

Jorge Lamelo Fernández

Desarrollo tecnológico del lúpulo: A nivel *Microbrewery*

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Dirigido por:

Jordi De Mier Vinue

María Isabel Vieitez Álvarez

Máster en BEBIDAS FERMENTADAS

Facultad de Enología



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

14 / 06 / 2021

CONTENIDO

RESUMEN	3
CASTELLANO	3
ENGLISH	4
OBJETIVOS	5
INTRODUCCIÓN.....	6
<i>HUMULUS LUPULUS</i>	6
ANATOMÍA DE LA FLOR DE LÚPULO.....	7
CULTIVO Y COSECHA DEL LÚPULO.....	9
CICLO FOTOPERIÓDICO	9
MEJORAS Y TRATAMIENTOS.....	11
AMARGOR EN EL LÚPULO.....	14
MEJORAS EN EL % DE UTILIZACIÓN.....	18
AROMATICIDAD.....	21
FORMATOS DE COMERCIALIZACIÓN	25
CONCLUSIONES.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	32

RESUMEN

CASTELLANO

El siguiente trabajo de fin de máster surge como una colaboración con la empresa cervecera Galician Brew a fin de realizar una revisión bibliográfica de la temática asociada al papel del lúpulo, con el objetivo de crear una herramienta práctica a nivel de conocimiento, donde el estudio de este campo pueda ayudar a establecer mejoras en la propia fábrica. Actualmente, la empresa en cuestión está llevando a cabo actividades para el desarrollo de pequeñas plantaciones de lúpulo con el fin de suplir parte de su demanda mediante productos frescos y de cosecha propia; de ahí su interés en perfeccionar las distintas labores que el lúpulo abarca.

Para ello, se tratan diversos temas orientados a la optimización y entendimiento en la utilización y cosecha del lúpulo a nivel *Microbrewery*, indagando en la revisión de diversos estudios centrados en la ciencia y tecnología que existen detrás de su aplicación; así como la investigación de las ventajas y desventajas que ofrecen las diversas maquinarias, formatos de comercialización, tratamientos agrícolas, etc.

Además, se plantea una visión del lúpulo a nivel químico, donde se tratará de desentrañar su enorme complejidad en función de las diversas sustancias químicas que lo componen, y la manera en la que estas sufren modificaciones debido a las reacciones químicas y biotransformaciones que tienen lugar en el proceso cervecero, dando lugar a diversas moléculas responsables de características positivas y/o negativas que se pueden encontrar en la cerveza final.

Palabras clave: Lupulina, aceites esenciales, resinas, isomerización, isohumulona, humulona y lupulona.

ENGLISH

The following end of master work arises as a collaboration with the Galician Brew brewing company in order to carry out a bibliographic review of the theme associated with the role of hops, aiming to create a practical knowledge tool where the study of this field might help to establish improvements in the factory. Nowadays, the company in question is performing activities for the development of small hop plantations in order to supply part of its demand with fresh and homegrown products; hence their interest in perfecting the different tasks that hops embrace.

To do this, several topics aimed to optimizing and understanding the use and harvest of hops at the *Microbrewery* level are discussed, investigating the review of various studies focused on the science and technology that exist behind its application; as well as the investigation of the advantages and disadvantages offered by the different machinery, marketing formats, agricultural treatments, etc.

Furthermore, a chemical vision of hops is proposed, where it will be tried to unravel its huge complexity regarding the various chemical substances that make it up, and the way in which these substances are modified due to the reactions and biotransformations that occur in the brewing process, giving rise to various molecules responsible for positive and/or negative characteristics that can be found in the final beer.

Keywords: Lupuline, essential oils, resins, isomerization, isohumulone, humulone and lupulone.

OBJETIVOS

Galician Brew, actualmente, para suplir parte de su demanda, cuenta con un cultivo de alrededor de 40 plantas de distintas variedades de lúpulo, situadas en el valle del río Tea (Ponteareas, provincia de Pontevedra). Los conos de lúpulo recolectados en su periodo de madurez técnica se secan en la fábrica hasta obtener un 10% de agua en su composición, y se comprimen ligeramente para envasarlos a vacío, conservándolos posteriormente refrigerados hasta su uso en la elaboración cervecera. Estos conos se usan en su totalidad, mediante *Dry hopping*, con finalidades aromáticas; y su adición, se realiza durante el final de la fermentación mediante la apertura superior de los *unitanks*.

El principal objetivo de dicho proyecto es perfeccionar el desarrollo tecnológico del lúpulo en las inmediaciones de la empresa, mediante su estudio en el proceso cervecero y durante su desarrollo agrícola, con la finalidad de mejorar la producción de los conos de lúpulo y su posterior utilización. Para ello se realizó una revisión bibliográfica con el fin de profundizar el conocimiento de la empresa en los siguientes puntos:

- I. Estudio del cultivo y cosecha del lúpulo. Mejoras y tratamientos.
- II. Análisis del proceso y sustancias responsables de la producción de amargor.
- III. Mejoras en la utilización del lúpulo en términos de amargor.
- IV. Análisis de la fracción del lúpulo responsable de la aromatización de la cerveza.
- V. Estudio de los formatos de comercialización del lúpulo. Ventajas y desventajas.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mercado de comercialización de cerveza artesana se ve claramente inclinado hacia una mayor presencia de amargor y aromas derivados del lúpulo. Por ello, y debido al gran protagonismo que presenta el lúpulo en el proceso de producción cervecera, es necesario el entendimiento de su naturaleza y las diversas variables que ejercen una clara influencia en su utilización.

HUMULUS LUPULUS

El lúpulo (*Humulus lupulus*), familia de las cannabáceas, es una planta trepadora, dioica, y perenne, nativa de Eurasia, Norte América y Sudamérica (zonas relativamente templadas y húmedas), que recoge su fama del mundo cervecero debido al gran empleo de sus flores en la producción de cerveza. Su reproducción puede ser sexual, mediante polinización; o asexual, a través del desarrollo de rizomas, los cuales permiten obtener plantas genéticamente idénticas (Palmer, 2017).

El crecimiento de esta planta fotoperiódica se limita a regiones situadas entre los paralelos de latitud 35° y 50°; además, son plantas que durante el invierno se encuentran en un estado de dormancia bajo el suelo, pero al llegar la primavera crecen vigorosamente de forma aérea. El desarrollo de la floración de los conos de lúpulo se produce con el acortamiento de los periodos diurnos durante el verano (Bauerle, 2019).

Es un tipo de planta que se cree que tiene sus orígenes hace seis millones de años en la zona geográfica que hoy abarca Mongolia (Hieronymus, 2012). Los primeros hallazgos históricos asociados a su uso en Europa para la producción de cerveza datan del año 949 D.C, y se remontan a la zona geográfica de Inglaterra (Wilson, 1975).

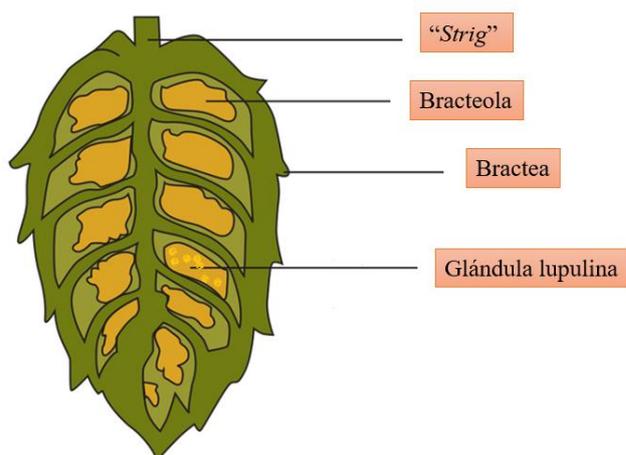
Las flores de esta planta, los conos de lúpulo, son el fruto de estudio de este trabajo debido a su funcionalidad en el sector cervecero. Entre los atributos que el lúpulo aporta en la producción de cerveza se encuentran: la producción de aroma y sabor, la generación de

amargor, la formación de espuma, la modificación de la textura en boca de la cerveza, la estabilidad de sabor, y la actividad antimicrobiana. Sin embargo, debido a la máxima extensión establecida para este trabajo, únicamente se tratarán de forma más ampliada las temáticas asociadas al amargor y aroma.

ANATOMÍA DE LA FLOR DE LÚPULO

En el ámbito cervecero solo se utilizan conos de lúpulo femeninos, ya que los masculinos apenas poseen lupulina y casi no se desarrollan. La flor de lúpulo se compone básicamente de cuatro partes que son: las base/unión de la flor a la rama de la planta (“*strig*”), que se compone esencialmente de polifenoles (taninos); las brácteas, que son la parte de la materia vegetal que conforma la parte exterior de la flor, la cual también es rica en polifenoles (normalmente descartada en el proceso cervecero); la bractéola, que compone la estructura interna de la flor; y, las glándulas de lupulina, que se encuentran en el interior de la bractéola y suponen la parte más importante para la producción cervecera. (Brian, 2014).

Imagen 1. Sección del cono de lúpulo.



La composición de un cono de lúpulo seco es (dependiendo de la zona y modo de cultivo, y de la variedad) de entorno a un 8-10% de agua, 40-50% celulosa, hasta un 15% de proteína, un 2% de pectinas, alrededor de un 5 % de lípidos y ceras, 2-5% de polifenoles, 0-10% de beta-ácidos, 0-22% de alfa-ácidos, y 0,5-4% de aceites esenciales (Hieronymus, 2012).

Como se ha comentado con anterioridad, la parte más importante del lúpulo en el proceso cervecero es la asociada a las glándulas de lupulina. Estas últimas contienen los diversos compuestos químicos fundamentales para la elaboración de la cerveza, como lo son las resinas y los aceites esenciales. Las resinas, entre otros compuestos, están formadas por beta-ácidos (BA) y alfa-ácidos (AA), sustancias indispensables para la obtención de amargor. Por otra parte, los aceites esenciales, que se componen básicamente de tres fracciones (oxigenada, azufrada, y hidrocarbonada), son los responsables de atribuirle a la cerveza los aromas y sabores especiales (Patzak, y otros 2015).

CULTIVO Y COSECHA DEL LÚPULO

Con el avance en la tecnología, y el continuo crecimiento del conocimiento de la naturaleza del propio lúpulo, fue posible la generación de un inmenso número de nuevas variedades que ofrecen diversos atributos en su uso dentro del proceso cervecero. El nacimiento de nuevas variedades de lúpulo se realiza a través de la reproducción sexual y cuantiosos estudios para determinar que variedades son las óptimas para su desarrollo en el campo (mayor producción de flores, mayor resistencia a plagas y enfermedades, adaptación al terreno, etc.), y cuales cumplen con ciertas características necesarias para su comercialización (aromas, sabores, contenido de sustancias amargas, etc.); por eso, hoy en día, existen ciertas variedades de lúpulo cuya comercialización está restringida bajo patente, como el caso del Amarillo (variedad de lúpulo procedente de EEUU). Generalmente, el cultivo de lúpulo, en el caso de pequeñas industrias cerveceras, se ve restringido a la proliferación de rizomas, que son tallos subterráneos a partir de los cuales se pueden desarrollar nuevas plantas por reproducción asexual, generando de esta manera plantas genéticamente idénticas a sus antecesores, asegurando así que las nuevas plantas partan de un linaje con ciertas características apropiadas, además de un satisfactorio crecimiento en el terreno.

CICLO FOTOPERIÓDICO

La planta de lúpulo, esencialmente, se puede dividir en dos partes, la forma aérea (tallos, brotes, flores, etc.) y la forma subterránea (raíces). Esta planta, al ser fotoperiódica, en función de la estación del año va a presentar un ciclo de vida u otro. Por esto mismo, su crecimiento y desarrollo se ve limitado a los paralelos de latitud 35°-50°, ya que son las zonas terrestres que presentan anualmente los cambios de temperatura y periodos diurnos propicios para el desarrollo de la planta de lúpulo. La plantación de Galician Brew se sitúa en Pontearreas (provincia de Pontevedra), región ubicada en el paralelo de latitud N 42°, el cual, como se ha comentado con anterioridad, se encuentra en el rango geográfico idóneo para el cultivo de dicho tipo de planta.

El cultivo de lúpulo se divide de forma general en 4 etapas, las cuales se dividen en función de cada estación anual.

Durante el otoño, con el descenso de la temperatura y la reducción de las horas solares, la planta deja de crecer y la fase aérea sufre una gradiente fase de muerte que puede suponer un foco de infecciones y enfermedades, las cuales pueden acabar con la vida íntegra de la planta; por lo que, durante la fase de otoño, se corta la fase aérea a ras de suelo y se prepara el terreno para la etapa invernal (Hieronymus, 2012).

En el periodo de invierno, la duración de la fase solar y las temperaturas son mínimas, por lo que la planta entra en un ciclo de vida de vernalización. Durante esta fase, la planta se encuentra en un estado latente, donde, a través de las ricas reservas de almidón situadas en las raíces, ve asegurada su supervivencia hasta el fin de este período (Boulton, 2013) (Bauerle, 2019).

Con la llegada de la primavera, y el incremento de la temperatura y las horas solares, el ciclo de vernalización se termina, y en la parte superior de las raíces se empiezan a generar brotes, que con el paso del tiempo se desarrollarán y formarán los primeros tallos. Con el transcurso de la primavera, estos tallos se desarrollan y empiezan a trepar ante cualquier tipo de soporte, enrollándose de forma ascendente en sentido de las agujas del reloj, y fijándose a los distintos soportes a través de tricomas que nacen a lo largo de los tallos. Durante este ciclo, la planta presenta un crecimiento vegetativo donde se desenvuelven un par de hojas (dentadas y con 3-5 lóbulos) por cada nódulo formado (Boulton, 2013) (Bauerle, 2019).

Durante el verano, la planta alcanza su máximo crecimiento, que puede ser de 12 metros de altura o más (dependiendo de la variedad). Durante esta época, cuando la planta haya alcanzado un número mínimo de nódulos, con el acortamiento de los días (tras el solsticio de verano) y el calor, la planta sufre una transición de la evolución vegetativa a una evolución reproductiva (floración), momento en el que los conos de lúpulo se empiezan a desarrollar a la vez que las resinas y aceites esenciales fundamentales para el proceso cervecero. La cosecha del lúpulo se realiza a finales de agosto, una vez las flores alcanzan la madurez técnica (Hieronymus, 2012) (Kunze, 2006).

MEJORAS Y TRATAMIENTOS

Hoy en día, existe una cierta variedad de tratamientos y/o investigaciones que se adaptan al cultivo del lúpulo y pueden suponer mejoras en su producción.

Entre ellas encontramos que, tradicionalmente, las plantas femeninas utilizadas para el cultivo eran diploides (misma variedad de contenido cromosómico que las plantadas en las inmediaciones de Galician Brew); sin embargo, actualmente existen variedades triploides que ponen de manifiesto nuevas mejoras (Willamette, Crystal, Mount Hood, ...). Este tipo de variedad cromosómica presenta ciertas ventajas como un mayor contenido de resinas y aceites esenciales, lo cual supone un claro avance en temas de utilización de lúpulo, ya que permiten, usando menor cantidad de materia vegetal, un aporte equivalente de sustancias aromáticas y amargas, suponiendo por lo tanto una mejoría en cuestiones de turbidez y astringencia (Trojak-Goluch y Skomra 2018). Por otra parte, estas plantas no poseen semillas, haciendo más fácil su tratamiento mecánico durante el proceso cervecero, y evitando la liberación de lípidos durante su uso, los cuales provocan sabores rancios y problemas en la formación de espuma. Además, este tipo de variedad, debido a su contenido cromosómico, son infértiles, lo que evita toda posibilidad de polinización cruzada que pueda existir debido a la posible presencia de plantas de lúpulo masculinas salvajes. Hay que tener en cuenta que existen referencias de que estas variedades, sin embargo, presentan menos ratios de producción de conos, y son más susceptibles a enfermedades y plagas (Hieronymus, 2012). En ciertas regiones, como en EE.UU. y Europa, se tiende a utilizar este tipo de variedad infértil; mientras que, por la contra, en Inglaterra, donde se usan variedades diploides, se cultivan plantas masculinas en los alrededores de las plantaciones de lúpulo, ya que existen alusiones de que la polinización incrementa la producción de las flores (Boulton, 2013).

Durante el cultivo del lúpulo se recomienda, siempre que no sean plantas de primer año, cortar los primeros tallos que nazcan de las raíces; y durante su crecimiento, permitir el desarrollo únicamente de tres brotes, ocasionando de esta manera una evolución de la planta más vigorosa. Además, una vez las plantas ya están desarrolladas, se cortan todo tipo de

ramas y hojas más próximas al suelo con la intención de reducir la probabilidad de ser atacadas por insectos o enfermedades (Hieronymus, 2012).

Un correcto cultivo del lúpulo se asocia con la necesidad de la planta a sufrir su correspondiente ciclo de vernalización en cada período anual, ya que se cree que, sin estos períodos de baja temperatura durante el invierno, la planta no se desarrollará en el futuro correctamente, y, por lo tanto, la producción de conos de lúpulo se verá mermada. Sin embargo, existen investigaciones donde se estudió la producción anual de conos de lúpulo en plantas de raíz vernalizada y no vernalizada. El resultado de dichas pruebas experimentales no mostró ningún tipo de diferencia apreciable en la producción de conos de lúpulo, por lo que se asume que los ciclos de vernalización no son estrictamente necesarios para las plantas (Bauerle 2019). Esta conclusión determina que el cultivo de plantas de lúpulo no está restringido a zonas donde los períodos invernales son fríos, y, por lo tanto, bajo un correcto tratamiento de la planta, se puede cultivar en climas ligeramente más templados/cálidos. Es el caso del área de cultivo que rodea Galician Brew, ya que el valle del río Tea se sitúa en una zona geográfica donde las temperaturas anuales más bajas rondan los 6°C, temperatura ligeramente superior a la de vernalización del lúpulo, que es de unos 3 °C (Bauerle 2019).

La producción de los conos de lúpulo y su composición química varía de un año a otro en gran cantidad. Además, una misma variedad genética de lúpulo producirá conos diferentes en función de la región donde se cultive (distinto clima y suelo), y como la planta sea tratada (fertilizantes, pesticidas, etc.). Tal es así, que un estudio realizado por Toru Kishimoto en la universidad de Kioto, determinó porque una misma variedad de lúpulo crecida en Australia, Nueva Zelanda, o Estados Unidos, frente a las crecidas en Europa, presentaban un distintivo aroma a grosella negra o *Sauvignon Blanc*. Utilizando sistemas de cromatografía de gases, aisló el principal compuesto responsable de este peculiar aroma, se trata de un tiol, 4-mercapto-4-metilpentan-2-ona (4MMP). Inicialmente, llegó a la hipótesis de que dicho aroma era la consecuencia fruto del tipo de tratamiento que reciben los lúpulos cultivados en Europa; esto se debería a que, anteriormente, los granjeros solían añadir sulfato de cobre al suelo en zonas de cultivo de uva y de lúpulo como método de protección ante el mildiu polvoriento. Como consecuencia, el suelo habría absorbido dicha sustancia química resultando en algún tipo de interacción con la bioquímica de la planta, la

cual ocasionaría la reducción del compuesto aromático 4-MMP generado. Finalmente, tras diversos estudios realizados, concluyó que dicho fenómeno se debía a que el cobre interacciona con la planta reduciendo la síntesis de este compuesto (4-MMP) hasta en un 50% (Kishimoto, 2009). Mediante la citación de este estudio se intenta recalcar la gran influencia del modo de tratamiento de cultivo en la obtención de conos de lúpulo con características determinadas. Por ello, la recopilación de datos durante el cultivo, como el análisis del pH y de la composición mineral del suelo, la cantidad y composición química de fertilizantes y pesticidas usados, y/o el crecimiento de la planta en función del tiempo, ayudan a establecer un historial de control que permite evaluar la variabilidad y desarrollo de las plantas, hecho mediante el cual, Galician Brew, podría establecer modificaciones o mejoras en cuanto al crecimiento de estas y a las características finales de los conos de lúpulo de interés.

AMARGOR EN EL LÚPULO

El amargor se define de manera general como una alarma natural del organismo ante ciertas sustancias, se presenta en boca como un gusto desagradable, y produce el rechazo a la hora de consumir gran variedad de sustancias que pueden resultar potencialmente peligrosas para la salud humana. Sin embargo, no existe una relación directa entre la capacidad de peligrosidad de una sustancia y su nivel de percepción de amargor; se trata de un gusto muy variable a la hora de percepción de unas personas a otras. Ahora bien, en la cerveza, el amargor es una propiedad característica, donde, dependiendo del estilo y su modo de producción, será más o menos intenso. A su vez, existen distintos tipos de amargor: punzante, metálico, balsámico, secante, etc. (Barrachina, De Mesones y Fernández, Los defectos de la cerveza y otros descriptores 2014) (Barrachina, Análisi descriptiva de la cervesa 02, 2020).

El amargor final que se puede percibir en la cerveza proviene de varias fuentes, como la malta, adjuntos, levaduras, ciertas sales minerales del agua, etc.; pero sin duda, la fuente de amargor más importante proviene de la composición química del lúpulo. En el cono del lúpulo se encuentran principalmente tres tipos de compuestos responsables del amargor: taninos, resinas blandas, y resinas duras.

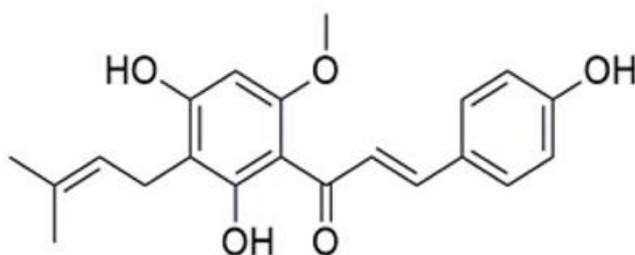
Los taninos, que se encuentran en una proporción de 2-5% en la materia seca del lúpulo, son una variedad de sustancias de estructura química polifenólica que se encuentran de forma más abundante en las bracteas y bracteolas de la flor de lúpulo. Estas sustancias no son de gran interés en el proceso cervecero, ya que generan en el producto final una sensación intensa de astringencia. Sin embargo, ayudan a la clarificación del mosto, condensando diversas proteínas mediante su interacción química durante el proceso de cocción, y funcionan como antioxidantes naturales mejorando la estabilidad de la cerveza (Kunze, 2006).

Las resinas, duras y blandas, se encuentran situadas en el interior de las grandulas de lupulina, sin embargo, las duras se diferencian de las blandas en su polaridad química, es decir, las resinas duras presentan mayor polaridad que las blandas, por lo que las primeras se solubilizan en agua mientras que las últimas no. Un método de diferenciación es su

capacidad de ser extraídas por un disolvente orgánico, como el hexano, ya que las resinas blandas son totalmente extraídas, mientras que las duras no. Las resinas duras se componen principalmente de prenilflavonoides, que son compuestos químicos polifenólicos de actividad antioxidante. El componente mayoritario de las resinas duras presentes en el lúpulo es el xantohumol, el cual, debido a su grupo prenil, presenta actividad antimicrobiana (Hieronymus, 2012) (Boulton, 2013).

Esta última sustancia, hoy en día esta siendo ampliamente investigada en el campo médico, ya que diversas pruebas experimentales en tratamientos clínicos han demostrado su gran capacidad de actividad anticancerígena en la reducción/inhibición de metástasis y carcinogénesis en una amplia variedad de cánceres. Dicho compuesto, de manera general, puede encontrarse en la cerveza final en unas concentraciones de hasta 0,96 mg/L (Jiang, y otros 2018).

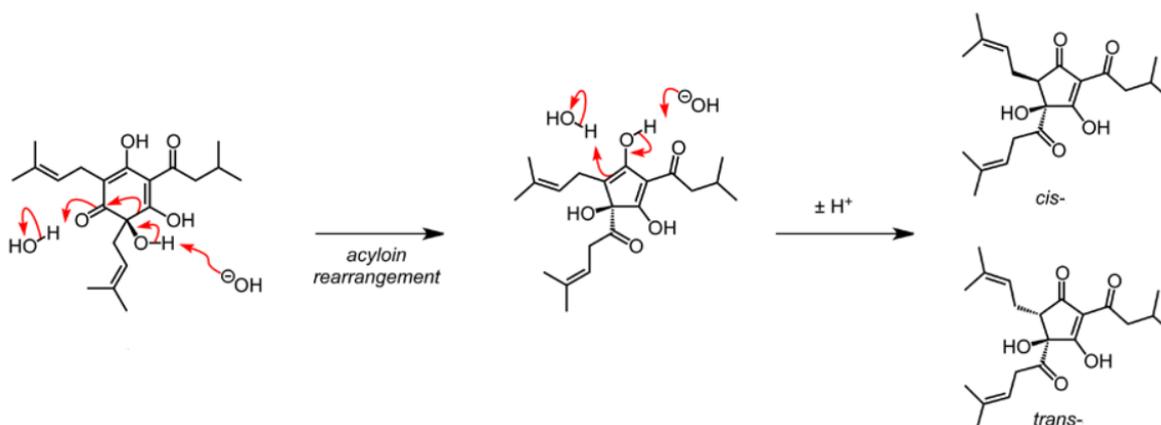
Imagen 2. Estructura molecular Xantohumol (Jiang, y otros 2018).



Por otra parte, las resinas blandas son las principal responsables de la generación de amargor en la cerveza. A la hora de hablar de resinas blandas siempre se hace referencia a su división en alfa-ácidos o humulonas (AA), y beta-ácidos o lupulonas (BA). Es durante la maduración de los conos de lúpulo cuando parte de los BA son transformados en AA, sustancias con más poder de amargor. Los AA, generalmente durante el proceso de cocción (altas temperaturas), sufren una reacción de isomerización en la que se genera como productos, compuestos más solubles en agua y de mayor intensidad de amargor (4 veces más que los AA), denominados iso-alfa-ácidos o isohumulonas (IAA). Estos IAA son la mayor fuente de amargor existente en la cerveza, de ahí que este último se mida haciendo referencia a la concentración de dichos compuestos en el medio (IBUs = mg IAA/L). Los

BA no sufren ningun tipo de reacción de isomerización similar a la de los AA durante la cocción, sin embargo, tanto los BA como los AA se pueden oxidar durante el almacenamiento del lúpulo, dando como resultado productos más solubles en agua y más amargos (pero menos que los IAA). Las formas oxidadas de los BA son más amargas que la de los AA, pero se encuentran en menor medida, ya que la proporción por cono de lúpulo de los AA con respecto a la de los BA suele ser dos o tres veces mayor (Hieronymus, 2012) (Kunze, 2006) (Palmer, 2017).

Imagen 3. Mecanismo de la reacción de isomerización de los AA a IAA (Laws y Elvidge 1971)



Como se puede observar en la imagen anterior, la reacción de isomerización da como resultado dos posibles productos que presentan la misma estructura química pero distinta distribución espacial; son los isómeros *cis* y *trans*. Generalmente, mediante el uso convencional del lúpulo en la olla de cocción, los productos de dicha reacción se encuentran en torno a un 68% el *cis*, y un 32% el *trans*. El producto *cis* es ligeramente percibido como más amargo, además de que se degrada a un ritmo de alrededor 5 veces más lento; por eso, una mayor presencia de los *cis*-IAA es importante para asegurar una mayor estabilidad organoléptica (Hieronymus, 2012) (Schmidt, y otros 2014).

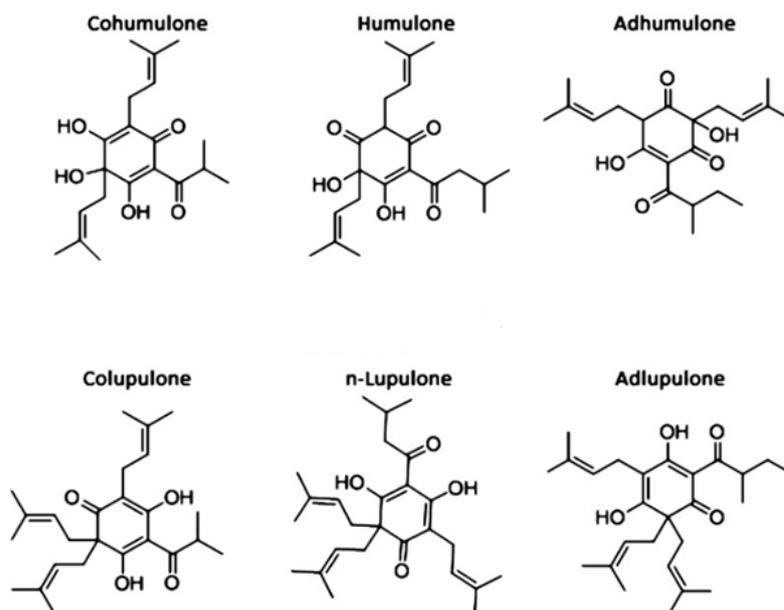
Galician Brew hace uso del lúpulo en formato convencional, pellets y flores, por lo que las proporciones de los *cis*-IAA y *trans*-IAA obtenidos en la cerveza final es muy similar a los porcentajes comentados con anterioridad. Una mayor aportación de isómeros *cis* en referencia a los *trans* se puede conseguir mediante la utilización de productos de lúpulo

preisomerizados, los cuales contienen generalmente en torno a un 85-90% del primero. De esta manera, mediante su uso, se consigue una mejora en la obtención de amargor y en la estabilidad organoléptica de la cerveza final (Schmidt, y otros, 2014) (Hieronymus 2012).

Tanto los AA como los BA hacen referencia a una serie de compuestos prácticamente iguales en estructura química que se diferencian básicamente en el número de átomos de carbono, y la configuración de los enlaces de la cadena del grupo carbonilo. Los principales compuestos análogos a los que hacen referencia son: n-humulona, cohumulona y adhumulona (por parte de los AA); y n-lupulona, colupulona, y adlupulona (por parte de los BA).

Normalmente, los AA se componen de un 20-50% de n-humulona, 20-50% de cohumulona, y 10-15% de adhumulona. La cohumulona, debido a su polaridad (cadena del grupo carbonilo menos larga), se disuelve en el agua en mayor medida que el resto de los AA, lo cual genera una mayor capacidad de contribución en el amargor durante la cocción que el resto de AA análogos. Sin embargo, la cohumulona tiende a generar amargores más punzantes, así como que menores cantidades de iso-cohumulona tienden a provocar una mayor retención de espuma en la cerveza (Hieronymus, 2012) (Peacock, 2011).

Imagen 4. Estructura química de los principales AA y BA (Schindler, y otros 2019).



MEJORAS EN EL % DE UTILIZACIÓN

Como se ha comentado con anterioridad, a pesar de que son varias las posibles fuentes que contribuyen al amargor, este último se mide generalmente mediante la determinación de IBUs (*International Bitterness Units*), que no es más que el análisis de la concentración de IAA en la cerveza. Este método de medida, simplifica la medición del amargor refiriéndola únicamente a la isomerización de los AA, ya que sus productos son, con diferencia, las sustancias que más amargor imparten en la cerveza.

Existen una serie de variables que afectan de manera notable a la capacidad de extracción de las sustancias amargas del lúpulo, y otras que afectan al porcentaje de IAA que sobrevivirán en la cerveza final. De ahí que se defina un % de utilización de lúpulo, el cual se trata de un concepto que engloba las diversas variables influyentes que determinarán una mayor o menor concentración de IAA en la cerveza final.

Mediante el control de estas variables, se puede establecer una optimización del rendimiento de obtención de amargor en el producto final. Entre las diversas variables que mejorarían la obtención de amargor se encuentran:

- **Formatos del lúpulo:** Hoy en día existen una gran variedad de formas de añadir el lúpulo, donde el rendimiento de extracción de los AA varía de forma notable. Los formatos preisomerizados presentan un mayor % de utilización, esto se debe a que la forma isomerizada de los AA es más soluble en el mosto, resultando de esta manera en una mayor extracción de estas sustancias. Además, dicha preisomerización consiste en tratamientos térmicos que incrementan el porcentaje de isomerización con respecto al que se alcanzaría de forma convencional en la olla de cocción con lúpulos no preisomerizados.
- **Temperatura y tiempo de cocción:** La reacción de isomerización se ve favorecida por altas temperaturas (100°C-120°C), y cuanto más tiempo pase a esa temperatura (generalmente alcanza el pico de rendimiento a los 60 min), mayor es la conversión a IAA.

- **Gravedad específica del mosto:** Los AA e IAA son productos muy poco solubles en agua, por lo que, debido a su polaridad, estos siempre van a tender a presentar mayores interacciones moleculares con restos orgánicos con los que puedan quedar retenidos. Por lo tanto, cuanto mayor sea la gravedad específica del mosto, mayor cantidad de proteínas habrá en el medio; y sabiendo que estas últimas son eliminadas a lo largo del proceso cervecero mediante *Whirlpool*, filtros, *Cold Break*, etc., se producirá una acción involuntaria de eliminación de compuestos amargos del medio, ya que, debido a sus interacciones, los IAA son retenidos por las proteínas y eliminados a su misma vez. Por otra parte, una gravedad específica mayor supone una mayor cantidad de levadura ha inocular, lo cual, de la misma manera que antes, supone una forma de reducción de los IAA del medio, ya que, tras la fermentación, la levadura es eliminada junto a parte de los IAA totales (Palmer, 2017).
- **Geometría del tanque de cocción:** Cuanto mayor es el tanque, menor es el área de superficie por unidad de volumen del mosto; por lo que, la cantidad de AA e IAA por volumen de mosto que pueden quedar retenidos en las sustancias orgánicas insolubles adheridas a la pared del tanque es menor.
- **Composición mineral del agua y pH:** Estos afectan de forma directa en la formación de *Trub* y de levaduras, por lo que afectarán de forma indirecta a la presencia de IAA en la cerveza final (Hieronymus, 2012). Además, un mayor contenido de magnesio y calcio aumenta el % de utilización del lúpulo (Janish 2019).
- **Composición de las resinas blandas (humulonas):** Una mayor proporción de cohumulona significa mayor eficiencia de isomerización, ya que es el análogo de los AA más soluble en agua. En un estudio de análisis de los contenidos amargos del lúpulo y de la evaluación de su uso (Ono, y otros 1984), se determinó que la cohumulona presenta un 60% de utilización, mientras que el total de los AA presentan un 55%.

Diversos trabajos experimentales concluyeron que, de forma general, solo el 20% de las sustancias amargas sobreviven en la cerveza final, teniendo unos porcentajes de pérdidas sobre el total de sustancias amargas de un 50% con el *Trub*, 20% con los residuos de lúpulo retirados del mosto, y una suma de un 10% durante la evaporación en la cocción y retirada de levaduras tras la fermentación (Kunze 2006).

Como es casi imposible modelar todos estos parámetros, y los equipos necesarios para el análisis de IAA en la cerveza final sobrepasan los presupuestos de las pequeñas cerveceras (mismo caso que Galician Brew), la determinación aproximada del amargor final se puede realizar a través de la predicción del % de utilización siguiendo el modelo de *Tinseth* (Tinseth, 2021). Dicho modelo permite la obtención de un valor cercano al % de utilización real en función del tiempo de cocción y de la gravedad específica del mosto. Conociendo la cantidad de AA añadidos al medio, y su porcentaje de utilización, se determina una estimación bastante acertada de la concentración de IAA en la cerveza final, teniendo de esta manera un parámetro de amargor bastante aproximado.

AROMATICIDAD

Los aceites esenciales son los principales responsables del aroma en la cerveza, donde, dependiendo de la variedad de lúpulo, se encuentran en un porcentaje de entre un 0,5-4% de la materia seca de este. Dichos aceites se componen por hasta 500 sustancias químicas, de las cuales algunas se encuentran a niveles traza, y otras, como el caso del mirceno, constituyen hasta un 50% del contenido total. La volatilización y la compleja interacción entre estos compuestos es lo que genera el aroma característico del lúpulo. En la actualidad, existe una enorme variedad de lúpulos aromáticos, desde aromas a arándanos (Mosaic), hasta aromas a fruta de la pasión (Citra) (Hieronymus, 2012) (Kunze, 2006).

Los aceites esenciales se pueden dividir en tres fracciones en función de la estructura química de sus componentes: fracción hidrocarbonada, oxigenada y azufrada.

Fracción hidrocarbonada: Puede constituir hasta un 50-80% de los aceites esenciales totales. Se compone básicamente de compuestos derivados de la condensación de isoprenos (terpenos). Por lo general, son compuestos poco solubles y muy volátiles, por lo que solo se perciben en la cerveza cuando el lúpulo es añadido en adiciones tardías (*Dry Hopping*, *Late Hopping*, *Hop Bursting*, etc.). Entre las distintas sustancias químicas que la conforman se encuentran el mirceno, humuleno, cariofileno y farneseno.

Los monoterpenos, como el mirceno, se caracterizan por aportarle un toque ácido al aroma del lúpulo y cierta aspereza a la cerveza final. Este último funciona como referencia de indicación de la madurez del lúpulo. Sin embargo, en gran cantidad, puede aportar un indeseado carácter astringente a la cerveza. Por otra parte, el humuleno y el cariofileno se evalúan conjuntamente, ya que, en ciertas cantidades, ratios 3:1 H/C, se dice que aporta al lúpulo ciertas notas aromáticas especiadas, típicas de los lúpulos “nobles”. El humuleno es el responsable de aportar el aroma herbáceo típico de los lúpulos; mientras que el cariofileno, que se encuentra típicamente en la especie de clavo, aporta aromas terrosos y especiados. Estos dos últimos presentan estructura química de sesquiterpeno (Hieronymus, 2012) (Nance y Setzer 2011).

Fracción oxigenada: Agrupa una variedad de compuestos oxigenados derivados de terpenos, que suponen un 20-50% del total de los aceites esenciales, donde debido a su estructura química y polaridad, son más solubles en agua que la fracción hidrocarbonada. Además, tienden a quedar más retenidos en la cerveza final durante el proceso de elaboración, ya que su punto de evaporación es mayor. Estos compuestos son los principales responsables del aroma en la cerveza final, debido a que, además de por las características citadas con anterioridad, presentan un umbral de percepción menor. Entre los compuestos más destacados encontramos: linalol (floral, naranja), geraniol (floral, rosa), y nerol (cítrico, rosa) (Hieronymus, 2012).

Fracción azufrada: Se trata de compuestos que integran en su estructura átomos de azufre, como por ejemplo el 4-MMP, y suponen menos de un 1% del total de los aceites esenciales. Sin embargo, presentan el menor umbral de percepción, lo cual los hace notables influyentes en el aroma.

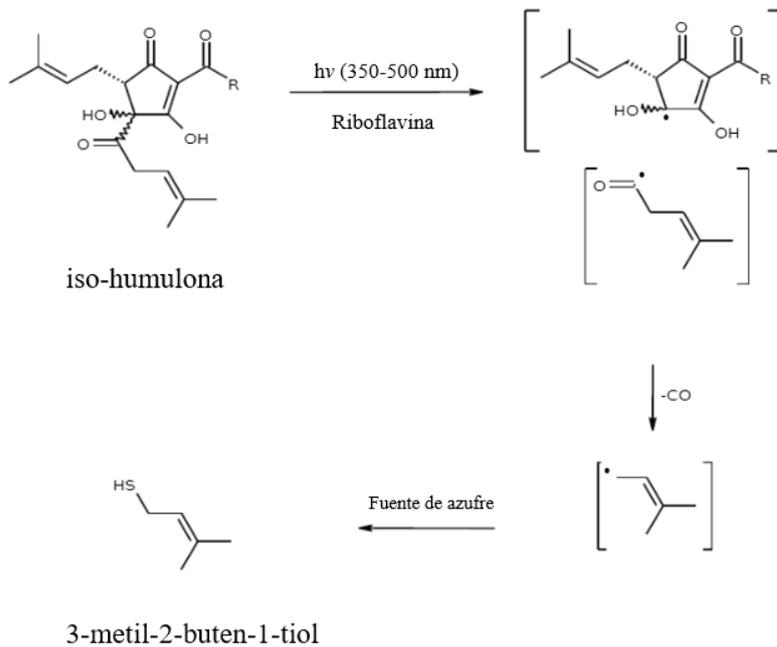
Además, el lúpulo cuenta con una serie de sustancias químicas denominadas glucósidos, que por acción de la levadura pueden derivar en componentes aromáticos positivos para la cerveza. Los glucósidos son moléculas formadas esencialmente por la unión de un glúcido (generalmente monosacárido), y una aglicona, que se trata de moléculas (alcoholes) que de forma aislada presentan en muchos casos propiedades aromáticas. De forma general, durante la fermentación, la levadura actúa sobre estos compuestos rompiendo su unión mediante hidrólisis, liberando en el medio los azúcares que lo componen, y las agliconas, que una vez liberadas en el mosto se presentan como sustancias aromáticas (Janish 2019). Por lo tanto, aumentando la presencia de este tipo de sustancias en los lúpulos usados, y fomentando su hidrólisis, se puede proporcionar una mayor intensidad de componentes aromáticos en la cerveza. En la actualidad, existen enzimas comerciales (beta-glucosidasas) que incrementan en gran medida la liberación de agliconas. Además, el lúpulo Amarillo, empleado en gran medida en la fábrica de Galician Brew, es el lúpulo que presenta un mayor potencial de liberación de geraniol debido a los glucósidos que lo integran (Janish 2019); de manera que, el uso de este tipo de enzimas complementado con la acción de la levadura, ayudaría a un mayor rendimiento de contribución aromática por parte del lúpulo.

Por otro lado, no solo los aceites esenciales del lúpulo contribuyen al aroma y sabor; existen múltiples fuentes, como la malta, levadura, o incluso la acción de la radiación solar, que pueden aportar notas tanto negativas como positivas en la cerveza final.

Existen diversas reacciones químicas y biotransformaciones, asociadas a la composición del lúpulo, que producen una variedad de componentes aromáticos negativos que pueden llegar a apreciarse en el producto final. Es el caso del ácido iso-valérico (ácido tres-metilbutanoico). Este último es un ácido graso que genera olores pútridos, que, entre otras, se produce por el uso de lúpulos mal conservados. Este se genera por la oxidación de la materia del lúpulo; causa común de la generación del ácido butírico, que se trata de otro tipo de ácido graso que genera aromas similares a vómito (Barrachina, De Mesones y Fernández, Los defectos de la cerveza y otros descriptores 2014).

Uno de los descriptores más notables en el mundo de la cerveza, negativamente hablando, es el ocasionado por el fenómeno “*lightstruck*”, que produce un aroma asociado popularmente a mofeta. Este se produce por la degradación fotoquímica de las iso-humulonas, que en presencia del fotosensibilizador riboflavina, generan un producto denominado 3-metil-2-buten-1-tiol, el cual presenta un umbral de percepción muy bajo, en torno a 4,4-35 ng/L (Irwin, Bordeleau y Barker 1993). La génesis de esta reacción se debe a la incidencia directa de la luz sobre la cerveza. La radiación que produce este fenómeno se encuentra en el rango de onda azul-ultravioleta, motivo por el cual se utilizan botellas marrones de manera general para envasar la cerveza, ya que funcionan como una barrera parcial ante la incidente radiación de dicha longitud de onda. Hoy en día existen ciertos productos avanzados del lúpulo que ofrecen protección ante tal reacción, los cuáles se comentarán más detalladamente en el apartado de “Formatos” (Keukeleire, y otros 2008) (Palmer, 2017).

Imagen 5. Mecanismo de formación del 3-metil-2-buten-1-tiol por (Kuroiwa, y otros 1963).



El tema del aroma es un apartado profundamente complejo. El ser humano presenta un total de unos 1000 genes asociados a receptores olfativos, y una cifra de alrededor de 20 millones de receptores en la nariz, lo que hace que la percepción de un mismo aroma no sea la misma para todas las personas. Además, el aroma final de la cerveza puede resultar diferente con respecto a lo deseado al añadir el lúpulo, ya que existen investigaciones científicas que demuestran como la levadura interacciona con ciertos componentes aromáticos presentes en el lúpulo, biotransformandolos en otras moléculas aromáticas, y cambiando de esta manera el aroma final. Es el caso de la transformación metabólica, ejercida por la levadura, del geraniol (floral) en citronerol (cítrico, afrutado) (Kiyoshi, y otros 2010). A todo esto, se suma el factor de que es muy difícil determinar la contribución aromática de cada compuesto, ya que existe un fenómeno de sinergia entre las diversas moléculas aromáticas que altera el umbral de percepción de cada tipo de sustancia. Este hecho se ve reflejado en un estudio alemán donde se determinó que una mezcla de cariofileno y nerol presenta un umbral de percepción de 170 partes por billón, frente a un umbral de percepción individual de 210 y 1200 ppb respectivamente (Schönberger y Kosteletzky 2011).

FORMATOS DE COMERCIALIZACIÓN

En general, Galician Brew utiliza lúpulos en formato de pellet, cuando son adquiridos de forma externa, y en flor, obtenidos a partir de cosecha propia.

En la actualidad, existen una gran variedad de formas de comercialización de lúpulo que ofrecen características distintas. Sin embargo, es recomendable usar todo tipo de forma de lúpulo lo antes posible, con el fin de asegurar su frescura y de evitar posibles oxidaciones y degradaciones de las resinas que desemboquen en pérdidas de potencial de amargor, y/o que el lúpulo adquiera aromas rancios. Por ello, siempre y cuando el lúpulo tenga que ser almacenado, este debe encontrarse a temperaturas muy frías y en bolsas, que, mediante barreras de oxígeno, garanticen su aislamiento del exterior con el objetivo de evitar toda pérdida de aromas.

Entre las distintas formas convencionales en las que se puede añadir lúpulo a la cerveza se encuentran la flor de lúpulo, secada y comprimida, y los pellets:

- **Flor de lúpulo:** Se trata de la forma más natural y fresca de añadir lúpulo a la cerveza. Una vez recolectadas las flores de las plantas, estas son secadas mediante aire ligeramente caliente hasta alcanzar un 10% de contenido en agua (condiciones ideales para su almacenamiento); posteriormente, son presionadas para reducir su volumen, y llevadas a vacío para obtener una atmósfera inerte y evitar su oxidación.
- **Pellets:** Es la forma de lúpulo más comercializada en la actualidad. Este tipo se genera mediante la molienda de las flores de lúpulo y su posterior compresión en balas. Todos los procesos llevados a cabo durante la pelletización se deben realizar en un ambiente refrigerado con el objetivo de evitar la degradación de los aceites esenciales y resinas. Principalmente existen dos tipos de pellets, los *Type 90* y *Type 50*, que básicamente hacen referencia a la cantidad de materia del cono de lúpulo que se encuentra en el pellet final, siendo un 90% para el primer tipo y un 45% para el segundo.

La principal diferencia entre ambas formas es que el % de utilización de los pellets es de un 10-15% superior con respecto al valor generalmente obtenido en el caso de la flor de lúpulo.

Esto se debe principalmente a que, durante la pelletización, las glándulas de lupulina se rompen, liberando el contenido en aceites esenciales y resinas que alberga en su interior, favoreciendo de esta manera la extracción de estos compuestos durante su adición en la cerveza. Siempre que se añadan frescos, la flor de lúpulo presenta una mayor contribución de aromas en la cerveza, ya que parte de los componentes volátiles de los pellet se pierden durante su producción. Los restos de la flor de lúpulo son más fáciles de retirar del mosto/cerveza ya que son más consistentes, mientras que los pellets forman grumos que pueden quedar retenidos en las diversas ollas y mostos debido a su dificultad de extracción; sin embargo, los restos de flor de lúpulo al ser retirados extraen mayor cantidad de mosto, suponiendo una mayor pérdida de volumen de cerveza. Los pellets, debido a su formato, son más fáciles de almacenar y manipular debido a su menor volumen (Palmer, 2017). Por otra parte, tras un año en almacenamiento, los pellets presentan una degradación de los AA del 10-20%; mientras que para la flor de lúpulo puede llegar a ser hasta del 100% (Hieronymus, 2012). Tras la evaluación de estas características, y las mejoras que supone la utilización de lúpulo en pellet, se concluye que la adquisición de una máquina pelletizadora por parte de Galician Brew, con el fin de aplicarla en el uso de lúpulos de cosecha propia, justifica en gran medida su inversión. Estas máquinas, dependiendo de su nivel de sofisticación, abarcan un amplio rango de precios; sin embargo, existen variedades más simples y pequeñas por alrededor de 2000 euros, las cuales producen pellets, pero no retiran parte de la materia vegetal indeseada del lúpulo (como en el caso de los *Type 90* y/o *Type 50*).

A parte de los formatos comentados con anterioridad, que serían los más frecuentados en su uso, existe una variedad de productos procesados de forma más compleja y avanzada, que, a pesar de ser más caros, ofrecen destacables mejoras. Algunos de estos son descritos a continuación:

- **Iso-pellets:** Se trata de pellets que han sido isomerizados antes de su adición a la olla de cocción. Estos productos se generan mediante el tratamiento térmico a altas temperaturas de una mezcla de pellets y sales de magnesio. Dichos formatos permiten una reducción del tiempo de cocción y una mayor capacidad de extracción, ya que los AA han sido previamente isomerizados. Todo esto, produce un incremento en el % de utilización con respecto a los formatos convencionales (Janish 2019).

- **Extractos de lúpulo:** La mayoría de estos productos se preparan mediante la extracción de los aceites esenciales y resinas del lúpulo mediante la utilización de CO₂ en estado líquido o supercrítico. Esta extracción consiste en hacer pasar el disolvente a través de una columna donde se adicionan los pellets de interés. La extracción resultante permite la retirada del lúpulo de los aceites esenciales y resinas blandas, dejando atrás las resinas duras, ceras, taninos, materia vegetal y el resto de los compuestos solubles en agua de no interés. Estos extractos a su vez se pueden preisomerizar. A pesar de que son productos relativamente caros, ofrecen una notable mejoría del % de utilización, ocupan menos volumen, no producen pérdidas de mosto (ya que una vez añadidos se disuelven y no hay que retirar ningún tipo de materia), y presentan un ratio de degradación en el tiempo mucho menor. A una temperatura de 20°C, durante un año de almacenamiento, la pérdida de AA es de en torno a un 2%, cifra remarcablemente más baja que para los pellets y las flores de lúpulo (Hieronymus, 2012).

Además, existen una serie de productos derivados del lúpulo que tienen funciones determinadas:

- **Inhibidores “*lightstruck*”:** Se tratan de una serie de extractos que contienen IAA preisomerizados que han sido tratados mediante reductores para evitar el fenómeno de degradación por fotólisis que genera el 3-metil-2-buten-1-tiol (MBT). Estos se pueden utilizar en adiciones post-fermentación o en la propia olla de cocción. El fenómeno *lightstruck* se evita íntegramente siempre y cuando no exista ningún tipo de IAA no reducido. Este tipo de productos presentan una estructura química en la que se encuentra reducido o bien el grupo cetona del radical que formaría el MBT (Rho), el doble enlace (Tetra-Hidro), o ambos (Hexa-hidro) (Hieronymus, 2012) (Janish 2019).

Rho-iso-alfa-ácidos: IAA tratados con el reductor borohidruro sódico (NaBH₄) para transformar el grupo cetónico en un grupo alcohol. Su amargor es del 60-70% con respecto al de los IAA.

Tetrahidro-iso-alfa-ácidos: IAA tratados mediante reacción de hidrogenólisis para la reducción del doble enlace. Su amargor es del 100-170% con respecto al de los IAA. Además, se usa en pequeñas cantidades para mejorar la formación de la espuma en la cerveza final.

Hexahidro-iso-alfa-ácidos: IAA tratados mediante reacción de hidrogenólisis para la reducción del doble enlace, y con borohidruro sódico para la transformación del grupo cetónico. Su amargor es del 100-120% con respecto al de los IAA. Se usa también en pequeñas cantidades para mejorar la formación de la espuma en la cerveza final.

- **Beta-extracto:** Mezcla de aceites esenciales y BA que se utiliza para aportar aromas y algo de amargor durante la cocción (Janish 2019).
- **Extracto de aceites esenciales enriquecido:** Extracto de CO₂ que contiene altas proporciones de aceites esenciales (~30%). Se usa sobre todo en *late-hopping* y *dry-hopping*. Existe una gran variedad de composiciones derivadas de mezclas de lúpulo distintos, las cuales permiten la integración de propiedades aromáticas especiales en la cerveza (Hieronymus 2012).

CONCLUSIONES

- Cultivo del lúpulo:

Actualmente, Galician Brew cuenta con cultivos de variedades de lúpulo diploides; sin embargo, el desarrollo de las variedades triploides supone un avance para la producción de conos de lúpulo. Básicamente, porque ofrecen frente a las variedades convencionales atributos más destacables: incremento por cono de lúpulo del contenido de aceites esenciales y resinas, ausencia de semillas, e incapacidad de reproducción por polinizaciones cruzadas.

Las características asociadas a los conos de lúpulo presentan una gran influencia por el modo de tratamiento de la planta llevado a cabo a lo largo de su desarrollo. Tal es así, que, en función del tipo de pesticida utilizado, se pueden producir de forma indirecta modificaciones organolépticas en las flores recolectadas. Por ello, un estudio y registro de control durante el cultivo de lúpulo, ayudaría a manejar dichas variables y establecer posibles mejoras en relación con la obtención de determinadas características finales en los conos de lúpulo.

A pesar de que la fábrica de Galician Brew se sitúa en una zona donde las temperaturas mínimas anuales son ligeramente superiores a las de vernalización de las plantas de lúpulo, un estudio (Bauerle 2019) abala que dicha vernalización no es un factor influyente en la producción de los conos, por lo que la cultivación del lúpulo se puede desarrollar de forma óptima.

- Mejoras en la obtención de amargor:

De forma general, Galician Brew utiliza lúpulos comerciales en formato de pellet. Sin embargo, una mayor eficiencia en la obtención de amargor, y una mayor estabilidad organoléptica de la cerveza final, se puede conseguir aumentando la proporción de *cis*-isohumulonas frente a sus isómeros *trans*, hecho que se puede lograr mediante la utilización de lúpulos preisomerizados. Además, los formatos de lúpulo preisomerizados presentan mayores % de utilización.

Un mayor volumen de producción (tanques de mayor superficie), y la elaboración de mostos de menor gravedad específica, aumentan el % de utilización del lúpulo debido a que incrementan la cantidad de IAA que sobrevivirán en la cerveza final.

Una mayor proporción de co-humulona aumenta el % de utilización, ya que este es el análogo más soluble en el mosto. Por lo que, el rendimiento de obtención de amargor se puede mejorar a partir del uso de lúpulos con mayor concentración de esta sustancia. Este objetivo se puede cumplir por parte de Galician Brew a partir de la comercialización y cultivación de variedades con mayor presencia de dicho compuesto.

- Aromas del lúpulo.

El lúpulo, independientemente de su formato, y además de almacenarse en todo momento refrigerado y aislado de todo contacto con el oxígeno, ha de incorporarse al proceso cervecero lo más fresco posible con el fin de evitar la degradación de resinas y pérdida de aromas. De esta manera, se reduce/inhíbe, a su vez, la generación de sabores indeseados como los ocasionados por el ácido isovalérico o ácido butírico.

Es necesario evitar en todo momento la incidencia directa de la radiación solar azul-ultravioleta sobre la cerveza, con el objetivo de eliminar toda reacción de fotólisis de los IAA, asegurando así la ausencia del compuesto 3-metil-2-buten-1-tiol y su consiguiente aroma negativo. Para ello, teniendo en cuenta que Galician Brew vende en una amplia gama de supermercados, se concluye que, una mayor inversión económica en botellas marrones con menor transmitancia de dicha radiación, mejoraría en gran medida la estabilidad organoléptica del producto en venta.

Los componentes aromáticos del lúpulo, añadidos previamente a la fermentación, pueden sufrir biotransformaciones llevadas a cabo por la levadura, ocasionando modificaciones en el aroma final. Es el caso de la transformación del geraniol en citronerol.

La intensificación de compuestos aromáticos se puede lograr mediante la adición de enzimas comerciales que fomenten la hidrólisis de los glucósidos del lúpulo, resultando de esta manera en un mayor rendimiento de utilización aromática del lúpulo. Esto conlleva un ahorro en temas de utilización de lúpulo con objetivos aromáticos.

- Formatos del lúpulo.

A pesar de que tanto los pellets como la flor de lúpulo presentan distintas características, por su practicidad, los primeros presentan ciertas ventajas que hacen el manejo del lúpulo más sencillo y eficaz. Estos ocupan menos volumen, presentan un % de utilización ligeramente mayor, contienen menos materia vegetal, se degradan en menor magnitud, y las pérdidas de mosto son menores. Por lo que, el tratamiento de pelletización de los lúpulos de cosecha propia de Galician Brew se podría llevar a cabo mediante la compra de una maquina pelletizadora, la cual vería justificada su inversión teniendo en cuenta las mejoras comentadas con anterioridad.

Los extractos de lúpulo, a pesar de que son más caros que los formatos convencionales, ofrecen claras ventajas en su uso en el proceso cervecero. Ocupan menos volumen, presentan un % de utilización mayor, experimentan un ritmo de degradación mucho menor, y no incorporan al mosto productos indeseados del lúpulo como resinas duras, ceras, taninos, etc.

Los productos inhibidores “*lightstruck*”, que se trata de extractos de lúpulo preisomerizados tratados específicamente para evitar el fenómeno de fotólisis de los IAA, garantizan la inhibición de este fenómeno asegurando la calidad y estabilidad organoléptica del producto final. A la vista de que Galician Brew presentan una importante parte de sus ventas en supermercados, lugares donde existe bastante incidencia de luz, el estudio de incorporación de estos productos en la producción cervecera se hace especialmente interesante.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrachina, Albert. «Análisi descriptiva de la cervesa 02.» 2020.
- Barrachina, Albert, Boris De Mesones, y José Severiano Fernández. «Los defectos de la cerveza y otros descriptores.» 2014.
- Bauerle, W.L. «Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding.» *Scientific Reports*, 2019.
- Boulton, Chris. *Encyclopaedia of brewing*. UK: Wiley-Blackwell, 2013.
- Brian. *Craft beer academy*. 21 de Noviembre de 2014. <https://craftbeeracademy.com/hop-anatomy/>.
- Curtis, David. «Putting some numbers on first wort and mash hop additions.» AHA National Homebrewers Conference, 2014.
- Hieronimus, Stan. *For the love of hops: The practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops*. USA: Brewers Publications, 2012.
- Irwin, A. J., L. Bordeleau, y R. L. Barker. «Model studies and flavor threshold determination of 3-methyl-2-butene-1-thiol in beer.» *Journal of American Society of Brewing Chemists*, 1993.
- Janish, Scott. *The New Ipa: A scientific guide to hop aroma and flavor*. ScottJanish.com, 2019.
- Jiang, Chuan-Hao, Tao-Li Sun, Da-Xiong Xiang, Shan-Shan Wei, y Wen-Qun Li. «Anticancer activity and mechanism of xanthohumol: A prenylated flavonoid from hops (*Humulus lupulus* L.).» *Pharmacol*, 2018.
- Keukeleire, Denis De, Arne Heyerick, Kevin Huvaere, Leif H. Skibsted, y Mogens L. Andersen. «Beer lightstruck flavor: The full story.» *Cerevisia*, 2008.
- Kishimoto, Toru. «Hop-derived odorants contributing to the aroma characteristics of beer.» *Journal of The Brewing Society of Japan*, 2009.
- Kiyoshi, T., y otros. «The contribution of geraniol to the citrus flavor of beer: Synergy of geraniol and citronellol under coexistence with excess linalool.» *Journal of the Institute of Brewing*, 2010.
- Kunze, Wolfgang. *Tecnología para cerveceros y malteros*. Berlin: VLB Berlin, 2006.
- Kuroiwa, Y., H. Hashimoto, N. Hashimoto, E. Kobuko, y K. Nakagawa. «Factors essential for the evolution of sunstruck flavor.» *American Society of Brewing Chemists*, 1963.

- Laws, D., y J. Elvidge. «Chemistry of hop constituents. Part XXXVII. Separation and characterisation of cis- and trans-isohumulone and deduction of absolute configurations.» *Journal of The Chemical Society C: Organic*, 1971.
- Nance, Marcelina, y William Setzer. «Volatile components of aroma hops (*Humulus lupulus*).» *Journal of Brewing and Distilling*, 2011.
- Ono, M., Y. Kakudo, Y. Yamamoto, K. Nagami, y J. Kumada. «Quantitative analysis of hop bittering components and its application to hop evaluation .» *Journal of American Society of Brewing Chemists*, 1984.
- Palmer, John J. *How To Brew: Everything you need to know to brew great beer every time*. USA: Brewers Publications, 2017.
- Patzak, Josef, Karel Krofta, Alena Henychová, y Vladimír Nesvadba. «Number and size of lupulin glands, glandular trichomes of hop (*Humulus lupulus* L.), play a key role in contents of bitter acids and polyphenols in hop cone.» *International Journal of Food Science and Technology*, 2015.
- Peacock, Val. «Percent co-humulone in hops: Effect on bitterness, utilization rate, foam enhancement and rate of beer staling.» Minneapolis: Master Brewers Association of the Americas, 2011.
- Schindler, R., Z. Sharrett, MJ. Perri, y M. Lares. «Quantification of α -acids in fresh hops by reverse-phase high-performance liquid chromatography.» *ACS Omega*, 2019.
- Schmidt, Christina, y otros. «Influence of different hop products on the cis/trans ratio of iso- α -acids in beer and changes in key aroma and bitter taste molecules during beer ageing.» *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 2014.
- Schönberger, C., y T. Kostecky. «125th Anniversary Review: The role of hops in brewing.» *Journal of The Institute of Brewing* , 2011.
- Tinseth, Glenn. «Glenn´s hop utilization numbers.» *Realbeer*. 25 de mayo de 2021.
<https://realbeer.com/hops/research.html>.
- Trojak-Goluch, Anna, y Urszula Skomra. «Breeding of triploid common hop cultivars (*Humulus lupulus* L.).» *Polish Journal of Agronomy*, 2018.
- Wilson, D. Gay. «Plant remains from the graveney boat and the early history of *Humulus lupulus* L. in Europe.» *New Phytologist*, 1975: 639.