



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**Origen de los aromas en la cerveza. Dry-Hopping como  
técnica potenciadora de aroma y sabor de cerveza  
artesanal.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**QUÍMICO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**ILSE IBÁÑEZ CONTRERAS**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.**

**2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **-DEDICATORIA-**

*A mi maestro **Blas Flore Pérez**, quien desde el inicio de la carrera me acepto en su laboratorio, siempre apoyándome, enseñándome y alentándome a seguir adelante.*

*Por siempre lo recordare.*

## **-AGRADECIMIENTOS-**

A mis padres por todo su apoyo incondicional durante todos mis años de estudio, a mi hermana que siempre ha creído y confiado en mí y a mis abuelos y tíos que desde niña siempre cuidaron de mí.

También a mis amigos que siempre han estado para apoyarme en momentos difíciles, así como a mi novio con quien compartí momentos muy importantes a lo largo de la carrera.

Finalmente, a mis jefes y el equipo de panificación y molinos de ENZQUIM que me apoyaron durante todo el proceso para llegar hasta aquí y me dieron la oportunidad de pertenecer a un gran equipo.

## -ÍNDICE-

1.	Introducción .....	1
2.	Tendencias del mercado actual en México .....	3
3.	Objetivos .....	6
4.	La cerveza .....	7
4.1	Historia .....	7
4.2	Tipos de cerveza .....	11
5.	Proceso general de elaboración de cerveza .....	14
5.1	Malteo .....	15
5.2	Tostado .....	16
5.3	Molienda .....	17
5.4	Macerado .....	17
5.5	Cocción .....	18
5.6	Enfriamiento .....	18
5.7	Fermentación .....	19
5.8	Envasado .....	19
6.	Materias primas y sus aportaciones organolépticas .....	20
6.1	Agua .....	20
6.2	Malta de cebada .....	21
6.3	Levadura .....	22
6.4	Lúpulo .....	25
6.5	Adjuntos .....	26

<b>7.</b>	Dry-hopping .....	27
7.1	Compuestos orgánicos aportados por dry-hopping .....	30
7.2	Efecto de la temperatura y variación de lúpulo en el dry-hopping .....	34
7.3	Eficiencia de extracción en el lupulado por dry-hopping.....	36
7.4	Transformación de los compuestos aromáticos en la cerveza .....	41
<b>8.</b>	Conclusiones .....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha observado un marcado aumento en la producción anual de cerveza a nivel nacional. En 2018, de acuerdo a la Dirección General de Estudios sobre Consumo de la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), la industria cervecera mexicana ha aportado aproximadamente 20 mil millones de dólares anuales, contribuyendo así en aproximadamente un 2% de la economía nacional.<sup>1</sup>

Por otra parte, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en su reporte publicado en el año 2021, “Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la Industria de la cerveza”, México tuvo una producción de 12,450 millones de litros en el año 2019 (**Figura 1**), mostrando un crecimiento promedio del 6.7% respecto a los seis años anteriores. Mientras que, el 22 de octubre del 2022, la portada de la revista “FORBES MÉXICO”, en su sección de negocios pronosticó que la industria cervecera crecería un 10% en dicho año, alcanzando una producción de alrededor de los 34 millones de litros.<sup>2</sup>

Además, es cabe mencionar, que debido a la pandemia del Covid-19, la mayor parte de las actividades económicas a nivel nacional, mostraron una reducción significativa en su producción, situación que no excluyó al campo cervecero. En este periodo (abril – mayo 2020) la producción de dicho producto se tornó en uno de sus peores momentos históricos, pasando de producciones de 1,100 millones de litros en el mes de marzo a producciones menores a 400 millones de litros. Sin embargo, la recuperación que demostró tener este campo logró superar a la economía general, según el Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE), lo cual, demuestra la importancia de dicho producto a nivel nacional, además del hecho, de

---

<sup>1</sup> Procuraduría Federal del Consumidor. 10/04/2018. [consultado 27 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/la-cerveza-mas-alla-de-la-fermentacion?state=published>.

<sup>2</sup> Forbes México. 22/08/2022. [consultado 21 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/la-industria-de-cervezas-artesanales-crecero-10-este-2022/>

que desde 2010, México se ha logrado posicionar como el primer exportador a nivel mundial de cerveza.<sup>3</sup>

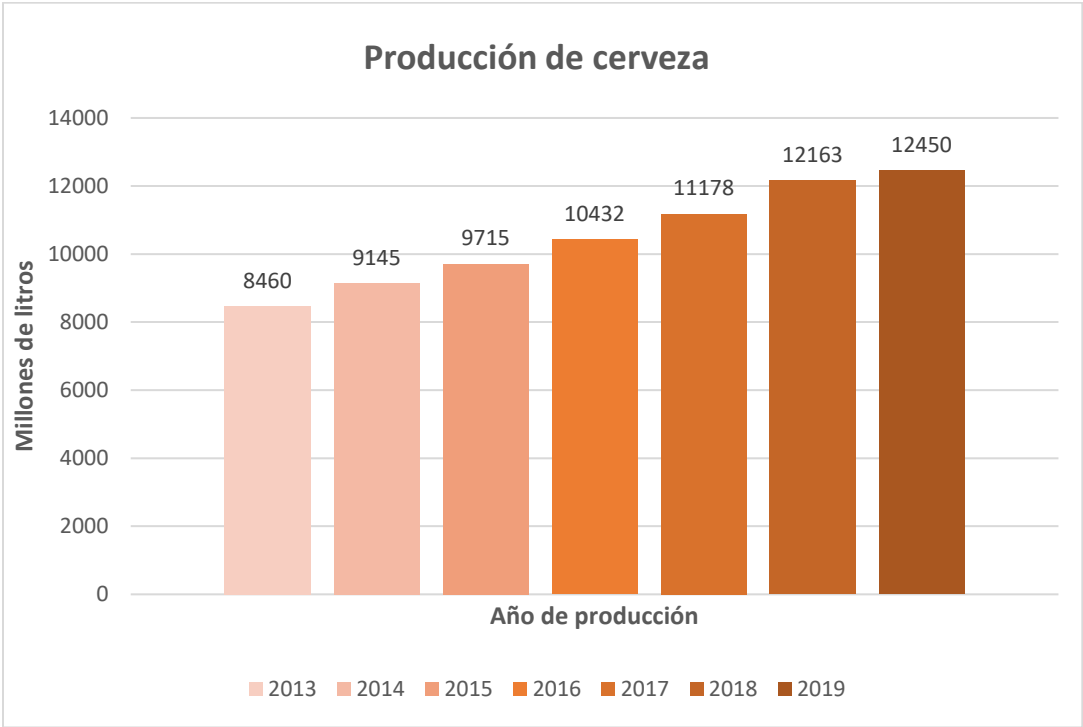


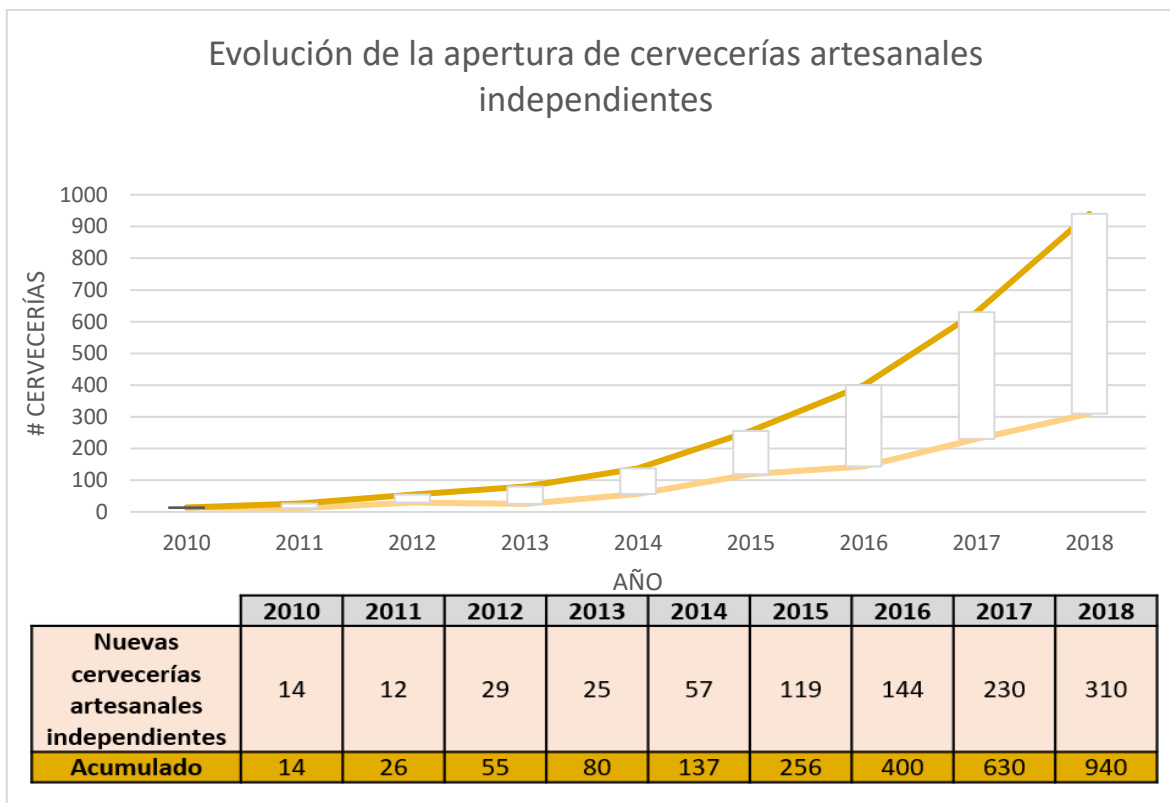
Figura 1. Producción anual de cerveza en México en un periodo de seis años.

Por otra parte, en los últimos años la industria cervecera se ha visto impulsada por el interés y curiosidad de la población por consumir productos de calidad fuera del “estándar comercial”, el cual ha sido marcado por las grandes industrias cerveceras nacionales como Grupo Modelo y Cuahutémoc-Moctezuma, dando así, lugar a un aumento en la tasa media de crecimiento anual (TMCA) de cerveza artesanal, el cual según ACERMEX, en el año 2018 se tenía una cifra del 53.29%, mostrando así un TMCA diez veces mayor al obtenido por la producción de cerveza industrial con un valor del 5.13%. Datos que pueden verse reflejados en la evolución de la apertura de cervecerías artesanales independientes en México (**Figura 2**).<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2021. [consultado 27 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825198428>.

<sup>4</sup> ACERMEX. 2018. [consultado 27 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://acermex.org/wp-content/uploads/2019/11/Reporte-de-la-Industria-.-.Acermex.pdf>





*Figura 2. Evolución de la apertura de cervecerías artesanales independientes entre el periodo 2010-2018.*

Con base en lo anterior, se vuelve evidente la importancia del desarrollo y entendimiento de procesos enfocados a la potencialización de aromas y sabores tales como el “*dry hopping*”, por lo que en el desarrollo de este proyecto se pretende abordar las técnicas habituales, así como las vertientes del proceso en cuestión, logrando ahondar en la química de esta técnica. De esta forma, la investigación realizada en el presente escrito tiene como hipótesis el demostrar que la aplicación de esta técnica en la fabricación de cerveza es viable como técnica potenciadora de sabor y aromas en distintos perfiles de cerveza artesanal.

## 2. TENDENCIAS DEL MERCADO ACTUAL EN MÉXICO

Un estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) junto con la Cámara Nacional de la Industria de la Cerveza y la Malta (Cerveceros

de México) en el año 2021, mostró la relación de la industria cervecera con varios sectores productivos, así como las importaciones y exportaciones de este producto, revelando algunos datos fundamentales de la industria cervecera en México:

- El 65% de las ganancias de bebidas alcohólicas provienen de cerveza (**Tabla 1**).

Tabla 1. Delimitación respecto a la industria de las bebidas alcohólicas.

CÓDIGO SCIAN	ACTIVIDAD ECONÓMICA	UNIDADES ECONÓMICAS	PERSONAL OCUPADO	INGRESOS BRUTOS
	Bebidas alcohólicas	100.0	100.0	100.0
312120	Elaboración de cerveza	9.6	49.3	65.0
312131	Elaboración de bebidas alcohólicas a base de uva	5.1	3.8	1.1
312132	Elaboración de pulque	6.0	0.6	0.01
312139	Elaboración de sidra y otras bebidas fermentadas	2.5	1.0	0.004
312141	Elaboración de ron y bebidas destiladas de caña	3.5	2.7	1.5
312142	Elaboración de bebidas destiladas de agave	58.5	39.3	31.7
312149	Elaboración de otras bebidas destiladas	14.8	3.3	0.7

Fuente: INEGI. Censos Económicos 2019.

- Entre el 2013 y 2019, el promedio anual del crecimiento de producción de cerveza fue del 6.7% (**Figura 3**).

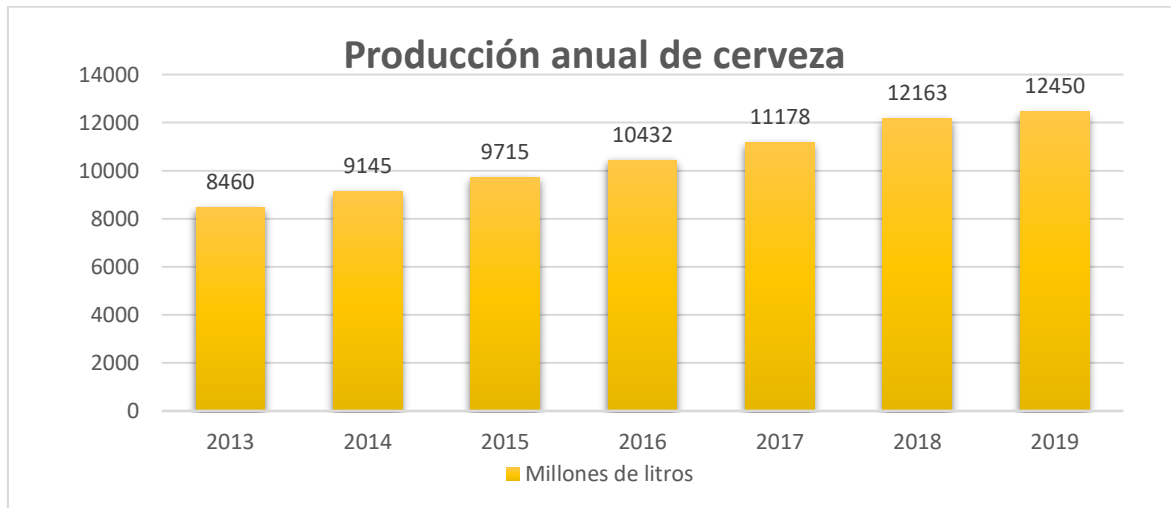


Figura 3. Producción de cerveza anual en el periodo 2012-2019.

Fuente: INEGI. Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera.

- De los insumos que necesita la industria cervecera, el 73% de ellos son de origen nacional.
- En los meses de abril y mayo del 2020, se produjo una disminución en la producción de cerveza de más del 50% (esto debido a la pandemia de Covid

sufrida a nivel mundial), teniendo una recuperación en su producción entre junio y julio del mismo año, superando en este último mes, la producción que se tenía antes de su desplome en abril.

- Zacatecas, Coahuila de Zaragoza, Nuevo León y Sonora fueron los mayores productores de cerveza en México durante el 2019, acumulado estos cuatro un 56.2% (**Figura 4**).<sup>5</sup>

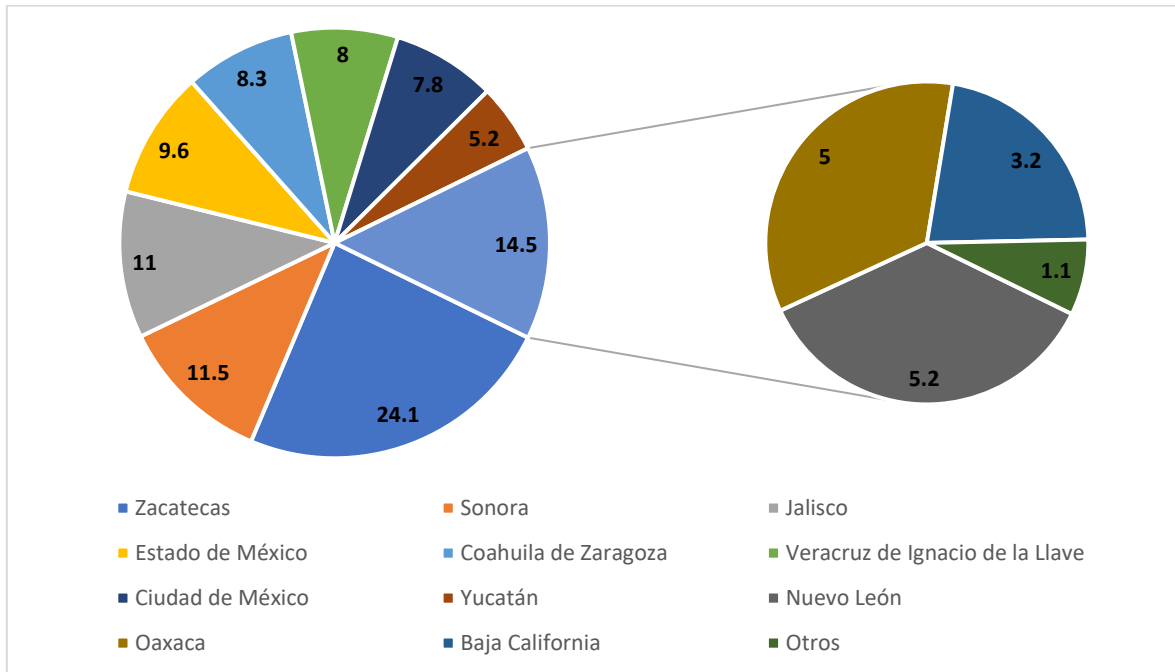


Figura 4. Estados productores de cerveza.

Finalmente, es necesario conocer que en México la tendencia al consumo de la cerveza inició con los establecimientos cervecería-restaurante que aparecieron en Monterrey y en la ciudad de México entre 1996 y 1997, convirtiéndose hoy en día, en el producto que domina el mercado de las bebidas alcohólicas, al representar más del 80% del total de las ventas de este sector. Además, desde 2010, México es el exportador de cervezas número uno a nivel mundial, observando un crecimiento promedio anual de exportaciones del 13.1% en el periodo 1993-2019.

<sup>5</sup> Fuente: INEGI. Censos Económicos 2019.

De acuerdo a una encuesta realizada por Deloitte, la cerveza artesanal ocupa el segundo lugar en bebida alcohólica preferida por los mexicanos, ocupando la primera posición la cerveza industrial. La tendencia al consumo de cerveza artesanal va en aumento y esto se debe principalmente a la variedad de sabores que esta bebida ofrece, además de que la sensación que brinda es totalmente diferente a una cerveza industrial. Las personas buscan sabores, calidad, cremosidad y aromas, los cuales son atributos determinantes al momento de degustarla. Así el sabor, nivel de amargor, ingredientes y el aroma son los factores más importantes para los consumidores al momento de tomar una decisión.<sup>6</sup>

### 3. OBJETIVOS

#### GENERAL

- Estudiar el origen de los compuestos principales que proporcionan aromas y sabores en el proceso de producción de la cerveza artesanal, mediante una búsqueda bibliográfica para así poder contribuir con el desarrollo de cervezas artesanales con características direccionadas a atributos de aroma y sabor específicos.

#### PARTICULARES

- Estudiar el aporte de amargor y aroma aportados por diferentes especies de lúpulo en los procesos de *dry-hopping*.
- Observar el cambio en los perfiles organolépticos al modificar variables tales como concentración tiempo y temperaturas del proceso de *dry-hopping*.
- Abordar la técnica de *dry hopping* desde un enfoque químico con la finalidad de generar conocimiento en el área del desarrollo de nuevos productos de la cerveza artesanal.

---

<sup>6</sup> Deloitte. Cerveza artesanal. Una experiencia multisensorial, 2017. [consultado 10 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/consumer-business/articles/cerveza-artesanal.html>.

- Encontrar los perfiles de cerveza para los cuales el uso de la técnica *dry hopping* (de acuerdo a su alcance), aportaría un mayor impacto.

## **4. LA CERVEZA**

La cerveza es la bebida alcohólica no destilada obtenida a partir de la fermentación de uno a varios cereales, principalmente de la malta, obtenida por el proceso de malteo de la cebada, pero en donde también se puede incluir trigo, centeno, avena, sorgo o mijo.

### **4.1 Historia**

La cerveza y otras bebidas alcohólicas jugaron un papel sustancial en la cultura de las civilizaciones antiguas, la sensación que provocaba la ingesta de estas bebidas estaba relacionado a lo espiritual y a sus tradiciones, en los banquetes y cenas ceremoniales se servían como acto divino y sentido de hermandad. A lo largo del tiempo la elaboración de cerveza ha pasado de ser un proceso meramente artesanal a convertirse en una de las grandes industrias de la actualidad.

#### **Sumerios (6000 a.C.)**

El primer testimonio histórico del origen de la cerveza data de la civilización sumeria. En la región sur de la antigua Mesopotamia se encontraron las primeras evidencias escritas en arcilla, las cuales, mencionan una bebida obtenida a partir de la fermentación de granos a la que llamaban "*sikaru*". En ese entonces el 40% de la producción de cebada, trigo y mijo de esa región era destinada a la elaboración de pan malteado de cebada, que consistía en la elaboración de panes de cebada que dejaban fermentar con agua por varios días, ya sea para su consumo, uso curativo o para honrar a los dioses. Posteriormente los Babilonios heredaron de los Sumerios el arte del cultivo de la tierra y la elaboración de la cerveza, su elaboración fue tan importante que Hammurabi incluyó en su código un conjunto de normas para la regulación de la elaboración, consumo y venta de la cerveza, en donde su

producción tenía un carácter mayormente religioso y era realizada sólo por las sacerdotisas.<sup>7</sup>

### **Antiguo Egipto (3300 a.C.)**

Por otra parte, la civilización egipcia, que durante mucho tiempo se consideró erróneamente como la cuna de la cerveza, retomó y desarrollo las técnicas establecidas por los mesopotámicos. Para los egipcios, la divinidad de *Osiris*, era la causal de que el hombre pudiera preparar dicha bebida y estaba estrechamente relacionada con el culto a los muertos.<sup>8</sup> En algunas ofrendas de tumbas que datan de los años 3100 a.C. se han encontrado restos de vasijas con residuos de cerveza. Con la victoria de los tebanos en el año 2100 a.C. y los subsecuentes cambios en la estructura del imperio, la cerveza pasa de ser una ofrenda religiosa a una bebida de hospitalidad, moneda y base de pago. Su producción para entonces se ve impulsada por su exportación al mediterráneo.

### **Grecia (776 a.C.)**

Para los griegos la cerveza tenía poco valor religioso, el “zythum” o “vino de cebada” era la cerveza más popular de su época, dado que era considerada la bebida por excelencia de los egipcios, sin embargo, fue una bebida poco consumida por ellos. El dios de la vegetación llamado Dionisio, al que rendían culto con las fiestas llamadas dionisiacas era ante todo el dios de la vid y el vino, eran grandes consumidores de vino y consideraban a la cerveza la bebida de pueblos inferiores, sin embargo, el filósofo griego Platón (428-347 a.C.) dijo que el que había inventado la cerveza era un sabio, el poeta Sófocles (496-406 a.C.) recomendaba una dieta de pan, carne, verduras y cerveza, y para el historiador griego Heródoto (484-420 a.C.) la cerveza era un brebaje milagroso capaz de curar diversas enfermedades, muy eficaz para la picadura del escorpión.

---

<sup>7</sup> P. Duboe-Laurence; C. Berger. El libro del amante de la cerveza, José J. de Olañeta, 1988.

<sup>8</sup> J.G. Griffiths. The Origins of Osiris and His Cult, Brill, Leiden, 1980.

Si bien, la cerveza no fue la bebida favorita de los griegos, esta fue muy consumida por sus vecinos contemporáneos, los Frigios. que habitaban en la antigua región de Asia Menor.<sup>9</sup>

### **Roma (58 a.C.)**

Roma conoció la cerveza a través de Grecia. El imperio romano era grande y la cerveza también. En él, se bebía mucha cerveza dejándose como bebida del pueblo, porque su precio era inferior al vino que era reservado para la alta sociedad.

### **Medio Oriente**

Por otro lado, en China, desde el segundo milenio antes de nuestra era, se puede encontrar en los textos registro de cervezas, que entonces se producían con mijo; *T'ien tsiou* que es la cerveza verde y *tsiou*, que es la cerveza final.

Para los inicios del imperio chino ya conocían tres clases de cerveza: la *shu*, producto de la fermentación del mijo, la *li* que era una cerveza suave de arroz y la *chiu*, hecha de trigo tipo candeal. Con la dinastía Tang (618-907) surgen las cervezas de estación, con base en los tipos de levaduras encontradas en invierno y primavera, dando origen a una subsecuente variedad de cerveza a través de los años. Actualmente, algunas de estas cervezas como la Shanghái Beer (cebada con arroz) son exportadas a Europa.

### **Europa**

En el caso de Europa, la primera fuente histórica de la cerveza en esa región, data de la edad de bronce nórdica, encontrada en un recipiente hecho de corteza con los restos de una fermentación de cereales, miel, bayas y mirto. En 1500 a.C. las condiciones climáticas movilizan a dichos pueblos cerveceros nórdicos hacia el sur, ocupando poco a poco lo que actualmente es Alemania, Holanda y Francia.

Posteriormente (400 a.C.), escandinavos, germanos y celtas ya compartían la misma cultura de la cerveza. Para el año 1000, ya se empieza a notar la separación

---

<sup>9</sup> Historia de la cerveza. [consultado 09/02/2021]. Disponible en: <https://www.loscervecistas.es/historia-de-la-cerveza/>.

actual entre el vino y la cerveza en Europa. Durante el imperio Romano, el vino estaba considerado como la bebida de la civilización y el progreso, mientras que la cerveza la consumían los barbaros y paganos del este y norte de Europa.<sup>10</sup>

## América

En cuanto a la cerveza precolombina o cerveza de maíz, esta tiene su origen en Perú, entre los años 700 y 200 a.C. con un culto al sol que los indios realizaban como devoción al dios del maíz, siendo entonces una cerveza elaborada a partir de la fermentación de este grano, específicamente de la masticación de pasta cocida de maíz que realizaban las doncellas puras, ya que se creía que era una de las formas para fermentar dicha bebida. Además de ese método, antes de la llegada de los españoles, los indios conocían otra variante en donde hacían germinar el maíz muy humedecido, lo secaban a la intemperie, lo molían y fermentaban en un recipiente con agua, siendo este último método el desarrollado por los colonos. La cerveza de maíz fue bien aceptada por los soldados españoles al grado de hacer un lado el vino, dicha bebida fue encontrada lo largo de todo el continente y se le conocía como *chicha*.

Desde el descubrimiento de América Latina y la consecuente colonización, tanto conquistadores como religiosos intercambiaron e implementaron cultivos conocidos alrededor del mundo, como la vid, la cebada y el lúpulo para la elaboración de cerveza, impulsando así la expansión de esta bebida por todo el globo.

De acuerdo a algunos registros, cuando los españoles llegaron a la Nueva España, los nativos ya preparaban una bebida embriagante parecida a la cerveza de Europa a la que llamaban tesgüino, una bebida fermentada a base de maíz. Para el segundo viaje de Colon, en el año de 1514 ya se producía cebada en la región, sin embargo, el vino por los españoles fieles a sus costumbres y sobre todo el pulque cultura de los nativos estaban por encima de esta. Durante los primeros años

---

<sup>10</sup> P. Duboe-Laurence; C. Berger. El libro del amante de la cerveza, 1988.



de la colonia, la cerveza, era una bebida rara en la Nueva España, esto debido a que era muy escasa y cara.

La elaboración de cerveza en América latina inicio formalmente en el siglo XIX influida por Inglaterra, los extranjeros provenientes de Europa fueron quienes impulsaron su producción. En Nueva España la cerveza no era la bebida preferida de la región, siendo el pulque la bebida predilecta, por lo cual tuvieron que pasar 400 años para que la cerveza desplazara al pulque y fuera preferida por los mexicanos.<sup>11</sup>

#### **4.2 Tipos de cerveza**

Actualmente existen un gran número de estilos de cerveza, sin embargo, las cervezas se clasifican en tres grandes familias, las cuales se distinguen por la naturaleza de las levaduras usadas en su fermentación:

- 1) Ale: Levaduras con temperaturas de alta fermentación de entre 15 y 25°C.
- 2) Lager: Levaduras con temperaturas de baja fermentación alrededor de 5°C.
- 3) Lámbica: De fermentación espontánea, con levaduras silvestres y a temperatura ambiente.

De esta clasificación, se derivan diferentes estilos de cerveza, logrando apreciar una gran variedad de aromas, colores y sabores. Entre los principales estilos se pueden encontrar los estilos Porter, IPA, Stout y Pale Ale derivados de las cervezas tipo “Ale”, mientras que para el caso de las “Lager”, los estilos más representativos son las cervezas Bock y Pilsner (**Figura 5**).

---

<sup>11</sup> Reyna, M. C.; Krammer, J. P. Apuntes para la historia en Mexico, INHA. [consultado 10/0/2023]. Disponible en: <https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/libro%3A754>

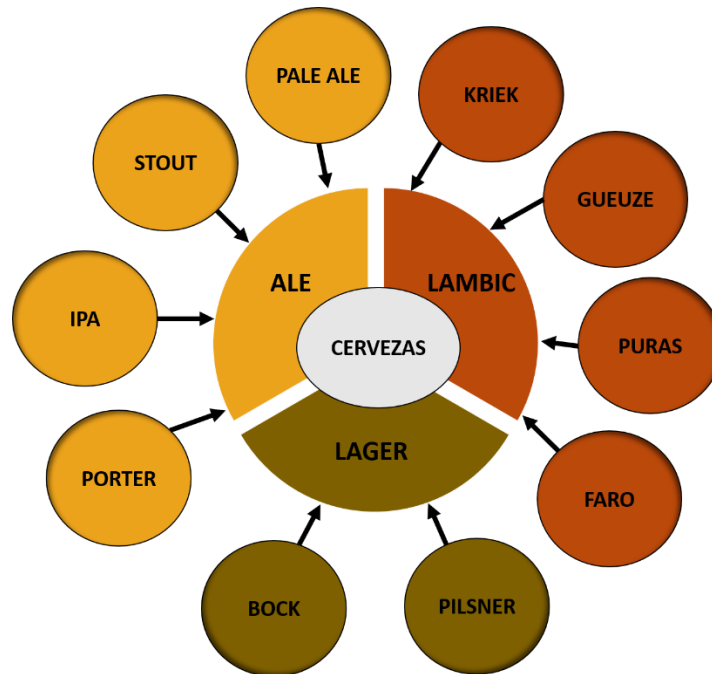


Figura 5. Estilos de cerveza.

Finalmente, cada una de estas subclases presentan particularidades que las definen y diferencian de las otras:

- **Porter:** Cerveza color negro con reflejos rubí, con una espuma de color beige, con toque sabor a café, chocolate y caramelo, manteniendo una textura cremosa y resaltando las notas de la malta. Contiene entre 4 a 6 grados de alcohol.
- **IPA:** Cerveza color pálido dorado de origen británico, son más fuertes y amargas, ya que el contenido de lúpulo es mayor a la original Pale Ale. Hay variantes con sabores secos, toques a naranja y hasta cervezas rojo-ámbar. Generalmente contiene 5 grados de alcohol.
- **Stout:** Son cervezas de color café muy profundo o negro, tienden a ser amargas con toques afrutados, dando un toque dulce o un sabor picante, con cuerpo, algunas tienen perfiles de ésteres y fenoles. Llegan a tener sabores tostados, comparten muchas similitudes con la Porter, pero su grado alcohólico tiende a ser mayor. Rondan entre los 5 y 6 grados de alcohol, pero pueden llegar hasta valores de 9.

- **Pale Ale:** Color bronce o cobre, tiene un sabor amargo con sabores afrutados, resaltan el sabor de la malta, tiene una textura seca o cremosa con un lúpulo aromático que resalta su aroma. Contienen generalmente entre 4 y 6 grados de alcohol.
- **Bock:** Cerveza de color marrón oscuro con sabor seco y bastante intenso en amargor; aromáticamente la malta está muy resaltada dando aromas dulces, pero sin afectar el sabor amargo pronunciado. Su contenido alcohólico generalmente supera los 6 grados de alcohol.
- **Pilsner:** Color dorado con sabor firme y suave, atenuando los sabores de la malta y manteniendo el carácter del lúpulo. Originalmente contenía 4 grados de alcohol, pero actualmente está entre 3 a 6 grados de alcohol.
- **Krieke:** Cerveza de color entre marrón brillante y dorado con sabores afrutados dulces o cítricos, dando un toque ácido y seco, algunas cervezas resaltan el sabor y aroma de especias como jengibre, canela y anís. Estas cervezas son afrutadas, pueden tener extractos de cerezas, naranjas, cítricos o frutos rojos. Generalmente contiene entre 5 y 6 grados de alcohol.
- **Gueuze:** Cerveza lámbica con un color entre marrón brillante y dorado, resaltan las notas tostadas y de cardamomo, muy características de bebidas alcohólicas como el champagne. Se caracteriza por realizar la fermentación en botella aportando así, su sabor característico a champagne. Generalmente contiene 4.4 grados de alcohol, pero pueden llegar hasta los 6 grados.
- **Puras:** Cerveza de color entre marrón brillante y dorado con sabores afrutados o cítricos, dando un toque ácido y seco, algunas cervezas resaltan sabores a especias como jengibre, canela y anís si usan algunos de estos. Estas cervezas no son endulzadas. Generalmente contiene 4 grados de alcohol.
- **Faro:** Cerveza de color entre marrón brillante y dorado con sabores afrutados o cítricos, dando un toque ácido, algunas cervezas resaltan sabores a especias como jengibre, canela y anís si usan algunos de estos, estas cervezas son endulzadas con caramelo oscuro. Contienen entre 4 a 6 grados de alcohol.

## 5. PROCESO GENERAL DE ELABORACIÓN DE CERVEZA

Los procesos de elaboración de la cerveza suelen dividirse en procesos del tipo industrial, artesanal o casero dependiendo principalmente de la cantidad de producto a elaborar. De esta forma, los procesos industriales son aquellos que se llevan a cabo en grandes plantas de producción, utilizando equipos y maquinaria especializada. Estos procesos suelen ser altamente automatizados, lo que permite producir grandes volúmenes de cerveza de manera rápida y eficiente, incluyendo todas y cada una de las etapas involucradas en la elaboración de la misma. Además, es muy común a nivel industrial, el uso de aditivos y adjuntos para favorecer la clarificación del producto, así como modificar color, aroma y viscosidad.

Por otra parte, los procesos considerados como artesanales son aquellos que se llevan a cabo en pequeñas cantidades y de manera más tradicional. Estos procesos suelen ser más lentos y requieren mayor intervención manual por parte del cervecero ya que las notas fuertes a lúpulo o bien la cantidad y variedad de materias primas usadas suelen llevarse en cantidades más grandes comparadas con las cervezas industriales. Ahora bien, en dicho proceso se suele evitar el malteo del grano de cebada, con lo cual se inicia el proceso con la malta como materia principal.

Por último, los procesos caseros son aquellos que se llevan a cabo en el hogar, utilizando ingredientes y equipo más sencillo. Estos procesos suelen ser más rápidos que los procesos artesanales, y son adecuados para aquellos que deseen producir pequeñas cantidades de algún tipo de cerveza ya estandarizada para su consumo personal. De esta manera, suelen utilizarse insumos previamente elaborados con las cantidades adecuadas de lúpulo y maltas para comenzar el proceso directamente en la etapa de cocción, o bien directo en la fermentación.

El proceso general de elaboración de la cerveza parte del malteado del grano de cebada que posteriormente permite la extracción en medio acuoso del mosto, al que se le adiciona el lúpulo y se somete a un proceso de fermentación alcohólica con levadura. **(Figura 6):**

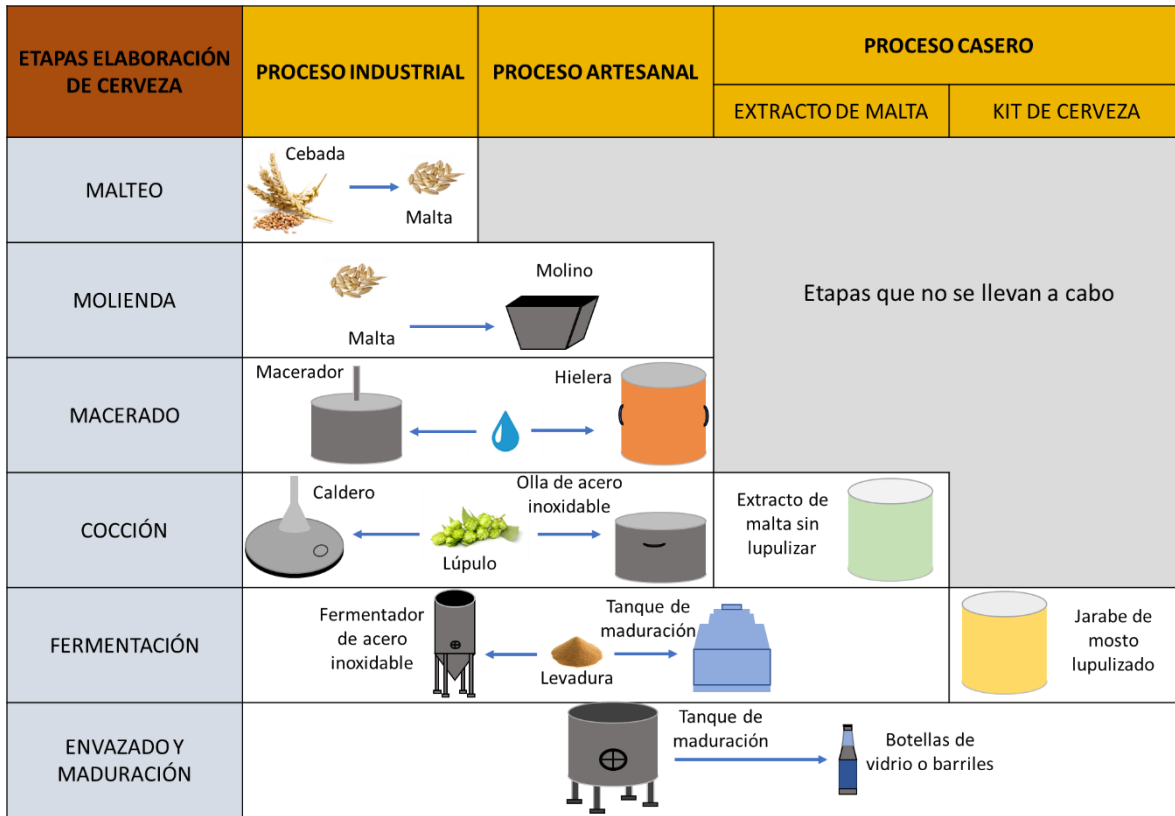


Figura 6. Etapas del proceso general de la elaboración de cerveza para procesos industriales, artesanales y caseros.

## 5.1 Malteo

Es el proceso de germinación controlada del grano a través del cual desarrollan las enzimas necesarias para el posterior proceso de maceración.<sup>12</sup> El proceso de malteo se divide en varios pasos:

1. Selección y limpieza: Se seleccionan los granos de cebada más aptos para el malteo y se eliminan impurezas como piedras o partículas de tierra.
2. Remojo: Los granos se remojan en agua durante unos días para estimular la germinación.
3. Germinación: Los granos se colocan en un lugar cálido y húmedo para que germinen. La germinación libera enzimas que se utilizarán más tarde para convertir los carbohidratos del grano en azúcar.

<sup>12</sup> Lewis, M. J.; Young, T. W. Brewing, 2013.

4. Secado: Una vez germinados, los granos se secan en un horno para detener la germinación en el punto adecuado en donde la relación entre carbohidratos y enzimas se encuentran en su mayor nivel.

El proceso de malteo produce varios cambios químicos en el grano de cebada que son importantes para la fabricación de cerveza. Algunos de estos cambios son:

- Conversión de carbohidratos: Durante la germinación, se producen enzimas que convierten los carbohidratos complejos del grano en azúcares simples que luego se utilizarán para la fermentación.
- Cambios en la proteína: Durante el proceso de germinación y secado, se produce una degradación de las proteínas del grano, lo que afecta la textura y el sabor de la cerveza final.
- Reacciones de Maillard: El secado del grano a altas temperaturas favorece reacciones entre aminoácidos y azúcares que dan lugar a compuestos aromáticos y a la formación de color en el grano malteado, dichos compuestos aromáticos influyen en el sabor y aroma de la cerveza.

En general, el proceso de malteo produce cambios químicos en el grano de cebada que son necesarios para la fermentación y aportan gran parte de las características organolépticas de la cerveza.

## **5.2 Tostado**

El objetivo del tostado es reducir la cantidad de agua y otorgar sabores diferentes a los granos, lo cual posteriormente dará una cerveza con un sabor más amargo y/o un color más oscuro dependiendo el grado del tostado.<sup>13</sup> En esta etapa se llevan a cabo procesos de deshidratación del grano, reacciones de Maillard, procesos de

---

<sup>13</sup> Hornsey, I. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. **2000**, pp. 1-5.

caramelización (degradación de azúcares y formación de compuestos aromáticos y pigmentos), así como la oxidación de ácidos grasos y lípidos presentes en el grano.

Estos procesos influyen en el sabor, aroma y color de la malta tostada y por ende en la cerveza, usándose generalmente en la elaboración de cervezas oscuras y de sabor intenso como lo son las Stout y Porter.

### **5.3 Molienda**

La finalidad de la molienda es la producción de partículas de pequeño tamaño que puedan ser rápidamente extraídas y atacadas por los enzimas durante la maceración.

### **5.4 Macerado**

El proceso de macerado es una etapa importante en la elaboración de cerveza, y consiste en el remojo de la malta tostada en agua para extraer los azúcares y otros compuestos solubles que se utilizarán como alimento para la fermentación.

Durante la maceración las enzimas llevan a cabo la hidrólisis de los azúcares de malta y se produce el mosto dulce, para ello, las temperaturas del macerado se deben estandarizar en función de la actividad enzimática que se desee priorizar y por lo tanto de las propiedades de la cerveza a producir.

Durante esta etapa, ocurren varios procesos químicos que contribuyen al sabor y aroma de la cerveza, algunos de los más importantes se mencionan a continuación:

- **Descomposición del ácido húmico:** El ácido húmico es un compuesto orgánico presente en la cáscara de la malta que se descompone durante el macerado en compuestos aromáticos y otros productos de descomposición. Estos compuestos pueden contribuir al sabor y el aroma de la cerveza.
- **Reacciones de Maillard:** Durante el macerado, también pueden ocurrir reacciones de Maillard entre aminoácidos y azúcares presentes en la malta.
- **Extracción de azúcares y otros compuestos solubles:** El agua caliente utilizada durante el macerado extrae azúcares y otros compuestos solubles

de la malta, como proteínas y aminoácidos, favoreciendo en algunos casos, procesos de gelificación que contribuyen en el proceso al facilitar la filtración del mosto.

- Hidrólisis de almidón: Durante el macerado, también ocurre la hidrólisis del almidón presente en la malta. El almidón se descompone en azúcares simples, como la glucosa y la maltosa, que luego se utilizan como alimento para la fermentación.

Cuando el macerado ha finalizado, se filtra la solución resultante, llamada "mosto", para separar los residuos sólidos de la malta de la solución líquida.

### **5.5 Cocción**

La cocción es una etapa importante en la elaboración de cerveza, y consiste en hervir el mosto para inactivar enzimas, eliminar bacterias potencialmente dañinas de aditivos añadidos en este proceso, y concentrar los compuestos solubles.

Durante esta etapa se realiza la adición del lúpulo. Por lo general, las cervezas que solo han sido lupulizadas en el hervidor tienen un aroma muy bajo debido a que gran parte de los volátiles aromáticos se pierden por evaporación, oxidación o eliminación mecánica. Sin embargo, se ha demostrado que se produce una disminución del amargor a medida que se agregan lúpulos al final de la ebullición, conservándose así, una mayor cantidad de volátiles.

### **5.5 Enfriamiento**

Este paso es muy importante para la adición de la levadura. El sistema más empleado industrialmente para el enfriamiento del mosto es el del serpentín de acero inoxidable o mediante el uso de un "chiller" o intercambiador de calor por placas. Una vez alcanzada la temperatura adecuada se inocula la levadura, ya que a temperaturas altas se puede matar al microorganismo, generando que el proceso de fermentación no se lleve a cabo.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Huxley, S. La cerveza. Un manual para cervesiáfilos. Equipo, Instrumentos y Fermentación. **2002**, pp. 214-219.



## 5.6 Fermentación

La fermentación es el proceso más importante de la elaboración de cerveza, ya que es la etapa en donde se convierte los azúcares fermentables en alcohol y dióxido de carbono mediante el uso de las enzimas producidas por las levaduras. Tras el enfriamiento del mosto, este es trasvasado al fermentador en donde se inocula la levadura llevando a cabo algunos procesos bioquímicos:

- Glucólisis: Las levaduras convierten los azúcares fermentables disueltos (fuentes de glucosa) en energía y piruvato.
- Transformación del piruvato: El piruvato es transformado en acetaldehído por la acción de la piruvato deshidrogenasa.
- Transformación del acetaldehído: El acetaldehído es convertido en alcohol etílico por la presencia de alcohol deshidrogenasa.
- Producción de dióxido de carbono: El CO<sub>2</sub> es producido en la fermentación como subproducto del proceso.

Los tiempos de fermentación pueden variar de acuerdo al estilo de cerveza mientras que la temperatura de fermentación y el tipo de levaduras utilizado, dependerán del estilo de cerveza deseado<sup>15</sup>.

En algunos casos, sobre todo en estilos de cerveza artesanal, es común llevar a cabo una fermentación secundaria mediante el uso de sacarosa para la gasificación de la cerveza. Sin embargo, este proceso puede realizarse mediante gasificación forzada con CO<sub>2</sub>.

## 5.7 Envasado

Cuando la cerveza ya ha alcanzado el grado de fermentación deseado, se transfiere al tanque de maduración, donde a una temperatura adecuada (según el estilo la cerveza), madurará produciendo un mayor volumen de gas. Una vez madurada la cerveza, es gasificada (de ser el caso) y envasada.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Ramirez, W. F.; Maciejowski, J. *Ints. Brew.*, 2007, 113, 325-333.

<sup>16</sup> Ian S. Hornsey. *Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología.* pp. 141 – 158.

## 6. MATERIAS PRIMAS Y SUS APORTACIONES ORGANOLÉPTICAS

La cerveza es una mezcla compleja, no solo por los compuestos que aportan las materias primas utilizadas para su elaboración (agua, malta, lúpulo y levadura), sino porque durante las diferentes etapas del proceso se producen entre ellas numerosas reacciones e interacciones que definen las características organolépticas de esta.<sup>17</sup>

### 6.1 Agua

El 95% de la composición de la cerveza es agua, su uso no se limita únicamente como materia prima, también, forma parte importante durante el proceso de la elaboración en la limpieza de los equipos, generación de vapor, enfriamiento, etc. Es importante mencionar, que las propiedades del agua empleada como materia prima influirán en el proceso, de esta forma y de manera histórica, las características de los diferentes estilos de cerveza fueron influenciadas por la composición del agua utilizada en su fabricación.<sup>18</sup> la composición del agua para algunos estilos de cerveza.

Tabla 2. Composición y características del agua usada para algunos estilos de cerveza.

	Unidad	Münich	Dortmund	Vienna	Burton	Pilsen
<b>Dureza total</b>		264	737	689	980	28
<b>m-alcalinidad</b>		253	300	551	262	23
<b>Dureza sin carbonatos</b>	ppm CaCO <sub>3</sub>	11	437	138	718	5
<b>Ca</b>		189	655	407	880	18
<b>Mg</b>		75	82	282	100	10
<b>Alcalinidad residual</b>	°G	10.6	5.7	22.1	-0.2	0.9
<b>Sólidos secos</b>	ppm	284	1110	948		51

<sup>17</sup> Hirst, M.B.; Richter, C.L. Am. J. Enol. Vitic. **2016**, 4, 361-370.

<sup>18</sup> M. Eumann, Water in brewing, **2006**, 183-207.

## 6.2 Malta de cebada

Diferentes granos de cereal son los que pueden ser utilizados para la elaboración de cerveza, sin embargo, la cebada es el cereal principal para este producto. Existen diferentes tipos de cebada de acuerdo a su origen, variedad genética y condiciones climáticas. Los principales países productores de cebada Canadá, Francia, Reino Unido, Rusia, Alemania y España.

Una de las ventajas de la cebada es que contiene mayor cantidad de almidón, presenta menos problemas técnicos a la hora del malteo y proporciona los aminoácidos necesarios para el crecimiento de la levadura y la formación de las sustancias nitrogenadas que participan en la formación de la espuma.

La malta, a su vez, es el resultado de la germinación controlada del grano. Durante el proceso de malteo de la cebada para la elaboración de cerveza, las enzimas más importantes son la  $\alpha$ -amilasa y la  $\beta$ -amilasa, esta última es importante para la producción de maltosa que proporciona el sabor dulce de los extractos de malta, además de ser un azúcar fácilmente fermentable. Además de esto, durante la deshidratación, la  $\alpha$ -amilasa es más termoestable que la  $\beta$ -amilasa, por lo que en maltas mayormente tostadas la concentración de  $\beta$ -amilasa es menor.

Además de las enzimas, los polímeros de glucosa ( $\beta$ -glucanos) son compuestos importantes a considerar durante la obtención del mosto, ya que pueden solubilizarse y precipitar formando un gel durante la fermentación o en etapas post-fermentativas, es por ello que las variedades de cebada ricas en estos compuestos no son adecuadas para el malteo, aunque existen varias enzimas capaces de degradar estos polímeros, como la celulasa que está presente en la cebada cruda.

Entre los compuestos fosfatados importantes presentes en la cebada, se encuentran los fosfolípidos, ácidos nucleicos y el ácido fítico que es utilizado por la levadura, aunque también reacciona con iones de calcio liberando protones y provocando la acidificación del medio.

La malta es la materia prima fundamental para la fermentación de la cerveza, proporciona las enzimas y sustratos necesarios para obtención del mosto que será fermentado por la levadura y juega un papel importante en el desarrollo del aroma y color del producto final. Durante el secado y tostado de la malta, se pueden obtener maltas poco desagregadas para cervezas lager o más desagregadas para cervezas ale.<sup>19</sup>

### 6.3 Levadura

Las levaduras son el ingrediente activo más importante en términos generales respecto a su influencia en el sabor y aroma de la cerveza, ya que pueden producir numerosos compuestos que inciden tanto de manera positiva como negativa en la calidad de la misma. Entre ellos se destacan los ésteres, alcoholes superiores, fenoles, compuestos sulfurados, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, entre otros. Para la elaboración de cerveza se utilizan dos subespecies de *Saccharomyces*:

- *Saccharomyces carlsbergensis*: Utilizada para elaborar cervezas de baja fermentación que llevan a cabo sus procesos metabólicos en rangos de temperatura de entre 5-10°C.
- *Saccharomyces cerevisiae*: Utilizada para elaborar cervezas de baja fermentación que llevan a cabo sus procesos metabólicos en rangos de temperatura de entre 17-25°C.

En cervezas, se han detectado más de 100 ésteres diferentes, donde los más relevantes son generados por las levaduras a través de su metabolismo secundario, dividiéndose en dos grupos principales:

- Ésteres de acetato: Como etil acetato, isoamil acetato y feniletilacetato.
- Ésteres de etilo: Como etil hexanoato y etil octanoato.

---

<sup>19</sup> J.S. Hough, Biotecnología de la cerveza y de la malta. Acribia. 1990

Ambos grupos en conjunto son deseables en la mayoría de las cervezas del tipo Ale, dado que aportan aromas y sabores florales o frutales y contribuyen a su característica complejidad de aroma y sabor.

La formación de ésteres se produce durante la fermentación primaria y se encuentra altamente asociada al metabolismo de lípidos y al crecimiento de las levaduras. Estos compuestos son sintetizados en el citoplasma a partir de reacciones catalizadas por enzimas acil-transferasas (**Figura 7**).<sup>20</sup>

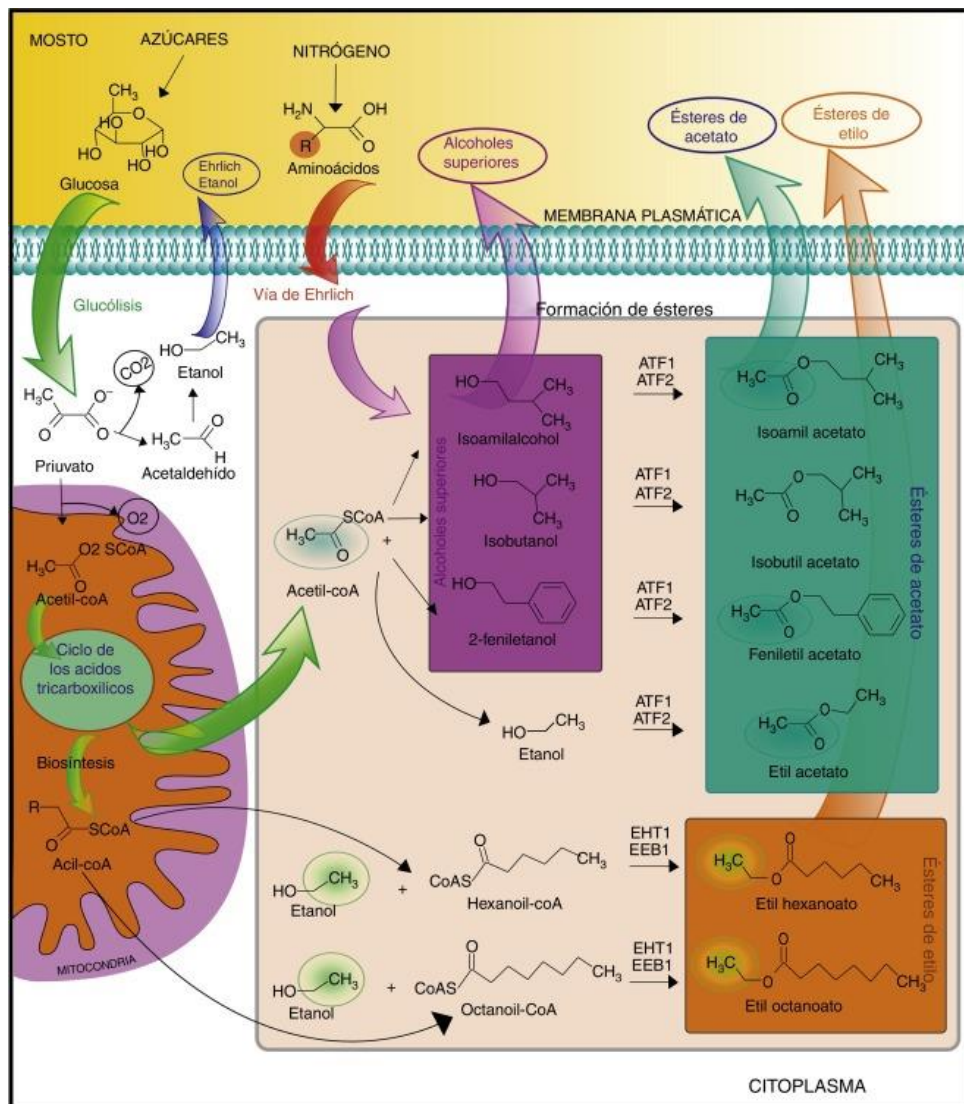


Figura 7. Principales rutas metabólicas involucradas en la síntesis de ésteres.

<sup>20</sup> Loviso, C.L.; Libkind, D. Rev Argent Microbiol. 2018, 50, 436---46.

Por otra parte, los alcoholes superiores son el producto del metabolismo secundario de las levaduras, se generan en altas concentraciones y son de gran interés por su impacto en el aroma y sabor de la cerveza. Se pueden encontrar aproximadamente 40 alcoholes superiores diferentes, sin embargo, los de mayor importancia en cuanto al sabor y olor son el propanol, isobutanol, feniletanol, alcohol amílico y alcohol isoamílico (**Tabla 3**).

Tabla 3. Concentración y descripción aromática de alcoholes superiores producidos durante la fermentación.

	Valores umbrales (mg/L)	Descripción aromática
<b>Propanol</b>	700	Solvente, dulce, alcohol
<b>Isobutanol</b>	200	Solvente, alcohol
<b>Alcohol isoamílico</b>	50-65	Frutal, banana, alcohol
<b>Alcohol amílico</b>	50-70	Alcohol, solvente
<b>Feniletanol</b>	40	Floral, rosas

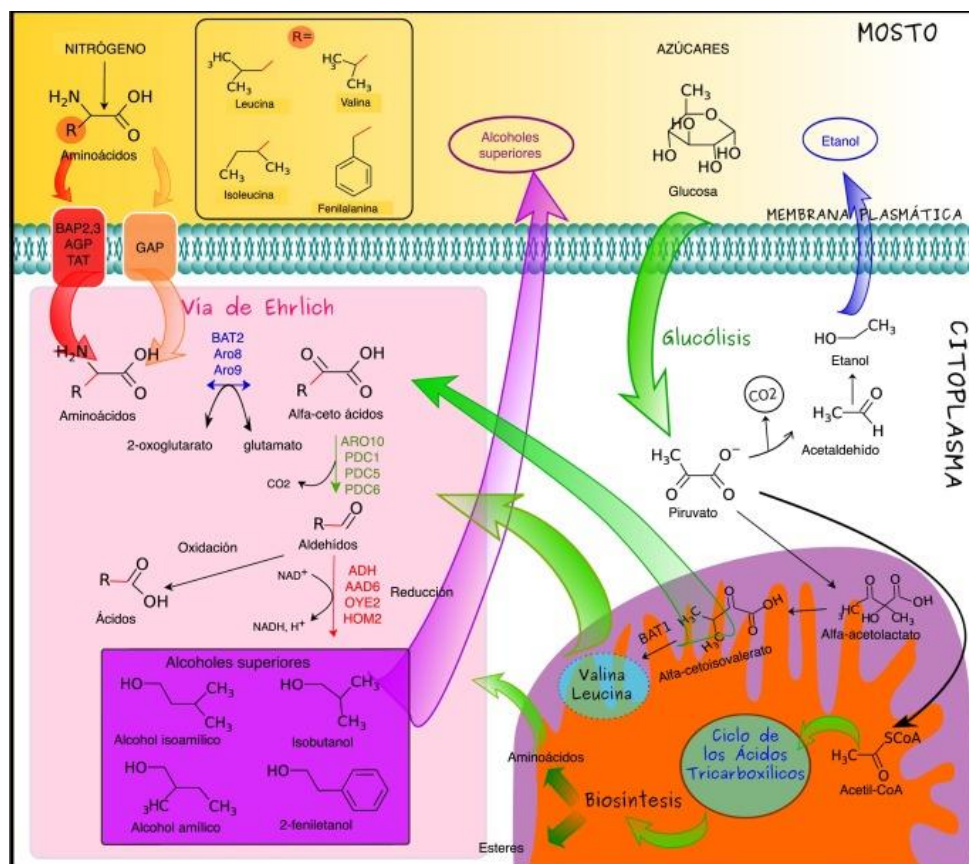


Figura 8. Principales rutas metabólicas involucradas en la síntesis de ésteres.

Los alcoholes superiores son formados por las levaduras, a partir de la incorporación y el metabolismo de los aminoácidos presentes en el mosto (**Figura 8**). El ingreso de los aminoácidos en las células de levaduras es llevado a cabo por proteínas transportadoras ubicadas en la membrana plasmática, las cuales poseen propiedades diferentes en cuanto a su especificidad, afinidad por sustratos, capacidad y regulación. De esta manera, los aminoácidos ramificados como la valina, la leucina y la isoleucina, son los sustratos requeridos para la biosíntesis de isobutanol, alcohol isoamílico y alcohol amílico, respectivamente.<sup>21</sup>

#### 6.4 Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta trepadora dioica perenne de la familia de las cannabáceas. En la elaboración de cerveza se utilizan las inflorescencias de la planta hembra, ya que son estas las contienen las resinas amargas y aceites etéreos que suministran los compuestos aromáticos a la cerveza.<sup>22</sup>

De esta forma el lúpulo y sus derivados se utilizan principalmente para impartir un sabor amargo a la cerveza otorgado por los iso- $\alpha$ -ácidos, siendo estos, el principal impacto del sabor del lúpulo, aunque en algunas condiciones de procesamiento, el aroma del lúpulo puede sobrevivir en la cerveza. Los iso- $\alpha$ -ácidos también favorecen la formación de espuma y, en algunas cervezas, tienen actividad antimicrobiana.

Además de esto, las inflorescencias de las plantas de lúpulo maduras (conos de lúpulo) contienen tricomas glandulares (glándulas de lupulina) que producen compuestos esenciales responsables del sabor, aroma y estabilidad de la cerveza. La principal fuente de amargor en el lúpulo está determinada por las concentraciones de humulonas ( $\alpha$ -ácidos), que varían de aproximadamente 2 a 23% m/m según la variedad de lúpulo.<sup>23</sup>

---

<sup>21</sup> Claudia L. Lovisoa y Diego Libkind b Síntesis y regulación de los compuestos del aroma y sabor derivados de la levadura en la cerveza: alcoholes superiores.

<sup>22</sup> Kunze Wolfgang, technology brewing and malting 1999 Alemanis.

<sup>23</sup> Investigating the Factors Impacting Aroma, Flavor, and Stability in Dry-Hopped Beers. Lafontaine.

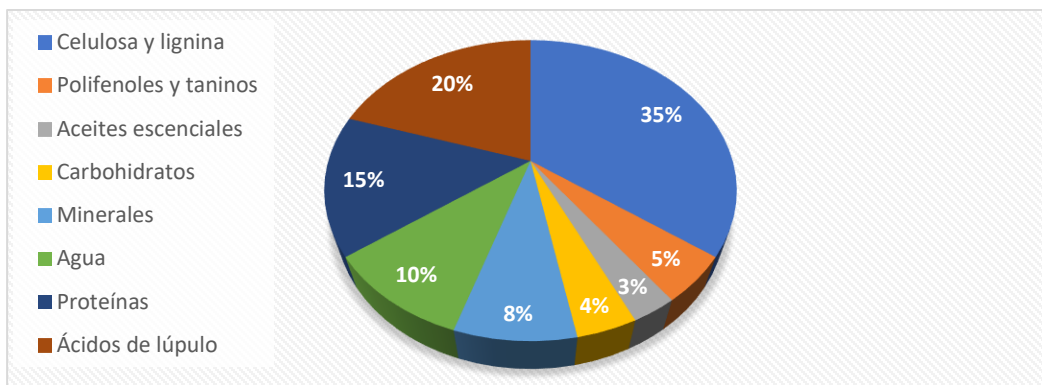


Figura 9. Composición del lúpulo.

Puesto así, se sabe que el lúpulo contiene más de 200 sustancias etéreas diferentes que le aportan las notas características asignadas a cada variedad del mismo, contribuyendo así de forma considerable al sabor y aroma del producto final. Sin embargo, la mayoría de estos aceites son volatilizados durante el proceso de cocción del mosto, sobreviviendo solo aquellos provenientes del lúpulo que fue adicionado al final del hervor (**Figura 10**).

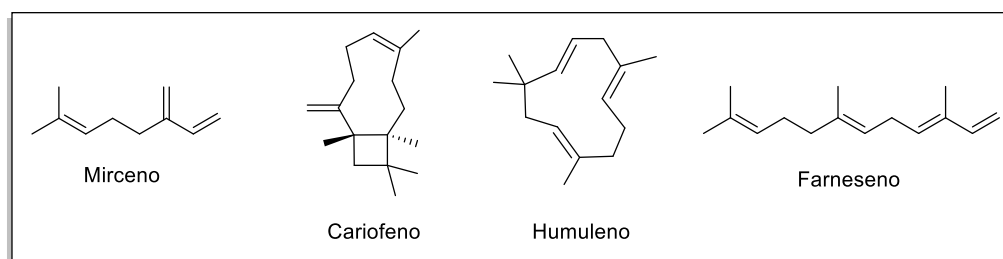


Figura 10. Estructura química de los principales aceites esenciales del lúpulo.

## 6.5 Adjuntos

Los adjuntos son una fuente extra de almidón o azúcares que tienen como principal objetivo la reducción de costos, la dilución de proteínas de la malta o bien proporcionar un sabor diferente. Estos adjuntos pueden ser algún otro cereal sin germinar de los antes ya mencionados o sus derivados, pues las enzimas de la malta son suficientes para sacarificar el almidón añadido. Algunos ejemplos son; maíz, sorgo, trigo o arroz. También se pueden utilizar adjuntos líquido tales como; jarabes de azúcares o fructosados de maíz.



## 7. DRY HOPPING

El empleo de esta técnica ha ganado popularidad a lo largo de los últimos años como método para lograr un intenso aroma y sabor a lúpulo, los cuales son obtenidos a partir de la transferencia de compuestos aromáticos volátiles al interior del sistema, además de una mayor retención de estos al llevar a cabo el proceso en sistemas cerrados y temperaturas bajas.

Dry-hopping es el proceso mediante el cual se lleva a cabo la extracción en frío de los compuestos del lúpulo en el medio acuoso de la cerveza. Este proceso se distingue por la adición del lúpulo durante o después de la fermentación, logrando así un aroma en el producto notablemente diferente al obtenido por procesos normales de adición tardía en Caldera, Whirlpool y Jack o mejor conocidos como “late-hop”.

Ahora bien, ahondando un poco en los procesos de “late-hop”, se puede adicionar lúpulo en la etapa correspondiente al *whirlpool*, debido a que la disminución de la temperatura permitirá la extracción de aceites en mayor cantidad que los  $\alpha$ -ácidos, logrando así, enfatizar el aroma de la cerveza sin agregar una gran cantidad de amargor.

El whirlpool, es una técnica que se usa en el proceso de elaboración de la cerveza con la finalidad de separar el mosto de las partículas de mayor tamaño de lúpulo y malta que quedan suspendidas después del hervor. En inglés, whirlpool significa “remolino” o “torbellino” el cuál es producido al generar un movimiento circular del mosto dentro de la caldera, ya sea de forma mecánica (mediante palas ó aspas), o bien, mediante la propulsión del mosto (con ayuda de una bomba) de forma tangencial al eje de rotación (centro de la caldera).

Este proceso resulta importante principalmente en métodos de preparación de cerveza artesanal, ya que, al generar el remolino, se produce una fuerza centrípeta que promueve la sedimentación de los sólidos de mayor tamaño en el centro de la caldera y ayuda a iniciar el enfriamiento del mosto.

Tabla 4. Variables y consideraciones del lupulado principal, tardío y dry-hopping.

		LUPULADO EN COCCIÓN		LUPULADO TARDÍO		DRY-HOPPING
		TEMPRANA	TARDÍA	WHIRPOOL	JACK	
OBJETIVO		Amargor	Amargor y aroma	Aroma y amargor	Aroma	Aroma
TEMPERATURA		>90°C		80-70 °C	20-4 °C	
DURACIÓN		15-90 min	5-15 min	30-45 min	10-30 min	1-14 días
CANTIDADES USUALES (g/hL)	Lager	10-60		0		0
	IPA	140-400		150-400		100-700
	IIPA	200-400		300-600		700-1600
CONSIDERACIONES	Más importante	$\alpha$ -ácidos Monoterpenos/Sesquiterpenos Compuestos oxigenados				Alcoholes terpénicos/Tioles Humulinonas
	Menos importante	Precusores aromáticos Polifenoles Humuloponas		Precusores aromáticos Polifenoles		P. aromáticos Monosacáridos Enzimas de lúpulo Iones (Mn y Fe)

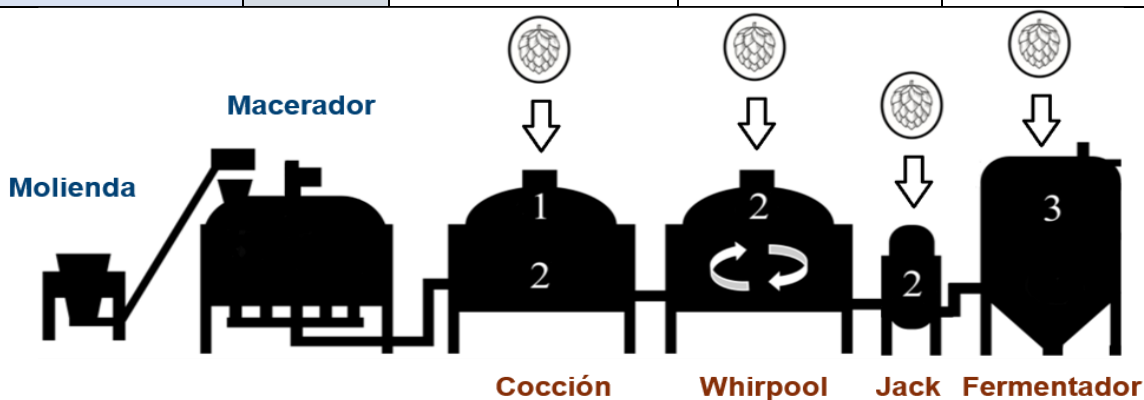


Figura 11. Lupulado en distintos momentos del proceso de producción. 1) Temprano (caldera). 2) Tardío ó Late-hop (caldera, wirpool y Jack). 3) dry-hopping (fermentador).

Por otra parte, una vez terminado el Whirpool, una etapa adicional previa a la fermentación, puede ser el lupulado del mosto en el “Jack”, el cual solo funciona como una “semi-etapa”, en donde se hace pasar de forma rápida el flujo del mosto “tibio” que se transporta al fermentador, por un compartimento donde se retiene una cantidad específica de lúpulo. Este último paso ayuda a aromatizar de forma rápida y discreta al mosto en cuestión disminuyendo en gran cantidad la extracción de  $\alpha$ -ácidos.

Ahora bien, los lúpulos agregados en “la sección caliente” del proceso de elaboración de la cerveza, adicionan en mayor cantidad el amargor de la bebida y una muy pequeña cantidad de aroma. En contraste, el *dry hopping*, es la práctica de adición de lúpulos al final del proceso de elaboración, logrando así el aroma y sabor característico de la cerveza, sin la adición extra de notas amargas al producto final. Es un proceso que se lleva a cabo en cervezas de estilo pale ale, incluyendo las tipo *IPA (India Pale Ale)*. Sin embargo, actualmente muchos cerveceros han comenzado a utilizar y experimentar dicha técnica en los diferentes estilos de la cerveza artesanal.

Dado que, la experiencia empírica es el factor clave en la elección de los lúpulos y el tipo de aplicación, las cerveceras artesanales han considerado a este método como un proceso complejo y sofisticado, puesto que la correcta aplicación del mismo lo convierte en un método altamente eficaz para que los cerveceros artesanales destaquen su producto dentro de la gran variedad de opciones que se pueden encontrar actualmente al alcance del público. De esta forma, se suelen agregar conos de lúpulo enteros, lúpulos molidos o pellets a la cerveza fría para transferir en particular, componentes aromáticos con bajas pérdidas (sin evaporación) y reducidas transformaciones químicas.

A partir de esto, se sabe que los posibles cambios de aroma son consecuencia de numerosos fenómenos tales como:

- Reacciones de oxidación
- Reacciones entre los ingredientes de la cerveza
- Reacciones enzimáticas

Es notable que el tipo y la intensidad de estos procesos dependen del estilo de cerveza, envasado, cepa de levadura, variedad y composición del lúpulo, así como de la tecnología de aplicación de estos últimos (tiempo, temperatura, técnica de solución) y finalmente las condiciones de almacenamiento.

Con base en lo anterior, se vuelve necesario el estudio de este proceso, ahondando en el comportamiento de la técnica al verse modificadas las variables

críticas de la misma. Es por ello, que a continuación se presentarán algunos de los resultados obtenidos por grupos de investigación que han dedicado sus esfuerzos en el entendimiento de esta particular técnica potenciadora de aroma y sabor para la cerveza.

### 7.1 Compuestos orgánicos aportados por dry-hopping

De esta manera, en el año 2013, Foster y Gahr llevaron a cabo un estudio en el que analizaron y compararon cuatro cervezas Lager diferentes que habían sido sometidas al proceso de dry-hopping, con una cerveza de producción similar la cual no contaba con este último proceso (cerveza control).<sup>24</sup> En este trabajo, se reportó el uso de variedades nuevas alemanas de lúpulo para las cervezas que fueron sometidas a dry-hopping: Mandarina Bavaria, Hüll Melon, Hallertauer Blanc y Polaris (Tabla 5).

Tabla 5. Aromáticos presentes en cervezas sometidas a procesos de dry-hopping ( $\mu\text{g/L}$ ).

Compuesto	Control	CMB	CHM	CHB	CP
Linalol	38	87	79	103	76
Geraniol	4	54	44	36	42
Mirceno	2.7	10.6	9.3	26.2	21
Ocimiceno	0.4	2.3	2	4.7	4.7
$\beta$ -cariofileno	1.6	1.8	1.6	1.6	1.9
$\alpha$ -humuleno	4	4.2	4.5	5.6	8.4
Propanoato de isoamilo	3	25.5	43.5	751	89.4
3-metilbutil-2-metilpropanoato	1.7	25.5	67.5	42.8	76.4
2-metilbutil-2-metilpropanoato	20	338	706	371	596
Isobutirato de isoamilo	2.2	63.2	86.5	23.8	60.6
2-undecanona	0.9	9	15.8	23.8	28.8
Cubenol	2.1	3.8	4.2	3.1	5.2

<sup>24</sup> Forster, A.; Gahr, A. *Brewingscience*. 2013, 66, 93-103.

De los datos reportados resalta a la vista, que la cantidad de linalol en cervezas tratadas por dry-hopping presentan valores de dos a prácticamente tres veces mayores a las de la cerveza control, mientras que para el caso del geraniol, se observaron cantidades al menos nueve veces mayor a las encontradas en el producto control.

Por otra parte, en cuanto a los cálculos de compuestos tales como  $\alpha$ -ácidos, polifenoles y algunos otros compuestos aromáticos se suelen reportar los valores en % relativo (**Tabla 6**), para lo cual, el valor obtenido de la cerveza de referencia se resta del valor de análisis de la sustancia en cuestión en las cervezas con dry-hopping, para posteriormente dividir por la cantidad dosificada, y de esta manera, el valor de la tasa de transferencia se determine en “% rel”.

Tabla 6.  $\alpha$ -ácidos transferidos a cerveza mediante el uso de dry-hopping

	Unidad	Control	CMB	CHM	CHB	CP
<b>Lúpulo agregado (dry hopping)</b>	g/hL	---	73	103	91	40
<b><math>\alpha</math>-ácidos en lúpulos</b>	%w/w	---	8.7	7.0	9.8	19.5
<b><math>\alpha</math>-ácidos agregados (dry hopping)</b>	mg/L	---	63.5	72.1	89.2	78
<b><math>\alpha</math>-ácidos en cerveza</b>	mg/L	2.8	5.8	5.7	6.4	6.6
<b><math>\alpha</math>-ácidos adicionales (dryhopping menos control)</b>	mg/L	---	3.0	2.9	3.6	3.8

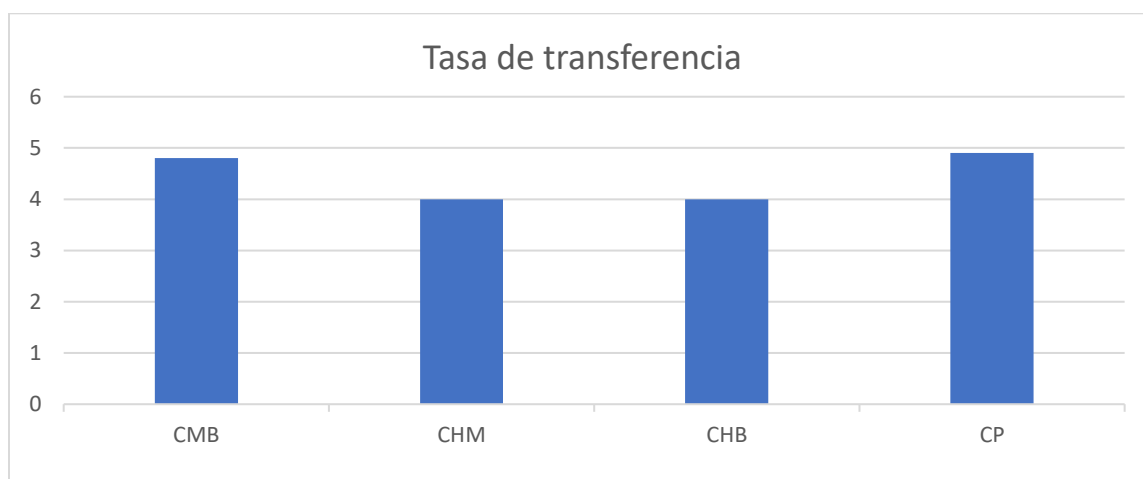
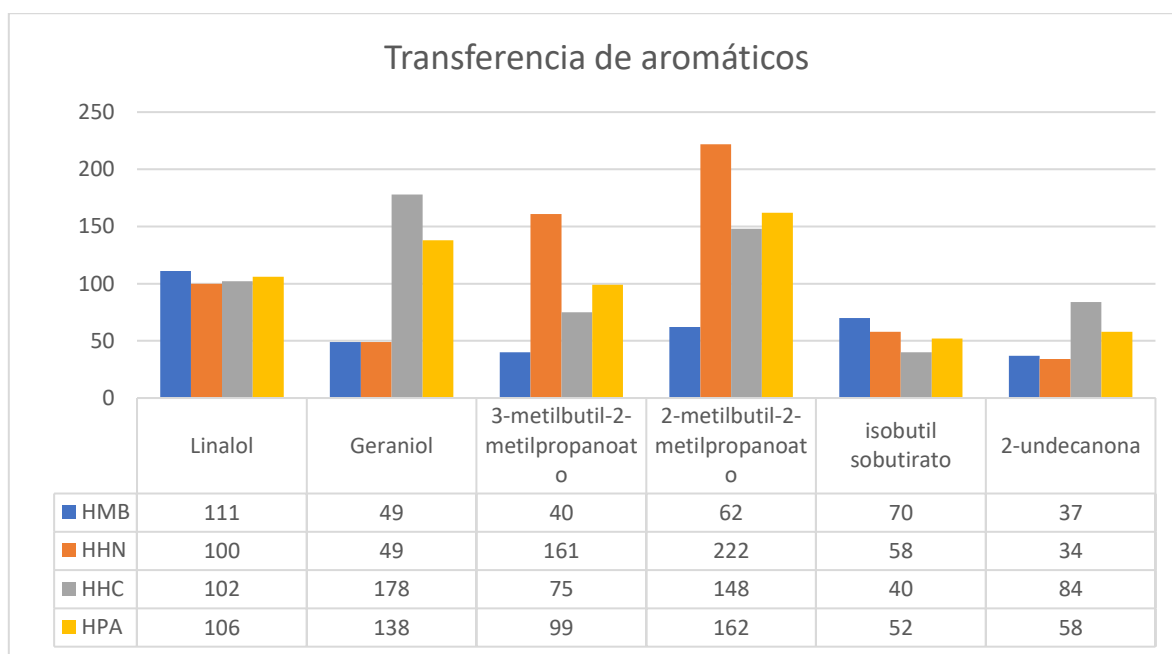


Figura 12. Tasa de transferencia relativa de  $\alpha$ -ácidos usando Dry Hopping.

Con base en lo anterior, en la **Figura 12**, es posible observar un rendimiento de transferencia de  $\alpha$ -ácidos entre 4 y 5 % rel., tendencia que contrasta con el comportamiento poco uniforme de los componentes aromáticos examinados.

De la misma forma, fueron determinados los rendimientos de transferencia de los compuestos aromáticos que se muestrna en la **Figura 13**, los datos obtenidos para el linalol y el geraniol, mostraron porcentajes relativos constantes del 100 y de al menos 50% respectivamente. Aunado a esto, la transferencia de isobutirato de isoamilo y 2-undecanona presenta promedios del 50% relativo, los cuales resultan interesantes de comparar con las tendencias obtenidas del 2- y 3-metilbutil-2-metilpropanoatos, puesto que estos últimos, pese a presentar un comportamiento muy parecido entre ellos, no reflejan un marco claro en sus datos, dado que la variabilidad de estos hablan solo de su dependencia con el tipo de lúpulo en cuestión.



*Figura 13. Tasa de transferencia en % relativo de compuestos aromáticos del lúpulo en dry-hopping.*

Algunos otros datos que se analizaron en este estudio hablan de los hidrocarburos terpénicos, los cuales mostraron rendimientos bajos de alrededor del 3% rel. de extracción; la tasa de transferencia de los polifenoles totales es del 50 al 60% y aproximadamente del 70% para los polifenoles de bajo peso molecular,

mientras que para el caso de los compuestos aromáticos mirceno,  $\beta$ -cariofileno y humuleno, se registraron tasas de transferencia mínimas (menores al 1%).

En este contexto, es de interés poder comparar las tasas de transferencia de polifenoles con la dosificación de lúpulo en caldera (adición temprana de lúpulo) y dry-hopping (**Tabla 7**), puesto que la buena solubilidad de algunos de estos compuestos de bajo peso molecular puede tener efectos de turbidez, estabilización de sabor y una influencia positiva en el cuerpo de la cerveza.

*Tabla 7. Comparación de la tasa de transferencia de polifenoles entre adición temprana y Dry-Hopping.*

COMPUESTO	TASA DE TRANSFERENCIA % REL.	
	MOSTO	DRY HOPPING
<b>Polifenoles totales</b>	50 a 70	50 60
<b>Peocianidina B3 C/C</b>	30	100
<b>Catequina</b>	66	100
<b>Ácido cafeoilquínico</b>	118	> 100
<b>Glucósido de quercetina</b>	96	100
<b>Malonil hexósido de quercetina</b>	60	58
<b>Kaempferol-3-glucósido</b>	100	103
<b>Kaempferol malonil hexósido</b>	43	71

Finalmente, con el objetivo de poder relacionar los datos obtenidos con la elaboración de productos que hayan sido sometidos al dry-hopping, se llevó a cabo una degustación de estas cervezas, la cual fue realizada por un panel de 30 consumidores no capacitados, produciendo los siguientes resultados:

- La intensidad del aroma a lúpulo es mucho más distintiva en las cervezas sometidas a dry-hopping.
- Se identificó que el cuerpo en paladar de las cervezas con dry-hopping era significativamente mejor que la de la cerveza de referencia, lo cual se le adjudica a la transferencia de polifenoles.
- Los catadores no pudieron detectar ningún aumento en el amargor mediante el dry-hopping en estas pruebas, lo cual concuerda con la mínima cantidad de  $\alpha$ -ácidos transferidos al seno del líquido mediante esta técnica.

## 7.2 Efecto de la temperatura y variación de lúpulo en el dry-hopping

En 2017, O. Oladoku y colaboradores<sup>25</sup>, estudiaron los perfiles de amargor ( $\alpha$ -ácidos y humulinonas) de las cervezas sometidas a dry-hopping, así como el impacto de dicha técnica a temperaturas estandarizadas en 4 y 19 ° C, utilizando una variedad de lúpulo con bajos y altos contenidos de  $\alpha$ -ácidos, Hersbrucker y Zeus respectivamente, durante un período de 14 días (**Figura 14**). Los resultados reportados, sugieren que la concentración de humulinona en las cervezas sometidas a dry-hopping es ligeramente mayor a temperaturas de extracción de 4°C que a 19°C, mientras que para los  $\alpha$ -ácidos, es posible observar un aumento significativo en la cerveza tratada con lúpulo alto en cantidades de  $\alpha$ -ácidos (Zeus) a temperaturas altas (19°C).

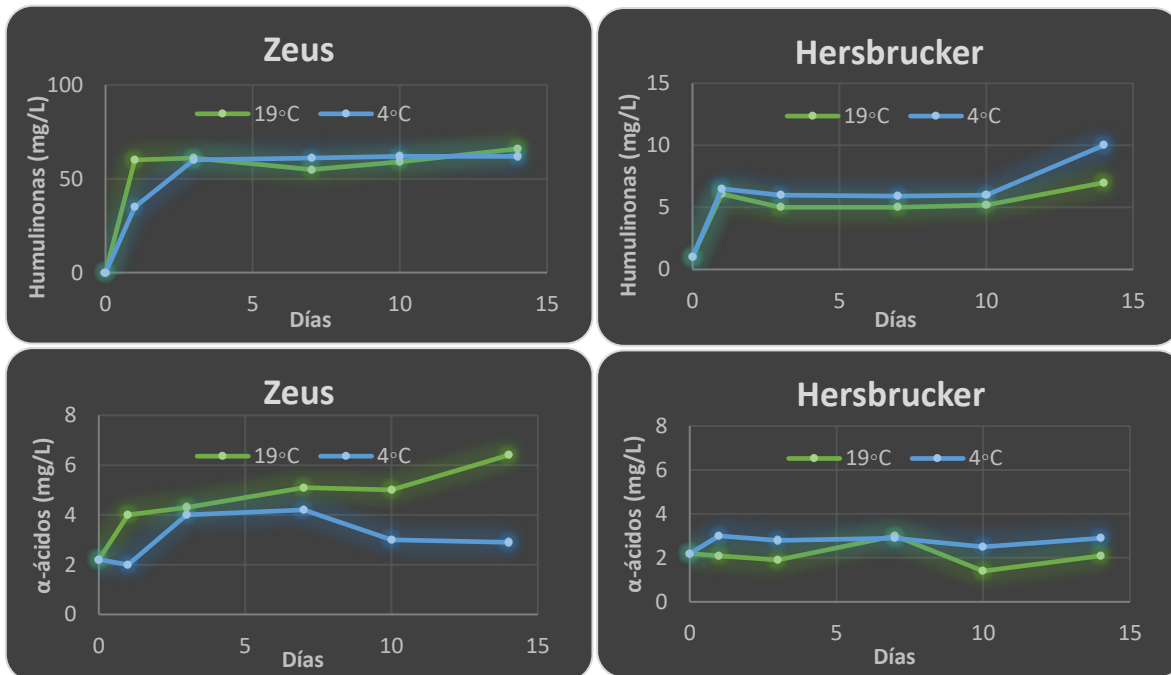


Figura 14 . Cambios en la concentración usando Dry-Hopping a diferentes temperaturas con 2 variedades de lúpulo.

De esta forma, las concentraciones de humulinona detectadas durante este proceso se vieron significativamente afectadas por la variedad del lúpulo agregado, y no por la temperatura a la cual se llevó a cabo el dry-hopping.

<sup>25</sup> Oladokun, O.; James, S.; Cowley, T.; Smart, K.; Hort, J.; Cook, D. *BrSc.* **2017**, *70*, 187-196.



Con base en lo anterior, pese a que las cantidades observadas en la extracción de humulinonas por dry-hopping son relativamente bajas al compararlas con las estructuras de mayor presencia en estos procesos, resulta importante prestar atención a la concentración de este compuesto a lo largo de la producción de cerveza, pues con esto se podría comprender mejor el amargor analítico y sensorial de la cerveza.

Por otra parte, se demostró que las pérdidas de iso- $\alpha$ -ácidos a través del dry-hopping ocurrieron debido a su adsorción en los materiales de lúpulo “gastados”, teniendo que, la caída de la concentración de iso- $\alpha$ -ácidos se observó después de las 24h de proceso para las dos temperaturas (**Figura 15**).

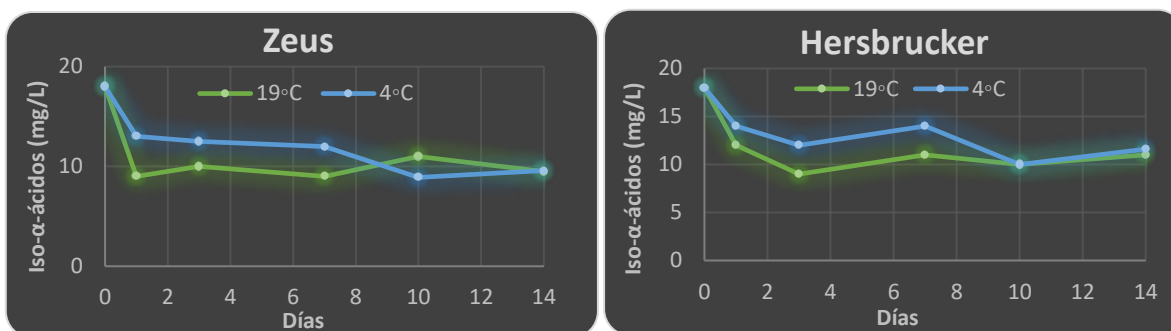


Figura 15. Pérdida de iso- $\alpha$ -ácidos con el uso de Dry-Hopping.

Aunado a lo anterior, se registró una mayor extracción de polifenoles en cerveza a 19°C que a 4°C en ambas variedades de lúpulo, lo cual se debe al tipo de lúpulo utilizado en el proceso (**Figura 16**).

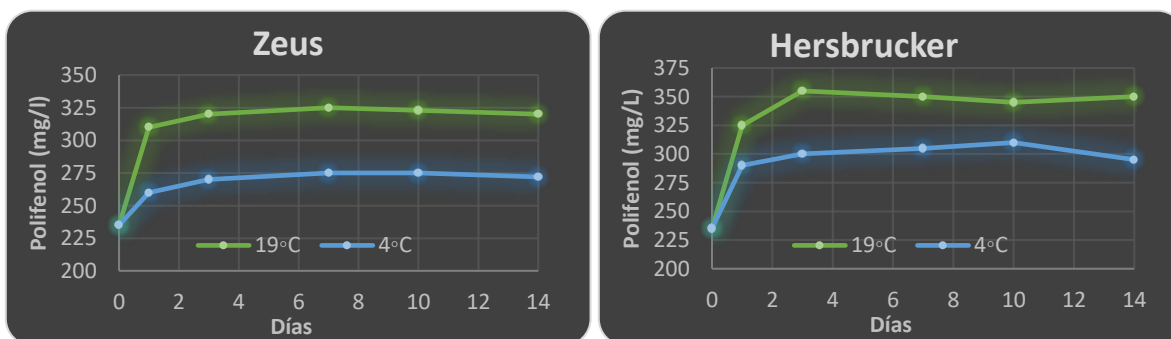


Figura 16. Incremento en el contenido de polifenoles en cerveza aplicando Dry-Hopping.

Finalmente, las cervezas que llevaron a cabo el proceso de dry-hopping mostraron un aumento en el pH a temperaturas más bajas (4°C) que a temperaturas altas (19°C); sugiriendo así, un fuerte impacto de la temperatura del proceso en dicho parámetro. Por supuesto, aunque la percepción del amargor en la cerveza puede verse influida por el pH del producto, el aumento de éste, puede ser beneficioso para la estabilidad de los iso- $\alpha$ -ácidos durante el almacenamiento, ya que estos compuestos son menos propensos a degradarse a valores de pH altos.

### **7.3 Eficiencia de extracción en el lupulado por dry-hopping**

En 2019, la investigación realizada por Dean G. Hauser y colaboradores<sup>26</sup>, demostró que el desperdicio generado por el lúpulo gastado tras llevar a cabo el proceso de dry-hopping, generaba pérdidas considerables no solo de materia orgánica, si no también de cierta cantidad de cerveza asociada a una merma aceptable por el uso de dicha técnica, lo cual evidentemente impacta a la producción en forma de pérdida económica. Además, las cantidades de lúpulo empleadas en este proceso, ascienden en una o dos órdenes de magnitud respecto a los procesos tradicionales, lo cual hace a esta técnica un proceso caro y potencialmente insostenible si no se lleva a cabo un análisis adecuado del sistema, pues no obstante a las cantidades necesarias para el proceso, a menudo los tipos de lúpulo requeridos para el dry-hopping tienen un precio mayor a las marcas de lúpulo convencionales.

Aunado a lo anterior, la retención de componentes volátiles y no volátiles dentro de los lúpulos gastados debido a una extracción menos vigorosa y por ende mas selectiva, llevó al equipo de Hauser a pensar en el reuso del lúpulo gastado, con la finalidad de reducir costos en el proceso, puesto que generalmente, el lúpulo destinado al dry-hopping es posteriormente desechado y poco aprovechado. obteniendo los siguientes resultados.

La transferencia de los volátiles del lúpulo del material del lúpulo a la cerveza es el objetivo principal del dry-hopping en general, por lo tanto, el destino de la

---

<sup>26</sup> Hauser, D. G.; Lafontaine, S. R.; Shellhammer, T. H. *ASBC*, **2019**, 77, 188-198.

fracción de aceite del lúpulo es de particular interés cuando se examina la eficiencia del dry-hopping. El contenido de aceite esencial del material de lúpulo utilizado en este estudio se comparó antes y después del dry-hopping determinada por hidrodestilación. Las tasas de retención de aceite de lúpulo se calcularon por gravimetría (teniendo en cuenta la humedad y la pérdida de sólidos solubles) (**Figura 17, Tabla 8**).

Tabla 8. Comparación de las tasas de retención de  $\alpha$ -ácidos y aceites totales en lúpulos gastados.

Lúpulo	$\alpha$ -Ácidos retenidos (% m/m)		$\beta$ -Ácidos retenido (%m/m)		Aceite retenido (%v/v)	
	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media
Amarillo	65-98	82	66-99	84	35-68	57
Cascade	62-96	74	71-103	80	30-60	41
Centennial	58-80	72	63-106	77	39-65	51

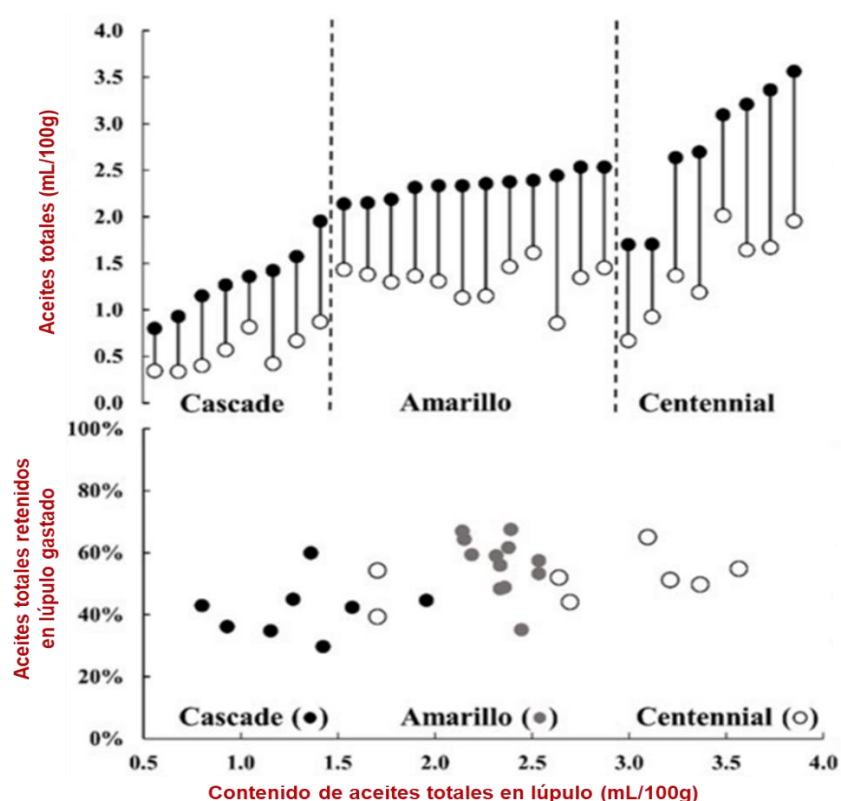


Figura 17. Comparación de la cantidad de aceites totales en lúpulos “pre-“ vs “post-“ dry-hopping (arriba) y tasas de retención de aceites totales en función de la concentración inicial (abajo).

Las tasas de retención de estos componentes se calcularon en función de la composición del lúpulo antes y después del dry-hopping (teniendo en cuenta la humedad y la pérdida de sólidos solubles de lúpulo de cada tratamiento individual) (**Figura 18, Tabla 8**).

Como era de esperar basándose en el carácter hidrofóbico de los  $\alpha$  y  $\beta$ -ácidos, así como de su solubilidad relativamente baja en agua y cerveza, se encontró que estos componentes permanecían en cantidades significativas dentro del material de lúpulo gastado. En promedio, el 82, 74 y 72% de los  $\alpha$ -ácidos se retuvieron dentro del material gastado para Amarillo, Cascade y Centennial respectivamente, lo que resultó en una media general del 77%.

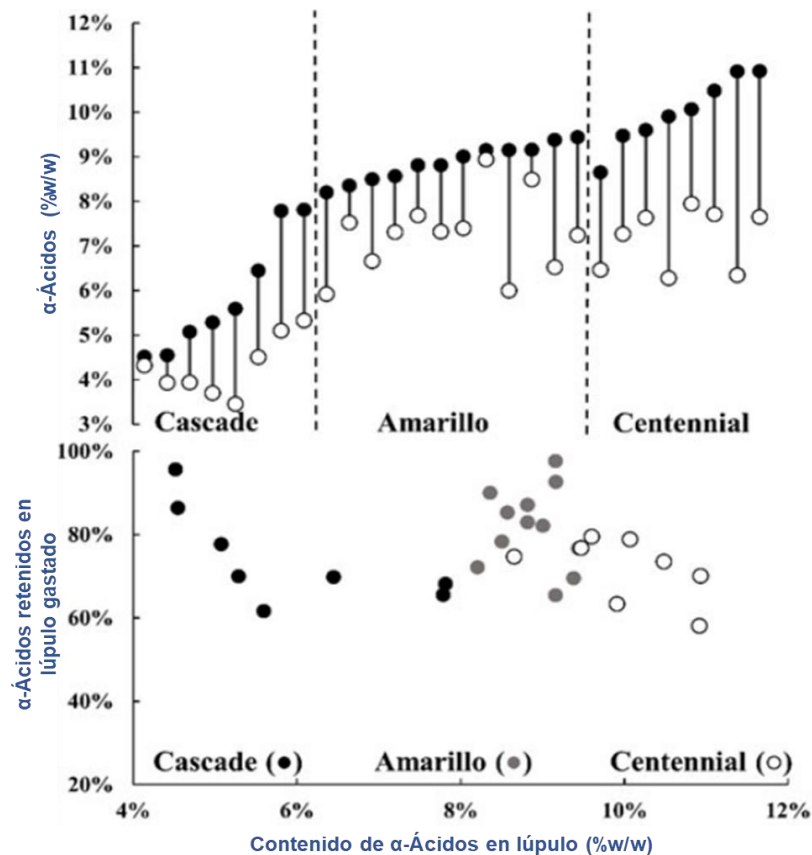


Figura 18. Comparación de la cantidad de  $\alpha$ -ácidos lúpulos “pre-“ vs “post-“ dry-hopping (arriba) y tasas de retención de  $\alpha$ -ácidos en función de la concentración inicial (abajo).

De manera similar, los  $\beta$ -ácidos se retuvieron a una tasa del 84, 80 y 77% dentro de los lúpulos gastados Amarillo, Cascade y Centennial respectivamente, con un promedio general del 81%.

Finalmente, no se detectaron  $\alpha$  ni  $\beta$ -ácidos en ninguna de las cervezas experimentales con Dry-hopping. Se esperan niveles muy bajos de estos compuestos, ya que trabajos previos en sistemas análogos, sugieren una extracción de bajo nivel de  $\alpha$ -ácidos (en el rango de partes por millón). Mientras que, para los  $\beta$ -ácidos, se ha demostrado que pueden estar presentes en concentraciones más altas en cervezas turbias o brumosas en forma de suspensión o como sólidos no disueltos, en lugar de encontrarse solvatados por completo. Es por esto que, en este estudio, todas las cervezas se filtraron para detener el proceso de Dry-hopping, eliminando así los componentes insolubles.

Aunque las cantidades de estos compuestos en los lúpulos usados deben ajustarse para reflejar la pérdida de sólidos solubles durante el Dry-hopping, es útil comparar los lúpulos crudos y los lúpulos usados, desde una perspectiva práctica, ya que un cervecero necesitará calcular las dosis de lúpulo para conseguir los niveles adecuados de amargor o aroma para cada estilo o perfil de cerveza en particular.

Evidenciando algunos otros datos, los hidrocarburos como terpenos y sesquiterpenos ( $\alpha$  y  $\beta$ -pineno,  $\beta$ -mirceno, limoneno,  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -farneseno y  $\alpha$ -humuleno) se encontraron en concentraciones máximas en el material gastado, lo cual resulta interesante debido a que dichos residuos solo contenían un promedio del 77% de la cantidad de aceite con la que ingresaron. Por el contrario, los compuestos oxigenados como los alcoholes terpénicos y los aldehídos (linalol, geraniol, nerol, geranial y neral) se encontraron en cantidades mucho más bajas en el material gastado, con concentraciones máximas que alcanzaron tan solo el 10% de la concentración inicial. Mientras que, los ácidos, ésteres y óxidos terpénicos (ácido geránico, acetato de geranilo y óxido de cariofileno) mostraron tendencias de transferencia y retención intermedias a los hidrocarburos terpénicos y los alcoholes terpénicos y aldehídos.

Basándose en lo anterior, se vuelve evidente, que las tendencias obtenidas tienen como base las propiedades fisicoquímicas de los compuestos en cuestión,

en donde la polaridad de los mismos, juega un papel importante en las constantes de solubilidad de cada compuesto, así como en su potencial químico.

De esta manera, se vuelve importante entender desde un punto de vista fisicoquímico los valores de las tasas de extracción y retención, por lo cual, una representación visual de este fenómeno lo podemos encontrar en los valores de coeficiente de reparto octanol-agua ( $K_{ow}$ ) presentados en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Propiedades físicas y extractabilidad de compuestos aromáticos de lúpulo.

Compuesto	Log ( $K_{ow}$ )(log/mol/mol)25°C	Solubilidad en agua (ppm,25 25°C)	Extracción de lúpulo en la cerveza (%m/m)	Tasa de retención en lúpulos gastados (%m/m)	Pérdida de procesamiento (%m/m)
Linalol	3.4-3.5	1542	46	16	38
Geraniol	3.5-3.6	404-877	43	24	33
Geranil acetato	4	18	9	36	55
$\beta$ -pineno	4.2-4.4	13-32	-	58	-
Limoneno	4.4-4.5	12-13	-	58	-
$\beta$ -mirceno	4.3-4.9	<10	0.05	52	48
$\alpha$ -humuleno	7	N/A	0.2	64	36

Estos datos refuerzan la utilidad de  $K_{ow}$  como modelo para conocer el destino de los volátiles del lúpulo durante el dry-hopping, con claras distinciones en las tasas de extracción y retención para diferentes grupos de compuestos.

Los hidrocarburos sesquiterpénicos ( $\alpha$ -humuleno,  $\beta$ -farneseno,  $\beta$ -cariofileno, ( $\log(K_{ow})= 6,3-7,1$ ) mostraron algunas de las tasas medias de extracción más bajas (0.2–0.6%) y las tasas medias de retención más altas (52–63%). Esto es particularmente interesante dado a que se cree que las formas oxigenadas (alcoholes sesquiterpénicos y epóxidos) de  $\alpha$ -humuleno y  $\beta$ -cariofileno son probablemente importantes para el aroma obtenido por el lupulizado tardío en caldera.

De manera similar a los sesquiterpenos, el hidrocarburo monoterpeneo  $\beta$ -mirceno ( $\log(K_{ow})= 4.3$ ) tuvo la tasa de extracción media más baja (0,05%), lo que

probablemente se deba a una combinación de su carácter no polar y al hecho de que es el constituyente cuantitativamente más abundante en el aceite de lúpulo.

Por otra parte, las tasas medias de retención (52-58%) de los hidrocarburos monoterpenos ( $\beta$ -mirceno,  $\alpha$ - y  $\beta$ -pineno y limoneno,  $\log(K_{ow}) = 4.3-4.5$ ) cubrieron un rango similar a los sesquiterpenos, pero en general fue ligeramente menor.

En cuanto a los alcoholes terpénicos, linalol, geraniol y nerol, mostraron las tasas de extracción más altas (43% a 51%) y las medias de retención más bajas (16% a 42%) debido al carácter polar del grupo -OH con un  $\log(K_{ow}) = 3.47-3.56$ .

Finalmente, aunque el  $\beta$ -mirceno siendo un hidrocarburo monoterpénico acíclico es el constituyente más abundante en el aceite de lúpulo, representando del 30 al 60% del contenido total de aceite y es uno de los odorantes más potentes del mismo, su contribución al aroma a lúpulo en la cerveza es mínima, dado que este se pierde casi por completo durante la ebullición del mosto y solo se extrae por encima de su umbral de detección en el proceso de Dry-hopping.

De esta manera, y con base en los datos recabados hasta el momento, se torna importante el ahondar en lo posible, en el estudio de las reacciones involucradas en el seno de nuestro producto a lo largo de su proceso de elaboración.

#### **7.4 Transformación de los compuestos aromáticos en la cerveza**

Como ya se ha mencionado, el geraniol es uno de los compuestos químicos importantes de la cerveza debido a que genera perfiles aromáticos interesantes al encontrarse mezclado con algunos otros compuestos extraídos del lúpulo. De esta forma, se ha demostrado que los ésteres de geranilo (acetato de geranilo e isobutirato de geranilo) se pueden hidrolizar para formar geraniol,<sup>27</sup> y que algunas variedades de levaduras podrían esterificar al geraniol de nuevo a acetato de geranilo y posiblemente reducir el acetato de geranilo a acetato de citronelilo.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> Peacock, V. E., Deinzer, M. L., Likens, S. T., Nickerson, G. B., and McGill, L. A. *J. Agric. Food Chem.* **1981**, *29*, 1265- 1269.

<sup>28</sup> King, A. J.; Dickinson, J. R. *FEMS Yeast Res.* **2003**, *3*, 53-62.

Otros estudios, proponen que las levaduras también pueden isomerizar al geraniol en linalol y que tanto el linalol como el nerol pueden isomerizarse a su vez en  $\alpha$ -terpineol, ayudado este último por el pH ácido del medio. Aunado a lo anterior, los aglicones (particularmente geraniol, linalol y  $\alpha$ -terpineol), también pueden derivarse de glucósidos inodoros a través de actividad enzimática, condiciones ácidas o temperaturas altas (**Figura 19**).<sup>29, 30, 31</sup>

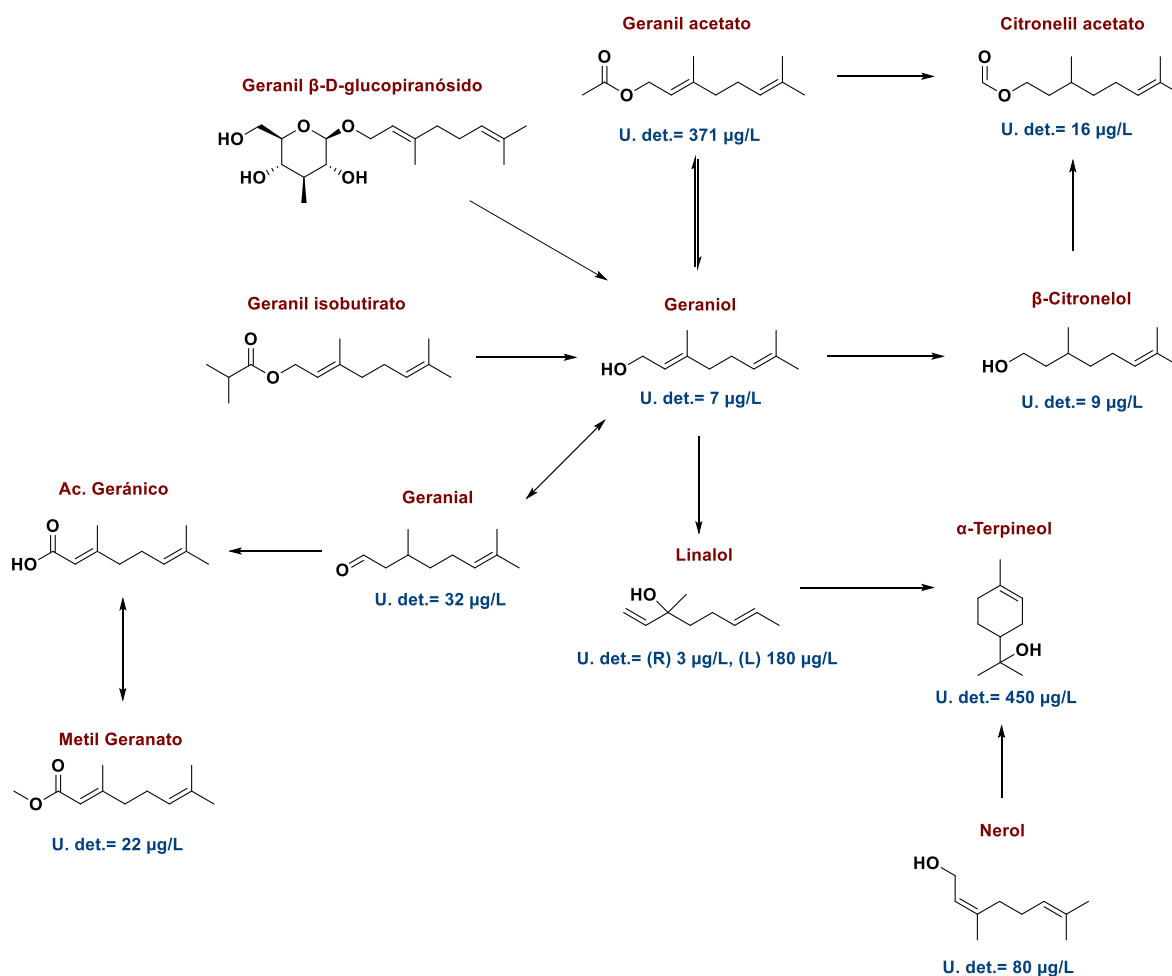


Figura 19. Reacciones asociadas con la biosíntesis del geraniol en el lúpulo así como la actividad enzimática de la levadura durante la fermentación.

<sup>29</sup> King, A., and Dickinson, J. R. *Yeast*. **2000**, *16*, 499-506.

<sup>30</sup> Cibaka, M. L. K.; Ferreira, C. S.; Decourrière, L.; Lorenzo, A. C. J.; Bodart, E.; Collin, S. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2017**, *75*, 122-129.

<sup>31</sup> Sharp, D. C., Steensels, J., and Shellhammer, T. H. *J. Inst. Brew.* **2017**, *123*, 185-191.



De igual manera, es importante considerar las vías biosintéticas que impulsan el sabor del lúpulo, con lo cual, se ha demostrado que la actividad enzimática del mismo, podría ser la responsable de la formación de altas concentraciones de ácido geránico. Se vuelve evidente, que los cambios en las concentraciones de estos diferentes volátiles pueden tener un impacto en la calidad del aroma de la cerveza.

Por otra parte, es bien sabido que compuestos azufrados tales como (dimetildisulfuro, S-metiltioisovalerato y S-metiltiohexanoato) presentan aromas desagradables a "cebolla" o "ajo", no obstante, el papel de los tioles polifuncionales como lo son la 4-mercapto-4-metilpentan-2-ona, 3-mercaptohexilacetato y 3-mercaptohexanol ha sido ya bastante estudiado en la literatura como compuestos con efectos positivos en el aroma de lúpulo y cerveza.

De esta forma, hay que tener en cuenta que los tioles pueden existir en el lúpulo como precursores de tiol (inodoros) y como tioles libres (olores potentes), con lo cual, la naturaleza ligada en la que existen debe influir en cómo se usa el lúpulo durante todo el proceso de elaboración, esto con la finalidad de maximizar su potencial aromático. Con base en lo anterior, debe tomarse en cuenta que ciertos precursores son capaces de generar tioles libres muy potentes durante la fermentación a través de la actividad de la  $\beta$ -liasa de la levadura, sin embargo, existen lúpulos con concentraciones más altas de tioles libres (por ejemplo: Bravo, Citra, Hallertau Cascade y Simcoe) que pueden usarse para el Dry hopping debido a sus mayores cantidades de volátiles libres que pueden ser extraídos.

Desgraciadamente, los tioles son altamente reactivos, y las reacciones de oxidación pueden conducir a la formación de disulfuros inodoros lo cual reduce el impacto de los tioles en el sabor de la cerveza lupulada. Esto resalta la dificultad de tratar de definir marcadores analíticos generales de la calidad del lúpulo aromático y muestra que el momento de las adiciones de lúpulo durante el proceso de elaboración de la cerveza es una consideración importante para determinar qué constituye la "calidad del lúpulo" para cualquier variedad o uso dado (**Figura 20**).<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> Lafontaine, S. R.; Shellhammer, T. H. *MBAA*, 2019, 56, 13-23.

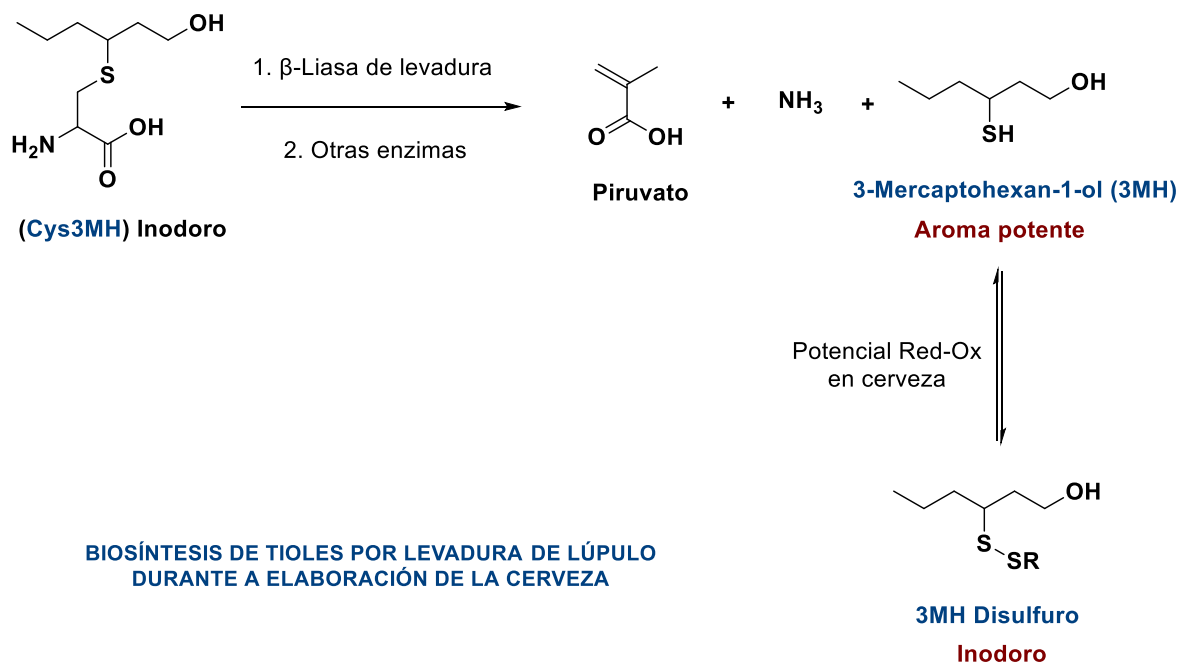
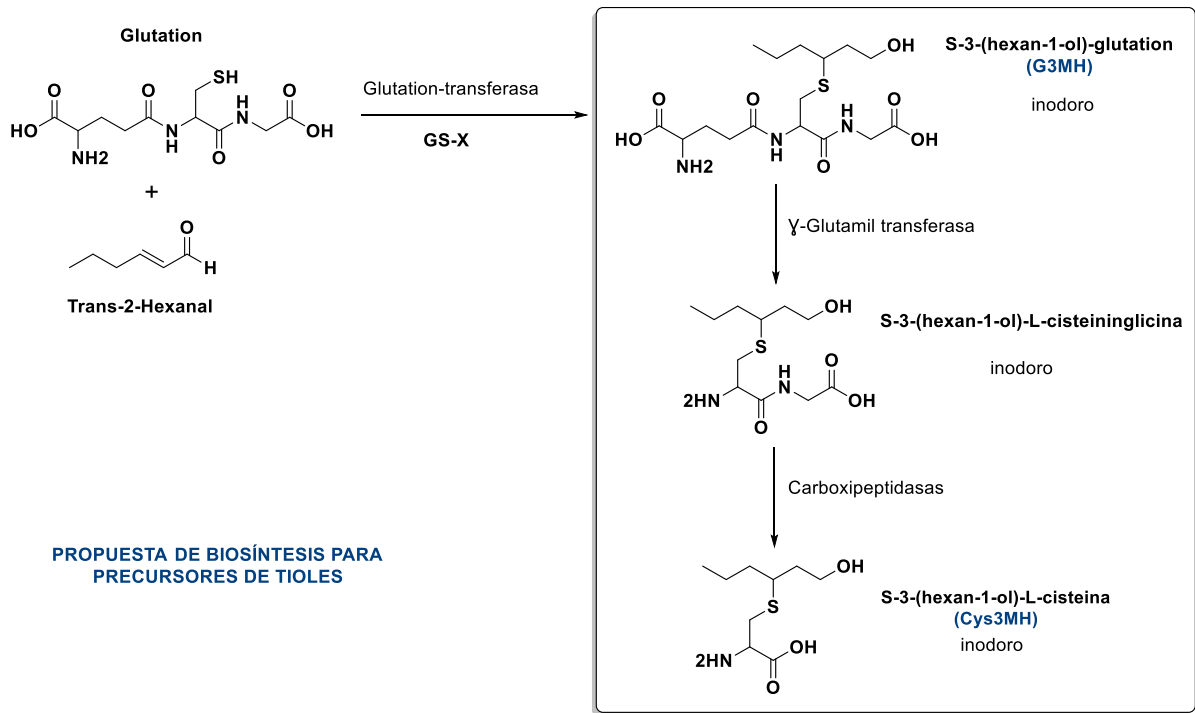


Figura 20. Posibles biosíntesis para la formación de tioles y sulfuros en la cerveza.

## 8. CONCLUSIONES

Con base en los datos recabados en la literatura, es posible afirmar que la técnica de dry-hopping es un proceso factible para la obtención y potencialización de aromas en cervezas artesanales. Dicho proceso permite la modificación positiva de las propiedades organolépticas de la cerveza con un mínimo cambio en los niveles de amargor del producto.

Por otra parte, al ser un proceso que otorga buenos resultados a temperaturas de extracción bajas, permite que el lúpulo utilizado pueda reusarse en etapas de “lupulado temprano” para el aporte de amargor en la cerveza, esto debido al bajo porcentaje de extracción de  $\alpha$ -ácidos sufrido durante el proceso de dry-hopping, con lo cual es posible un impacto positivo en la disminución de costos de producción del producto.

En cuanto a la técnica en sí, el mejor momento para la aplicación de dry hopping, es en los procesos posteriores a la primera fermentación, como lo pueden ser la fermentación secundaria, maduración ó gasificación de la cerveza, puesto que, en etapas previas a estas, resulta fácil la pérdida de los compuestos volátiles adquiridos por la extracción del lúpulo, con lo cual la eficacia en la potencialización del aroma se observaría abatida.

Aunado a lo anterior, la revisión bibliográfica mostró que la presencia de levadura en la cerveza tratada con dry-hopping, representa un riesgo en la preservación del aroma obtenido por la técnica, ya que el metabolismo del microorganismo puede continuar modificando el ambiente químico del medio. Por lo cual, se recomienda llevar a cabo una gasificación forzada después o durante el proceso de dry-hopping, pero siempre con el medio previamente pasteurizado.

Finalmente, es posible concluir que el dry-hopping es un método alternativo al lupulado tradicional que ha demostrado poder aportar perfiles aromáticos únicos a cervezas tipo IPA y Pale Ale (principalmente), sin embargo su estudio no se restringe para los demás estilos de cerveza artesanal.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Procuraduría Federal del Consumidor. 10/04/2018. [consultado 27 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/la-cerveza-mas-alla-de-la-fermentacion?state=published>.
- [2] Forbes México. 22/08/2022. [consultado 21 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/la-industria-de-cervezas-artesanales-crecera-10-este-2022/>
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2021. [consultado 27 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825198428>.
- [4] ACERMEX. 2018. [consultado 27 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://acermex.org/wp-content/uploads/2019/11/Reporte-de-la-Industria-.Acermex.pdf>
- [5] Fuente: INEGI. Censos Económicos 2019.
- [6] Deloitte. Cerveza artesanal. Una experiencia multisensorial, 2017. [consultado 10 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/consumer-business/articles/cerveza-artesanal.html>.
- [7] P. Duboe-Laurence; C. Berger. El libro del amante de la cerveza, José J. de Olañeta, 1988.
- [8] J.G. Griffiths. The Origins of Osiris and His Cult, Brill, Leiden, 1980.
- [9] Historia de la cerveza. [consultado 09/02/2021]. Disponible en: <https://www.loscervecistas.es/historia-de-la-cerveza/>.
- [10] P. Duboe-Laurence; C. Berger. El libro del amante de la cerveza, 1988.
- [11] Reyna, M. C.; Krammer, J. P. Apuntes para la historia en México, INHA. [consultado 10/0/2023]. Disponible en: <https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/libro%3A754>
- [12] Lewis, M. J.; Young, T. W. Brewing, 2013.
- [13] Hornsey, I. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. **2000**, pp. 1-5.
- [14] Huxley, S. La cerveza. Un manual para cervesiáfilos. Equipo, Instrumentos y Fermentación. **2002**, pp. 214-219.
- [15] Ramirez, W. F.; Maciejowski, J. Ints. Brew., 2007, 113, 325-333.
- [16] Ian S. Hornsey. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. pp. 141 – 158.
- [17] Hirst, M.B.; Richter, C.L. Am. J. Enol. Vitic. **2016**, 4, 361-370.
- [18] M. Eumann, Water in brewing, 2006, 183-207.
- [19] J.S. Hough, Biotecnología de la cerveza y de la malta. Acribia. **1990**
- [20] Loviso, C.L.; Libkind, D. Rev Argent Microbiol. **2018**, 50, 436-46.

- [21] Claudia L. Lovisoa y Diego Libkind b Síntesis y regulación de los compuestos del aroma y sabor derivados de la levadura en la cerveza: alcoholes superiores.
- [22] Kunze Wolfgang, technology brewing and malting 1999 Alemania.
- [23] Investigating the Factors Impacting Aroma, Flavor, and Stability in Dry-Hopped Beers. Lafontaine.
- [24] Forster, A.; Gahr, A. *Brewingscience*. **2013**, 66, 93-103.
- [25] Oladokun, O.; James, S.; Cowley, T.; Smart, K.; Hort, J.; Cook, D. *BrSc*. **2017**, 70, 187-196.
- [26] Hauser, D. G.; Lafontaine, S. R.; Shellhammer, T. H. *J Am Soc Brew Chem*. **2019**.
- [27] Peacock, V. E., Deinzer, M. L., Likens, S. T., Nickerson, G. B., and McGill, L. A. *J. Agric. Food Chem.* **1981**, 29, 1265- 1269.
- [28] King, A. J.; Dickinson, J. R. *FEMS Yeast Res.* **2003**, 3, 53-62.
- [29] King, A., and Dickinson, J. R. *Yeast*. **2000**, 16, 499-506.
- [30] Cibaka, M. L. K.; Ferreira, C. S.; Decourrière, L.; Lorenzo, A, C. J.; Bodart, E.; Collin, S. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2017**, 75, 122-129.
- [31] Sharp, D. C., Steensels, J., and Shellhammer, T. H. *J. Inst. Brew.* **2017**, 123, 185-191.
- [32] Lafontaine, S. R.; Shellhammer, T. H. *MBAA*, **2019**, 56, 13-23.