidad de agua evaporada es directamente proporcional a la intensidad del hervor, por lo tanto, la tasa de evaporación también nos proporciona una forma de evaluar la potencia del hervor necesario para la formación de un turbio de buena calidad, y un buen índice de la eliminación del DMS. Se considera que la tasa de evaporación óptima debe situarse entre el 6-8% y el 15%, siendo generalmente superior en las cervezas tipo lager que en las ales (Bamforth, 2006).

Antes de concluir con el hervido, diremos que como el hervido es el punto de mayor gasto de energía de todo el proceso de producción de cerveza, el tiempo y la potencia del hervor es un compromiso entre la calidad del producto deseado y la cantidad de energía que se permita utilizar. Ya que cuanto más energía se utilice mayor será la utilización del lúpulo, mejor la formación del turbio y menor la cantidad de DMS remanente. Por todo esto, si bien de lo expuesto anteriormente 2hs sería el tiempo ideal para completar la mayoría de los procesos antes mencionados, lo más común es que el hervido no se prolongue por más de 60 min.

Para separar el mosto clarificado del turbio caliente luego del hervor se hace girar el mosto a una velocidad tal (no debe superar los 5 m/s) que se genere una fuerza centrífuga por medio de la cual toda materia sólida presente, se deposite en el fondo y se agrupe en el centro de la olla formando un cono. Este procedimiento se denomina “whirlpool”.

El mosto entonces puede ser removido fácilmente por una canilla ubicada en un extremo de la base de la olla, hasta que se observe la punta del cono de sedimentos, ya que en ese momento comienza a disgregarse.

El whirlpool puede realizarse manual o automáticamente. En el caso automatizado, se utiliza una bomba para extraer mosto del fondo de la olla y reintroducirlo tangencialmente en el tercio inferior, creando un remolino efectivo (Barth, 2013).

2.7 Enfriado del mosto

Luego del hervor y clarificación, el mosto debe ser enfriado a una temperatura de 20 °C para que al ser inoculado con las levaduras estas puedan crecer y fermentar. En esta etapa es muy importante mantener la esterilidad lograda durante el hervido, ya que el período a partir que el mosto adquiere una temperatura por debajo de los 40 °C y antes que sea inoculado con las levaduras, es en el cual es más vulnerable a la colonización por microorganismos del ambiente. Luego, el crecimiento de las levaduras, la producción de alcohol y la disminución de azúcares fermentables disminuyen la probabilidad de contaminación.

El enfriamiento del mosto suele hacerse mediante el uso de uno o más intercambiadores de calor dependiendo de la eficiencia del enfriador, de la temperatura a la que se encuentre el refrigerante y de la velocidad a la que se quiera realizar el proceso. El refrigerante más utilizado es el agua, esta puede usarse a temperatura ambiente o refrigerada. También pueden utilizarse soluciones de propilenglicol o alcohol etílico en agua en diferentes concentraciones, los que permiten disminuir la temperatura de congelamiento del agua. Cuanto más concentrados se encuentren estos productos, más fría podrá mantenerse la solución. En el intercambiador de calor se genera un flujo en contracorriente del mosto en una dirección y el refrigerante en la contraria, de esta forma el proceso es más eficiente debido a que en todo momento la diferencia de temperatura entre las dos soluciones es la máxima posible.

A medida que el mosto se va enfriando a partir de los 60 °C, empiezan a formarse coágulos de complejos de proteínas y polifenoles. Estos complejos contienen menor proporción de proteínas y mayor proporción de carbohidratos (principalmente β -glucanos) que los que precipitan en el turbio caliente.

Es crucial que el enfriamiento sea rápido (idealmente no más de 20 minutos) para favorecer la precipitación del turbio frío y minimizar la formación de DMS a partir de su precursor (Briggs et al., 2004). La composición y comportamiento del turbio frío están influenciados por factores similares al turbio caliente, aunque sus partículas más pequeñas tienden a permanecer en suspensión por más tiempo (Lewis & Young, 2001).

Como el turbio frío es similar en composición al turbio caliente, se encuentra afectado básicamente por los mismos factores. Sin embargo, debido a que la mayoría de las partículas que lo conforman son más pequeñas, estas permanecen en suspensión por más tiempo y precipitan al disminuir la temperatura, pero con dificultad (un mosto a 5 °C posee un 14 % del turbio disuelto).

2.8 Fermentación

La fermentación es el proceso bioquímico por el cual la levadura transforma los azúcares del mosto de cebada en alcohol y dióxido de carbono. Es un paso esencial en la elaboración de la cerveza, ya que es el que le confiere su sabor, aroma y cuerpo característicos (Kunze, 2014).

El proceso de fermentación de la cerveza se puede dividir en cuatro etapas:

Etapa de inicio: aproximadamente 15 a 20 horas después de la adición de levadura, comienzan a aparecer pequeñas burbujas que cubren superficie con una ligera capa de espuma cremosa. En este momento la levadura acelera su reproducción. El tiempo de esta etapa depende de la temperatura inicial, cantidad y método de adición de levadura. En este sentido, se recuerda que las cervezas light suelen fermentar a temperaturas más bajas que las oscuras porque son más sensibles al "gusto a levadura", lo que se ve facilitado por temperaturas más altas.

Etapa de crecimiento exponencial: La levadura se reproduce rápidamente y consume los azúcares del mosto para producir alcohol y dióxido de carbono.

Etapa de fermentación estacionaria: La levadura deja de reproducirse y consume los azúcares restantes.

La espuma se comprime hasta formar una pila más densa que forma grumos con una característica forma rizada. Al mismo tiempo, la resina de lúpulo que no se disuelve por la disminución del pH y las sustancias que coagulan por el mismo motivo por la disminución de la temperatura comienzan a flotar en la superficie. El color de la cresta aparece de color marrón amarillento sucio, según el tipo de levadura, debido al proceso de oxidación. Esta espuma es muy amarga y espesa.

Las crestas compactas son características de una buena fermentación. Durante esta etapa, la temperatura aumenta gradualmente. Como consecuencia, la fermentación alcanza

aquí su máximo, y las crestas de espuma llegan también a su altura más considerable. Las mismas aparecen menos compactas que en la etapa anterior, debido a la mayor producción de anhídrido carbónico que las aliviana. Se acentúa la coloración amarillo pardo. La temperatura alcanza su máximo y permanece estacionaria (Boulton y Quain, 2001).

Etapa de sedimentación: La levadura se deposita en el fondo del fermentador. La actividad de la levadura disminuye considerablemente, lo que se observa por el descenso de las crestas, las células de levadura tienden a aglomerarse y comienzan a asentarse en el fondo del recipiente, presentando la cerveza un aspecto más claro.

2.8.1 Temperatura de fermentación

Las levaduras se pueden dividir en dos tipos principales: ale y lager. Las levaduras ale fermentan a temperaturas más altas, entre 18 y 24 °C, mientras que las levaduras lager fermentan a temperaturas más bajas, entre 7 y 12 °C (Kunze, 2004). Esta diferencia en la temperatura de fermentación afecta significativamente el perfil de sabor y aroma de la cerveza resultante (Bamforth, 2017).

2.8.2 Cambios en la fermentación alta

En la fermentación alta, las etapas de fermentación son similares a las de la fermentación baja, con la diferencia de que, en la tercera etapa, la levadura comienza a subir a la superficie y es retirada. El tiempo de duración es de 2 a 7 días y luego de separada la levadura, la cerveza pasa a la fermentación secundaria o lenta en recipientes adecuados con el fin de completar el grado de fermentación, sobresaturar la cerveza con dióxido de carbono y formar ésteres. La duración de esta etapa depende de la temperatura y tamaño de los recipientes.

2.8.3 Cambios en la fermentación baja

En la fermentación baja, la levadura se deposita en el fondo del recipiente al final de la fermentación. El tiempo de duración es de 7 a 14 días, dependiendo de la temperatura del proceso.

2.9 Fermentación con *Lachancea* spp.

Lachancea thermotolerans se caracteriza por su capacidad para producir ácido láctico durante la fermentación, lo que puede contribuir a la complejidad del perfil sensorial de la cerveza. Según Domizio et al. (2016), esta levadura puede producir concentraciones significativas de ácido láctico, llegando hasta 9.6 g/L en condiciones óptimas. Esta producción de ácido láctico puede resultar en una reducción del pH de la cerveza, lo que tiene implicaciones tanto para el sabor como para la estabilidad microbiológica del producto final.

Una de las ventajas de utilizar *L. thermotolerans* en la producción de cerveza es su capacidad para fermentar a temperaturas más altas que las levaduras tradicionales. Bellut et al. (2018) reportaron que esta levadura puede fermentar eficientemente a temperaturas de hasta 25°C, lo que podría resultar en ahorros energéticos en el proceso de producción.

Además, *L. thermotolerans* ha mostrado potencial para la producción de cervezas con menor contenido alcohólico. Según un estudio realizado por Callejo et al. (2019), esta levadura tiene una capacidad limitada para fermentar maltotriosa, lo que resulta en cervezas con un menor grado alcohólico en comparación con las fermentadas con *Saccharomyces cerevisiae*.

En cuanto al perfil sensorial, las cervezas fermentadas con *L. thermotolerans* tienden a tener notas más frutales y una acidez refrescante. Hranilovic et al. (2018) observaron que la fermentación con esta levadura puede resultar en concentraciones más altas de ésteres frutales, como el acetato de etilo y el acetato de isoamilo, en comparación con las fermentaciones tradicionales con *S. cerevisiae*.

Sin embargo, es importante notar que *L. thermotolerans* generalmente se utiliza en co-fermentación o fermentación secuencial con *S. cerevisiae*, ya que por sí sola no puede fermentar completamente los azúcares del mosto. Escribano et al. (2018) demostraron que la co-fermentación de *L. thermotolerans* con *S. cerevisiae* puede resultar en cervezas con perfiles sensoriales únicos y complejos, combinando la producción de ácido láctico de *L. thermotolerans* con la eficiencia fermentativa de *S. cerevisiae*.

El uso de *Lachancea* spp. en la producción de cerveza representa una innovación interesante en la industria, ofreciendo nuevas posibilidades para la creación de perfiles de sabor únicos y la producción de cervezas con características distintivas.

2.10 Filtrado y envasado

La cerveza terminada se pasa bajo presión a través de un filtro prensa que utiliza celulosa como material filtrante para separar la levadura suspendida y los pequeños grumos de proteína que la enturbian (Bamforth, 2004). Este proceso es crucial para la estabilidad y claridad de la cerveza, aunque algunas cervezas artesanales optan por no filtrar para mantener ciertos compuestos que contribuyen al sabor y aroma (Hieronymus, 2012).

Una vez eliminadas todas las sustancias turbias, se llenan las barricas y la carbonatación se realiza en barricas bajo presión. O en botellas de diferentes capacidades como 355 cm³, 660 cm³ o 1000 cm³. Al realizar una segunda fermentación en botella se añade azúcar fermentable en forma de almíbar en una cantidad de 6 a 8 mg/l para favorecer la formación de dióxido de carbono en la botella mediante la acción del resto de levaduras (Mosher y Trantham, 2017). Por este motivo se crea una cierta cantidad de sedimento en la botella que no se elimina. El tiempo de fermentación es de 2 a 4 semanas a bajas temperaturas.

Otro proceso utilizado es la pasteurización de las botellas después del envasado, dándoles duchas de agua con temperaturas progresivamente crecientes hasta 60-85°C y luego

una ducha de enfriamiento, que baja la temperatura de las botellas (Eßlinger, 2009). Este proceso ayuda a estabilizar microbiológicamente la cerveza, aunque puede afectar sutilmente su perfil organoléptico (Bamforth, 2017).

Proceso de elaboración por el método Kettle Sour.

El método Kettle Sour es muy parecido al método tradicional, pero hay que agregarle algunos pasos para la Acidificación del mosto. En este se trabaja de la misma manera, hasta el filtrado del mosto y lavado (punto 2.5 del capítulo anterior).

3.1 Primer hervor

El primer hervor se hace para eliminar cualquier bacteria no deseada que pueda estar presente en el mosto. El proceso de hervido elimina bacterias, hongos y levaduras, lo que ayuda a garantizar que el proceso de acidificación se realice de forma adecuada (Tonsmeire, 2014), este se realiza para esterilizar el mosto. Este paso es crucial para eliminar cualquier microorganismo indeseable que pueda interferir con el proceso de fermentación (Osburn et al., 2018).

Este hervor tiene 2 características principales: en este hervor no se debe agregar lúpulo, y este dura de 5 a 20 minutos. La ausencia de lúpulo en esta etapa es importante, ya que los compuestos del lúpulo pueden inhibir el crecimiento de las bacterias lácticas necesarias para la acidificación (Garret, O, 2010).

3.2 Enfriado

El mosto debe ser enfriado a una temperatura apta para los *Lactobacillus* que van a ser agregados luego. Esta temperatura debe estar entre los 38 y los 49°C. El control preciso de la temperatura es crucial para optimizar la actividad de las bacterias lácticas y evitar el crecimiento de microorganismos no deseados (Mosher y Trantham, 2017).

3.3 Fermentación láctica

La fermentación láctica se utiliza para acidificar la cerveza antes de la fermentación alcohólica. Esto se hace añadiendo bacterias lácticas a la cerveza. Las bacterias lácticas convierten los azúcares residuales en ácido láctico, lo que da a la cerveza un sabor ácido y refrescante (Kunze, 2004).

Las temperaturas de fermentación para la fermentación láctica varían según las bacterias que se utilicen. Las bacterias lácticas mesofílicas, como *Lactobacillus plantarum*, fermentan mejor a temperaturas de entre 20 y 30 °C. Las bacterias lácticas termofílicas, como *Lactobacillus delbrueckii*, fermentan mejor a temperaturas de entre 35 y 45 °C (De Keersmaecker, 2015). A la hora de elegir las bacterias lácticas para la fermentación láctica, es importante tener en cuenta el sabor que se desea conseguir. Las bacterias lácticas mesofílicas producen un sabor más suave y delicado, mientras que las bacterias lácticas termofílicas producen un sabor más ácido y picante (Bokulich & Bamforth, 2013).

El tiempo de fermentación para la fermentación láctica varía en función de la temperatura de fermentación y de la cepa de bacterias utilizada. La fermentación láctica suele tardar entre 2 y 5 días, se recomienda mantenerlo entre 12 a 48 horas, pero puede durar más tiempo en temperaturas más bajas (Spitaels et al., 2015), también es necesaria una pre-acidificación, ya sea con ácido cítrico o ácido láctico a un pH 4,5 para evitar contaminaciones. Esta pre-acidificación ayuda a crear un ambiente hostil para bacterias no deseadas y favorece el crecimiento de las bacterias lácticas seleccionadas (Tonsmeire, 2014). Luego de este paso se continúa el proceso de la misma manera donde lo habíamos dejado (se vuelve a hervir agregando lúpulo, punto 2.6 del capítulo anterior).

Elaboración

El ensayo se inicia el 2 de mayo de 2023. Este consiste en la elaboración de 15 litros de cerveza ácida producida por el método tradicional, pero utilizando una levadura *Lachancea* spp. que al momento de la fermentación va a acidificar el mosto.

El proceso de elaboración de esta cerveza duro aproximadamente 28 días

- 14 días de fermentación Alcohólica
- 14 días para la formación de gas

4.1 Método tradicional

4.1.1 Obtención del mosto

Ilustración 2

Maceración del mosto



Lo primero que se realiza es conseguir la cebada malteada, en el caso de estar el grano entero se efectúa su molienda para favorecer así la disolución de sus componentes.

Se utilizaron 2 kg de Malta Pilsen, y 2 kg de Trigo Malteado.

Donde se utilizó para el empaste 14 litros de Agua.

Se agregó el Agua y ácido Cítrico hasta un pH de 5.2, para una mejor maceración.

La relación de empaste normalmente es cerca de 3 litros de Agua por cada Kg de malta. La Temperatura del Agua durante el Macerado se intentó mantener entre 65 y 70°C, se intentó no sobrepasar los 70° para que actúe la β -amilasa, y que quede con menor azúcar residual durante 60 minutos.

La olla puede tener un falso fondo, en caso de que no lo tenga se puede utilizar una bolsa de macerado que es de lienzo, para poder filtrar el mosto en el recirculado, y evitar que el mosto

4.1.2 Ebullición del mosto

Ilustración 3

Mosto en hervor



Se llevó a ebullición durante 90 minutos, agregando en el minuto 0, se llama minuto 0 al momento en el que el mosto rompe hervor, 20 gramos de Lúpulo Spalter. Durante la ebullición se fue retirando la espuma que se va generando, porque esta genera sabores y aromas indeseados en la cerveza.

En el minuto 75, a falta de 15 minutos de terminar el proceso, se agregó Irish Moss que es un clarificante, previamente hidratado. Y se comenzó con el proceso llamado Whirlpool, para mejorar la clarificación del mosto.

Ilustración 4

Fruta utilizada como saborizante para la elaboración



Muchas veces a las cervezas ácidas se opta por agregarle jugo o pulpa de alguna fruta, para saborizar de manera natural y que esta no solo sea refrescante sino que también recuerda al aroma y sabor de una fruta.

Para estas cervezas se hizo un jugo con 2 kg de frutos rojos (arándanos, frutillas y moras), que se las paso por una juguera, y este jugo obtenido fue agregado entre el enfriado y la fermentación.

La fruta se compró congelada y para evitar contaminaciones se le hizo un leve blanqueo, para eliminar los microorganismos superficiales de la fruta.

4.1.4 Enfriado y fermentación

Ilustración 5

Mosto en fermentación con el jugo de fruta ya agregado



Se enfrió el mosto con una cama de frío, que consta de poner la olla dentro de un tanque con agua y hielo para enfriar lo más rápido posible, el agua no debe sobrepasar a la olla, para evitar que el agua entre en contacto con el mosto de cerveza.

Cuando el mosto está a aproximadamente 16 - 22 °C se trasvasa a un Fermentador de plástico apto para uso alimentario y luego se debe inocular la Levadura previamente hidratada.

La levadura utilizada es la *Lachancea* spp. de Lallemand, en el mercado se la comercializa como Philly Sour. Esta levadura obtiene tanto Alcohol, dióxido de

Carbono y Ácido Láctico.

El proceso de fermentación duró 2 semanas, hasta que el Airlock dejó de moverse, la densidad se mantuvo estable y se dejó de ver la formación de espuma en la superficie.

El filtrado es un paso opcional a la hora de elaborar cerveza. En mi caso yo lo hice con un colador y un lienzo en el que dejó caer desde la canilla del fermentador hasta el colador, y después que el líquido caiga en el lienzo. Yo lo hago para evitar sólidos gruesos en la cerveza, al no tener el equipo suficiente para hacer una maduración en frío y que los sólidos decantan, es un paso que prefiero no obviar.

4.1.5 Embotellado

Ilustración 6

Filtrado del mosto



Antes de embotellar se puede hacer un filtrado. Este es un paso opcional a la hora de elaborar cerveza. En mi caso yo lo hice con un colador y un lienzo en el que dejó caer desde la canilla del fermentador hasta el colador, y después que el líquido caiga en el lienzo. Yo lo hago para evitar sólidos gruesos en la cerveza, al no tener el equipo suficiente para hacer una maduración en frío y que los sólidos decantan, es un paso que prefiero no obviar.

Se compraron botellas de 500cc y tapas corona. Para la formación de gas se utilizó un Almíbar de 7 g por litro de cerveza, donde este se calienta para desdoblar la sacarosa y que ese azúcar sea asimilable por la levadura y genere gas. El azúcar se disolvió en Agua y fue calentada hasta que

llegue a hervor y después dejarlo enfriar para agregarlo a la cerveza.

Limpiamos las botellas con Ácido Peracético al 5% y después un enjuague, para asegurarnos de que no quede ningún rastro de Ácido.

Se envasa la cerveza y se tapa, se deja durante 1 a 2 semanas, para la buena formación de gas, en un lugar fresco. Pasadas estas 2 semanas ya tenemos lista la cerveza para el consumo.

Ilustración 7

Llenado de botellas

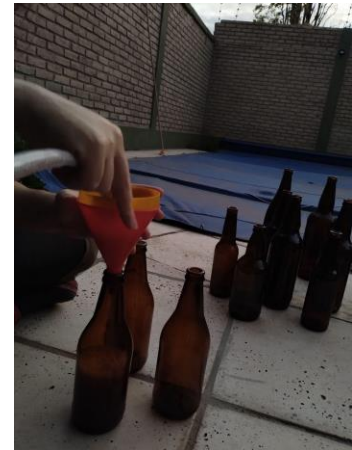


Ilustración 8

*Cerveza elaborada por el
método tradicional
terminada*



4.2 Método kettle sour

Como se explicó en el Capítulo anterior, en este proceso se hace todo de la misma manera, excepto por algunos pasos que se agregan para la acidificación del mosto.

En este proceso usamos los mismos insumos que en el anterior, tratando de mantener las mismas condiciones con el proceso anterior.

El proceso de elaboración de esta cerveza duró aproximadamente 29 días y medio

- 1 día y medio de fermentación Láctica en olla
- 14 días de fermentación Alcohólica
- 14 días para la formación de gas

Para la fermentación alcohólica se utilizó la levadura SafAle WB-06

4.2.1 Primer hervor

Después del proceso de lavado de la malta, se calienta el mosto hasta que este empieza a hervir. Luego de 10 minutos se enfrió a 40 °C y se lo dejó fermentar en olla durante 38 horas.

Se tomó como referencia el pH del mosto para detener la fermentación láctica, a un pH de 3.62.

Después de este paso el proceso sigue de manera normal.

Ilustración 9

pH de cerveza a 3.62



Ilustración 10

Cerveza elaborada por el método Kettle Sour terminada



Resultados

En el producto terminado se realizaron análisis Físicoquímicos y organolépticos, para poder determinar si los resultados obtenidos son similares entre sí y poder comparar que es lo que sucedió en cada método de elaboración. La búsqueda de este trabajo es la comparación entre ambos métodos de elaboración.

5.1 Análisis físicoquímicos

Estos análisis fueron realizados por el laboratorio Testerra

5.1.1 Método tradicional

Tabla 2

Análisis realizados en Testerra método Tradicional

| Parámetros | Valor medido | Unidad |
|--|--------------|--------|
| Acidez total expresada en Ácido Láctico | 0,61 | g%ml |
| Acidez total referido al extracto del mosto original | 6,73 | g%ml |
| Acidez Volátil expresada en ácido acético | 0,05 | g%ml |
| Acidez Volátil referido al extracto del mosto original | 0,55 | g%ml |
| Extracto Primitivo (Ep) | 9,23 | g%ml |
| Graduación alcohólica, a 20°C/20°C | 4,38 | %(V/V) |
| pH | 3,78 | - |
| Densidad | 1,010 | g/ml |

Estos análisis fueron realizados por el laboratorio Testerra

Conclusiones

1) Acidez Total:

- Acidez total expresada en ácido láctico: 0,61 g%ml
- Acidez total referida al extracto del mosto original: 6,73 g%ml

La acidez total es relativamente baja, lo que sugiere que la cerveza tiene un perfil ácido moderado. Sin embargo, se debe considerar en relación con otros factores y el estilo de la cerveza.

2) Acidez Volátil:

- Acidez volátil expresada en ácido acético: 0,05 g%ml
- Acidez volátil referida al extracto del mosto original: 0,55 g%ml

La acidez volátil también es baja, indicando que la presencia de ácidos volátiles, como el acético, es moderada. Este factor contribuye al carácter ácido de la cerveza.

3) Extracto Primitivo (Ep):

- Extracto primitivo: 9,23 g%ml

El extracto primitivo representa la cantidad de sólidos solubles en el mosto antes de la fermentación. En este caso, el valor sugiere una cantidad significativa de azúcares presentes, lo que puede contribuir al cuerpo y la dulzura de la cerveza.

4) Graduación Alcohólica:

- Graduación alcohólica, a 20°C/20°C: 4,38 %(V/V)

La graduación alcohólica indica la cantidad de alcohol presente en la cerveza. En este caso, la cerveza tiene un contenido alcohólico moderado.

5) pH: 3,78

El pH está en el rango ácido, lo cual es típico para cervezas ácidas. Este valor contribuirá al carácter refrescante y ácido de la cerveza.

6) Densidad: 1,010 g/ml

La densidad es una medida de la concentración de sólidos en la cerveza. Este valor puede influir en la sensación en boca y la percepción del cuerpo de la cerveza.

5.1.2 Método kettle sour

Tabla 3

Análisis realizados en Testerra método Kettle Sour

| Parámetros | Valor medido | Unidad |
|--|--------------|--------|
| Acidez total expresada en Ácido Láctico | 0,73 | g%ml |
| Acidez total referido al extracto del mosto original | 5,51 | g%ml |
| Acidez Volátil expresada en ácido acético | 0,01 | g%ml |
| Acidez Volátil referido al extracto del mosto original | 0,1 | g%ml |
| Extracto Primitivo (Ep) | 13,39 | g%ml |
| Graduación alcohólica, a 20°C/20°C | 5,14 | %(V/V) |
| pH | 3,53 | - |
| Densidad | 1,006 | g/ml |

Conclusiones

1. Acidez Total:

- Acidez total expresada en ácido láctico: 0,73 g%ml
- Acidez total referida al extracto del mosto original: 5,51 g%ml

La acidez total, en este caso, muestra un valor ligeramente más alto que el anterior análisis, indicando un aumento en la acidez total de la cerveza.

2. Acidez Volátil:

- Acidez volátil expresada en ácido acético: 0,01 g%ml
- Acidez volátil referida al extracto del mosto original: 0,1 g%ml

La acidez volátil sigue siendo baja, lo que significa que la cerveza mantiene un bajo contenido de ácidos volátiles como el ácido acético.

3. Extracto Primitivo (Ep):

- Extracto primitivo: 13,39 g%ml

El extracto primitivo ha aumentado significativamente en comparación con los resultados anteriores. Esto sugiere una mayor concentración de azúcares antes de la fermentación, lo que puede afectar el cuerpo y la dulzura de la cerveza.

4. Graduación Alcohólica:

- Graduación alcohólica, a 20°C/20°C: 5,14 %(V/V)

La graduación alcohólica ha aumentado ligeramente, lo que indica un mayor contenido de alcohol en comparación con la medición anterior.

5. pH: 3,53

El pH ha disminuido, volviéndose más ácido en comparación con los resultados anteriores. Esto contribuirá a una percepción más aguda de acidez en la cerveza.

6. Densidad: 1,006 g/ml

La densidad ha disminuido, lo que sugiere una menor concentración de sólidos en la cerveza. Esto puede influir en la sensación en boca y la ligereza general de la cerveza.

En resumen, en comparación con los resultados anteriores, esta cerveza ácida con frutos rojos muestra un aumento en la acidez total, extracto primitivo y graduación alcohólica, mientras que el pH ha disminuido. Estos cambios pueden afectar la percepción y el equilibrio de la cerveza, proporcionando un perfil más ácido y alcohólico con una menor densidad.

5.2 Análisis sensorial

5.2.1 Método tradicional

Tabla 4

Análisis sensorial realizado por 9 alumnos del último año de sommelier de la Universidad Católica de Cuyo de la cerveza elaborada por el método Tradicional

| Degustador | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Promedio |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|
| Aspecto del líquido | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,77 |
| Color | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2,11 |
| Persistencia de la espuma | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 3 | - | 2 | 0 | 2,12 |
| Aromas a malta | 0 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2,77 |
| Aromas a lúpulo | 0 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2,77 |
| Aromas a fruta | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3,22 |
| Aromas indeseables | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,66 |
| Sabores a malta | 0 | 2 | 5 | 4 | 4 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2,33 |
| Sabores a lúpulo | 0 | 2 | 5 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2,22 |
| Sabor amargo | - | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| Sabores a fruta | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 0 | 4 | 2,88 |
| Retrogusto | 2 | 4 | - | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2,37 |
| Carbonatación | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2,33 |
| Astringencia | 5 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1,22 |
| Acidez | 5 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Sabor Tostado | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 0 | | 0 | 0 | 1 |
| Calidad General | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2,77 |

Comentarios de los degustadores.

- Aspecto del líquido: Turbio, espeso, no muy agradable.
- Color: Opaco, poco intenso, rosa suave vintage, rosa viejo
- Persistencia de la espuma: Poca espuma al servir
- Aromas: Menos aroma a malta, más aroma a fruta roja, menos levadura.
- Malta: Muy cremosa, con un toque más amargo.
- Acidez: La acidez impacta menos que en la anterior.
- Calidad General: Más armónica en general, la turbidez no termina de agrandar, mucha borra, mejor sabor.

5.2.2 Método kettle sour

Tabla 5

Análisis sensorial realizado por 9 alumnos del último año de sommelier de la Universidad

Católica de Cuyo de la cerveza elaborada por el método Kettle Sour

| Degustador | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Promedio |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|
| Aspecto del líquido | 5 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3,33 |
| Color | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4,44 |
| Persistencia de la espuma | 2 | 5 | 1 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3,55 |
| Aromas a malta | 1 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3,55 |
| Aromas a lúpulo | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2,55 |
| Aromas a fruta | 1 | 3 | 3 | 4 | 5 | 2 | 4 | 0 | 3 | 2,77 |
| Aromas indeseables | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| Sabores a malta | 0 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2,33 |
| Sabores a lúpulo | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2,33 |
| Sabores a fruta | 0 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 | 0 | 3 | 2,55 |
| Sabor amargo | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,33 |
| Retrogusto | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2,44 |
| Carbonatación | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3,33 |
| Astringencia | 5 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 |
| Acidez | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4,55 |
| Sabor Tostado | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1,22 |
| Calidad General | 2 | 4 | 3 | 5 | 3 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3,11 |

Comentarios de los degustadores.

- Aspecto del líquido: Brillante, límpido

- Color: Salmón, piel de cebolla, tonos anaranjados.
- Persistencia de la espuma: Buena cantidad de espuma al servir.
- Malta: Mucho aroma a levadura y cereal.
- Fruta: Fruta roja, frutilla, notas de durazno, toque cítrico.
- Lúpulo: Cítrico, un poco amargo.
- Fruta: Cítrica, frutilla, lima.
- Acidez: Muy buena acidez, notas de lima verde.
- Calidad General: Buenos sabores y aromas, pero las frutas están muy presentes, y se pierde el gusto a cerveza.

5.2.3 Observaciones generales

Ambas cervezas son generalmente bien evaluadas, con puntuaciones que indican una calidad buena; el método kettle sour parece tener un aspecto más atractivo y un color más intenso en comparación con el método tradicional, ambas cervezas tienen una persistencia de espuma decente, el método kettle sour destaca en la acidez y en los aromas frutales, mientras que el método tradicional tiene puntuaciones ligeramente más altas en aspectos como el color y la persistencia de la espuma.

5.2.4 Datos a tener en cuenta

Astringencia: Es positivo que la astringencia sea baja. La astringencia puede afectar negativamente la percepción de la cerveza, y en este caso, tener una baja astringencia es beneficioso para resaltar los sabores frutales y mantener la suavidad en boca.

Sabor Tostado: Un bajo sabor tostado es consistente con el perfil de una cerveza ácida con frutas. Los sabores tostados podrían competir o enmascarar los sabores frutales, por lo que una baja presencia de estos sabores es preferible.

Estabilidad de Espuma: Es común que las cervezas ácidas tengan una estabilidad de espuma reducida debido a la acidez. La acidez puede afectar la formación y retención de la

espuma. Esto no es necesariamente un aspecto negativo en este estilo de cerveza, siempre y cuando la persistencia de la espuma sea aceptable para los estándares del estilo y las preferencias de los bebedores.

Conclusiones

La elaboración de cerveza ácida, como se detalla en este trabajo, representa un interesante desafío técnico que combina la tradición con la innovación. Retomando la introducción, esta investigación comparó los métodos de producción más comunes, el tradicional con levadura *Lachancea* spp. y el Kettle Sour, explorando sus ventajas e inconvenientes para determinar cuál genera mejores resultados en términos de sabor, aroma y otros parámetros organolépticos y fisicoquímicos. A partir de esta comparación, se confirmó que ambos métodos tienen características únicas que los hacen adecuados para diferentes estilos de cerveza y necesidades de producción, proporcionando así a la industria cervecera y a los productores artesanales herramientas valiosas para la elección del método más acorde a sus objetivos.

En la investigación realizada, se determinó que ambos métodos de producción de cerveza, el método Kettle Sour y el método tradicional con la adición de levadura *Lachancea* spp., lograron producir cervezas con el nivel de acidez deseado sin ser invasivamente ácidas para el consumidor. Ambas presentaron un menor porcentaje de alcohol debido a la conversión de azúcares en ácido láctico, lo que resultó en una cerveza ligera y muy bebible. Las cervezas lograron destacar por sus sabores frutales, acompañados de una baja astringencia y un bajo sabor tostado, contribuyendo a una experiencia de sabor más limpia y fresca. La estabilidad de la espuma fue moderada, lo cual es comprensible considerando la acidez de ambas cervezas.

Cada método presentó ventajas e inconvenientes significativos. El método tradicional con levadura *Lachancea* spp. permite un tiempo de producción más corto y garantiza un nivel de acidez constante en la cerveza, mientras que el método Kettle Sour ofrece un mayor control sobre el proceso de fermentación, produciendo un perfil de sabor más complejo, aunque requiere un control cuidadoso para evitar una acidificación excesiva. Sin embargo, este último

también implica un tiempo de producción más largo, lo que puede ser un desafío en ciertos contextos.

Según los resultados obtenidos, el método Kettle Sour es más adecuado para estilos como Berliner Weisse, Gose y Lambic, que requieren un sabor ácido pronunciado. Por otro lado, el método tradicional con levadura *Lachancea spp.* es ideal para estilos como la Flanders Red Ale y la Oud Bruin, que buscan un perfil ácido menos intenso.

En última instancia, la elección del método depende de factores como el estilo de cerveza deseado, los recursos disponibles, las limitaciones de tiempo y las preferencias del cervecero. Mientras que el método Kettle Sour es más exigente en términos de tiempo y recursos, el método tradicional es más rápido y sencillo, lo que lo convierte en una opción viable para cervecerías con restricciones logísticas. Ambos métodos ofrecen alternativas viables y valiosas, demostrando que la innovación y la tradición pueden coexistir para enriquecer el panorama de la producción cervecera.

Índice Bibliográfico

Bamforth, C. W. (2009). Beer: Tap into the Art and Science of Brewing. Oxford University Press.

Osburn, K., Amaral, J., Metcalf, S. R., Nickens, D. M., Miller, J., & Rogers, C. M. (2018). Mixed-culture fermentation with *Lachancea* spp. and its potential in brewing. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 76(3), 226-234.

Codigo alimentario argentino

Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., & Stevens, R. (2004). *Brewing: Science and Practice*. Woodhead Publishing.

Briggs, D. E. (1998). *Malts and malting*. Springer Science & Business Media.

González, Marcos. *Principios de Elaboracion de Las Cervezas Artesanales*. 1 ed., Lulu.com, 2017.

Garrett, O. (2010). *The Oxford Companion to Beer*. Oxford University Press.

Steenackers, B., De Cooman, L., & De Vos, D. (2015). Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: A review. *Food Chemistry*, 172, 742-756.

Kunze, W. (2004). *Technology Brewing and Malting* (3rd ed.). VLB Berlin.

White, C., & Zainasheff, J. (2010). *Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation*. Brewers Publications.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2015). *Brock Biology of Microorganisms* (14th ed.). Pearson.

Bamforth, C. W. (2017). Progress in Brewing Science and Beer Production. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 8, 161-176.

Boulton, C., & Quain, D. (2001). *Brewing Yeast and Fermentation*. Blackwell Science Ltd.

Bokulich, N. A., & Bamforth, C. W. (2013). The microbiology of malting and brewing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 77(2), 157-172.

<https://doi.org/10.1128/MMBR.00060-12>

Lowe, D. P., & Arendt, E. K. (2004). The use and effects of lactic acid bacteria in malting and brewing with their relationships to antifungal activity, mycotoxins and gushing: a review. *Journal of the Institute of Brewing*, 110(3), 163-180.

Mallett, J. (2014). *Malt: A practical guide from field to brewhouse*. Brewers Publications.

Johnson, L., Smith, K., & Wilson, D. (2018). Malting barley: Quality factors and their measurement. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(2), 89-103.

O'Rourke, T. (2002). The function of the malting process. *Brewer International*, 2(10), 14-21.

Hieronymus, S. (2012). *For The Love of Hops: The Practical Guide to Aroma, Bitterness and the Culture of Hops*. Brewers Publications.

Eßlinger, H. M. (2009). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. Wiley-VCH.

Mosher, R., & Trantham, K. (2017). *Mastering homebrew: The complete guide to brewing delicious beer*. Chronicle Books.

Capece, A., Romaniello, R., Pietrafesa, A., Siesto, G., Pietrafesa, R., Zambuto, M., & Romano, P. (2018). Use of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* in co-fermentations with *S. cerevisiae* for the production of craft beers with potential healthy value-added. *International Journal of Food Microbiology*, 284, 22-30.

De Keersmaecker, J. (2015). *Lactobacillus*. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 501-508). Academic Press.

Osburn, K., Amaral, J., Metcalf, S. R., Nickens, D. M., Rogers, C. M., Sausen, C., Caputo, R., Miller, J., Li, H., Tennessen, J. M., & Bochman, M. L. (2018). Primary souring: A novel bacteria-free method for sour beer production. *Food Microbiology*, 70, 76-84.

Peyer, L. C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2017). Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 12-24.

Spitaels, F., Wieme, A. D., Janssens, M., Aerts, M., Daniel, H. M., Van Landschoot, A., De Vuyst, L., & Vandamme, P. (2015). The microbial diversity of traditional spontaneously fermented lambic beer. *PloS One*, 10(4),

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Escala de pH y concentración de iones H+..... | 11 |
| Tabla 2 <i>Análisis realizados en Testerra Metodo Tradicional.....</i> | 63 |
| Tabla 3 <i>Análisis realizados en Testerra Metodo Kettle Sour.....</i> | 65 |
| Tabla 4 <i>Análisis sensorial realizado por 9 alumnos del último año de sommelier de la Universidad Católica de Cuyo de la cerveza elaborada por el metodo Tradicional.....</i> | 66 |
| Tabla 5 <i>Análisis sensorial realizado por 9 alumnos del último año de sommelier de la Universidad Católica de Cuyo de la cerveza elaborada por el método Kettle Sour.....</i> | 68 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1 <i>Fases de la propagación de levadura</i> | 28 |
| Ilustración 2 <i>Maceración del mosto</i> | 57 |
| Ilustración 3 <i>Mosto en hervor</i> | 58 |
| Ilustración 4 <i>Fruta utilizada como saborizante para la elaboración</i> | 58 |
| Ilustración 5 <i>Mosto en fermentación con el jugo de fruta ya agregado</i> | 59 |
| Ilustración 6 <i>Filtrado del mosto</i> | 60 |
| Ilustración 7 <i>Llenado de botellas</i> | 60 |
| Ilustración 8 <i>Cerveza elaborada por el metodo tradicional terminada</i> | 61 |
| Ilustración 9 <i>pH de cerveza a 3.62</i> | 62 |
| Ilustración 10 <i>Cerveza elaborada por el metodo Kettle Sour terminada</i> | 62 |