

**Adrián Roc Roc**

**OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE  
EXTRACCIÓN DE AZÚCARES EN LAS  
INSTALACIONES DE LA “COMPANYIA  
ARTESANA DE MAIANS S.L”**

**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

**Dirigido por el Dr. Jordi de Mier Vinue**

**Máster en Bebidas Fermentadas**

**Facultat d'Enologia**



**UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI**

**Tarragona**

**14 de Junio de 2021**

---

**Índice:**

<b>1. Resumen.....</b>	<b>Pág. 2</b>
<b>2. Introducción de los antecedentes.....</b>	<b>Pág. 3</b>
<b>3. Objetivos.....</b>	<b>Pág. 5</b>
<b>4. Búsqueda bibliográfica.....</b>	<b>Pág. 6</b>
4.1.    Efecto del molturado	Pág. 6
4.2.    Efecto del macerado	Pág. 7
<b>5. Parte experimental.....</b>	<b>Pág. 10</b>
5.1.    Efecto del molturado	Pág. 10
5.2.    Efecto del pH	Pág. 14
5.3.    Sistema de macerado	Pág. 16
<b>6. Resultados y discusión.....</b>	<b>Pág. 19</b>
6.1.    Variación del tamaño de molturado	Pág. 19
6.2.    Variación del pH (trabajar a pH= 5.2 en el macerado)	Pág. 22
6.3.    Sistema de macerado (Trabajar con un macerado escalonado)	Pág. 24
<b>7. Estudio del <i>brewhouse</i>.....</b>	<b>Pág. 26</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>Pág. 27</b>
<b>9. Referencias.....</b>	<b>Pág. 29</b>
<b>10. Anexos.....</b>	<b>Pág. 30</b>

---

## 1. Resumen:

El siguiente proyecto presenta una serie de condiciones propuestas para mejorar el extracto de azúcares de la malta en distintas elaboraciones de cerveza de la Companyia Artesana de Maians S.L. Estas propuestas de mejora surgen a raíz de los problemas de rendimiento que la empresa padece en su *brewhouse*, con el que se obtienen valores de extracto muy bajos. Tras realizar una revisión bibliográfica en la que se establecen diferentes recomendaciones para la optimización del porcentaje de extracto, se ha decidido cambiar en distintos lotes el pH de macerado, el tamaño del grano molido y el sistema de macerado para evaluar su efecto sobre el rendimiento final. Además, se ha realizado un estudio del *brewhouse* para determinar los posibles factores que provocan la caída del rendimiento de extracto. A partir de los datos recopilados tras establecer las diferentes medidas, se han extraído una serie de conclusiones y propuestas de mejora para la optimización del proceso de elaboración.

The following project presents a series of conditions proposed to improve the extract of sugars from malt in different brews of the "Companyia Artesana de Maians S.L." These improvement proposals arise as a result of the performance problems that the company suffers in its brewhouse, with which very low extract values are obtained. After carrying out a bibliographic review in which different proposals are established for the optimization of the extract percentage, it has been decided to change the maceration pH, the size of the ground grain and the maceration system in different batches to evaluate its effect on the final yield. In addition, a brewhouse study has been carried out to determine the possible factors that cause the drop in the extract yield. From the data collected after establishing the different measures, a series of conclusions and proposals for improvement have been drawn to optimize the production process.

---

## 2. Introducción de los antecedentes:

La Compañía Artesana de Maians S.L, de ahora en adelante Espiga, fue fundada en 2013 y desde entonces dispone de un *brewhouse* de la casa comercial Nart con una capacidad de producción máxima de aproximadamente 1300 litros por lote. Desde los inicios todas sus elaboraciones han presentado problemas en el rendimiento de extracto de azúcar tras el proceso de macerado, obteniendo valores muy bajos respecto a los esperados y que conllevan un incremento económico en la producción y un consumo excesivo de malta en la mayoría de las elaboraciones. Por lo tanto, a lo largo de estos siete años se han modificado las recetas y se han utilizado distintas materias primas con el objetivo de mejorar el extracto y reducir costes de producción, aunque el éxito logrado ha sido mínimo.

Espiga divide sus elaboraciones en función de los quilogramos de malta utilizados por cada *batch* (lote en una misma producción). Las elaboraciones de alta carga son aquellas en las que se utiliza una cantidad de malta próxima a los 500 kg por *batch* en el macerado y que, por lo tanto, requieren una mayor cantidad de agua durante este proceso; las de media carga requieren aproximadamente 400 kg de malta y las de baja carga de 300 kg. Actualmente el proceso seguido en todas sus elaboraciones es el mismo: Espiga trabaja mediante infusión simple en un *mash tun* (macerado y filtrado se realizan en un mismo tanque) a una temperatura de 63°C y un pH de 5.3 - 5.4, dependiendo si se está elaborando un estilo no Hazy o Hazy respectivamente. Con estas condiciones de temperatura y pH se garantiza una buena actividad de todos los enzimas hidrolíticos, encargados de hidrolizar el almidón para la obtención de azúcares más sencillos solubles en agua. En todos los casos se establece un ratio de agua de entre 2.3 l/Kg y 2.5 l/Kg durante el macerado, lo que explica que en las elaboraciones de alta carga se requiera un mayor volumen de agua. Durante el proceso de *mash-in*, es decir, cuando la malta y el agua entran al macerador, se trabaja a una temperatura de 70°C, que es a la que sale el agua de producción (*liquor*) del *hot liquor tank* (tanque dónde mantiene el agua de producción a la temperatura deseada). A esta temperatura se produce la gelatinización del almidón, dónde éste absorbe agua aumentando la vulnerabilidad ante la acción de las beta-amilasas. El contenido del macerador se remueve automáticamente durante 30 minutos para que sea lo más homogéneo posible y seguidamente se deja reposar durante 60 minutos (tiempo establecido de macerado) a una temperatura de 63°C, de esta manera se establece un lecho filtrante firme y uniforme a la vez que tiene lugar el proceso de maceración. Pasados los 60 minutos de maceración, Espiga no realiza un *mash-out*, es decir, un aumento de la temperatura para inhibir la actividad enzimática, ya que esta subida de temperatura tiene lugar posteriormente con el agua de *sparging*. Tras la maceración se establece un recirculado de aproximadamente 12 minutos para filtrar el mosto a través del lecho filtrante y reducir así su turbidez, a la vez que se extraer mayor contenido de azúcares de la malta. Tras este proceso, el mosto se trasvasa al *boiler* (tanque dónde se realiza la cocción del mosto) pasando antes por el pulmón y simultáneamente se realiza un lavado del lecho filtrante mediante *sparging* con agua del *liquor* durante 1:30h a una temperatura de 78°C. El *sparging* arrastra el azúcar retenido en el lecho filtrante mejorando el extracto del proceso y por lo tanto el extracto final, además a esta temperatura se inactivan los enzimas, de manera que se paraliza la maceración. Tal como se va llenando el *boiler*, se van tomando muestras del mosto

para controlar la densidad y el pH, ya que, dependiendo de la cepa de levadura que se utilice y el volumen de cerveza que se quiera elaborar, la densidad objetivo antes del hervido será mayor o menor. Por ejemplo, si se utiliza una cepa de levadura muy atenuante, interesa tener menor densidad en el mosto final para que la cerveza resultante tras la fermentación se mantenga dentro de los valores establecidos que caracterizan su estilo. El proceso de hervido tiene una duración de una hora a una temperatura de 100°C, en el cual se esteriliza el mosto y se añade, en su inicio, el lúpulo que corresponda para la elaboración que se esté realizando, con el objetivo de isomerizar los alfa ácidos que actuarán como conservante de la cerveza. Durante el proceso se trabaja con la tapa abierta para evaporar compuestos no deseados procedentes de la malta como es el DMS, o el mirceno procedente del lúpulo, alcanzando un ratio de evaporación del 2%. Esta evaporación aparte de eliminar los compuestos no deseados aumenta la concentración de azúcares en el mosto y por lo tanto su densidad. El mosto es trasvasado al *whirlpool* dónde se enfría hasta los 80 - 90°C durante 20 minutos y precipitan todos aquellos compuestos no solubles como la fracción herbácea del lúpulo o las proteínas de gran peso molecular procedentes de la malta. En el *whirlpool*, además, dependiendo de la receta se añade lúpulo que aporta aromas procedentes de los aceites esenciales que residen en él, y agua del *liquor* que enfría el mosto y lo diluye hasta la densidad objetivo en el fermentador. El volumen añadido depende del tipo de cerveza y la atenuación de la cepa de levadura inoculada en el fermentador. Terminado el proceso de *whirlpool* el mosto es trasvasado al fermentador, haciéndolo pasar por un intercambiador de placas en el que es enfriado hasta los 20°C necesarios para poder inocular la levadura sin alterar su vitalidad y viabilidad.

Siguiendo este proceso de elaboración se ha obtenido el rendimiento aproximado de una serie de lotes de distintas divisiones de carga antes del hervido y una vez trasvasados al fermentador. Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Tabla 1: Porcentaje de extracto obtenido en diferentes elaboraciones de distintas cargas:

Carga	Lote	Extracto antes de hervir (%)	Extracto en el fermentador (%)
Alta	Imperial stout (21-473)	39.98%	35.41%
	Doble IPA single hop Mosaic (20-470)	39.29 %	34.19%
Media	Citrus Base (20-448)	63.65 %	64.83 %
	Hazy IPA (21-485)	66.36 %	71.10 %
Baja	Garage (21-480)	65.86 %	62.92 %
	Blonde (21-484)	72.25 %	54.10 %*

\*La bajada del rendimiento tan brusca es debida a un error en la toma de muestra antes de hervir del segundo *batch* y en el propio error instrumental (la densidad antes de hervir se determina con refractómetro y la densidad en el fermentador con el densímetro).

Espiga no controla la cantidad de mosto que entra en el boiler, por lo tanto, el cálculo de los rendimientos antes del hervido es una aproximación (Anexo 1), considerando 600 litros entrados en las elaboraciones de alta carga, 1100 litros en las de media carga y 1200 litros en las de baja carga. El volumen entrado en el fermentador sí que está regulado mediante un caudalímetro, por lo tanto, los valores de rendimiento obtenido son más fiables, pero más difíciles de comparar debido a que para cada estilo de cerveza se establece una densidad

objetivo distinta y se usan distintas cepas de levadura que pueden ser más o menos atenuantes.

Aún y así, se observa que los rendimientos obtenidos en las distintas elaboraciones son muy bajos, ya que idealmente se busca que el rendimiento del *brewhouse* sea lo más cercano al 100% y más aún si consideramos la magnitud de producción de esta cervecera y el equipamiento del que dispone. Como ya he comentado, un rendimiento bajo conlleva un mayor coste de producción, ya que, para obtener la misma concentración de azúcar en el mosto, se requiere más cantidad de malta, por esta razón, es necesario hallar la manera de incrementar el rendimiento de extracto en las elaboraciones de Espiga.



Imagen 1: Brewhouse de Espiga.

### 3. Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es encontrar unas condiciones óptimas en la elaboración del mosto para obtener un mayor rendimiento de extracto y por tanto una reducción en los costes de elaboración. Todo ello trabajando con el equipo que Espiga dispone actualmente y sin realizar ningún tipo de modificación sobre éste.

Para conseguir el objetivo propuesto, antes se deben lograr otros propósitos:

- Realizar una búsqueda bibliográfica específica sobre el campo de trabajo.
- Conocer la manera de establecer las condiciones de mejora propuestas.
- Aplicar y estudiar los efectos de las modificaciones establecidas.
- Establecer conclusiones sobre los resultados obtenidos.
- Encontrar las posibles fuentes de disminución del porcentaje de extracto ajenas a las condiciones de trabajo aplicadas.

---

#### 4. Búsqueda bibliográfica:

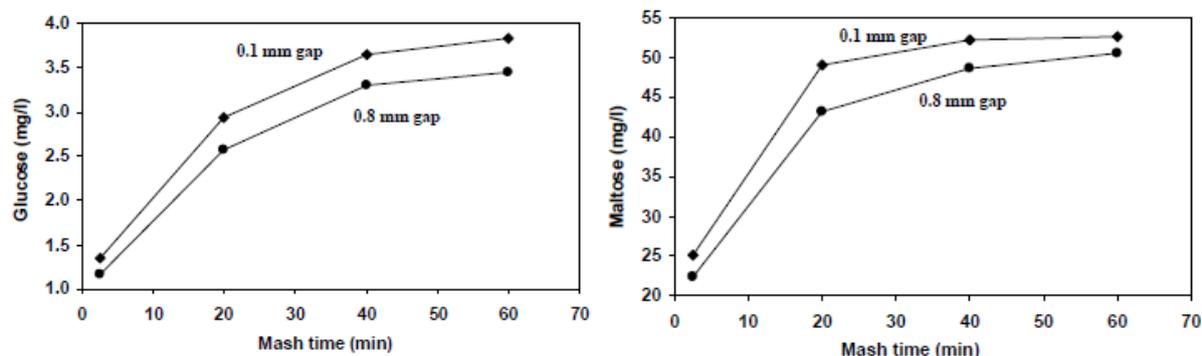
Para tratar de mejorar el rendimiento de extracto, antes se debe realizar una búsqueda bibliográfica para partir de unas bases que nos puedan servir de ayuda para alcanzar el objetivo establecido.

##### 4.1. Efecto del molturado:

Para el molturado de las maltas, Espiga utiliza un molino de dos rodillos de la marca Sommer Haferboy del modelo Piccolo 11s monofásico con una potencia de 1.1 KW. Las recetas establecen 2 molturados distintos en una misma elaboración. Para el molturado de las maltas base se establece un espacio entre rodillos de 1 mm. Obteniendo así una malta con la cascarilla prácticamente intacta, que actúa como filtro en el proceso de *lautering* (filtrado del mosto) posterior al macerado, pero con una molienda del endospermo adecuada como para obtener un extracto de azúcar lo suficientemente grande para la elaboración del producto deseado. Por otra parte, para el molturado de adjuntos, como es el caso de las *oat malt*, se establece una distancia entre rodillos de aproximadamente 0.5 mm, de tal forma que se obtiene una molienda más fina de la que se puede extraer una mayor cantidad de azúcar, siempre considerando que el rendimiento de extracción de los adjuntos es inferior al rendimiento de extracción de las maltas base.

Establecer una molienda más gruesa en las maltas base, no solo permite obtener una malta con la cascarilla intacta tal y como ya he comentado, sino que además permite reducir la extracción de taninos presentes en la misma, que podrían aportar problemas organolépticos en nuestro producto final, al igual que sobrecoloración en la cerveza o problemas de filtración.<sup>1</sup> En contraposición a las ventajas aportadas por una molienda gruesa, tenemos que, el rendimiento de extracción de azúcares generalmente disminuye.<sup>2</sup>

El molturado, por lo tanto, es una etapa importante en la elaboración de cerveza, puesto que afecta a las etapas posteriores (obtención de azúcares, velocidad de separación del mosto...) y por lo tanto afecta a la calidad final del producto. Estudios previos han determinado el efecto de los diferentes parámetros de la molienda sobre la hidrólisis del almidón (tiempo de macerado y concentración de azúcares). Estos parámetros son: El tipo de molienda (martillo o rodillos), el espacio entre rodillos en el molino, la velocidad del rodillo y el efecto de la velocidad diferencial de los rodillos;<sup>3</sup> aunque también debería considerarse el estado en el que se encuentran los rodillos. Con el equipo que dispone Espiga, tan solo podemos determinar cómo afecta la variación del espacio entre rodillos a la hora de molturar y, por lo tanto, tener una molienda más fina o gruesa variando este parámetro, ya que no podemos modificar la velocidad de los rodillos y no disponemos de un molino de martillo. Según el estudio realizado por Z. Mousia et. al. (2003) en el que se determinó la concentración de maltosa y glucosa del mosto en función del espacio entre rodillos, se demostró que esta concentración aumentaba como menor era la distancia entre éstos, además el tiempo necesario para alcanzar una misma concentración de azúcares se veía reducido (Gráficos 1 A y 1 B).



Gráficos 1 A y 1 B: Concentración de glucosa y maltosa en función del tiempo de macerado y el espacio entre rodillos.

Fuente: Z. Mousia et. al, 2003.

Al reducir el espacio entre rodillos, el almidón del grano queda más dañado y está más expuesto a los enzimas hidrolíticos, de manera que el proceso de hidrolisis se acelera.<sup>4</sup> Teniendo en cuenta estas consideraciones, hemos determinado como afecta en el rendimiento tener un molturado más o menos fino variando la distancia entre rodillos del molino.

#### 4.2. Efecto del macerado:

El macerado es la etapa en la que la malta molida y los adjuntos, en el caso de ser utilizados, se mezclan con agua a una temperatura y volumen establecidos para continuar los cambios bioquímicos de la malta ya iniciados durante el malteado. La malta y los adjuntos se hidratan, el almidón se gelatiniza, las sustancias solubles se disuelven y los enzimas convierten de forma activa el almidón en azúcar fermentable. Como resultado se obtiene el mosto con una densidad marcada, una proporción establecida de azúcares fermentables y no fermentables, y proteínas que afectarán a las características físicas y químicas del mosto durante la fermentación.<sup>1</sup>

La atenuación límite aparente (AAL, del inglés *Apparent Attenuation Limit*) es un parámetro muy importante usado por los cerveceros para evaluar el potencial enzimático de las maltas, así como de la elaboración del mosto. Mediante este factor se puede determinar aproximadamente la cantidad de azúcar fermentable que contiene el mosto a partir de la diferencia de la densidad antes y después del proceso de fermentación.<sup>5</sup> Tal y como he comentado en el apartado anterior, el hecho de tener una molienda más fina supone una mayor liberación de enzimas, además el almidón tiene una mayor superficie de contacto y está más expuesto a la acción enzimática, esto permite trabajar a tiempos de macerado más cortos. Asimismo, deben considerarse las condiciones de macerado, que también influyen sobre la composición y la atenuación final del mosto.<sup>6</sup>

Diferentes factores afectan a las condiciones del macerado y por lo tanto al rendimiento de extracto de azúcares durante este mismo proceso. Esos factores son principalmente: La temperatura, el pH, la modificación de la malta utilizada, la proporción de agua y malta, el sistema de macerado (infusión simple o escalonada) y la agitación durante el proceso.

- **Temperatura y pH:**

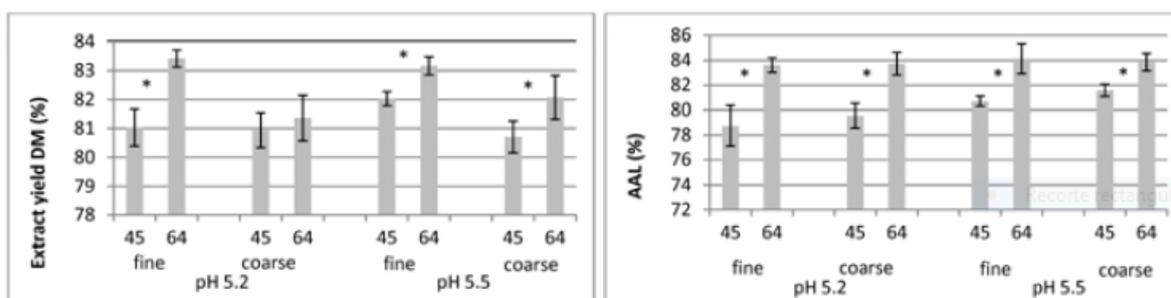
Respecto a la temperatura, como mayor sea, mayor es el rendimiento de extracto, pero menor es la proporción de azúcares fermentables, siempre y cuando no se supere la temperatura de desnaturalización de los enzimas hidrolíticos. Las altas temperaturas (72°C - 75°C) favorecen la acción de los enzimas alfa-amilasa, los cuales tienden a degradar el almidón en azúcares no fermentables como son las maltotriosas y las dextrinas. En cambio, trabajando a temperaturas más bajas (60°C – 65°C) se favorece la acción de las beta amilasas, las cuales degradan el almidón a maltosa, obteniendo un menor rendimiento, pero mayor proporción de azúcar fermentable y consigo una mayor AAL. Las beta amilasas solo actúan sobre el almidón gelatinizado, por ello antes de realizar el macerado la malta debe someterse a una temperatura de entre 56°C y 66°C, dependiendo del tipo de malta, para gelatinizar el almidón.<sup>7</sup> Se ha demostrado que trabajando a una temperatura de macerado superior a la de gelatinización se obtiene una mayor AAL, por lo tanto, es preferible tener una temperatura de gelatinización inferior a 62°C para evitar la desnaturalización de las beta amilasas o las dextrinasas límite.<sup>8</sup> A una temperatura de macerado de 65°C se ha obtenido una mayor eficiencia en el rendimiento, puesto que esta temperatura está comprendida entre la temperatura de gelatinización del almidón y la retención suficiente de las dos enzimas hidrolíticas más termolábiles, las beta-amilasas y la dextrinasa límite.<sup>9</sup>

Tabla 2: Rangos de activación y condiciones de preferencia para los enzimas hidrolíticos. Fuente: Kunze. W (1996).<sup>10</sup>

Enzima	Rangos de activación	Temperaturas de preferencia	Rangos de activación pH	Rangos favoritos pH
<b>Alfa-glucosidasa</b>	60-70°C	-	4.5 - 6	5.0 -5.5
<b>Dextrinasa límite</b>	60-67°C	50-60°C	4.8 -5.8	4.8 - 5.4
<b>Beta-amilasa</b>	60-70°C	60-65°C	5.0 - 6.0	5.4 - 5.5
<b>Alfa-amilasa</b>	60-75°C	72-75°C	4.5 -5.8	5.6 - 5.8

El pH es otro factor que debe ser considerado durante el proceso de macerado. Estudios previos han determinado que a un rango de pH entre 5,2 y 5,6 se obtiene un mayor extracto, además un pH óptimo permite tener un contenido de nitrógeno suficiente en el mosto, reduce la coloración, mejora la filtración del macerado y permite una mejor clarificación de la cerveza final.<sup>1</sup>

De Rouck. G. et. al. (2013), han demostrado que trabajando a una temperatura de macerado superior a la de gelatinización (64°C) en combinación con una molienda fina, se obtiene un rendimiento superior de extracción. El pH en estas condiciones no tiene un efecto significativo, aunque el extracto se ve ligeramente favorecido a pH=5,2. Respecto a la AAL, se ha observado que siempre y cuando se trabaje a una temperatura de macerado superior a la de gelatinización, tanto el tamaño de partícula de molienda como el pH no influyen significativamente.<sup>6</sup>



Gráficos 2 A y 2 B: Comparación del porcentaje de extracto y de AAL tal y como varían las condiciones de pH, molienda y temperatura de maceración.

El extracto se ve favorecido porqué este valor de pH se encuentra en el rango de pH de actividad de todas las enzimas hidrolíticas tal y como se puede ver en la tabla 2. Aunque realmente lo que se está promoviendo es la actividad de la dextrinasa límite, la cual se encuentra a un rango de pH óptimo de entre 4,8 y 5,4.

- **Proporción malta:agua en el macerado:**

Tener una cantidad de malta muy grande respecto a la de agua, conlleva un aumento del tiempo de macerado debido a que la acumulación de azúcar inhibe competitivamente los enzimas hidrolíticos. Por otro lado, las proporciones altas de malta aportan una mayor concentración de glucosa y maltotriosa, en cambio, macerados más diluidos aportan una mayor concentración de sacarosa y maltosa y con ello una mayor fermentabilidad. Se ha demostrado que una elevada concentración de malta durante el macerado (ratio de 1:1,8), aporta un rendimiento de extracto muy bajo tanto si se trabaja a pH 5.5 como si se trabaja a pH 5.2, previamente demostrado como el pH ideal para tener el máximo extracto; puesto que la sacarificación es insuficiente, tal y como ya he comentado. Cuando el macerado es tan concentrado, la extracción y la degradación del almidón requiere más tiempo. Cuando se diluye ligeramente el macerado (ratio entre 1:2,1 y 1:2,5), el rendimiento de extracto resulta ser mayor que si se trabaja con un ratio 1:3.5, especialmente si se trabaja a pH reducido.<sup>6</sup>

- **Sistema de macerado (macerado escalonado vs. infusión simple):**

Actualmente en su elaboraciones, Espiga trabaja mediante un sistema de infusión simple, puesto que se trata de un proceso más simple de operar y menos costoso energéticamente. Además, disponen de un macerador que no permite realizar macerados por decocción, ya que no se pueden extraer porciones de bagazo durante el proceso para calentarlas en un recipiente aparte.

El proceso de infusión simple trabaja a una misma temperatura y no requiere de “descansos”, es decir, escalonados de temperatura para favorecer la actividad de un grupo de enzimas concreto. La temperatura de conversión establecida se encuentra entre las temperaturas óptimas de los distintos enzimas hidrolíticos, en este caso 63°C. Este método se emplea sobre todo cuando se trabaja con maltas bien modificadas que solo requieren un proceso de sacarificación y no un descanso proteico, es decir, la degradación de la estructura interna del grano, favoreciendo la actividad de las proteasas y beta-glucanasas para hacer más accesible el almidón. Trabajar con maltas poco modificadas puede generar problemas de filtrado, turbidez, sabor o mala espuma. Esto, es debido a que por infusión simple no se favorece la

degradación ni solubilización de proteínas y betaglucanos. El principal problema del macerado por infusión simple es que el extracto de azúcar obtenido es inferior, pudiendo llegar a ser desde un 4 a un 5% menor al obtenido por macerado escalonado.<sup>5</sup>

Por otra parte, el macerado escalonado está constituido por una serie de descansos a varias temperaturas dentro del proceso, que favorecen la actividad enzimática. Una ventaja de este tipo de macerado es que al establecer las temperaturas de máxima actividad enzimática, el rendimiento de extracto es mayor, aunque contrasta con el mayor coste operativo y energético que requiere este sistema.<sup>1</sup>

## 5. Parte experimental:

Por razones de tiempo, disponibilidad de equipos y diseño de las recetas que la cervecera dispone, he decidido estudiar cómo afecta la disminución del pH en la etapa de macerado, la disminución del tamaño de partícula en la molienda y la variación del sistema de macerado (de macerado por infusión simple a macerado escalonado) en el rendimiento de extracción de azúcares de la malta. Todas las comparaciones se han realizado con elaboraciones de baja y media carga, ya que la densidad final en el fermentador en las elaboraciones de alta carga es muy elevada y en muchas ocasiones se añaden azúcares (dextrosa, trisuc, maltotriosa...) en el *whirlpool* o en el *boil* para incrementar el extracto alterando los resultados.

Como he comentado en la introducción del trabajo, Espiga no dispone de un caudalímetro en la entrada del *boil* y por lo tanto no se pueden realizar las comparaciones de extracto antes del hervido del mosto. Por esta razón todas las comparaciones del porcentaje de extracto obtenido, realizadas a lo largo del trabajo, se han hecho tomando los valores de densidad y volumen del mosto en el interior del fermentador justo después de ser trasvasado.

### 5.1. Efecto del molturado

Se ha determinado el efecto de la molienda sobre la densidad y el porcentaje de extracto cambiando el tamaño de partícula en el molturado. Se ha trabajado con diferentes tamaños de partícula, modificando el espacio entre rodillos del molino: 1 mm, 0.5 mm y 0.25 mm. Antes de realizar ninguna prueba para determinar el porcentaje de extracto se ha realizado un análisis del molturado para determinar el tamaño de la composición de éste. Esto se ha hecho porque el filtrado realizado tras el macerado en la cervecería Espiga se hace mediante *mash tun* y aunque un macerado más fino puede llevar a mejores extractos tal y como se ha comentado anteriormente, en exceso puede portar problemas tanto en el proceso de maceración como en la filtración posterior del mosto.<sup>11</sup>

La cascarilla actúa como filtro natural en el proceso de *lautering*, de manera que nos permite separar el mosto del grano con gran facilidad. Si el porcentaje de cascarilla es pequeño y por lo tanto el de harina es superior, se puede formar una masa que dificulta la acción enzimática y tener un extracto de azúcar más pequeño, además pueden producirse problemas de turbidez debidos a la presencia de partículas de harina en suspensión que no han sido filtradas y que pueden acabar en la cerveza final. Todo esto sumado al problema ya mencionado de la extracción en exceso de taninos procedentes de la cascarilla.

Para realizar las pruebas del análisis de molturado, el día 14/05/2021 se tomaron 3 muestras

distintas de malta Maris Otter de la casa comercial Simpsons Malt. Una muestra de malta molturada con un espacio entre rodillos de 0.5 mm, otra molturada con un espacio entre rodillos de aproximadamente 0.25 mm y una última muestra molturada con un espacio entre rodillos de 1 mm (disposición utilizada normalmente por la cervecería para molturar las maltas base) para poder comparar los valores obtenidos en el análisis de molturado. Para todas las muestras se siguió el mismo procedimiento propuesto por la American Society of Brewing Chemistry:

De las muestras tomadas se pesaron 100 g en un granatario y a continuación, utilizando una torre de tamices de la marca Labopolis de la serie 17048/10/2017, compuesto por 5 tamices con diferente tamaño de poro (de arriba a abajo: 1.25 mm, 1 mm, 0.500 mm, 0.250 mm y 0.125 mm) se determinó el porcentaje de cada malta en cada uno de los tamices. Los 100 g de malta se depositaron sobre el tamiz superior, con mayor tamaño de poro. Durante 3 minutos y de forma manual se agitó la torre de tamices con una distancia de agitación de 50 cm aproximadamente.<sup>12</sup> Para las distintas muestras se realizó la medida por duplicado obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3: Resultados de la prueba de tamizado según la distancia entre rodillos.

Poro de tamiz	1 mm		0.5 mm		0.25 mm		Ideal para <i>mash tun</i> según EBC (%)
	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	
1,250 mm	77,50	77,50%	65,00	65,33%	41,50	41,09%	8-13%
1 mm	4,50	4,50%	7,00	7,04%	8,50	8,42%	2-4%
0,5 mm	9,00	9,00%	14,50	14,57%	23,00	22,77%	14-18%
0,250 mm	3,00	3,00%	5,50	5,53%	11,50	11,39%	38-48%
0,125 mm	5,00	5,00%	7,00	7,04%	15,50	15,35%	8-12%
< 0,125 mm	1,00	1,00%	0,50	0,50%	1,00	0,99%	14-19%
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>99,50</b>	<b>100,00%</b>	<b>101,00</b>	<b>100,00%</b>	

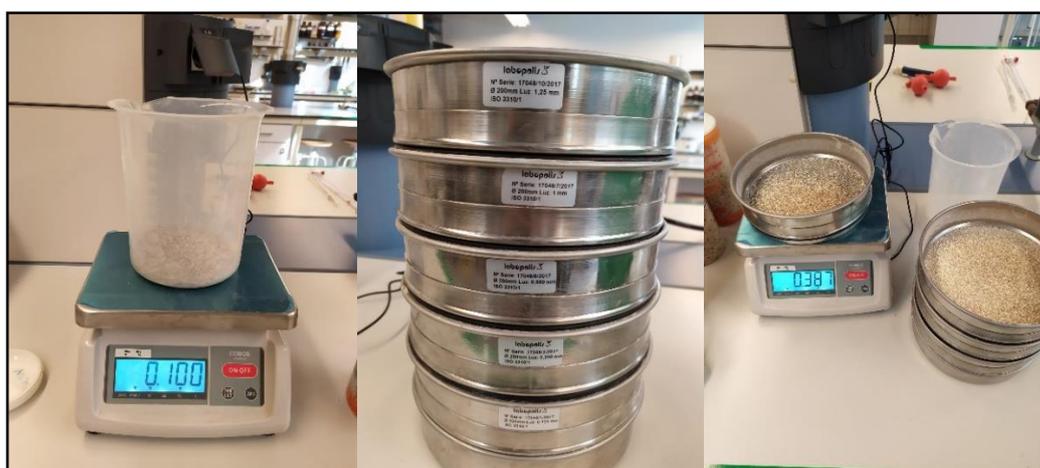


Imagen 2: Esquema del procedimiento seguido en el análisis granulométrico: 1. Pesar 100g de muestra, 2. Agitación en torre de tamices durante tres minutos, 3. Pesar cada tamiz.

En la tabla anterior aparece el promedio de las medidas por duplicado de cada tamiz y su porcentaje, además en la columna de la derecha se muestran las proporciones recomendadas por la EBC para tener un filtrado ideal mediante *mash tun*.

En función de estos resultados y considerando que Espiga hace el filtrado posterior al macerado en el *mash tun*, se ha decidido utilizar malta molturada con una distancia entre rodillos de 0,5 mm para comparar su efecto en el porcentaje de extracto respecto a elaboraciones anteriores en las que se ha utilizado malta molturada con una distancia entre rodillos de 1mm. Aunque trabajando con una distancia menor entre rodillos se obtiene un mayor porcentaje de malta fina que pueda aportar un mayor extracto, el exceso de harina puede portar problemas de filtración como he mencionado al principio de este apartado. Una molienda fina expone mejor el almidón al ataque de los enzimas hidrolíticos, pero también expone otros compuestos como beta glucanos (responsables de la viscosidad del mosto) o proteínas que conforman el grano de cebada. El proceso de macerado de Espiga es por infusión simple, trabajando a una temperatura fija de 63°C. A esta temperatura las beta-glucanasas, enzimas degradantes de betaglucanos, están completamente inactivas, ya que su rango de activación se encuentra a una temperatura de entre 20 - 50°C, por lo tanto, no se reduce la viscosidad del mosto e incrementa la dificultad de filtrado en el *lautering*. Un molturado excesivamente fino también puede llevar a la obtención en exceso de proteínas de alto peso molecular que pueden fomentar la turbidez, generar posos y repercutir en la durabilidad de la cerveza acabada.

En la tabla 3 se observa que al aplicar una distancia entre rodillos de 0,25 mm, el porcentaje de harina de malta (<0,250mm) se encuentra por debajo del rango establecido por la EBC, de todos modos, los valores recomendados son bastante optimistas teniendo en cuenta el equipo que dispone Espiga, por lo tanto nos arriesgamos a que puedan surgir los problemas mencionados.<sup>13</sup>

Para comprobar el efecto del molturado sobre la mejora del rendimiento de extracción se han comparado los rendimientos en dos elaboraciones distintas de baja carga antes y después de



Imagen 3: Espacio aplicado entre rodillos (0.5mm).

aplicar los cambios propuestos en el molturado de las maltas base. Las elaboraciones escogidas para comparar sus datos son la Mosaic, de la cual se muestran las maltas, la cantidad de cada una de ellas y su extracto teórico en la tabla 4 A y la Sunshine IPA, de la cual podemos ver las maltas utilizadas, la cantidad y su extracto teórico de cada una de ellas en la tabla 4 B. El procedimiento seguido en el *brewhouse* es el mismo para todos los lotes, comentado en la introducción de este trabajo y se ha ajustado un pH de maceración igual a 5.4. Por cada *batch* se han utilizado las siguientes cantidades y tipos de malta:

Tabla 4 A : Maltas utilizadas en cada batch para la elaboración de Mosaic.

	Maltas y Adjuntos	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico (Kg)
Mosaic	PILSNER*	80%	200	72,73%	160
	EXTRA PALE	79%	75	27,27%	59,25
	TOTAL		275	100,00%	219,25

\*En el lote 20-440 se ha utilizado una malta Pilsner de la casa comercial Swaen, mientras que para el lote 21-503 la malta Pilsner utilizada es de la casa comercial Intermalta Craft.

Tabla 4 B: Maltas utilizadas en cada batch para la elaboración de Sunshine IPA.

	Maltas y Adjuntos	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico (kg)
Sunshine IPA	EXTRA PALE	79%	175	80,46%	138,25
	OAT MALT	67%	25	11,49%	16,75
	DEXTRINE MALT	45%	12,5	5,75%	5,625
	CARAMALT*	69%	5	2,30%	3,45
	TOTAL		217,5	100,00%	164,075

\*En el lote 21-502 se añadieron 12.5kg de malta cristal light con el mismo porcentaje de extracto teórico que la malta caramalt, de manera que el extracto teórico es de 174.87 Kg.

Todos los valores de densidad final se han determinado con un densímetro que presenta un error de 0,5 g/l ya considerado en los resultados obtenidos y se ha establecido la corrección correspondiente a la temperatura del mosto, mientras que los valores de densidad en los procesos intermedios (*boil* y *whirlpool*) se han determinado mediante un refractómetro HI 96801 de Hanna.

Para determinar el efecto del molturado en la elaboración de la cerveza Mosaic se han comparado los datos obtenidos en el lote 20-440 elaborado el día 20/07/2020, en el cual se estableció una distancia entre rodillos en el molturado de 1 mm, con los datos del lote 21-503 elaborado el día 28/05/2021 en el que se ha aplicado una distancia entre rodillos en el molturado de 0.5 mm. En el lote 20-440 se ha inoculado una mezcla de levadura Nottingham de 1ª generación (2kg) y de segunda generación (30L), teniendo unas densidades finales objetivo de 1.049 g/l en ambos *batches*. En el lote 21-503 se ha inoculado la misma cepa de levadura, pero en este caso tan solo de primera generación en menor cantidad (1kg), de manera que el poder atenuante es ligeramente menor, por lo tanto, la densidad objetivo final establecida en este lote para ambos *batches* es igual a 1.054 g/l.

Los procesos de *whirlpool* entre ambos lotes también difieren. Para el lote 20-440 en el primer *batch* se añadieron 1530 g de lúpulo Mosaic en forma pellet, 250 ml de una solución al 50% de ácido cítrico para acidificar el mosto y ajustarlo a un pH de entre 4,9 – 5.1 ideal para la inoculación de las levaduras, y 200 litros de agua para ajustar la densidad a la densidad objetivo. En el segundo *batch* se añadió la misma cantidad de lúpulo y agua, pero esta vez tan solo 100 ml de la solución de ácido cítrico. En el lote 21-503 se añadieron 2120 g de lúpulo Mosaic en forma de pellet en ambos *batches* y además se añadieron 160 litros de agua para ajustar la densidad en cada uno.

De la elaboración Sunshine IPA se han comparado los datos obtenidos en el lote 20-426 elaborado el día 20/05/2020, dónde se molturaron las maltas aplicando una distancia entre rodillos de 1 mm, con los datos del lote 21-502 elaborado el día 27/05/2021 en el cual se ha aplicado una distancia entre rodillos de 0.5 mm para el molturado de las maltas. En el lote 20-426 se ha inoculado 1 kg de levadura West Coast Ale de 1ª generación y se ha establecido una densidad objetivo de 1.052 g/l en el mosto trasvasado al fermentador para el único *batch* elaborado. Para el lote 21-502 se han inoculado 110 litros de levadura California Ale de 5ª generación (la menor atenuación de esta levadura viene compensada por la cantidad añadida) estableciendo una densidad final objetivo de 1053 g/l para el primer *batch* y 1063 g/l para el segundo.

En el Whirlpool también se han establecido diferencias durante la elaboración. En el único *batch* del lote 20-426 se añadieron 3970 g de lúpulo en forma de pellet compuesto de las variedades Willamette y Simcoe. En ambos *batches* del lote 21-502 se añadieron 1980 g de lúpulo Simcoe en forma de pellet.

## 5.2. Efecto del pH:

Para la elaboración del mosto de cerveza es muy importante controlar el pH del macerado, puesto que, en función de éste la actividad enzimática variará repercutiendo al extracto de azúcar obtenido. En sus elaboraciones Espiga ajusta el agua del *hot liquor* a un pH de entre 3.5 – 4.5 con ácido cítrico al 50%, ya que, a pesar de que el rango óptimo de pH de trabajo de todos los enzimas es próximo a 5, tras añadir el agua y la malta en el macerador el pH incrementa, acercándose al valor de máxima actividad enzimática.

Ya en el macerado, el pH se ajusta a 5.3, aunque para la elaboración de cervezas Hazy se trabaja a un pH de macerado de 5.4. A este segundo valor de pH la actividad de las proteasas se ve reducida respecto al pH= 5.3, de manera que se reduce la degradación de proteínas insolubles y por lo tanto durante la fermentación aumenta ligeramente la turbidez, buscada para este estilo de cervezas.

Considerando la bibliografía encontrada,<sup>3</sup> mi propuesta es reducir el pH a 5.2 para mejorar el extracto de azúcar en el proceso de macerado. Para ello se ha trabajado con dos elaboraciones distintas, una Citrus Base, para demostrar el efecto del pH en elaboraciones de media carga y una Garage IPA para demostrar el efecto del pH en elaboraciones de baja carga. Para cada una de estas cervezas, se han comparado lotes anteriores, en los que se ha trabajado en el macerado con un pH próximo a 5.3 – 5.4, con lotes recientes, en los que se ha establecido un pH de macerado próximo a 5.2.

Las maltas utilizadas en cada estilo de cerveza y la información de cada una de éstas figuran en las tablas 5 A y 5 B para la elaboración de la Citrus Base y la Garage IPA respectivamente. En el caso de la segunda elaboración, la malta Munich fue sustituida por una malta Cristal Light, cambiando así el valor de extracto teórico. Para todas ellas se ha molturado estableciendo una distancia entre rodillos de 1 mm. Por cada *batch* se han utilizado las siguientes cantidades y tipos de malta:

Tabla 5 A : Maltas utilizadas en cada batch para la elaboración de Citrus Base.

	Maltas y Adjuntos	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico (Kg)
Citrus Base	MARIS OTTER PALE ALE	79%	150	40,00%	118,5
	MALTA LAGER (SIMPSONS)	80%	150	40,00%	120
	MALTED OATS	45%	50	13,33%	22,5
	FLAKED OATS	45%	12,5	3,33%	5,625
	GOLDEN NAKED OATS	45%	12,5	3,33%	5,625
	TOTAL			375	100,00%

Tabla 5 B: Maltas utilizadas en cada batch para la elaboración de Garage IPA.

	Maltas y Adjuntos	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico (Kg)
Garage	PILSNER (INTERMALTA)	80%	125	39,59%	100
	EXTRA PALE ALE	79%	150	47,51%	118,5
	DEXTRINE MALT	67%	25	7,92%	16,75
	MUNICH*	79%	12,5	3,96%	9,875
	RED RYE CRYSTAL	65%	3,2	1,01%	2,08
	TOTAL		315,7	100,00%	247,205

\* Para la elaboración de la Garage del lote 21-499 se utilizó Crystal Light con un extracto teórico del 69% en lugar de malta Munich en el mismo porcentaje, teniendo un extracto teórico total de 245.995 Kg.

En la elaboración de todas las cervezas estudiadas se ha seguido el mismo proceso, ya descrito anteriormente.

Todas las medidas de pH se han realizado con un pHímetro 8100 de la casa comercial ETI y se ha aplicado la corrección necesaria para la temperatura establecida mediante las tablas de conversión que el equipo dispone. Todos los valores de densidad final se han determinado con un densímetro que presenta un error de 0,5 g/l ya considerado en los resultados obtenidos y en los que se ha aplicado la corrección correspondiente a la temperatura del mosto, mientras que los valores de densidad en los procesos intermedios (*boil* y *whirlpool*) se han determinado mediante un refractómetro HI 96801 de Hanna.

Para comparar el efecto del pH en la elaboración de la Citrus base se ha trabajado con el lote 20-448 elaborado el día 19/08/2020 con un pH de macerado fijado en 5.45 en ambos *batches* y con el lote 21-498 elaborado el día 11/05/2021 con un pH de macerado fijado en el primer *batch* en 5.21 y 5.26 en el segundo. El pH inicial de macerado del primer *batch* del lote 20-448 era de 5.48 y se ajustó mediante la adición de 50 ml de una solución de ácido cítrico al 50% comercial para reducirlo en 0.05; el segundo *batch* presentaba un pH inicial de 5.55 y se redujo añadiendo 100 ml de la misma solución. En el primer *batch* del lote 21-498 no fue necesario añadir ácido cítrico para reducir el pH, ya que se obtuvo un pH=5.21, pero en el segundo *batch* se añadieron 200 ml de la solución de ácido cítrico para reducir el pH de 5.46 a 5.26. Hay que destacar que en el lote 20-448 se utilizó una mezcla de levaduras Windsor y New England de 1ª y 3ª generación respectivamente, mientras que en el lote 21-498 se utilizó solo levadura Burlington Ale yeast de 1ª generación, la cual presenta una atenuación mayor que la composición anterior. Por lo tanto, la densidad objetivo en el fermentador entre ambos lotes difiere, en el caso del lote 20-448 la densidad objetivo está marcada en 1.061 g/l para el primer *batch* y 1.060 g/l para el segundo *batch*, mientras que en el lote 21-498 tanto el primer *batch* como el segundo presentan una densidad objetivo de 1053 g/l, puesto que la levadura utilizada tiene una mayor capacidad atenuadora.

Los procesos de *whirlpool* de ambos lotes presentan diferencias. En el lote 20-448 se añadieron un total de 6610 g de lúpulo en formato pellet (Citra y Mosaic), 6000 g de harina de avena y 100 litros de agua por cada *batch*, en el lote 21-498 se añadieron en total 4435 g de pellet (Citra y Mosaic) y 300 litros de agua en el primer *batch* y 2200 g de pellet Galena en el segundo.

La comparación del efecto del pH en la Garage se ha hecho entre el lote 21-480 elaborado el día 17/02/2021 en el que se ha fijado un pH de macerado de 5.4 en el primer *batch* y 5.42 en

el segundo, y el lote 21-499 elaborado el día 13/05/2021 con un pH de macerado fijado en 5.26 para el primer *batch* y 5.32 para el segundo. El pH inicial del primer *batch* del lote 21-480 era de 5.4 y no fue necesario reducirlo, en cambio el pH del segundo *batch* era de 5.82 y se redujo hasta 5.42 añadiendo 400 ml de la solución de ácido cítrico comercial. Del lote 21-499 se obtuvo un valor de pH de macerado inicial igual a 5.26 para el primer *batch* y no se añadió ácido para reducirlo, en el segundo *batch* se obtuvo un pH de 5.32 e igual que con el primero no se añadió ácido para reducirlo. Igual que con las dos elaboraciones de Citrus, las levaduras utilizadas en estos dos lotes son diferentes. Para el lote 21-480 se ha inoculado levadura Bry-97 de primera generación, mientras que para el lote 21-499 se ha inoculado levadura California ale de cuarta generación, la cual presenta una atenuación ligeramente inferior, por esta razón las densidades objetivo antes de trasvasar el mosto al fermentador son diferentes en ambos lotes. Para el lote 21-480 el primer *batch* presenta una densidad objetivo de 1.052 g/l, igual que el segundo *batch*, en cambio para el lote 21-499 el primer *batch* tiene una densidad objetivo de 1.058 g/l (debido a la menor atenuación de la levadura inoculada) y el segundo *batch* de 1.053 g/l.

En el proceso de *whirlpool* también se establecieron diferencias. Del lote 21-480 se añadieron un total de 1137 g de lúpulo en formato pellet compuesto por las variedades Mosaic y Amarillo, además de 200 litros de agua en el primer *batch*, mientras que en el segundo *batch* se añadieron las mismas cantidades de lúpulo, pero tan solo 100 litros de agua. En el lote 21-499 se añadieron un total de 3145 g de lúpulo compuesto de las variedades Mosaic, Amarillo y Citra en formato pellet en cada uno de los *batch* y no se añadió agua.

### 5.3. Sistema de macerado:

El tercer y último factor estudiado en este trabajo es la variación del sistema de macerado. Como ya he comentado en la introducción, Espiga trabaja mediante macerado por infusión simple a una temperatura constante de 63°C. Esta temperatura se encuentra dentro del rango de activación de los enzimas hidrolíticos que contiene la malta (alfa-amilasas, beta-amilasas, dextrinasas límite y alfa-glucosidasas). Tal y como podemos ver en la tabla 2, en la que figuran los valores propuestos por Kunze, W. (1996), esta temperatura es óptima para la beta-amilasa, enzima de mayor interés, ya que es la responsable de la degradación del almidón para la obtención de maltosas fermentables por la levadura, aunque dependiendo del autor este rango de temperatura difiere (55-60°C).<sup>14</sup> Cambiando el sistema de macerado de infusión simple a macerado escalonado buscamos mejorar la actividad de estos enzimas hidrolíticos, pero además fomentamos la actividad de otros enzimas como son las proteasas y las beta-glucanasas encargadas de degradar proteínas insolubles y polisacáridos que componen las paredes estructurales del grano de cebada. Estos compuestos complican el macerado, ya que aportan viscosidad al mosto y dificultan la accesibilidad de los enzimas hidrolíticos reduciendo la actividad enzimática. Además, en el caso de las proteínas, provocan problemas de turbidez y posos durante la fermentación por la interacción con las levaduras y polifenoles. Mediante un macerado escalonado podemos establecer unos rangos de temperatura óptimos para la actividad de las beta-glucanasas y de las proteasas, y poder así, reducir la viscosidad del mosto para facilitar la actividad enzimática de las hidrolasas.<sup>15</sup>

Para determinar como afecta el sistema de macerado en el rendimiento de extracto final, se

ha trabajado con dos elaboraciones distintas y se han comparado los valores obtenidos en los *batches* que las componen. Una elaboración de baja carga, en concreto una Blonde de lote 21-504 compuesta por 2 *batches*, elaborada el día 02/06/2021 en la que se han utilizado las maltas presentes en la tabla 6 A en cada *batch* y una Double Dry-Hop IPA de media carga elaborada el día 07/06/2021 donde en cada *batch* se han utilizado las maltas presentes en la tabla 6 B. En función de las maltas y los adjuntos utilizados en cada elaboración, se espera observar un mayor o menor efecto en el cambio de sistema de macerado según el contenido en proteínas insolubles y betaglucanos que contenga cada ingrediente.

La distancia establecida entre rodillos para el molturado de todas las maltas es la estándar de Espiga, es decir 1 mm y se ha ajustado un pH= 5.3 en todos los *batches*. El proceso seguido es el ya descrito en la introducción del trabajo, pero en este caso se ha modificado el proceso de macerado en el primer *batch* de cada elaboración, substituyendolo por un macerado escalonado, de manera que, en el analisis de resultados esta vez compararemos los *batches* de un mismo lote en lugar de distintos lotes.

Tabla 6 A : Maltas utilizadas en cada *batch* para la elaboración de Blonde.

Blonde	Maltas y Adjuntos	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico (Kg)
		MALTA PILSNER (SWAEN)	80%	275	100%
	TOTAL		275	100%	220

Tabla 6 B : Maltas utilizadas en cada *batch* para la elaboración de Double Dry-Hop IPA.

DDH	Maltas y Adjuntos	Extracto teórico	Kg	porcentaje	Extracto teórico (Kg)
		LAGER MALT	80%	150	34,29%
	MARIS OTTER PALE ALE	79%	100	22,86%	79
	DEXTRINE MALT	67%	25	5,71%	16,75
	WHEAT MALT	83%	50	11,43%	41,45
	OAT MALT	45%	50	11,43%	22,5
	FLAKED OAT	45%	50	11,43%	22,5
	GOLDEN NAKED OAT	45%	12,5	2,86%	5,625
	TOTAL		437,5	100,00%	307,825

El procedimiento seguido en el macerado escalonado es el siguiente:

El *mash-in* se ha hecho a una temperatura de 55°C, temperatura a la que entra el agua del *hot liquor* cuando se añaden las maltas. A pesar de que la temperatura de activación de las beta glucanasas se encuentra en un rango de 35-45°C, Espiga utiliza maltas bien modificadas, es decir, en el proceso de malteado gran parte de las paredes estructurales compuestas por proteínas insolubles y betaglucanos se han degradado, de manera que la concentración de estos compuestos en la malta es baja. Considerando esta alta modificación de la malta, establecer una temperatura de *mash-in* óptima para la activación de las beta-glucanasas, es una inversión de tiempo innecesaria. Si se tratara de la elaboración de una cerveza lager, en la que se usan maltas con menor modificación, prácticamente sería obligatorio establecer un descanso a la temperatura de mayor actividad de las betaglucanasas para reducir la viscosidad del mosto y poder tener un macerado óptimo. A una temperatura de 55°C, las proteasas se encuentran dentro del rango de temperatura de mayor actividad (45-55°C), de modo que

degradaran proteínas de alto peso molecular que pueda contener la malta y que dificultan el macerado, además de aportar problemas organolépticos. Tras el *mash-in* se ha mantenido la misma temperatura durante 10 minutos. En este tiempo no solo se produce la degradación de las proteínas de alto peso molecular, las peptidasas también presentan actividad, degradando proteínas solubles para la obtención de compuestos nitrogenados asimilables por la levadura. Transcurrido este tiempo, se incrementa la temperatura hasta los 63°C para realizar el macerado. Este incremento de temperatura requiere entre 5-6 minutos, en los que las proteasas y las peptidasas mantienen su actividad. Asimismo, cuando se alcanzan los 60°C se activan los enzimas hidrolíticos, aunque la actividad de las beta-amilasas esta inhibida hasta que se alcanza la temperatura de gelatinización.

Durante 1 hora tiene lugar el macerado a 63°C. A esta temperatura todos los enzimas hidrolíticos se encuentran activos y además se ha alcanzado la temperatura de gelatinización que permite actuar a las beta-amilasas sin problema. Seguidamente se ha incrementado la temperatura hasta los 78°C para relizar el *mash-out*, es decir, inactivar todas los enzimas para parar el proceso de macerado. Este incremento de temperatura requiere aproximadamente 10 minutos. Esta temperatura se ha mantenido durante 5 minutos para garantizar que no queda ningun tipo de actividad enzimatica antes de filtrar el mosto en el *lautering*.

Realmente, tras cada subida de temperatura, debido a la propia inercia del vapor, se ha alcanzado una temperatura ligeramente superior a la establecida durante un corto periodo de tiempo. Tras la subida a 63°C, la temperatura ha ascendido hasta los 65°C y ha tardado cerca de 20 minutos en estabilizarse a 63°C. Lo mismo ha ocurrido al realizar el *mash-out*, la temperatura ha alcanzado los 81°C y ha tardado en estabilizarse aproximadamente 2 minutos. En la primera subida de temperatura no se habrá producido ningún cambio en el porcentaje de extracto, pero la composición de azúcares extraídos puede haber cambiado ligeramente, disminuyendo la AAL y obteniendo un mosto menos seco, ya que a mayor temperatura de maceración se promueve la actividad de las alfa-amilasas que degradan el almidón para la obtención de azúcares no fermentables.

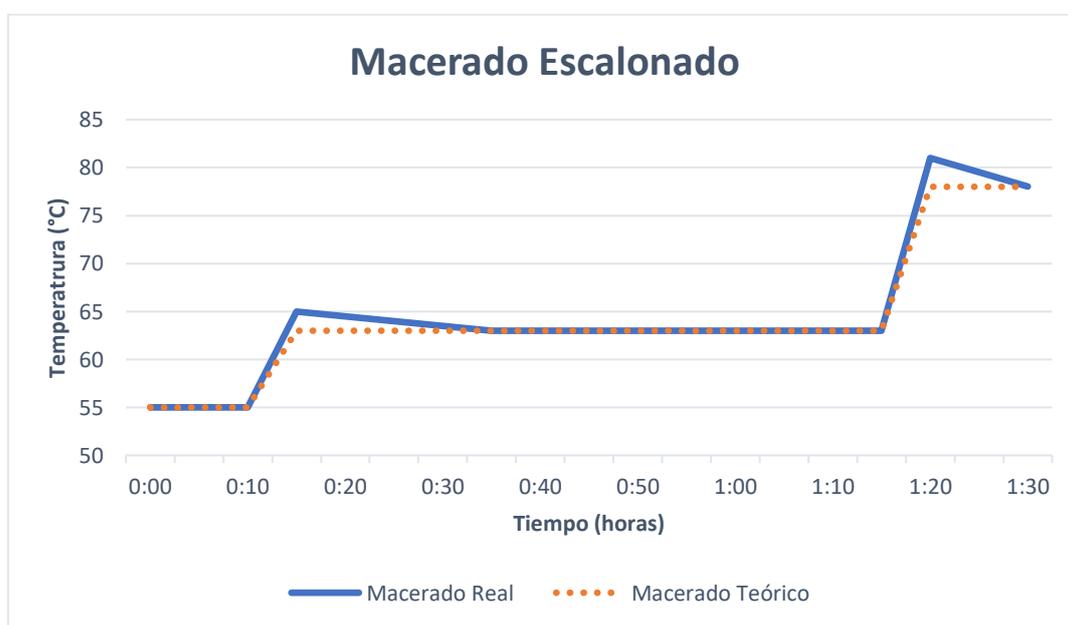


Gráfico 3: Resumen gráfico del macerado escalonado teórico (naranja) y macerado escalonado real (azul) aplicado.

En la elaboración de la Blonde se han inoculado 110 L de levadura California Ale de 6ª generación y 0.5 kg de Bry-97 de 1ª, de modo que se ha establecido una densidad final objetivo de 1.042 g/l en cada *batch*. En el whirlpool se han añadido 1300 g de pellet Mosaic en cada *batch* y además, en el primer *batch* se han añadido 300 litros de agua y en el segundo 400 litros de agua para lograr la densidad objetivo en cada uno.

Para la elaboración de la Double Dry-Hop IPA se han inoculado 1.5 kg de levadura Windsor y 0.5 kg de levadura Verdant de 1ª generación, así que se ha establecido una densidad objetivo final de 1.058 g/l en cada *batch*. En la elaboración del primer *batch* se han añadido un total de 4185 g de lúpulo en forma de pellet Amarillo, Citra y Simcoe, además de 300 litros de agua en el primer *batch* para alcanzar la densidad objetivo. En el segundo *batch* se ha añadido la misma cantidad de lúpulo en el whirlpool, pero esta vez 380 litros de agua de *liquor*.

## 6. Resultados y discusión:

### 6.1. Variación del tamaño de molturado:

Para comparar los valores de extracto obtenidos tras las modificaciones del molturado, se ha determinado la densidad antes y después del boil y en la entrada al fermentador para cada *batch* en cada lote.

El análisis granulométrico se realizó con una malta Maris Otter que no ha sido utilizada en ninguna de las dos elaboraciones comparadas. A pesar de ello, consideramos que el efecto de molturado, si no es el mismo, es muy parecido, puesto que las maltas utilizadas, presentes en las tablas 4 A y 4 B, poseen una friabilidad similar a la malta analizada, ya que en todos los casos Espiga utiliza maltas base bien modificadas. La malta caramalt utilizada en la elaboración del lote 20-426 de Sunshine, seguramente difiera al resto debido a su mayor tostado durante el proceso de malteado que le confiere una mayor friabilidad, pero viendo la cantidad utilizada (tabla 4 B), el efecto que pueda tener es mínimo.

En la tabla que se presenta a continuación, podemos encontrar las densidades determinadas en los distintos *batchs* de cada lote y el volumen de mosto entrado en el fermentador:

Tabla 7: Valores de densidad obtenidos para cada *batch* y volumen final en el fermentador en la determinación del efecto del molturado.

Lote	Distancia entre rodillos en el molturado (mm)	Batch	Densidad antes del hervido (g/l)	Densidad después del hervido (g/l)	Densidad en fermentador (g/l)	Volumen entrado (L)
Mosaic (20-440)	1	1	1.062	1.066	1.052	2219
	1	2	1.053	1.054	1.049	
Mosaic (21-503)	0.5	1	1.059	1.062	1.051	1947
	0.5	2	1.061	1.065	1.056	
Sunshine (20-426)	1	1	1.048	1.051	1.052	998
	1	2	-	-	-	
Sunshine (21-502)	0.5	1	1.049	1.049	1.048	2281
	0.5	2	1.045	1.045	1.045	

Se observa que los valores de densidad después del hervido se han reducido en la entrada al fermentador para los lotes 20-440 y 21-503. Esto es debido a que tal y como he comentado en el apartado experimental, durante el proceso de *whirlpool* se ha añadido agua para ajustar las densidades a la densidad objetivo marcada según la levadura inoculada en la fermentación. Aunque no toda la reducción se debe a esta dilución, hay que destacar que la manera como se ha determinado la densidad en estas dos etapas del proceso difiere. La densidad tras el hervido se determina mediante un refractómetro, mientras que la densidad final se determina mediante un densímetro. Por lo tanto, al efecto de dilución se le debe sumar el efecto del error instrumental. Si uno determina la densidad promedio entre ambos *batches* en la entrada del fermentador para cualquiera de las elaboraciones, observará que el valor resultante obtenido difiere ligeramente respecto al valor mostrado en la tabla 7. Esto es debido a que en ambos *batches* no se ha entrado el mismo volumen de mosto en el fermentador y que, por lo tanto, el valor de densidad no es igual al promedio. Este valor se ha determinado a partir de una muestra tomada del fermentador una vez se ha introducido el mosto de ambos *batches*. Si analizamos los valores de densidad final obtenidos en las elaboraciones de Mosaic, podemos ver que en el lote 21-503 el valor obtenido en el interior del fermentador es superior al del lote 20-440, en cambio el volumen introducido es inferior. Al comparar los valores obtenidos en ambos lotes de Sunshine, podemos ver que la densidad final en la entrada del fermentador para el lote 20-426 es ligeramente superior a la obtenida en el lote 21-502, pero se han obtenido 1400 litros menos que en este segundo lote. El porcentaje de extracto de cada lote lo hemos determinado a partir del volumen de mosto entrado en el fermentador, los datos de las maltas presentes en las tablas 4 A y 4 B, y la densidad final en el interior del fermentador (Anexo 2).

Tabla 8: Rendimientos de extracto para cada lote en función de la distancia entre rodillos aplicada en el molturado.

Lote	Molturado	Extracto final (%)
<b>Mosaic (20-440)</b>	1 mm	64.50%
<b>Mosaic (21-503)</b>	0.5 mm	62.35%
<b>Sunshine (20-426)</b>	1 mm	74.32%
<b>Sunshine (21-502)</b>	0.5 mm	77.97%

Si comparamos los porcentajes de extracto obtenidos en cada lote observamos que en la elaboración de Mosaic el porcentaje de extracto final obtenido es ligeramente inferior tras aplicar un molturado con una distancia entre rodillos de 0.5 mm. En cambio, en la elaboración de la Sunshine IPA el porcentaje de extracto ha mejorado ligeramente tras haber aplicado esta misma distancia entre rodillos.

En el caso de la elaboración de Mosaic varios factores han podido ser la causa de la disminución del rendimiento. El primero de ellos y probablemente el que haya tenido un mayor efecto, es la granulometría. Durante el molturado es probable que el porcentaje de harina que se haya generado sea superior al que se obtuvo en los análisis granulométricos realizados el día 17/05/2021 con la malta Maris Otter. El exceso de harina, como ya comenté, resulta ser un problema en el proceso de macerado y en el filtrado posterior, pues ésta aumenta la viscosidad del mosto dificultando la acción de los enzimas hidrolíticos y además obstruye el lecho filtrante. Tal vez esta explicación no concuerde con los valores de las

---

densidades antes del hervido, pero como bien he dicho anteriormente en el lote 21-503 el volumen de mosto es inferior y por lo tanto la concentración de azúcar en el mosto es mayor de por sí. Otro factor que ha podido afectar a esta ligera disminución del porcentaje de extracto es la malta utilizada. En el lote 20-440 se ha utilizado una malta Pilsner de la casa comercial Swaen, en cambio en el lote 21-503 la malta utilizada era una Pilsner de la casa comercial Inter Malta Craft. La experiencia de Espiga con esta segunda casa comercial no es demasiado buena, pues su malta Pilsner, aunque tenga un porcentaje de extracto teórico igual al de la casa comercial Swaen, siempre ha aportado problemas durante el proceso de maceración, se cree que por motivos de mala modificación en el proceso de malteado. Una mala modificación en el malteado implica una menor degradación de proteínas de gran peso molecular del grano y beta-glucanos, de manera que el almidón presente en el interior se encuentra menos expuesto a los enzimas hidrolíticos. Por último, otro factor que ha podido influir en el valor del rendimiento de extracto es el cervecero. Si analizamos las fichas de producción de ambas elaboraciones, se observa que el lote 20-440 tiene una densidad del mosto de run-off posterior al *lautering* igual a 1.020 g/l en ambos *batches*, en cambio, en el lote 21-503 la densidad de este mosto es superior para ambos *batches*, en concreto de 1.030g/l. Esto significa que parte del extracto, además de volumen de mosto, se ha perdido en esta etapa del proceso disminuyendo así el rendimiento de extracto.

En la elaboración de la Sunshine IPA se observa una ligera mejora en el rendimiento de extracto final, aunque no es demasiado importante. Este incremento viene dado por una mayor exposición del almidón a los enzimas durante el proceso de macerado, ya que, al reducir el espacio entre rodillos, se ha obtenido una molienda más fina, de modo que hay una mayor superficie de contacto del almidón para ser hidrolizado por los enzimas hidrolíticos.<sup>16</sup> Si la única consecuencia tras molturar más fino fuese ésta, el porcentaje de extracto hubiera incrementado en mayor medida, pero un molturado más fino también implica la obtención de un mosto más viscoso y una mayor cantidad de harina que afectan negativamente al extracto final, tal y como ya he comentado previamente.

Otro factor que ha podido influir en el rendimiento de extracto de la elaboración de Sunshine IPA, es haber usado malta Cristal Light en el lote 21-502 en lugar de Caramalt usada en el lote 20-426 (aunque el rendimiento de extracto teórico sea el mismo), además, en el lote 21-502 se han añadido 7.5 Kg más de malta en cada *batch*.

Igual que en la elaboración de Mosaic hemos querido comparar las densidades del mosto de run-off tras el *lautering* de ambos lotes. En el lote 20-426 la densidad obtenida en su único *batch* es de 1.012 g/l, mientras que en el lote 21-502 los valores de densidad obtenidos para el *batch* 1 y 2 son 1.015 g/l y 1.013 g/l respectivamente. A pesar de que estas densidades difieren entre lotes, no lo hacen de manera significativa, por lo tanto, la influencia que puedan tener sobre el rendimiento de extracto es mínima.

Tras analizar los valores de extracto obtenidos, no se puede definir con fiabilidad si un molturado más fino altera el rendimiento de extracción, ya que, como hemos podido observar, existen diversos factores que afectan al extracto. Para poder determinar si el tamaño de molturado repercute en el extracto, es necesario repetir estas condiciones en una serie de lotes para poder extraer información más concluyente. Si que se ha visto que en las elaboraciones en las que se ha aplicado una distancia entre rodillos de 0.5 mm se ha obtenido

un volumen relativamente inferior al esperado. Estudios previos han demostrado que un molturado más fino supone una mayor absorción del mosto durante el macerado.<sup>17</sup>

### 6.2. Variación del pH (trabajar a pH= 5.2 en el macerado):

Para poder establecer una buena comparación y poder observar el efecto de la variación del pH en el porcentaje de extracto de azúcar obtenido, se ha determinado la densidad del mosto antes y después del hervido y en la entrada al fermentador en cada uno de los *batch* que componen los distintos lotes. También se ha determinado el volumen total de mosto entrado en el fermentador para cada lote. Todos estos datos figuran en la tabla 9 que se muestra a continuación:

Tabla 9: Valores de densidad obtenidos para cada *batch* y volumen final en el fermentador en la determinación del efecto del pH.

Lote	pH macerado	Batch	Densidad antes del hervido (g/l)	Densidad después del hervido (g/l)	Densidad en fermentador (g/l)	Volumen entrado (L)
Citrus (20-448)	5.45	1	1.063	1.067	1.062	2259
	5.45	2	1.060	1.063	1.060	
Citrus (21-498)	5.21	1	1.069	1.075	1.053	2641
	5.26	2	1.071	1.075	1.053	
Garage (21-480)	5.4	1	1.049	1.062	1.052	2313
	5.42	2	1.055	1.057	1.051	
Garage (21-499)	5.26	1	1.066	1.071	1.052	2282
	5.32	2	1.062	1.065	1.051	

Observamos que los valores de densidad obtenidos antes del hervido para los lotes a los que se ha trabajado a pH igual a 5.2 (21-498 y 21-499) son mayores, aún y así no podemos concluir que el porcentaje de extracto sea mejor, ya que desconocemos el volumen de mosto introducido en el *boil* en cada *batch*. En la tabla anterior si comparamos ambos lotes de citrus se observa que una menor densidad en el fermentador viene compensada por un mayor volumen entrado en éste. Como he comentado en la parte experimental, las levaduras inoculadas son diferentes en ambos lotes y, por lo tanto, cuando se inoculan levaduras más atenuantes, la densidad debe ajustarse mediante la dilución del mosto con agua en la etapa del *whirlpool*, incrementando así el volumen introducido en el fermentador.

En el caso del lote 21-480 de Garage, se ha añadido agua en el *whirlpool* en ambos *batch* para ajustar la densidad del mosto considerando el poder atenuante ligeramente superior de la levadura, en cambio en el lote 21-499 no se ha añadido agua en el *whirlpool* en ninguno de los dos *batch* y se ha obtenido el mismo valor de densidad, pero en menor volumen. Es en este segundo lote, dónde conforme al procedimiento seguido, destaca la diferencia entre las densidades obtenidas al final del hervido y en la entrada del *boil*. Esta diferencia tan drástica viene asociada a la suma del error instrumental (la densidad tras el hervido se mide mediante un refractómetro y la densidad del fermentador mediante un densímetro), tal y como ya he comentado y al error de toma de muestra. Ya que la muestra tomada tras el hervido se realizó al iniciar el trasvase del mosto al *whirlpool*, de manera que el mosto no era homogéneo.

El porcentaje de extracto en cada lote lo hemos calculado a partir de los valores de densidad final en el fermentador, el volumen entrado en el fermentador y los datos de las maltas presentes en las tablas 5 A y 5 B. Cabe destacar que no se ha entrado exactamente el mismo volumen en cada *batch* y que la densidad final en el fermentador no es exactamente igual al

promedio de las densidades finales. Por esta razón, si se determina el promedio de las densidades finales de ambos *batches* el valor obtenido difiere ligeramente al valor presentado en la tabla 9. No disponemos de los datos de volumen entrado en el fermentador para cada *batch*, así que este valor de la densidad final se ha determinado mediante la toma de muestra tras haber introducido ambos *batch* en el fermentador.

Tabla 10: Rendimientos de extracto para cada lote en función del pH aplicado.

Lote	pH	Extracto final (%)
Citrus (20-448)	>5.2	64.82%
Citrus (21-498)	≈5.2	66.91%
Garage (21-480)	>5.2	63.31%
Garage (21-499)	≈5.2	61.53%

Se observa que en las cervezas de media carga el rendimiento de extracción ha incrementado un 2.09% al trabajar con un pH próximo a 5.2, en cambio, en las cervezas de baja carga se observa una ligera disminución del porcentaje de extracto, aunque no es fiable, ya que en el caso del lote 21-499 no se ajustó el pH de manera correcta en el segundo *batch* y se trabajó a un pH de macerado igual a 5.32. Igual que en el estudio del efecto de molturado, se han comparado las densidades del mosto de run-off tras el *lautering* en las elaboraciones de Garage, y se ha observado que en el lote 21-480 estas densidades son 1.027 g/l y 1.025 g/l para los *batches* 1 y 2 respectivamente, en cambio en el lote 21-499 los valores de densidad son 1.036 g/l y 1.032 g/l. Como ya he comentado anteriormente, una mayor densidad en el mosto de run-off implica mayor pérdida de volumen y azúcar, afectando negativamente al rendimiento de extracto. Por lo tanto, en ninguno de los dos casos los resultados son concluyentes, ya que se deberían elaborar varios lotes aplicando estas condiciones para poder verificar si realmente la disminución del pH favorece el extracto o no. A pesar de ello, la diferencia en el porcentaje del rendimiento de extracto que se obtienen entre las distintas elaboraciones no es significativa.

La ligera variación del extracto al cambiar el pH se puede asociar a un leve cambio en la actividad enzimática. En concreto de las enzimas hidrolíticas, ya que a una temperatura de 63°C las proteasas y las beta-amilasas están prácticamente inactivas. Algunos autores indican que el pH de trabajo óptimo de la dextrinasa límite se encuentra entre 5.1- 5.2, por lo tanto, trabajando a pH= 5.2 se promueve la actividad de esta enzima que facilita el trabajo de la beta-amilasa, obteniendo un mosto más fermentable y una cerveza final más seca.<sup>18</sup> La dextrinasa límite se encarga de degradar los enlaces  $\alpha$ -1.6 de las amilopectinas formando dos unidades de amilosa, las cuales podrán ser degradadas por las beta-amilasas para la obtención de maltosas mediante la rotura de los enlaces  $\alpha$ -1.4. Como ya he comentado anteriormente, si hay una mayor actividad de la beta-amilasa, habrá un mayor contenido de azúcar fermentable y por lo tanto un incremento de la AAL.

Si consideramos los rangos de pH de máxima actividad propuestos por Kunze, W. (1996), observamos que al reducir el pH nos alejamos de este rango, por lo tanto, la actividad de la beta-amilasa se reduce, compensando el ligero incremento debido a la mayor actividad de la dextrinasa límite. El conjunto de efectos del pH sobre los distintos enzimas provoca que la variación del extracto tras disminuir el pH prácticamente no difiera.

### 6.3. Sistema de macerado (Trabajar con un macerado escalonado):

Para determinar si el sistema de macerado incrementa el rendimiento de extracto, se han comparado los distintos *batches* que componen cada lote. De esta manera se ha reducido el número de variables que puedan alterar el extracto (tipos de malta y cantidades, pH de macerado, cervecero...) como ha sucedido en el resto de las pruebas realizadas al comparar distintos lotes.

Se han examinado los valores de densidad obtenidos antes y después del *boil* y en la entrada al fermentador, además, se ha tomado el volumen de mosto entrado al fermentador en cada *batch*.

En el lote 21-504 de Blonde se han obtenido los siguientes valores:

Tabla 11: Valores de densidad obtenidos y volumen final en el fermentador para cada batch en la determinación del efecto del sistema de macerado en la elaboración del lote 21-504 .

Lote	Sistema de macerado	Batch	Densidad antes del hervido (g/l)	Densidad después del hervido (g/l)	Densidad en fermentador (g/l)	Volumen entrado (L)
Blonde (21-504)	escalonado	1	1.058	1.061	1.043	1327
	simple	2	1.056	1.057	1.0425	1322

Tal y como he comentado en el apartado experimental, en el *whirlpool* se ha añadido agua del *liquor* al mosto para obtener la densidad objetivo, por esta razón los valores de densidad tras el hervido difieren tanto respecto a los valores de densidad en la entrada al fermentador. Además, al efecto de la dilución se le suma el efecto del error instrumental, ya que, igual que en el resto de las pruebas la densidad del mosto tras el hervido se ha determinado mediante un refractómetro, mientras que la densidad final se ha determinado mediante un densímetro. En esta elaboración no se ha observado prácticamente ninguna diferencia en el rendimiento final tras realizar un macerado por infusión simple o por macerado escalonado. Puesto que la malta utilizada, como bien he comentado, tiene una buena modificación, de modo que su contenido en proteínas insolubles y betaglucanos es bajo. Además, realizar un *mash-out* para esta elaboración no es estrictamente necesario, ya que tras el macerado la viscosidad del mosto no es excesivamente alta por el tipo de malta usada. En el apartado experimental observamos que para realizar un macerado escalonado, se requieren aproximadamente 30 minutos más de lo habitual en esta etapa. Es demasiado tiempo y más considerando la mejora en el extracto que hemos obtenido. Este tiempo sería admisible si la mejora del rendimiento fuese del 30% o superior, ya que a parte del extracto también se debe considerar la rentabilidad.

Tabla 12: Rendimientos de extracto para cada batch en función del sistema de macerado para el lote 21-504.

Blonde (21-504)	Macerado	Rendimiento (%)
Batch 1	Escalonado	67.48%
Batch 2	Infusión simple	67.11%

En la elaboración DDH IPA del lote 21-505 se han obtenido los siguientes valores de densidad antes y después del *boil* y el volumen y la densidad en el fermentador para cada *batch*:

Tabla 13: Valores de densidad obtenidos y volumen final en el fermentador para cada *batch* en la determinación del efecto del sistema de macerado en la elaboración del lote 21-505 .

Lote	Sistema de macerado	Batch	Densidad antes del hervido (g/l)	Densidad después del hervido (g/l)	Densidad en fermentador (g/l)	Volumen entrado (L)
DDH (21-505)	escalonado	1	1.073	1.075	1.061	1315
	simple	2	1.075	1.076	1.059	1110

La reducción de la densidad entre el final del hervido y en la entrada al fermentador es debida a los 300 y 380 litros de *liquor* que se han añadido para lograr la densidad objetivo final establecida en cada *batch*. Al efecto de la dilución también hay que considerar el efecto del error instrumental tal y como ha sucedido en la elaboración de la Blonde.

Tabla 14: Rendimientos de extracto para cada *batch* en función del sistema de macerado para el lote 21-505.

DDH (21-505)	Macerado	Rendimiento (%)
Batch 1	Escalonado	67.84%
Batch 2	Infusión simple	55.42%

En esta elaboración se observa que el rendimiento ha incrementado notablemente tras establecer un sistema de macerado escalonado en lugar de un sistema por infusión simple. Para la elaboración de la DDH IPA se han utilizado adjuntos de trigo (Wheat malt) y avena (Oat malt, Flaked Oat y Golden Naked Oats) que ayudan a la formación y retención de la espuma y favorecen las cualidades organolépticas de la cerveza. Ambos compuestos son ricos en proteína, y aunque en el caso del trigo su extracto es muy grande gracias a la ausencia de cascarilla, en el caso de la avena pasa todo lo contrario. La avena contiene un porcentaje en cascarilla mayor al de la cebada y con ello mayor porcentaje en proteínas estructurales y beta-glucanos. Como ya he comentado anteriormente, estos compuestos repercuten directamente al rendimiento de extracto final, por lo tanto, tras incentivar la actividad de las proteasas estableciendo la temperatura ideal de trabajo mediante un macerado escalonado, se ha conseguido reducir el contenido en proteínas estructurales favoreciendo la actividad de las amilasas provocando el incremento del valor de rendimiento. La viscosidad del mosto también se habrá visto ligeramente reducida, favoreciendo el proceso de *lautering* y consecuentemente el extracto final.

En esta elaboración, el *mash-out* realizado en el macerado escalonado también habrá influido en la mejora del rendimiento de extracto. Pues éste, al frenar la conversión enzimática del almidón, ha permitido la formación de un lecho filtrante más firme y un mosto más fluido que ha favorecido la extracción de azúcares en el proceso de *sparging* y en el filtrado posterior.

El rendimiento de extracto ha incrementado aproximadamente un 12%, de todos modos, sería interesante estudiar si considerando el tiempo extra invertido y la energía utilizada tras establecer el macerado escalonado, este incremento es rentable o no.

## 7. Estudio del brewhouse:

Tras aplicar las distintas medidas propuestas para la mejora del rendimiento de extracto, se ha observado que, aunque el rendimiento haya podido incrementar ligeramente, los valores obtenidos siguen siendo bajos respecto a los valores deseados. Por esta razón sospechamos que la caída del rendimiento pueda ser debida al diseño del *brewhouse*. Así que hemos decidido estudiarlo para determinar las posibles causas que influyen en la disminución del rendimiento final del extracto. Tal y como hemos podido ver en la introducción del trabajo, el porcentaje de extracto disminuye como mayor sea la carga de malta añadida. Esto nos indica que ya en el proceso de macerado existe un problema relacionado con el rendimiento de extracto. Como he comentado, durante este proceso Espiga siempre establece la misma relación malta:agua en sus elaboraciones, independientemente de la carga de malta, así que, como mayor sea el contenido en malta, mayor es el contenido en agua. Pero hay que tener en cuenta que como mayor sea la cantidad de grano añadido, más agua será absorbida por éste y menor será el volumen final obtenido.

El macerador utilizado por Espiga es un *mash tun*, es decir, en el mismo tanque se realiza la maceración y el filtrado del mosto para separarlo del bagazo. Para ello se requiere un doble fondo de rejilla que sostiene el lecho filtrante creado por el propio bagazo. Debajo de esta rejilla existe un espacio en el cual se deposita agua que no entra en contacto con el bagazo durante el macerado, pero que es trasvasada al *boil* junto al resto del mosto que sí ha estado en contacto con la



Imagen 4: Espacio en el lecho filtrante del *mash tun* de Espiga.

malta y que ha extraído sus azúcares. Esto significa que el mosto se diluirá en función de la cantidad de agua presente en el espacio inferior de la rejilla. Considerando este hecho, se ha determinado el volumen de agua del lecho filtrante en el *mash tun* de Espiga y se ha observado que aproximadamente entran 200 litros de agua. Es un volumen excesivamente alto teniendo en cuenta que este agua no entra en contacto directo con la malta y que, por lo tanto, no extrae azúcares durante el macerado. El único momento en el que esta agua puede extraer algo de azúcar es durante el recirculado, el cual, por cuestiones de tiempo, no puede extenderse demasiado, ya que el único objetivo que tiene esta etapa es filtrar el mosto y reducir la turbidez que pueda contener.

De modo que, en todas las elaboraciones, 200 litros de mosto presentes en el *boil* son de agua que prácticamente no ha entrado en contacto con la malta y que diluye el mosto reduciendo la densidad y, en consecuencia, el rendimiento de extracto.

Otro problema que se ha podido observar y que nos ha ido acompañando a lo largo del trabajo es el desconocimiento del volumen de *liquor* utilizado en todo momento. Durante el proceso de *mash-in* y *sparging*, el volumen entrado en el *boil* es aproximado. Realmente se desconoce el volumen exacto utilizado durante este proceso. Esto es un problema porque se puede dar el caso de que se exceda o se limite el contenido en agua introducida durante el macerado, de manera que no se respete el ratio malta:agua establecido por Espiga (2.3 l/kg – 2.5 l/kg), que como hemos podido ver en la bibliografía se encuentra dentro del rango ideal para tener

---

mayor extracto.<sup>6</sup> Un mayor contenido en agua diluye el mosto, reduciendo así el extracto obtenido. Un déficit de agua puede llevar a problemas en la actividad enzimática, es decir, si el maceado es muy espeso, la actividad de las amilasas se ve afectada debido a la viscosidad de éste, repercutiendo al rendimiento de extracto obtenido.

Para mejorar el extracto sin la necesidad de cambiar el equipo, uno se podría plantear de establecer un mayor tiempo de agitación durante el macerado. Eso haría que el lecho fuera más homogéneo y por lo tanto, garantizaría que todo el macerado se encontrara a una temperatura óptima de actividad de las enzimas hidrolíticas, además, el almidón quedaría más expuesto a la acción de éstas, obteniendo un mejor porcentaje de extracto en el proceso de macerado. Pero, en este caso, se presenta otro problema relacionado con el diseño del equipo. El *mash tun* de Espiga no dispone de palas agitadoras como tal, más bien se trata de peines del *lauter*, cuya función real es aliviar el lecho durante la recolección del mosto y clarificar el mosto durante el *lautering*, por lo tanto, estas palas se encuentran muy cerca de la rejilla que sujeta el lecho filtrante, tal y como podemos ver en la imagen 4. Por esta razón en Espiga solo se aplica una agitación de 30 minutos durante el proceso de *mash-in*. Si se establece un tiempo de agitación muy grande, tal vez si se conseguirá mejorar el extracto, tal y como he comentado, pero podemos tener problemas posteriores en el filtrado. A medida que se vaya hidratando la malta y el macerado sea más blando, la parte que se encuentre en contacto con la rejilla se irá comprimiendo cada vez más por el paso de la pala agitadora, debido al poco espacio que hay entre ésta y la rejilla. Como mayor sea el tiempo de agitación, mayor será la compresión, de manera que más obstruida quedará la rejilla y más problemas nos presentará en proceso de *lautering* posterior. Si la pala de agitación del *mash tun* no estuviera tan cerca de la rejilla, establecer un mayor tiempo de agitación sería una garantía en la mejora del rendimiento de extracción.

## 8. Conclusiones:

En este trabajo se ha colocado la primera piedra para realizar un estudio posterior más exhaustivo de cómo diferentes variables en el proceso de elaboración pueden influir en el rendimiento final. Se ha determinado como afecta la variación del pH, el tamaño de molturado y el sistema de macerado en el rendimiento de extracto. Tras realizar una serie de comparaciones entre lotes hemos podido observar que el efecto que tienen estos factores sobre el extracto final es mínimo e irrelevante, excepto en el caso de establecer un macerado escalonado en elaboraciones con un alto contenido de adjuntos, que nos aporta una mejora significativa en el rendimiento. A pesar de ello, para establecer unas conclusiones firmes es necesario repetir estos procesos en un mayor número de lotes de distintas elaboraciones. En el trabajo tan solo se ha considerado el extracto final que se ha obtenido tras establecer los distintos cambios propuestos, sin tener en cuenta los efectos que hayan podido tener sobre otros parámetros como el contenido en nitrógeno libre asimilable (FAN, del inglés *Free Amino Nitrogen*), necesario para el crecimiento de la levadura en el proceso de fermentación; la AAL, es decir, la concentración de azúcares fermentables; la coloración del mosto (EBC) o la

turbidez. Por lo tanto, aunque el rendimiento de extracto presentara un incremento considerable, sería de gran importancia determinar estos parámetros, ya que pueden provocar problemas en la fermentación en el caso del FAN, o problemas organolépticos en la cerveza final. También se debería estudiar cómo afecta, tanto en el rendimiento como en los distintos parámetros, la combinación de las distintas variables.

En el estudio del molturado se ha trabajado con una distancia entre rodillos de 0.5 mm por precaución, pero de cara a futuras pruebas se podría determinar si trabajar a una distancia inferior favorece o no el extracto y a su vez a los otros parámetros comentados.

También sería de interés determinar la rentabilidad del sistema, sobre todo a la hora de cambiar el sistema de macerado. Ya en la bibliografía se comenta que un macerado escalonado es más costoso energéticamente que un macerado por infusión simple,<sup>1</sup> por lo tanto, sería necesario realizar un estudio económico en el que se consideren todos los costes y todas las ganancias de cada elaboración, ya que, principalmente el objetivo que tiene mejorar el rendimiento de extracto es la reducción de los costes de producción para el proceso sea más rentable.

En base al estudio del *brewhouse* se han podido determinar distintos problemas derivados del diseño que éste presenta. Viendo el bajo cambio que presenta el rendimiento tras aplicar las distintas variables de mejora y en general, el bajo rendimiento que se obtiene en todas las elaboraciones, sospechamos que estos problemas de diseño son los principales causantes de la caída del rendimiento. A pesar de ello, se debería demostrar mediante la repetición de las distintas pruebas para poder concluirlo con seguridad.

Para la mejora del *brewhouse* propongo establecer los siguientes cambios:

- Disminuir el volumen del lecho filtrante en el *mash tun* para reducir la dilución del mosto durante el proceso de *lautering*.
- Establecer un mayor espacio entre la base de las palas agitadoras del macerador y la rejilla filtrante en éste, para poder establecer un mayor tiempo de agitación en el macerado y evitar problemas posteriores durante el filtrado.
- Incorporar un caudalímetro en la entrada del *mash-tun* y en la entrada y la salida del *boil* para determinar con certeza el volumen entrado en cada recipiente y las posibles pérdidas por evaporación, fugas... que hayan podido suceder en el proceso de elaboración.

A lo largo de la búsqueda bibliográfica he podido comprobar que existen discrepancias entre distintos autores respecto a las temperaturas y el pH de máxima actividad de los enzimas hidrolíticos, de modo que se desconoce con exactitud cuales son las condiciones ideales para fomentar la actividad de cada uno de los enzimas. Tal y como hemos comentado, otros factores como la viscosidad del mosto o la accesibilidad al sustrato, afectan a la actividad de cada uno de los enzimas, por lo tanto, establecer cuáles son los rangos ideales en el macerado, no es una labor sencilla, ya que en cada lote éstos difieren debido al cambio de las condiciones.

---

## 9. Referencias:

- (1) Ted Goldammer. *The Brewer's Handbook, The Complete Book to Brewing Beer*, Second.; APEX: Clifton, Virginia 20124, 2008.
- (2) Warpala, I.W.S., Pandiella, S. S. Shorter Communication: Grist Fractionation and Starch Modification During the Milling of Malt. *Food Bioprod. Process.* 78 2000, 85–89.
- (3) Mousia, Z.; Balkin, R. C.; Pandiella, S. S.; Webb, C. The effect of milling parameters on starch hydrolysis of milled malt in the brewing process. *Process Biochem.* 2004, 39 (12), 2213-2219.
- (4) Warpala, I. W. S.; Pandiella, S. S. Grist fractionation and starch modification during the milling of malt. *Food Bioprod. Process. Trans. Inst. Chem. Eng. Part C* 2000, 78 (2), 85-89.
- (5) Boulton, C. *Encyclopaedia of Brewing*; 2013.
- (6) De Rouck, G.; Jaskula, B.; De Causmaecker, B.; Malfliet, S.; Van Opstaele, F.; De Clippeleer, J.; De Brabanter, J.; De Cooman, L.; Aerts, G. The influence of very thick and fast mashing conditions on wort composition. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 2013, 71 (1), 1-14.
- (7) Jin, Y.-L.; Speers, R. A.; Paulson, A. T.; Stewart, R. J. Barley  $\beta$ -glucans and their degradation during malting and brewing. *MBAA Tech. Q.* 2004, 41 (3), 231-240.
- (8) Evans, E.; Van Wegen, B.; Ma, Y.; Eglinton, J. The Impact of the Thermostability of  $\alpha$ -Amylase,  $\beta$ -Amylase, and Limit Dextrinase on Potential Wort Fermentability. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 2004, 61 (4), 210-218.
- (9) Evans, D. E.; Goldsmith, M.; Dambergs, R.; Nischwitz, R. A comprehensive reevaluation of small-scale congress mash protocol parameters for determining extract and fermentability. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 2011, 69 (1), 13-27.
- (10) Kunze, W. *Technology Brewing and Malting*; VLB Berlin: Berlin, Germany, 1996.
- (11) O'Rourke. Mash Separation Systems. *Brew. Int.* 2003, 3 (2), 57-59.
- (12) Schwarz, P.; Barr, J.; Joyce, M.; Power, J.; Horsley, R. Analysis of malt grist by manual Sieve Test. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 2002, 60 (1), 10-13.
- (13) Wackerbauer, K., C. Zufall, and K. H. The influence of grist from a hammer-mill on wort and beer quality. *Brauwelt Int.* 1993, 2.
- (14) Parkes, Steve and Kiesbye, A. «Brewhouse Operations: Ale and Lager Brewing». Raw Materials and Brewhouse Operations. *Master Brew. Assoc. Am.* 2006, 1.
- (15) Bamforth, C. W.  $\beta$ -Glucan and  $\beta$ -glucanases in malting and brewing: Practical aspects. *Brew. Dig.* 1994, 69 (5) (21), 12-16.
- (16) Johannes Tippmann, J. V. and K. S. Correlation Between Fineness of Malt Grist and Particle Size and Conversion During the Mashing and Filtration Process. *MBAA Tech. Q.* 2008, 48 (1), 8-12.
- (17) Morrison, W. R.; Tester, R. F.; Gidley, M. J. Properties of damaged starch granules. II. Crystallinity, molecular order and gelatinisation of ball-milled starches. *Journal of Cereal Science.* 1994, pp 209-217.
- (18) John Palmer. *How to brew : everything you need to know to brew great beer every timee*; Colorado : Brewers Publication, 2017.

**10. Anexos:****Anexo 1: Cálculo del extracto antes del hervido y en la entrada del fermentador para lotes de alta, media y baja carga:**

*Ecuaciones 1A: Cálculo del extracto teórico; 1B: Cálculo de los Kg de extracto; 1C: Cálculo del rendimiento de extracto (%).*

$$\begin{aligned}
 \text{A. Extracto teórico (kg)} &= \text{Extracto teórico malta} \cdot \text{kg malta} \\
 \text{B. Kg extracto} &= \text{densidad (g/l)} \cdot P^{\circ} \cdot \text{volumen (hl)} \\
 \text{C. Rendimiento de extracto (\%)} &= \frac{\text{Kg de extracto}}{\text{Extracto teórico total (Kg)}} \cdot 100
 \end{aligned}$$

Los grados Plató ( $P^{\circ}$ ) se han determinado a partir de la densidad con la herramienta de conversión de densidades de la aplicación móvil Brew Tools.

- Imperial stout (21-473):**

**Determinación del porcentaje de extracto antes de hervir:**

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg		Porcentaje		Extracto teórico (kg)	
			batch 1	batch 2	batch 1	batch 2	batch 1	batch 2
GOLDEN PROMISE	FX0734232	79%	225	225	40,98%	40,98%	177,75	177,75
IMPERIAL MALT	FX0730489	72%	112,5	112,5	20,49%	20,49%	81	81
CRYSTAL DRC	FX0736996	69%	100	100	18,21%	18,21%	69	69
OAT MALTED	FX0741148	45%	50	50	9,11%	9,11%	22,5	22,5
DEXTRINE MALT	SL0501494	67%	25	25	4,55%	4,55%	16,75	16,75
UNMALTED ROASTED BARLEY	SL0481888/ FX0688772	62%	17,85	17,85	3,25%	3,25%	11,067	11,067
CARAFA SPECIAL I	VO62	77%	12,5	12,5	2,28%	2,28%	9,625	9,625
CARAFA SPECIAL II	VO14	77%	6,25	6,25	1,14%	1,14%	4,8125	4,8125
<b>TOTAL</b>			549,1	549,1	100,00%	100,00%	392,5045	392,5045

	Batch 1	Batch 2		Batch 1	Batch 2	
Densidad mosto antes de hervir (g/l)	1.098	1.093	<b>Kg de extracto</b>	161.406	152.474	
$P^{\circ}$	24.5	23.5		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	41.12 %	38.85 %
Volumen aproximado en boil (hl)	6	6		<b>Promedio rendimiento de extracción (%)</b>	<b>39.98%</b>	

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

	Batch 1	Batch 2		Total	
Densidad mosto en fermentador (g/l)	1.124	1.102	<b>Kg de extracto</b>	277.97	
Promedio densidad (g/l)	1.122			<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>35.41 %</b>
$P^{\circ}$	28.9	28.06	*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos <i>batches</i> .		
Promedio $P^{\circ}$	28.48				
Volumen en fermentador (hl)	8.69				

- **Doble IPA single hop Mosaic (20-470):**

**Determinación del porcentaje de extracto antes de hervir:**

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg		Porcentaje		Extracto teórico (kg)	
			batch 1	batch 2	batch 1	batch 2	batch 1	batch 2
OAT MALTED	FX0738141	45%	175	175	34,65%	34,65%	78,75	78,75
LAGER MALT	FX0721739	80%	125	125	24,75%	24,75%	100	100
GOLDEN PROMISE	FX0730493	79%	125	125	24,75%	24,75%	98,75	98,75
FLAKED OAT	28	45%	75	75	14,85%	14,85%	33,75	33,75
CARAMALT	SL0486386	69%	5	5	0,99%	0,99%	3,45	3,45
<b>TOTAL</b>			<b>505</b>	<b>505</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>314,7</b>	<b>314,7</b>

	Batch 1	Batch 2		Batch 1	Batch 2	
Densidad mosto antes de hervir (g/l)	1.079	1.079	<b>Kg de extracto</b>	123.65	123.65	
p°	19.1	19.1		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	39.29%	39.29%
Volumen aproximado en boil (hl)	6	6		<b>Promedio rendimiento de extracción (%)</b>	<b>39.29%</b>	

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

	Batch 1	Batch 2		Total
Densidad mosto en fermentador (g/l)	1.077	1.077	<b>Kg de extracto</b>	215.18
Promedio densidad (g/l)	1.077			<b>Rendimiento de extracción (%)</b>
p°	28.48	28.48	*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos <i>batches</i> .	
Promedio P°	28.48			
Volumen en fermentador (hl)	10.71			

- **Citrus Base (20-448):**

**Determinación del porcentaje de extracto antes de hervir:**

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg		Porcentaje		Extracto teórico (kg)	
			batch 1	batch 2	batch 1	batch 2	batch 1	batch 2
LAGER MALT	FX0707849	80%	150	150	40,71%	40,71%	120	120
LOW COLOUR	FX0687983	79%	150	150	40,71%	40,71%	118,5	118,5
MALTED OATS	FX0708706	60%	50	50	13,57%	13,57%	30	30
FLAKED OATS	174	45%	12,5	12,5	3,39%	3,39%	5,625	5,625
FLAKED WHEAT	15080421	45%	6	6	1,63%	1,63%	2,7	2,7
<b>TOTAL</b>			<b>368,5</b>	<b>368,5</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>276,825</b>	<b>276,825</b>

	Batch 1	Batch 2		Batch 1	Batch 2	
Densidad mosto antes de hervir (g/l)	1.063	1.060	<b>Kg de extracto</b>	180.53	171.87	
p°	15.44	14.74		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	65.22%	62.09%
Volumen aproximado en boil (hl)	11	11		<b>Promedio rendimiento de extracción (%)</b>	<b>63.65%</b>	

## Determinación del porcentaje de extracto final:

	Batch 1	Batch 2	Total	
Densidad mosto en fermentador (g/l)	1.062	1.060	<b>Kg de extracto</b>	358.921
Promedio densidad (g/l)	1.061		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>64.83%</b>
P°	15.44	14.74	*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos <i>batches</i> .	
Promedio P°	14.975			
Volumen en fermentador (hl)	22.59			

- Hazy IPA (21-485):

## Determinación del porcentaje de extracto antes de hervir:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg		Porcentaje		Extracto teórico (kg)	
			batch 1	batch 2	batch 1	batch 2	batch 1	batch 2
LAGER MALT	FX0738374	80%	150	150	34,29%	34,29%	120	120
MARIS OTTER PALE ALE	FX0739047	79%	125	125	28,57%	28,57%	98,75	98,75
FLAKED OAT	28	45%	75	75	17,14%	17,14%	33,75	33,75
OAT MALT	FX0745755	45%	75	75	17,14%	17,14%	33,75	33,75
GOLDEN NAKED OAT	FX0748544	45%	12,5	12,5	2,86%	2,86%	5,625	5,625
<b>TOTAL</b>			437,5	437,5	100,00%	100,00%	291,875	291,875

	Batch 1	Batch 2	Batch 1	Batch 2
Densidad mosto antes de hervir (g/l)	1.077	1.058	<b>Kg de extracto</b>	220.94 166.42
P°	18.65	14.3	<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	75.70% 57.02%
Volumen aproximado en boil (hl)	11	11	<b>Promedio rendimiento de extracción (%)</b>	<b>66.36%</b>

## Determinación del porcentaje de extracto final:

	Batch 1	Batch 2	Total	
Densidad mosto en fermentador (g/l)	1.063	1.058	<b>Kg de extracto</b>	415.06
Promedio densidad (g/l)	1.061		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>71.10%</b>
P°	15.67	14.84	*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos <i>batches</i> .	
Promedio P°	15.25			
Volumen en fermentador (hl)	25.65			

- **Garage (21-480):**

**Determinación del porcentaje de extracto antes de hervir:**

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg		Porcentaje		Extracto teórico (Kg)	
			batch 1	batch 2	batch 1	batch 2	batch 1	batch 2
<b>PILSNER (INTERMALTA)</b>	8000556061	80%	125	125	39,59%	39,59%	100	100
<b>EXTRA PALE ALE</b>	FX0738289	79%	150	150	47,51%	47,51%	118,5	118,5
<b>DEXTRINE MALT</b>	FX0740078	67%	25	25	7,92%	7,92%	16,75	16,75
<b>MUNICH MALT</b>	FX0730484	72%	12,5	12,5	3,96%	3,96%	9	9
<b>RED RYE CRYSTAL</b>	SL0472979	65%	3,2	3,2	1,01%	1,01%	2,08	2,08
<b>TOTAL</b>			315,7	315,7	100,00%	100,00%	246,33	246,33

	Batch 1	Batch 2		Batch 1	Batch 2	
Densidad mosto antes de hervir (g/l)	1.049	1.055	<b>Kg de extracto</b>	152.94	171.54	
p°	12.15	13.55		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	62.09%	69.64%
Volumen aproximado en boil (hl)	12	12		<b>Promedio rendimiento de extracción (%)</b>	<b>65.86%</b>	

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

	Batch 1	Batch 2		Total	
Densidad mosto en fermentador (g/l)	1.052	1.051	<b>Kg de extracto</b>	309.98	
Promedio densidad (g/l)	1.0515			<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>62.92%</b>
p°	12.86	12.62		*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos <i>batches</i> .	
Promedio P°	12.74				
Volumen en fermentador (hl)	23.14				

- **Blonde (21-484):**

**Determinación del porcentaje de extracto antes de hervir:**

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg		Porcentaje		Extracto teórico	
			batch 1	batch 2	batch 1	batch 2	batch 1	batch 2
<b>MALTA PILSNER (SWAEN)</b>	225/226/253/254	80%	275	275	100,00%	100,00%	220	220
<b>TOTAL</b>			275	275	100,00%	100,00%	220	220

	Batch 1	Batch 2		Batch 1	Batch 2	
Densidad mosto antes de hervir (g/l)	1.047	1.055	<b>Kg de extracto</b>	146.37	171.54	
p°	11.65	13.55		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	66.53%	77.97%
Volumen aproximado en boil (hl)	12	12		<b>Promedio rendimiento de extracción (%)</b>	<b>72.25%</b>	

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

	Batch 1	Batch 2	Total	
Densidad mosto en fermentador (g/l)	1.041	1.039	<b>Kg de extracto</b>	251.22
Promedio densidad (g/l)	1.0397		<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>57.10%</b>
P°	10.1	9.75	*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos <i>batches</i> .	
Promedio P°	9.92			
Volumen en fermentador (hl)	24.34			

**Anexo 2: Cálculo del extracto en la entrada del fermentador tras la modificación del molturado:**• **Mosaic (20-440):**Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
PILSNER (SWAN)	086078/277078-S	80%	200	72,73%	160
EXTRA PALE	FX0680223	79%	75	27,27%	59,25
<b>TOTAL</b>			275	100,00%	219,25

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

Densidad en fermentador (g/l)	1.049
P°	12.15
Volumen en fermentador (hl)	22.19

	Total
<b>Kg de extracto</b>	282.82
<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>64.5%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

• **Mosaic (21-502):**Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
PILSNER (SWAN)	-	80%	200	72,73%	160
EXTRA PALE	FX0756880	79%	75	27,27%	59,25
<b>TOTAL</b>			275	100,00%	219,25

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

Densidad en fermentador (g/l)	1.054
P°	13.33
Volumen en fermentador (hl)	19.47

	Total
<b>Kg de extracto</b>	219.25
<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>62.35%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

- **Sunshine IPA (20-426):**

Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
EXTRA PALE	FX0679275	79%	175	80,46%	138,25
OAT MALT	FX0688771	67%	25	11,49%	16,75
DEXTRINE MALT	SL0450743	45%	12,5	5,75%	5,625
CARAMALT	FX0667351	69%	5	2,30%	3,45
<b>TOTAL</b>			<b>217,5</b>	<b>100,00%</b>	<b>164,075</b>

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

Densidad en fermentador (g/l)	1.047
p°	11.67
Volumen en fermentador (hl)	9.98

	Total
<b>Kg de extracto</b>	<b>121.94</b>
<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>74.32%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

- **Sunshine IPA (21-502):**

Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
EXTRA PALE	FX0756880	79%	175	73,68%	138,25
OAT MALT	FX0756881	67%	25	10,53%	16,75
DEXTRINE MALT	28	45%	12,5	10,53%	11,25
CARAMALT	SL0527029	69%	12.5	5,26%	8,625
<b>TOTAL</b>			<b>237.5</b>	<b>100,00%</b>	<b>174,875</b>

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

Densidad en fermentador (g/l)	1.046
p°	11.43
Volumen en fermentador (hl)	22.81

	Total
<b>Kg de extracto</b>	<b>272.71</b>
<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>77.97%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

**Anexo 3: Cálculo del extracto en la entrada del fermentador tras la modificación del pH:**• **Citrus Base (20-448):**Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
MARIS OTTER PALE ALE	FX0707849	79%	150	40,00%	118,5
MALTA LAGER (SIMPSONS)	FX0687983	80%	150	40,00%	120
MALTED OATS	FX0708706	45%	50	13,33%	22,5
FLAKED OATS	174	45%	12,5	3,33%	5,625
GOLDEN NAKED OATS	15080421	45%	12,5	3,33%	5,625
<b>TOTAL</b>			<b>375</b>	<b>100,00%</b>	<b>272,25</b>

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

Densidad en fermentador (g/l)	1.060
P°	14.74
Volumen en fermentador (hl)	22.59

	Total
Kg de extracto	352.96
Rendimiento de extracción (%)	<b>64.82%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

• **Citrus Base (21-498):**Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
MARIS OTTER PALE ALE	FX0756977	79%	150	40,00%	118,5
MALTA LAGER (SIMPSONS)	FX0758146	80%	150	40,00%	120
MALTED OATS	FX0755537	45%	50	13,33%	22,5
FLAKED OATS	28	45%	12,5	3,33%	5,625
GOLDEN NAKED OATS	SL0519171	45%	12,5	3,33%	5,625
<b>TOTAL</b>			<b>375</b>	<b>100,00%</b>	<b>272,25</b>

**Determinación del porcentaje de extracto final:**

Densidad en fermentador (g/l)	1.053
P°	13.1
Volumen en fermentador (hl)	26.41

	Total
Kg de extracto	364.32
Rendimiento de extracción (%)	<b>66.91%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

- **Garage (21-480):**

Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
PILSNER (INTERMALTA)	8000556061	80%	125	39,59%	100
EXTRA PALE ALE	FX0738289	79%	150	47,51%	118,5
DEXTRINE MALT	FX0740078	67%	25	7,92%	16,75
MUNICH	FX0730484	79%	12,5	3,96%	9,875
RED RYE CRYSTAL	SL0472979	65%	3,2	1,01%	2,08
<b>TOTAL</b>			<b>315,7</b>	<b>100,00%</b>	<b>247,205</b>

Determinación del porcentaje de extracto final:

Densidad en fermentador (g/l)	1.052
Pº	12.86
Volumen en fermentador (hl)	23.14

<b>Kg de extracto</b>	<b>Total</b>
<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>313.0</b>
	<b>63.31%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

- **Garage (21-499):**

Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	Porcentaje	Extracto teórico
PILSNER (INTERMALTA)	8000577070	80%	125	39,59%	100
EXTRA PALE ALE	FX0756880	79%	150	47,51%	118,5
DEXTRINE MALT	FX0756881	67%	25	7,92%	16,75
CRYSTAL LIGHT	SLO527029	69%	12,5	3,96%	8,625
RED RYE CRYSTAL	FX0741126	65%	3,2	1,01%	2,08
<b>TOTAL</b>			<b>315,7</b>	<b>100,00%</b>	<b>245,955</b>

Determinación del porcentaje de extracto final:

Densidad en fermentador (g/l)	1.051
Pº	12.62
Volumen en fermentador (hl)	22.82

<b>Kg de extracto</b>	<b>Total</b>
<b>Rendimiento de extracción (%)</b>	<b>302.68</b>
	<b>61.53%</b>

\*Para determinar el rendimiento de extracción se ha tenido en cuenta la suma del extracto teórico de ambos *batches*.

#### Anexo 4: Cálculo del extracto en la entrada del fermentador tras la modificación del sistema de macerado:

- **Blonde (21-504):**

Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	porcentaje	Kg extracto
MALTA PILSNER (SWAEN)	32/33/290421-T-2	80%	275	100,00%	220
<b>TOTAL</b>			275	100,00%	220

#### Determinación del porcentaje de extracto final:

Batch 1	Macerado Escalonado
Densidad en fermentador (g/l)	1.043
p°	10.72
Volumen en fermentador (hl)	13.27

Batch 2	Infusión Simple
Densidad en fermentador (g/l)	1.0425
p°	10.72
Volumen en fermentador (hl)	13.211

Batch 1	Total
Kg de extracto	148.45
Rendimiento de extracción (%)	67.48%

Batch 2	Total
Kg de extracto	147.64
Rendimiento de extracción (%)	67.11%

- **DDH IPA (21-505):**

Maltas utilizadas en cada *batch*:

Maltas y Adjuntos	lote	Extracto teórico	Kg	porcentaje	Kg extracto
LAGER MALT	FX0756977	80%	150	34,29%	120
MARIS OTTER PALE ALE	FX0758146	79%	100	22,86%	79
DEXTRINE MALT	FX0761853	67%	25	5,71%	16,75
WHEAT MALT	FX0762925	83%	50	11,43%	41,45
OAT MALT	FX0766811	45%	50	11,43%	22,5
FLAKED OAT	28	45%	50	11,43%	22,5
GOLDEN NAKED OAT	FX0754821	45%	12,5	2,86%	5,625
<b>TOTAL</b>			437,5	100,00%	307,825

#### Determinación del porcentaje de extracto final:

Batch 1	Macerado Escalonado
Densidad en fermentador (g/l)	1.061
p°	14.97
Volumen en fermentador (hl)	13.15

Batch 2	Infusión Simple
Densidad en fermentador (g/l)	1.059
p°	14.51
Volumen en fermentador (hl)	11.10

Batch 1	Total
Kg de extracto	208.83
Rendimiento de extracción (%)	67.84%

Batch 2	Total
Kg de extracto	170.59
Rendimiento de extracción (%)	55.42%