



Estudio Botánico de la Cerveza



José Manuel Camero Casares

Facultad de Farmacia

Universidad de Sevilla



Universidad de Sevilla

FACULTAD DE FARMACIA

Departamento de Biología Vegetal y Ecología
Área de Botánica

GRADO EN FARMACIA

Estudio Botánico de la Cerveza

TRABAJO FIN DE GRADO

Alumno: José Manuel Camero Casares

Director: Dr. Francisco José González Minero

Sevilla

Diciembre de 2018

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio bibliográfico sobre los componentes botánicos de la cerveza. Es una bebida alcohólica que resulta de la fermentación de carbohidratos de semillas de cereales por levaduras y aromatizada con diferentes extractos de plantas. Su origen se remonta al período neolítico, y actualmente es una de las bebidas más consumidas en el mundo.

El cereal más importante es la cebada (*Hordeum vulgare*), el aroma principal lo aportan las flores femeninas del lúpulo (*Humulus lupulus*) y la fermentación la realizan microorganismos del complejo *Saccharomyces cerevisiae sensu stricto*. En cada uno de estos tres taxones se estudian: posición taxonómica y descripción botánica, conocimientos genéticos y datos históricos, naturaleza química de sus moléculas, número de variedades cultivadas, condiciones de cultivo, enfermedades fúngicas y propiedades medicinales. Toda esta información se relaciona con las diferentes etapas de la elaboración de la cerveza. También se indica la influencia de cada componente botánico sobre las características finales de la bebida.

Los resultados ponen de manifiesto la existencia de un gran número de variedades botánicas seleccionadas por el hombre para la elaboración de la cerveza, que tiene como consecuencia una gran diversidad de estilos de esta bebida fermentada.

Palabras clave: Botánica económica, Cebada, Cerveza, Levaduras, Lúpulo.

Abstract

In this work a bibliographical study on the botanical components of beer is presented. It is an alcoholic beverage that results from the fermentation of carbohydrates from cereal seeds by yeasts and flavored with different plant extracts. Its origin dates back to the Neolithic period, and is currently one of the most consumed beverages in the world.

The most important cereal is barley (*Hordeum vulgare*), the main aroma is provided by the female flowers of hop (*Humulus lupulus*) and the fermentation is carried out by microorganisms from the *sensu stricto Saccharomyces cerevisiae* complex. In each of these three taxa are studied: taxonomic position and botanical description, genetic and historical data, chemical nature of their molecules, number of cultivated varieties, culture conditions, fungal diseases and medicinal characteristics. All this information is related to the different stages of brewing. The influence of each botanical component on the final characteristics of the drink is also indicated.

The results show the existence of a large number of botanical varieties selected by man for brewing, which has as consequence a great diversity of styles of this fermented drink.

Key words: Barley, Beer, Economic Botany, Hop, Yeasts.

Contenido

INTRODUCCIÓN

Definición de cerveza e impacto económico.....7

Proceso de fabricación de la cerveza y tipos de cerveza
y características nutricionales7

Apuntes sobre la historia de la cerveza.....9

OBJETIVOS.....11

MATERIAL Y MÉTODOS.....12

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....13

CEBADA

Descripción botánica.....14

Genética e historia.....15

Química.....18

Cultivo y variedades.....17

Enfermedades.....20

Propiedades medicinales.....20

LÚPULO

Descripción botánica.....21

Genética e historia.....22

Química.....23

Cultivo y variedades.....25

Enfermedades.....29

Propiedades medicinales.....30

LEVADURAS

Descripción y consideraciones generales.....31

CONCLUSIONES.....33

BIBLIOGRAFÍA.....35

INTRODUCCIÓN

Definición de cerveza e impacto económico

Cerveza es un alimento resultante de la fermentación, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto cervecero elaborado a partir de materias primas naturales. Según sus características, se distinguen distintos tipos de cerveza, por ejemplo: a) Cerveza de cereales: cuando en el mosto cervecero la presencia de malta de cebada sea inferior al 50 % respecto al total de la malta, llevará la denominación de «Cerveza de» seguida del nombre del cereal con mayor contenido en peso. b) Cerveza extra: Cerveza con un extracto seco primitivo superior o igual al 15% en masa. c) Cerveza especial: Cerveza con un extracto seco primitivo superior o igual al 13% en masa e inferior al 15% en masa. d) Cerveza negra: Cerveza que supere las 50 unidades de color, conforme al método analítico de la European Brewery Convention (EBC). e) Cerveza de bajo contenido en alcohol: Cerveza cuya graduación alcohólica esté comprendida entre el 1 y el 3% en volumen. f) Cerveza sin alcohol: Cerveza cuya graduación alcohólica sea menor al 1% en volumen. g) Clara: Mezcla de cualquier tipo de cerveza con gaseosa, o con bebida refrescante (BOE, nº304. 17 de diciembre de 2016, en línea).

Según un informe socioeconómico del sector cervecero español (<https://cerveceros.org/>), España es el cuarto país productor de cerveza de la Unión Europea, siendo el segundo país que más empleo (detrás de Alemania) genera en el sector (344.000 puestos de trabajo y un 1,4% del PIB). Por otra parte la cerveza es la bebida más bebida en el mundo, por detrás de otras no alcohólicas como el café o té (Faria-Oliveira et al., 2013).

Proceso de fabricación de la cerveza, tipos de cerveza y características nutricionales

La fabricación de la cerveza es un proceso complejo que consta de numerosas fases. En la figura 1 se muestra de forma esquemática.

Según Molina-Cano (1987) el procedimiento general sería el siguiente:

El **malteo** comienza con la selección de la cariósida (grano), ésta debe ser homogénea, estar libre de impurezas y tener aproximadamente un calibre similar. El grano se somete a remojo para inducir su germinación en condiciones aeróbicas y a una temperatura adecuada. Esta acción se detiene con un aumento de la temperatura (tostado) y bajada de la humedad relativa <5%.

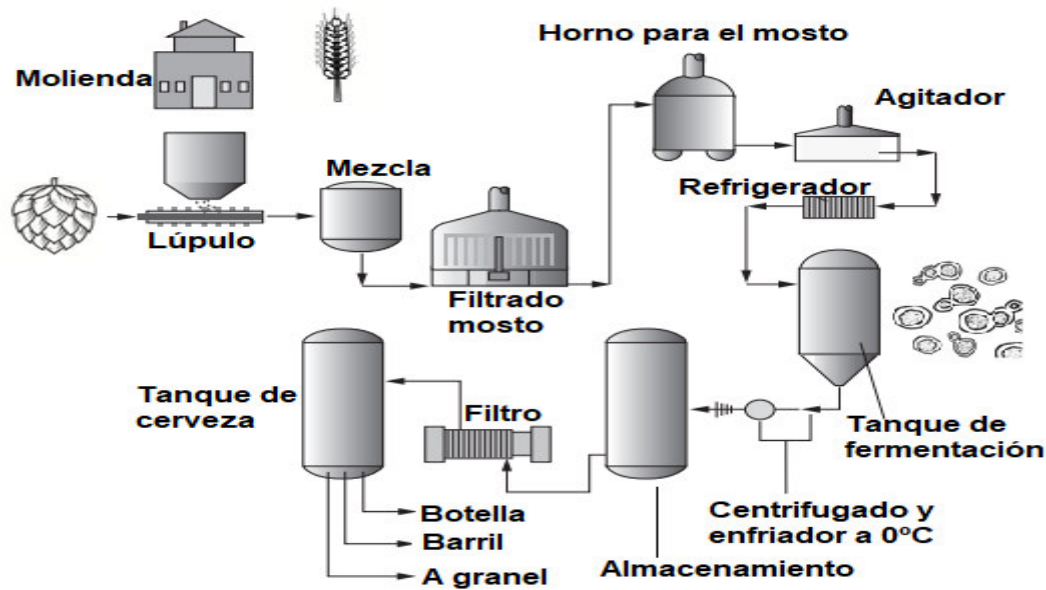


Fig.1. Esquema simplificado de la fabricación de la cerveza. Adaptado a partir Ward (<http://www.insht.es/InshtWeb/>).

Molienda o trituración de los granos para reducir el endospermo a consistencia de harina fina (evitando la rotura de las cubiertas, glumelas).

Maceración en agua caliente (25-75°C) para convertir la harina en mosto. A continuación, en una nueva caldera se añade el lúpulo y se somete a un proceso de ebullición para conseguir una buena aromatización.

Filtración para separar y clarificar el mosto de la fase sólida acompañante (orujo y restos de lúpulo).

Fermentación o proceso mediante el cual se transforman los azúcares del mosto en alcohol. Previamente el mosto ha de ser enfriado y en este momento se siembra la levadura.

Envasado. El mosto se deja reposar el tiempo necesario para que concluya la fermentación y el producto se clarifique. Se realiza un filtrado para eliminar la turbidez residual, se almacena en tanques, se envasa (pasteurizada o no) y distribuye.

Básicamente existen dos tipos de cerveza, *Ale* y *Lager*. La palabra *Ale* hace referencia a una fermentación con alta temperatura en poco tiempo, aunque después está sometida a proceso de maduración. Está regulada por un tipo de levaduras en concreto (se discutirá en resultados y discusión). El color y la graduación alcohólica dependen de la composición de la malta, la variedad del lúpulo y la receta cervecera que se emplee. Existen diferentes estilos ligados a regiones geográficas concretas: británico (*Mild, Pale Ale, Brown Ale,...*), belga (*Ale* rojo, Abadía), alemán (*Kösch*).

La cerveza tipo *Lager* (almacén en alemán) procede de una fermentación a baja temperatura durante un periodo más largo y está condicionada por otro tipo de levaduras. Existen diferentes estilos: *Pilsen* (Bohemia), Munich, Viena, *Frohberg* (Holanda). Igualmente las características de los distintos estilos *Lager* dependen de la materia prima y del modo de elaboración. Fuente: <http://www.cervemur.es/> (en línea).

Como se indicó con anterioridad la cerveza es la bebida alcohólica más consumida en el mundo. Algunos autores la consideran como un elemento más de la dieta. Con un valor calórico de 7 Kcal/g por su contenido en alcohol etílico y 4 Kcal/g procedente del residuo seco no metabolizado por la levadura. La ingesta de cerveza aporta hidratos de carbono, proteínas, tiamina, riboflavina, ácido pantoténico, niacina, silicio, magnesio, fósforo y potasio. La cerveza, con o sin alcohol, también es fuente de folatos y flavonoides (Carbonell-Talón, en línea). El consumo de cerveza sin alcohol ha sido recomendado en embarazadas o madres lactantes, en la menopausia y para prevenir la osteoporosis (Pérez-Medina et al., 2015). El consumo de alcohol, aunque sea en bajas cantidades, plantea en la actualidad un debate sobre sus efectos sobre la salud, en la figura 2 se muestra cómo el consumo de cerveza por los niños se consideraba beneficioso.



Fig. 2. Niños hospicio de Sevilla 1933, bebiendo cerveza. Publicidad antigua de Cruzcampo. https://verne.elpais.com/verne/2014/10/13/articulo/1413177430_000145.html

Apuntes sobre la historia de la cerveza

En este apartado recogemos fragmentos históricos de la cerveza. Algunos de los conceptos tratados aquí se complementarán con datos concretos que aparecen en los resultados donde se tratan por separado los tres componentes botánicos principales que hemos considerado en este trabajo: cebada como fuente principal de cereal, variedades de lúpulo y levaduras. Como se puede suponer la historia de la cerveza es muy amplia, y no siempre se encuentra accesible bajo una referencia bibliográfica rigurosa. En general aparece en libros o capítulos de libros, de difícil consulta total por nosotros (por ejemplo el caso de *History of beer and brewing*, *Brewing games firm play*, etc.).

La historia de la cerveza, como de cualquier otra bebida alcohólica, está envuelta en misterio. Sin embargo existe un escenario lógico sobre el descubrimiento temprano (en el Neolítico) de las bebidas fermentadas naturalmente a partir de frutos y levaduras silvestres. Posiblemente distintas civilizaciones reconocieron este proceso y aprendieron a reproducirlo a partir de azúcares (Nelsson, 2005).

El desarrollo de la agricultura entre las cuencas de los ríos Tigris y Éufrates (Zona de Mesopotamia) trajo consigo la fabricación de cerveza. En el código de Hammurabi (1795-1750 a.C.) se regula el precio de la cerveza, con penas de muerte para los traficantes (Horne, 1915). No se trataba de una cerveza como la actual, eran cereales malteados y fermentados, con o sin aromatizar. En el antiguo Egipto la cerveza y el pan eran alimentos básicos tanto para adultos como para niños. Se consideró un alimento saludable (Rosso, 2012) y vehículo de administración de drogas (Puerto-Sarmiento, 1997). La cerveza fue poco a poco extendiéndose por Europa y Asia o, como se dijo al comienzo, se descubrió de forma independiente en la prehistoria. Así lo avalarían yacimientos arqueológicos neolíticos en Escocia (segundo milenio a. C.). Igualmente, en la América precolombina también se fabricaría cerveza a base de maíz y ágave (Fig. 3).



Fig. 3. Elaboración de tipo de cerveza precolombina en Méjico. Fuente: <https://www.cervecera1620.com/>

En el siglo IV a. C. se constatan en Grecia los primeros ataques contra la cerveza, ya que se trata de un producto egipcio y choca con el culto a Dionisos (dios del vino) (Nelsson, 2005). Parecía que se estaba iniciando la trilogía de productos de la “dieta mediterránea”: trigo, vid y olivo. Eslava-Galán es un buen divulgador de diversos temas. Este autor en 2017 recoge las siguientes palabras sobre la cerveza: Plinio decía que los pueblos de Occidente se embriagan con bebidas de granos mojados (*caelia*). Y añade, que para griegos y romanos, el vino era una bebida más civilizadora que la cerveza, propia de pueblos bárbaros. Posiblemente, las condiciones de elaboración de la cerveza no eran adecuadas en climas mediterráneos.

En la Edad Media la elaboración de la cerveza se realizó en monasterios. Monjes anónimos de Europa Central eran entusiastas de la cerveza, por ejemplo, ya hacia el año 800 en los planos de nuevas abadías de Suiza aparecían cocinas para elaborar cerveza. En 1516 se promulga la Ley de Pureza de la Cerveza (*Reinheitsgebot*), en la que se decía que la cerveza debía contener sólo malta de cebada, lúpulo y agua de la región (Araújo et al., 2016). En esta época apareció en Baviera

un nuevo tipo de cerveza, cuando ésta se guardaba en cuevas frías para que no se estropeará en el verano (primer indicio de cerveza *Lager*, que no sería descrita hasta siglos después). Con los viajes de ultramar, sobre todo por parte británica, la cerveza empezó a expandirse por el mundo, los navíos británicos cargaban un galón por día y por persona (Laws, 2012). Mención especial merece la cerveza *Indian Pale Ale* (IPA), con gran cantidad de lúpulo fresco y muy amarga. Esta cerveza surgió en el siglo XIX cuando había que transportar la cerveza desde Inglaterra hasta la India por barco, pasando dos veces el Ecuador. La cerveza se corrompía por el calor y para evitarlo se usaba mayor cantidad de lúpulo (<https://www.bbc.com/news/>, en línea).

Volviendo de nuevo a España, es posible que hasta el siglo XVI no se fabricara cerveza, posiblemente en Sevilla ya que era puerto de Indias y vivían muchos alemanes y flamencos. En sus últimos años en Yuste (Cáceres), el Emperador Carlos V contaba con un maestro cervecero en su séquito. Cuando el médico le prohibió la cerveza por los ataques de gota, respondió *que no lo haría* (Fernández-Álvarez, 1999). Según aparece en Wikipedia, en 1903 viajaron hasta Bélgica los hermanos Osborne de El Puerto de Santa María para ver el proceso de fabricación de cerveza y de alguna forma, mitigar el desempleo de la región y aprovechar la cebada. El resultado fue la instalación en Sevilla de la fábrica de Cruzcampo, quizás por las bondades del agua de la ciudad. La cerveza moderna, entendida como cerveza elaborada y extendida por todo el mundo (*Lager*), surgió con la aparición de nuevas técnicas (refrigeradores) y con de los primeros descubrimientos que Louis Pasteur hizo sobre fermentación por levaduras (Baxter, 2001).

Antecedentes. Hemos considerado necesario realizar esta introducción un tanto amplia sobre distintos aspectos de la cerveza para destacar la importancia que esta bebida ha tenido y tiene en distintas sociedades a lo largo de la historia. Todo ello sirve de antecedente y justifica por sí sólo la realización de este trabajo, en el que se va presentar el estudio de los principales ingredientes botánicos que se usan en la elaboración de la cerveza.

OBJETIVOS

1. Recordar y profundizar en los principales ingredientes botánicos de la cerveza.
2. Manejar correctamente la nomenclatura y términos botánicos para la descripción de estos componentes.
3. Obtener información que aparece en tratados de Botánica, y en publicaciones científicas a través de buscadores de internet y bases de datos.
4. Caracterizar estos elementos desde el punto de vista botánico, agronómico, bromatológico, histórico y fitoquímico.
5. Poner de manifiesto el papel que desempeñan estos elementos en la cerveza como producto final.

MATERIAL Y MÉTODOS

En primer lugar se han utilizado textos y manuales de Botánica General y Botánica Económica disponibles en la biblioteca del Departamento de Biología Vegetal y Ecología de la Facultad de Farmacia.

Para encuadrar taxonómicamente a las plantas se ha seguido el criterio de APGIII (Bremer et al., 2009). Las levaduras se han tratado según *Mycobank* (en línea). El nombre de las plantas se ha verificado según *ThePlantList* (en línea).

También se han consultado las bases de datos Scopus y Google Académico.

Cuando se introducen los descriptores en Scopus, disponible a través del UVUS de la Universidad de Sevilla, aparecen miles de referencias: 305.154 para *barley* (cebada); 301.1720 para *hop* (lúpulo) y 24.581 para *yeast* (levadura). Cuando se añade la palabra *beer*, las referencias se reducen de manera significativa, pero en los tres casos siguen estando por encima de las 1000. La mayoría de estos artículos son muy especializados y se alejan un poco de nuestro objetivo, dado que tratan sobre la química industrial o tecnología muy avanzada de la cerveza en la que se aparecen conceptos genéticos de muy alto nivel para seleccionar, por ejemplo, variedades genéticas de los componentes de la cerveza o se describen procesos bioquímicos complejos para determinar las moléculas importantes o describir el proceso de la fermentación. De ahí que nos hemos decantado por Google Académico, que de alguna manera nos criba la abundantísima información y nos ofrece los trabajos más consultados en este buscador.

También se ha recurrido a Google generalista donde aparecen portales públicos y privados en internet que aportan información técnica y datos oficiales interesantes para la consecución de este trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el tratado clásico de Bromatología de Casares (1968) se dice que una cerveza es “genuina” si se trata de una bebida alcohólica de baja graduación procedente de la fermentación de malta de cebada y adicionada con lúpulo. Considera también el término cerveza “mixta” si en la malta entran otros cereales u otras fuentes de almidón. Así existen cervezas de trigo, estilo *weizenbier* (*Triticum* sp.), de maíz (*Zea* sp.), avena (*Avena* sp.), arroz (*Oryza*) (Fig. 4). Este último caso se considera un tipo especial de cerveza, el *sake* en la que los granos de arroz se fermentan con *Aspergillus oryzae* (*Eurotium oryzae*) (koji).



Fig. 4. Diferentes tipos de cerveza. A: trigo (*Franziskaner Weissbier*). B: maíz (<https://byo.com/article/brewing-with-corn/>). C: arroz (*Estrella Damm*).

Otras fuentes de hidratos de carbono pueden ser la quinoa (en Chile) (<https://www.biobiochile.cl/>) (*Chenopodium quinoa*), o de mandioca (*Manihot esculenta*) (Paraguay) (<http://infonegocios.com.py/y-ademas/pilsen>).

Como aromatizantes de la cerveza se puede usar alcachofa (*Cynara scolymus*) (<http://alcachofa.es/blog/cervezas>), jengibre o *ginger-beer*, (*Zingiber* sp.), *sapinette* (madera de abeto, *Abies*) o *spruce* (yemas de *Pinus*), etc. (Casares, 1968).

Acabamos de mostrar una variedad de elementos vegetales que se pueden utilizar en la elaboración de la cerveza. Por las dimensiones de este trabajo sólo se van a tratar a continuación los tres principales, ordenados según su aparición en el proceso de la elaboración de la cerveza: cebada, lúpulo y levaduras (Fig. 1).

CEBADA

Clado: Angiospermas, Monocotiledóneas.

Orden: Poales.

Familia: Poaceae.

Género: *Hordeum* L.

Especie: *Hordeum vulgare* L.

Sinónimos botánicos: 41 nombres válidos y 42 nombres ilegítimos (www.theplantlist.org).

Cientos de variedades comerciales, reguladas por el Código Internacional de Plantas Cultivadas.

Plantas anuales. Tallos erectos, 50-100 cm de alto, glabros. Vaina de la hoja generalmente glabra; aurículas presentes; lígula (1-2 mm) membranosa; vaina de la hoja 9-25 × 0.6-2 cm; hojas con 15-20 nervios (Fig. 5).

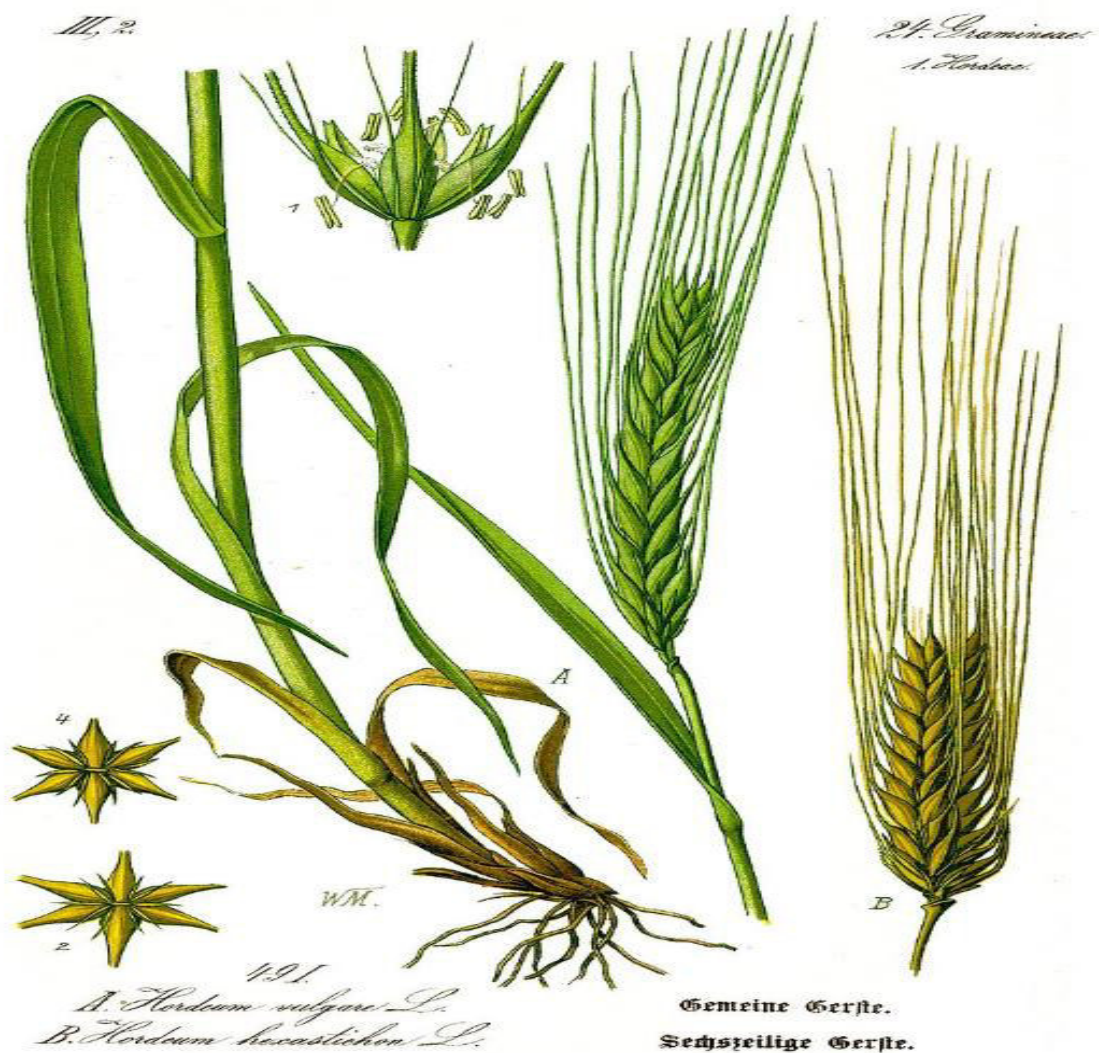


Fig. 5. Hábito de la cebada. *Hordeum vulgare* L. Fuente: Wikipedia (dominio público).

Raquis flexible. Inflorescencia en espiga densa con espiguillas dispuestas en grupos de tres, la central sentada y las laterales pedunculadas; espiguillas unifloras; glumas puberulentas, acuminadas, lanceoladas en la base y progresivamente lineales (8-14 mm). Lema escábrida con una arista de 8-15 cm; pálea similar a la lema, sin aristas; ambas piezas estrechamente unidas al fruto en cariósipide. $2n=14$. Fl y Fr: IV-V (IX) (Fig. 5). Distribución: cosmopolita.

Fuentes: Flora of China (en línea), UPNA (en línea) y Devesa-Alcaraz (1995).

Genética y algo de historia de la cebada. La cebada pertenece a la subfamilia de gramíneas Pooideae (tribu Triticeae) (sujeto a revisión, <http://families.e-monocot.org/>), a la que pertenecen especies progenitoras de algunos cereales modernos como el trigo (*Triticum*) (Devesa-Alcaraz y Carrión-García, 2012). Los primeros restos arqueobotánicos (semillas y fitolitos) de la cebada se corresponden con el periodo Neolítico, entre 8000-5000 años a. C. en Siria, Irán y desierto de Judea (Fig. 6) (Zeist Bakker-Heeres, 1985; Riehl et al., 2013; Mascher et al., 2016). La cebada actual se originó en una sola domesticación a partir de una cebada silvestre (*Hordeum spontaneum*) (Badr et al., 2000; Diamond, 2002), después pasó a China (Wanga et al., 2016) y se propagó por el norte de África. En el siglo V a. C. se cultivaba la cebada en las islas de Lesbos y Tebas. En Roma se hacía *panis hordeaceus* para ser consumido por pobres y esclavos. La cebada pasó a Europa en épocas tempranas (existen reseñas en Escandinavia hacia 2000 años a. C.), quizás por tratarse de un cultivo mejor adaptado al frío que el de trigo. La cebada llegó a América a partir de 1492 (Newman y Newman, 2006). Las mejoras genéticas han ido adaptando el cultivo de la cebada a condiciones agroclimáticas duras, y prácticamente se puede cultivar por todo el mundo (Silva, 1998, en línea). Hace poco tiempo se ha completado el primer genoma en la variedad de seis carreras Morex, con una estimación de 39000 genes (Mascher et al., 2017) (Fig. 6).



Fig. 6. Restos arqueológicos de granos de cebada en la cueva de Yoram (Judea), grano seco. Cromosomas en interfase de cebada, rojo: centrómero; verde: telómero. Extraído a partir de Mascher et al. (2016; 2017).

Química de la cebada. Como se refirió con anterioridad la cebada presenta un fruto en cariósipide, en el que el pericarpio del fruto y testa de la semilla se encuentran íntimamente soldados (Fig. 7).

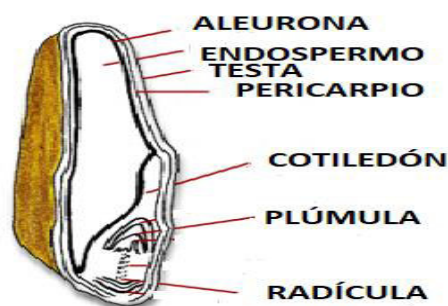


Fig. 7. Corte longitudinal de una cariósipide.

El pericarpio es abrasivo debido a la presencia de sílice en la epidermis. La testa o cubierta de la semilla es una membrana selectivamente permeable que contribuye a la entrada de agua para germinación. La aleurona es una capa fina de pocas células con paredes engrosadas. Estas células son ricas en hordeínas (unas prolaminas no del todo degradadas por las proteasas del embrión) y por tanto perjudiciales para los celíacos (Castelví, 2014), estas proteínas son también promotoras de la espuma de la cerveza junto con el CO₂ disuelto (Evans y Bamfort, 2009). En la figura 8 se muestra la separación por electroforesis de estas proteínas en 14 variedades de cebada de Croacia (Strelec et al., 2011).

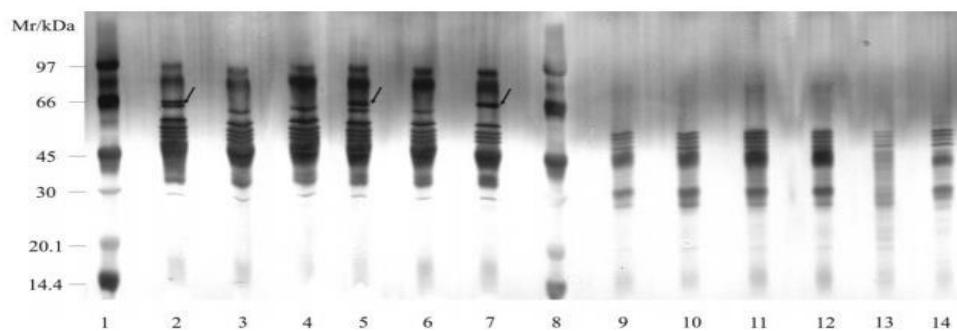


Fig. 8. Electroforesis de hordeínas en variedades de cebada. Fuente: Strelec et al. (2011).

El endospermo es un parénquima de reserva que será el alimento para el embrión durante la germinación. El embrión produce enzimas α y β amilasa, hemicelulasas, peptidasas, oxidasas, peroxidasas, y fitasas. En el proceso de malteo se rompe la latencia del embrión y se activan sus enzimas que difunden por todo el endospermo para movilizar las reservas de este último (almidón, fosfatos y restos de grasas) (UNSP Perú, en línea) (Fig. 9).

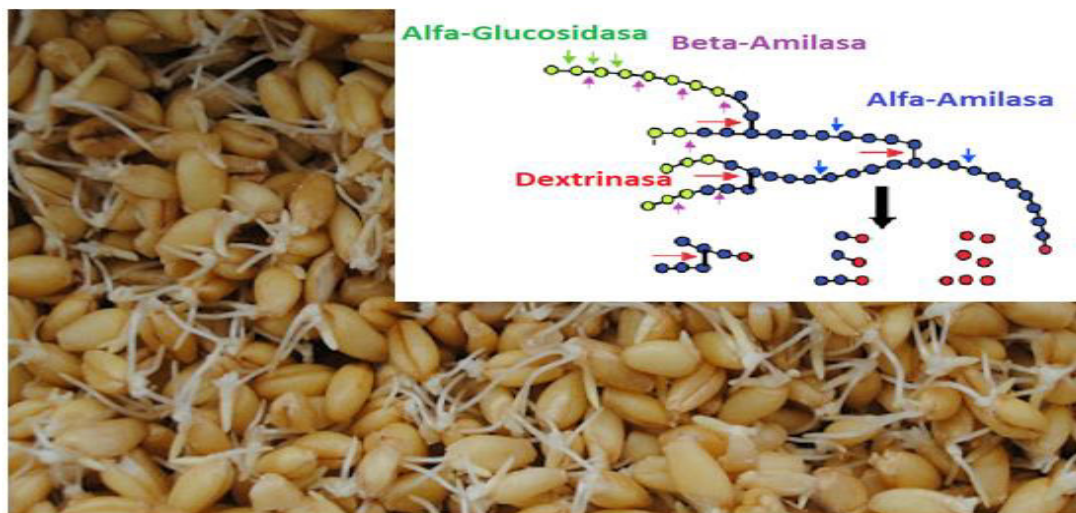


Fig. 9. Germinación de las semillas y acción enzimática. Elaborado a partir de: <http://cerveceros-caseros.com/> y <http://lccbtis7.blogspot.com/2011/06/enzimas.html>.

Según la Base de Datos Española de Composición de Alimentos (<http://bedca.net/bdpub/>), por 100g de cebada pura existen: 0 g de etanol, 401 Kcal de energía, 6.9 g de lípidos totales (2.2 AGMi, 2.5 g AGPi, 2.5 g y 1.2 AGi), 10.6 g de proteínas totales, 14.8g de fibra total, 66.3 g de hidratos de carbono, 0.7 mg de Vit E, 56 µg de folato, 0.96 mg de niacina, 0.76 mg de tiamina, 54 mg de Ca, 429 de K, 529 mg de Na, y 3.3 mg de Zn.

Whittle et al. (1999) y Ullucci et al. (2016) describieron mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) los polifenoles más abundantes en distintas variedades de cebada: dímeros, trímeros, tetrámeros y pentámeros de protoantocianidinas. Shen et al (2016) demostraron en ratones la alta capacidad antioxidante de extractos de cebada negra, rica en otros polifenoles (ácido ferúlico y ácido *p*- cumárico) (Zhang et al., 2016) (Fig. 10).

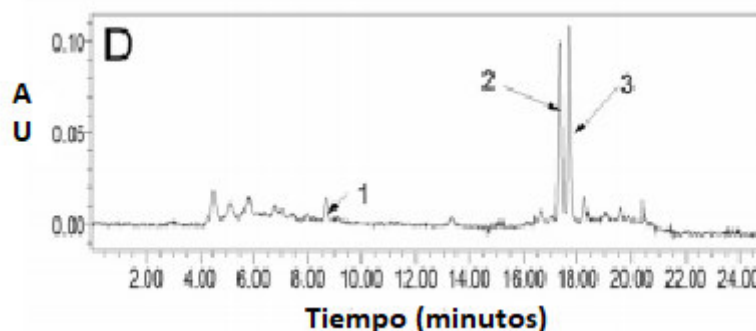


Fig. 10. Compuestos fenólicos analizados en HPLC en cebada negra. 1: catequinas. 3. Ácido *p*-cumárico. 3. Ácido ferúlico. Elaborado a partir de Zhang et al. (2016).

Cultivo y variedades de cebada. Fundamentalmente existen dos tipos de cebada. El de seis carreras o hexístico (*Hordeum vulgare* var. *hexastichom*), caracterizado por tener las tres

espiquillas flores fértiles. Se ha utilizado para alimentación humana y animal, también se le conoce como cebada caballar (UPNA, en línea). Presenta un mayor contenido en proteínas y menos cantidad de fibra. Las variedades de este tipo de cebada se adaptan a condiciones más rústicas, si bien ofrecen menor productividad y peso de grano (López-Querol et al., 2016) (Fig. 11).

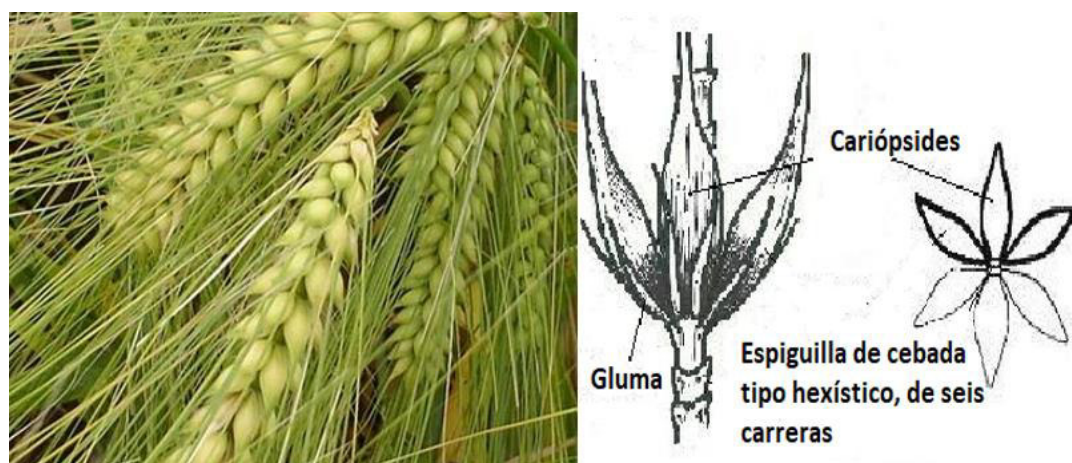


Fig.11. Cebada de seis carreras. Disposición de cariósipide. Elaborado a partir de Mundo agrícola y Ministerio de Agricultura 1484 (en línea).

La cebada maltera o tipo dístico o de dos carreras (*Hordeum vulgare* var. *distichom*) es la preferida por la industria cervecera. En este caso sólo la espiguilla central (del grupo de tres) presenta una flor (UPNA, en línea) (Fig. 12).



Fig. 12. Cebada de dos carreras. Disposición de cariósipide. Elaborado a partir de Fito-agrícola y Ministerio de Agricultura 1487 (en línea).

España es el país de la UE que dedica una mayor superficie al cultivo de cebada (de manera extensiva), aunque las condiciones de cultivo son peores: los suelos son más rústicos, tienen menor potencial cerealístico y la pluviometría es escasa. Aun así es el sexto productor del mundo de este cereal (Fig. 13). Esto ha sido posible gracias a una mejora genética de las nuevas

variedades que presentan un fenotipo con menor altura, menor encamado y mayor resistencia a plagas.

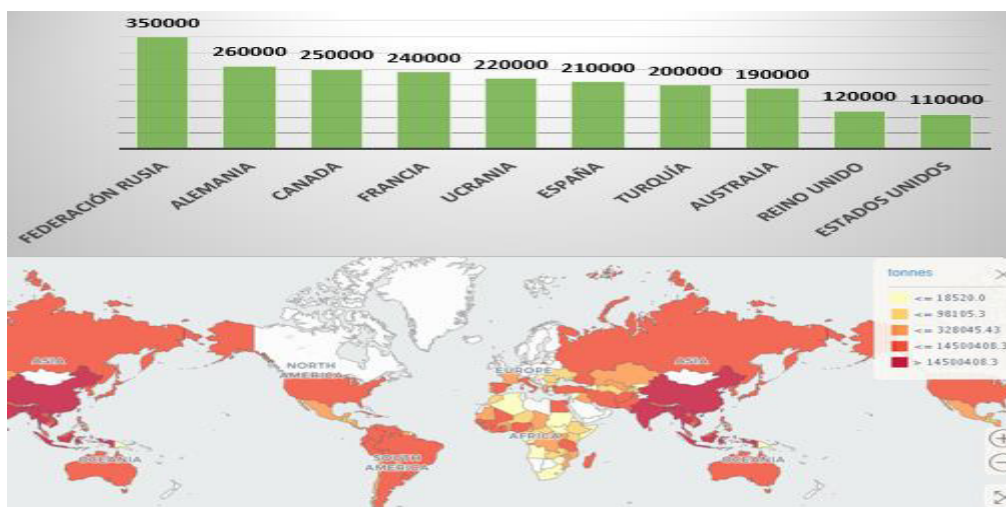


Fig.13. Países productores de cebada. Toneladas x1000 y distribución geográfica (media 1993-2016).
Fuente: <http://www.fao.org/faostat/> (en línea).

Actualmente la mayoría de las variedades cultivadas en España son dísticas. El destino de la producción es otro factor a considerar a la hora de decidir la variedad a sembrar. Como se dijo anteriormente, la industria maltera se abastece mayoritariamente de variedades de 2 carreras, con granos de mayor calibre y peso específico (López-Querol et al., 2016). Las variedades de cebada cervecera más apreciadas en España por la asociación de malteros-cerveceros son: Scarlett, Pewter, Henley y Shakira (<https://www.agrodigital.com/2004/12/23/>, en línea).

Esta asociación establece unas recomendaciones orientativas para la calidad de la cebada, independientemente de la calidad futura de la cerveza: Humedad: 11.5%; Proteínas: 9.5-11%; Granos partidos más impurezas: <4%; Pureza de la variedad: mínimo 95%; Germinación: >97%; Calibre carióspside: >2.5 cm el 65%; < 2.2 cm máximo el 10%; ausencia de micotoxinas y, metales pesados según la legislación.

En el mundo existen más de 1300 variedades comerciales de cebada, en la tabla 1 se recogen las variedades de cebada maltera más vendidas por Malteurop (en línea) (principal grupo de venta de cebada para fabricación de cerveza). Se trata de variedades de dos carreras, con un ciclo biológico corto (se siembran en primavera), con espigado corto o de mediana altura, lo que las hacen resistentes al encamado (pérdida de posición vertical de la planta, más susceptible a ataques por el hongo *Fusarium* y menor rendimiento fotosintético), lo que trae como consecuencia un mayor peso específico del grano (medido en número de carióspsides/hectolitro) que según la Comisión Europea, debe ser al menos del 62%, BOE, 18 agosto de 2010, en línea).

Tabla 1. Principales variedades de cebada maltera vendidas por Malteurop.

VARIEDAD	TIPO INVIERNO O ALTERNATIVA	FILAS DE GRANO POR ESPIGA	CICLO A ESPIGADO	ALTURA DE PLANTA	RESISTENCIA A ENCAMADO	CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN	PESO ESPECÍFICO DEL GRANO
HENLEY	A	2	MEDIO	MEDIA	MEDIA	INDUSTRIA CERVECERA	MEDIO
PEWTER	A	2	MEDIO	MUY BAJA	ALTA	INDUSTRIA CERVECERA	ELEVADO
QUENCH	A	2	TARDIO	MUY BAJA	ALTA	INDUSTRIA CERVECERA	BAJO
SCRABBLE	A	2	TARDIO	BAJA	ALTA	INDUSTRIA CERVECERA	ELEVADO
SHAKIRA	A	2	PRECOZ	BAJA	MEDIA	INDUSTRIA CERVECERA	MEDIO
SHUFFLE	A	2	MEDIO	BAJA	ALTA	INDUSTRIA CERVECERA	MEDIO
TRAVELER	A	2	PRECOZ	MEDIA	MEDIA	INDUSTRIA CERVECERA	MUY ALTO

Enfermedades de la cebada. Las Micotoxinas son metabolitos secundarios fúngicos (*Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, ...) que afectan a leguminosas y cereales fundamentalmente en su proceso vegetativo o de almacenamiento, y de ahí pasan a la cadena alimentaria animal y humana. Aunque se intuye su presencia en “Las plagas de Egipto”, no fue hasta 1960 cuando se ponen en evidencia en la afectación del ganado o del ser humano (por ejemplo pueden producir necrosis hepáticas y renales y su toxicidad es muy alta, a niveles de 20 µg/kg de peso) (Hussein y Brasel, 2001; Richard, 2007). Los hongos que más afectan a la cebada, son especies del género *Fusarium* (Fig. 14) (Schwarz et al., 1995), que en situaciones de alta humedad o pluviosidad atacan las espiguillas de la planta y reducen su rendimiento agrícola (Riera, en línea), también producen vomitoxina, una micotoxina cuya estructura molecular se puede observar en la figura 14.

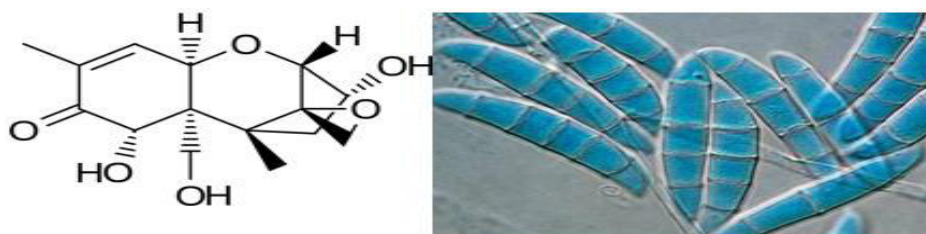


Fig. 14. Estructura química de Vomitoxina o DON. Obtenido bajo las condiciones de la fuente original. Fate and Development of Naturally Occurring *Fusarium* Mycotoxins During Malting and Brewing. Y conidios de *Fusarium graninearum*. Fuente: [tps://www.wattagnet.com/articles/](https://www.wattagnet.com/articles/) (en línea).

Propiedades medicinales de la cebada. Para finalizar con el capítulo de la cebada señalamos algunas de sus virtudes terapéuticas (planta por sí misma): el agua de cebada facilita la digestiones pesadas (Font-Quer, 2007). A preparaciones a base de cebada se le atribuyen propiedades hipolipemiantes e hipoglucemiantes. En uso tópico sirve para preparar geles y champús con propiedades emolientes (Herráiz, 2009).

LÚPULO

Clado: Angiospermas, Eudicotiledóneas, Fábidas.

Orden: Rosales

Familia: Cannabaceae.

Género: *Humulus* L.

Especie: *Humulus lupulus* L.

Sinónimos botánicos: 7 nombres válidos y 2 nombres ilegítimos (www.theplantlist.org).

Taxa intraespecíficos: 2

Cientos de variedades comerciales según Código Internacional de Plantas Cultivadas.

Hierbas vivaces por rizoma. Dioicas. Tallo anual de hasta 10 m de altura, voluble. Hojas opuestas, pecioladas, cordadas en la base, 3-5 lóbulos oval-lanceolados, haz con tricomas cistolíticos y envés pubescente y glanduloso, con estípulas.



Fig. 15. Hábito del lúpulo. *Humulus lupulus* L. Fuente: Wikipedia (dominio público).

Inflorescencias masculinas laxas, multifloras. Inflorescencias femeninas compactas pecioladas y en forma de cono. Flores masculinas con 5 tépalos y 5 estambres opuestos a los tépalos. Flores femeninas bracteoladas (membranáceas) con periantio indiviso adherido al ovario, generalmente dos por bráctea, dos estigmas, con numerosos tricomas glandulares peltados en la base o glándulas de lupulina (resinas y aceites esenciales). Frutos en aquenio. Semilla con embrión recurvado, endospermo pequeño, oleoso (Fig. 15). $2n=10$. Fl: verano; Fr: otoño. Originaria de Europa, Norte de África, Oeste de Asia y Norte de América.

En el NO de España es frecuente en sotos, alisedas, ambientes húmedos. Ampliamente cultivado en países del hemisferio norte (entre 35-55°N).

Fuentes: Catalán (2005), Takhtajan (2009), Devesa-Alcaraz y Carrión-García (2012), Flora of China (en línea).

Genética y algo de historia del lúpulo. El lúpulo no se usó como aromatizante en la cerveza primitiva egipcia ni en el mundo mediterráneo. Evidencias arqueológicas sugieren que el lúpulo empezó a utilizarse en Europa Central hacia el año 700y estuvo fielmente documentado en Alemania hacia el año 850. En el NO de Europa también se usarían como aromatizante hojas de *Myrica gale* (mirto de bravante) (Prance y Nesbitt, 2012). Laws (2012) atribuye la aparición de la asociación del lúpulo en el año 736 en el monasterio benedictino de Weihestephan (cerca de Munich).

En 1926 se creó en Baviera (Alemania) el *Hop Research Center Huell (Hopfenforschungszentrum Hüll)*, un instituto de investigación en el que se estudian los avances en la química, reproducción y cultivo del lúpulo. Actualmente se centran en la obtención de nuevas variedades de lúpulo (en ausencia de ingeniería genética), innovadoras para satisfacer las demandas del sector cervecero (Seigner et al., 2009).

En este sentido, en los últimos años se vienen realizando estudios con marcadores moleculares en el genoma de multitud de variedades de lúpulo con el objetivo de seleccionar aquellas con mejores propiedades para la elaboración de la cerveza, o más resistentes a enfermedades (Stajner et al., 2005; Henning et al., 2011; Rodolfi et al., 2018). También se han realizado trabajos sobre expresión génica (Castro et al., 2008). Recientemente se ha secuenciado el 80% del genoma del lúpulo (*Humulus lupulus* var. *lupulus* cv. SW). Este genoma pesa entre 2050-2570 Kb, el triple en tamaño que el de otra cannabaceae, *Cannabis sativa* (variedad de marihuana PK) ($2n=20$), si bien el número de genes que codifican proteínas en ambas plantas son comparables (41228 en el lúpulo y 30074 en cannabis). A partir de éste y otros trabajos se han identificado ya genes que intervienen en el sabor y aroma de la cerveza (Natsume et al., 2015), lo que abre un campo inmenso en la biotecnología del lúpulo y de la cerveza.

Química del lúpulo. Las glándulas florales del lúpulo producen lupulina, que es una mezcla de resina formada por α y β ácidos (25% del extracto seco), aceites esenciales volátiles (ésteres y terpenoides) y polifenoles (De Keukeleire, 2000; Jaskula et al., 2007; Van Holle et al., 2017). El sabor amargo de la cerveza lo proporcionan los α -ácidos: conjunto de tres moléculas llamadas humulonas, de las que la cohumulona es la principal responsable del amargor. Estas humulonas se isomerizan en cis y trans iso- α ácidos, con el resultado de seis moléculas diferentes que se pueden separar por HPLC (Jaskula et al., 2007) (Fig. 16). La cantidad de iso- α - ácidos en la cerveza (isohumulonas) varía entre 15 y 100 ppm y pueden otorgar un sabor amargo equivalente al de la quinina. Las humulonas poseen propiedades tensioactivas y estabilizan la espuma de la cerveza. Así mismo tienen propiedades bacteriostáticas sobre las bacterias Gram negativas, lo que ayudan a la conservación de la cerveza. Los α -ácidos reaccionan con la luz y transmiten a la cerveza un olor desagradable (efecto *light-struck*), de ahí que esta bebida deba conservarse en envases opacos. Los β -ácidos son moléculas tipo lupulona y poseen gran poder bacteriostático, no aportan amargor a la cerveza. Los lúpulos con altas proporciones de estas moléculas son menos apreciados por los cerveceros (De Keukeleire, 2000).

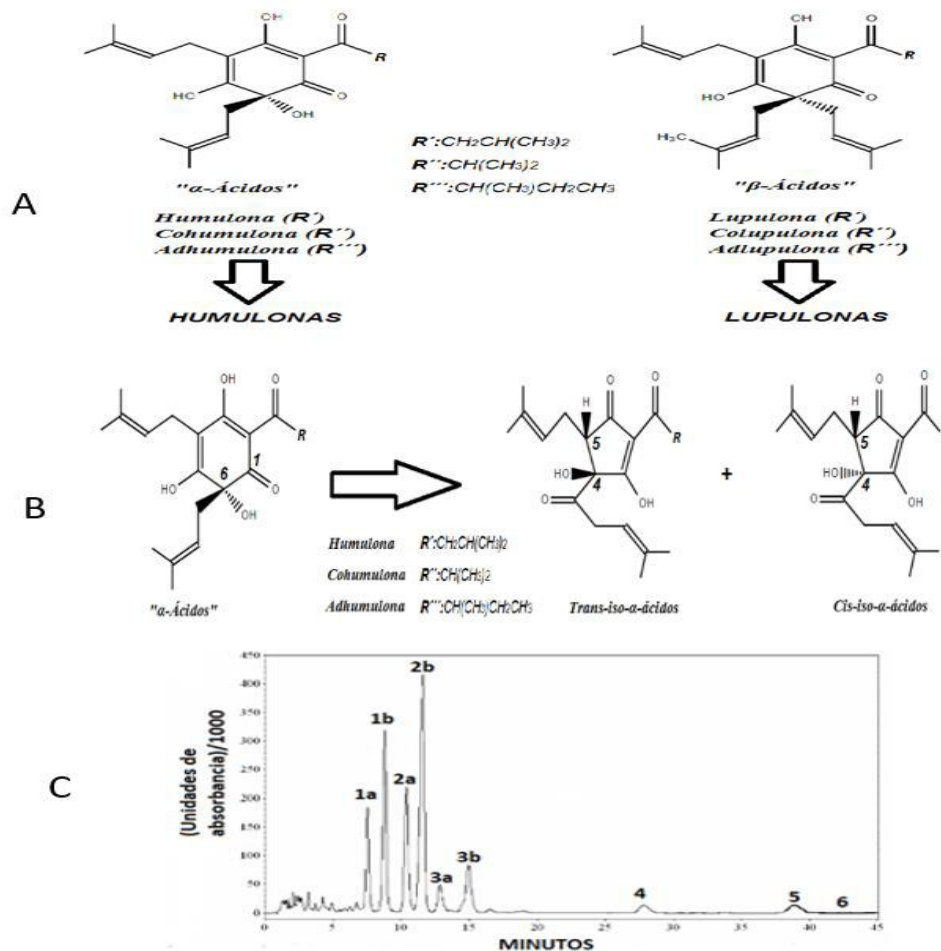


Fig. 16. Moléculas de la resina del lúpulo. A: Resina. B. α -ácidos. C. Separación por HPLC. Fuente: Jaskula et al. (2007); Van De Holle et al. (2017).

Otra fracción son los aceites esenciales volátiles (ésteres y terpenoides) responsables del aroma de la cerveza. Los más cuantiosos son β - mirceno (40% del total), α -humuleno, β -cariofileno y β -farneseno. Existe una gran cantidad de estas moléculas que tienen una acción sinérgica entre sí en el sabor final de la cerveza. En la variedad Amarillo se han identificado 72 de estos componentes por microextracción en fase sólida por espacio de cabeza seguido de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas HS-SPME-GC-MS (Tabla 2) (Van De Holle et al., 2017). Más adelante se discute la variación de estos elementos según las variedades comerciales de cultivo y la zona geográfica.

También se han realizado ensayos con cromatografía de gases y olfatometría (GC-O), en los que el sabor a “madera” de variedades *Target*, *Saaz*, *Hallertauer* y *Cascade*, es debido a la presencia de 14-hidroxi- β -cariofileno, siendo otros componentes importantes el geraniol, linanool y eugenol (Eyres et al., 2007) (Fig. 17).

Tabla 2. Ésteres y terpenoides del lúpulo. Elaborado a partir de Van Holle et al. (2017).

Ésteres saturados	β -pineno	α -Cariofileno
Acetato de 3-metilbutilo	β -mirceno	Aromandreno
Acetato de 2-metilbutilo	o-cimeno	α -bergamoteno
2-metilpropanoato de 2-metilpropilo	β -felandreno	α -humuleno
Propanoato de 3-metilbutilo	Limoneno	β -farneseno
Propanoato de 2-metilbutilo	Trans-beta-ocimeno	γ -muroleno
2-metilpropanoato de 2-metilbutilo	Cis-beta-ocimeno	β -selineno
2-metilpropanoato de 3-metilbutilo	Ganma-terpineno	α -selineno
2-metilheptanoato de metilo	Terpinoleno	α -muroleno
6-metilheptanoato de metilo	Perileno	α -farneseno
2-metilbutanoato de 2-metilbutilo	Monoterpenoides oxigenados	γ -cadineno
3-metilbutanoato de 2-metilbutilo	Linalol	Calameneno
6-metiloctanoato de metilo	Citral	δ -cadineno
Octanoato de metilo	Nerol	α -cubebeno
Nonanoato de metilo	Geraniol	α -calacoreno
2-metilpropanoato de heptilo	Geranoato de metilo	Eudesma 3,7(11)-dieno
2-metilnonanoato de metilo	Acetato de geraniol	No identificados (m/z 105)
Decanoato de metilo (ramificado)	Propanoato de geraniol	m/z (81,105,161)
Decanoato de metilo	2-metilpropanoato de geraniol	m/z (105,119,161)
Undecanoato de metilo	Otros (Desconocidos m/z 85-150)	Sesquiterpenoides oxigenados
Ésteres insaturados	Cetonas	Óxido de cariofileno
4-nonanoato de metilo	2-undecanona	Epóxido de humuleno I
4-decanoato de metilo	2-dodecanona	Epóxido de humuleno I
Hidrocarburos monoterpénicos	Hidrocarburos sesquiterpénicos	Epóxido de humuleno II
α -pineno	α -Ylangeno	Epóxido de humuleno III
Canfeno	α -Copaeno	τ -cadinol

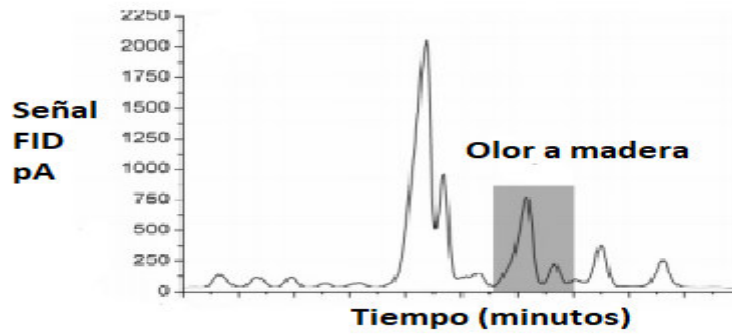


Fig. 17. Cromatografía de gases con detector de ionización de llama, variedad *Cascade*. Elaborado a partir de: Eyres et al. (2007).

Otras moléculas que aparecen en la lupulina son una mezcla de polifenoles (antocianidinas) (Kurumatani et al., 2005). El papel de estas moléculas en la conservación a largo plazo de la cerveza está discutida, ya que originarían turbidez por condensación de polifenoles, si bien durante los primeros meses de almacenamiento contribuyen a la reducción de aldehídos (carbonilos) y conservan el sabor de la cerveza (Mikyšk et al., 2002). Uno de los más conocidos es Xanthohumol (Fig. 18), un flavonoide prenilado con diversas actividades terapéuticas (Peralta et al., 2013) y que se encuentra en pequeñas cantidades en la cerveza.

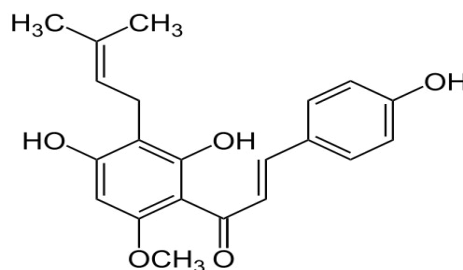


Fig. 18. Estructura química de Xanthohumol. Extraído de Wikipedia (dominio público).

Cultivo y variedades de lúpulo. Según datos de la FAO (en línea) Alemania, Estados Unidos de América, Etiopía y China son los países principales productores de lúpulo. Siguiendo la tradición, también se cultiva en Chequia, Polonia, Eslovenia, Reino Unido,...) (Fig.19). En los años 40 y 50 del siglo XX se introdujo como cultivo en provincias del NO de España, en lugares semihúmedos con precipitaciones todo el año, de las provincias de León, La Coruña y Asturias. En 1945 se creó la S.A.E. F. L. (Sociedad Anónima Española de Fomento del Lúpulo). En 1983 se produjeron en España casi 3000 toneladas de lúpulo seco (2.3% producción mundial) (Breuer, 1985). En la actualidad siguen producciones ecológicas en el norte de España (Cosecha del lúpulo ecológico en Galicia, en línea).

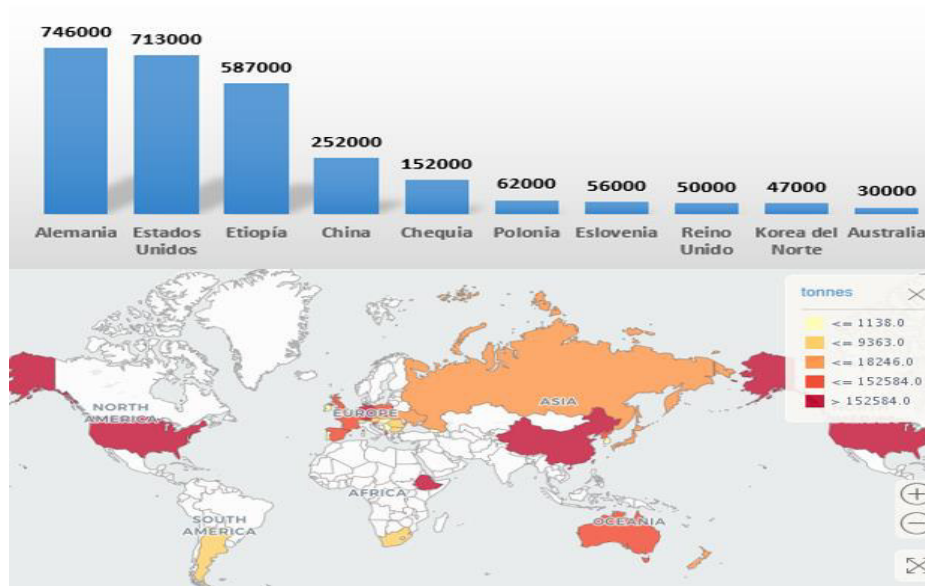


Fig. 19. Países productores de lúpulo. Toneladas x1000 y distribución geográfica (media 1993-2016).
Fuente: <http://www.fao.org/faostat/> (en línea).

El lúpulo se trata de una planta trepadora que se siembra en emparrados para favorecer su ciclo vegetativo. Se separan los individuos masculinos de femeninos para evitar la fecundación de estos últimos. La recogida se realiza en el verano una vez maduras las flores femeninas, cuando las existe mayor concentración de metabolitos en las glándulas de lupulina. La recolección está mecanizada y se separan las hojas de los conos por corrientes de aire, pasando estos últimos a una cinta transportadora (Fig. 20). Las flores femeninas se someten a un desecado y después envasan según su calidad o se pulverizan y compactan para obtener pellets. En la elaboración de la cerveza se puede usar la flor fresca, lo que confiere un alto sabor pero genera pérdida de mosto. También se puede usar extracto de lúpulo obtenido por extracción orgánica de sus componentes (más cómodos de usar y con mejor conservación, sobre todo para la elaboración de cervezas artesanales). El lúpulo se puede distinguir por su proporción de metabolitos y por su origen geográfico. El lúpulo noble contiene mayor proporción de de iso- α -ácidos y menos aceites esenciales, lo que le confiere más poder amargo. En cambio el lúpulo aromático presentan proporciones más altas de aceites esenciales que de iso- α -ácidos. Atendiendo al origen (Tabla 3) se pueden distinguir varios tipos: lúpulos nobles, centrouropeos (los más caros), con predominio de iso- α -ácidos y ligero aroma floral y usados en cervezas tipo *lagers*; lúpulos ingleses (más aromáticos) y lúpulos americanos, las estrellas de las *American Pale Ales*, con una proporción equilibrada entre de isohumulonas y aceites esenciales, que dan aromas resinosos, especiados y notas de cítricos (<https://www.cervezartesana.es/>, en línea).

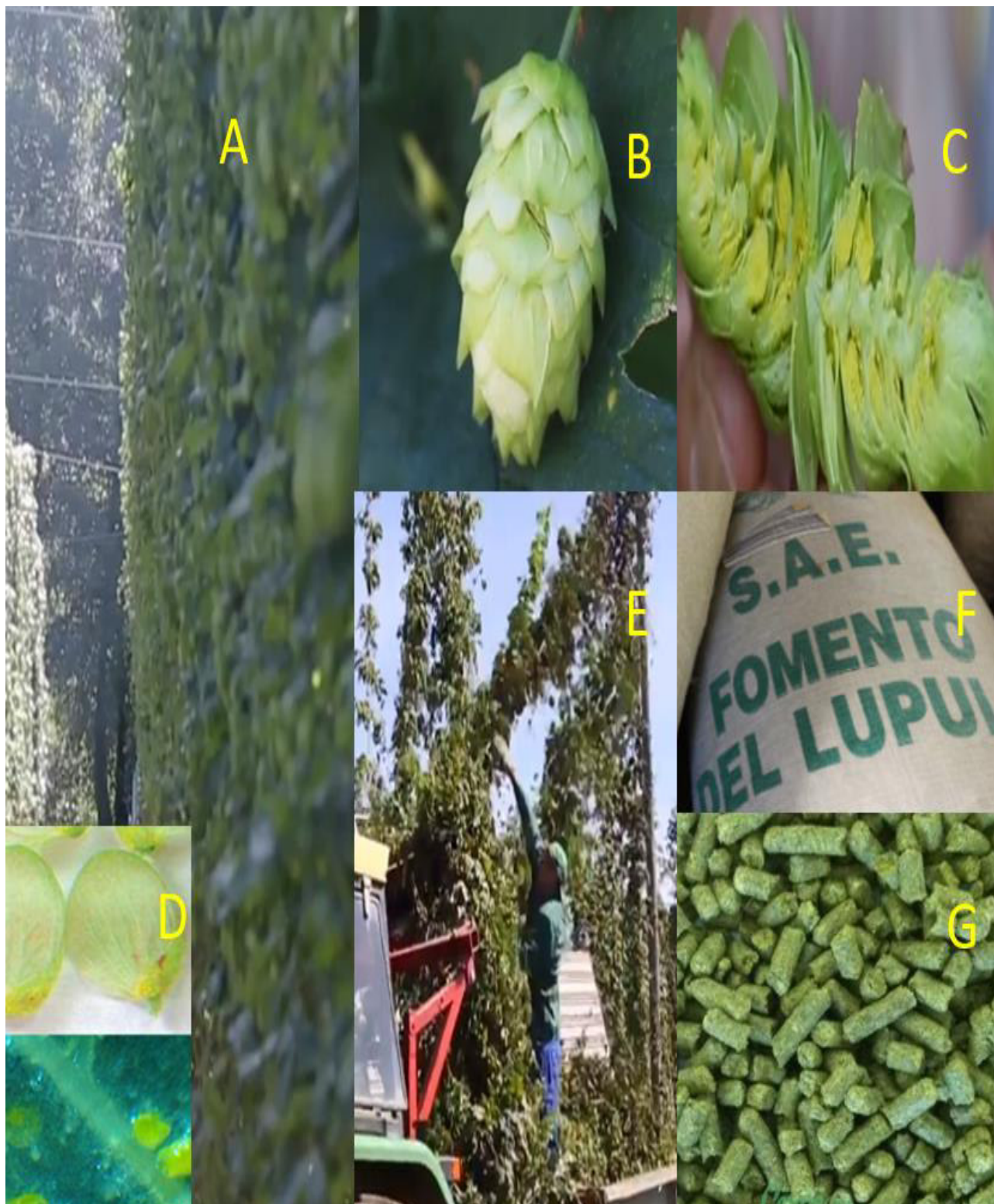


Fig. 20. Proceso de cultivo de Lúpulo. A:Emparrado. B: Cono femenino cerrado. C: Cono abierto con glándulas de lupulina. D: Detalle de glándulas. E: Recogida. F: Saco S.A.E. Fomento del lúpulo. G: Pellets. Obtenido a partir de: Cosecha del lúpulo ecológico en Galicia. Mundo HR 2015 (en línea) y Natsume et al. (2015).

Tabla 3. Variedades de lúpulo según su origen. Elaborado a partir de <http://www.hopslist.com/>

VARIEDAD	ORIGEN	AROMA	ALFA ACIDOS (%)	BETA ACIDOS (%)	ALFA/BETA RADIO	COHUMULO NA (%)	PRINCIPAL ACEITE ESENCIAL (%)
HALLERTAU	Alemania	ESPECIAS	3.5%	3.5-4.5%	1	20-26%	MIRCENO 35-44%
SAAZ	Chequia	ESPECIAS	4-5%	4-5%	1	23-56%	MIRCENO 24-50%
SPALT	Alemania	ESPECIAS, TIERRA	4-5%	4-5%	1	20-35%	HUMULENO 23%
TETTNANGER	Alemania	HIERBA, FLORAL	3-5.8%	2.8-5.3%	1.1	24%	MIRCENO 40%
EAST KENT	Reino Unido	LAVANDDA, TOMILLO	5-6%	2-3%	2.2	29%	MIRCENO 42%
FUGGLE	Reino Unido	HERBACEO SUAVE, FRUTAL Y A MADERA	3.6-5.6%	1.7-2.9%	2.0	25.0-32.0	MIRCENO 35.0-45.0 %
GOLDING	Reino Unido	SUAVE, DELICADO Y TIPO INGLES	3.2-5.2%	1.4-2.5%	2.1	24.0-27.0	HUMULENO 35.0-45.0 %
CHALLENGER	Reino Unido	AHUMADO	6.5-9%	3.2-1.5%	3.3	20-25%	MIRCENO 30-42%
TARGET	Reino Unido	SUAVE	8-12.5%	5-5.55%	1.9	29.35%	MIRCENO 17.22%
AMARILLO	EEUU	CITRICO	8.1-10.5%	5.5-7.3%	1.5	20.0-22.0	MIRCENO 40.0-40.0 %
CASCADE	EEUU	CITRICO TIPO POMELO	5.6-8.8	6.4-7.3%	1.1	31.0-34.0	MIRCENO 45.0-60.0 %
CENTENNIAL	EEUU	FLORAL Y CITRICO	8.2-10.9%	3.5-4.4%	2.4	25.0-27.0	MIRCENO 52.0-60.0 %
CHINOOK	EEUU	PICANTE Y PINACEO	12.2-15.3%	3.4-3.7%	3.9	28.0-30.0	MIRCENO 20.0-30.0 %
WILLAMETTE	EEUU	SUAVE PICANTE Y CITRICO	4.6-6.0%	3.6-4.2%	1.4	29.0-32.0	HUMULENO 31.0-35.0 %

La tabla anterior es una pequeña muestra de las variedades de lúpulo que se cultivan en el mundo. Cada estilo de cerveza usa su variedad. Este hecho cobra importancia en la elaboración de cerveza artesanal, cada día más extendida. Pero no hay que olvidar que las propiedades dependen de las proporciones de metabolitos secundarios que generan, y éstas dependen de las condiciones de cultivo de los lugares geográficos en concreto (De Keukeliere et al., 2007). En la figura 21 se observa cómo la variedad Amarillo cambia sus atributos aromáticos en dos localidades diferentes del NO de Estados Unidos (Van de Holle et al., 2017).

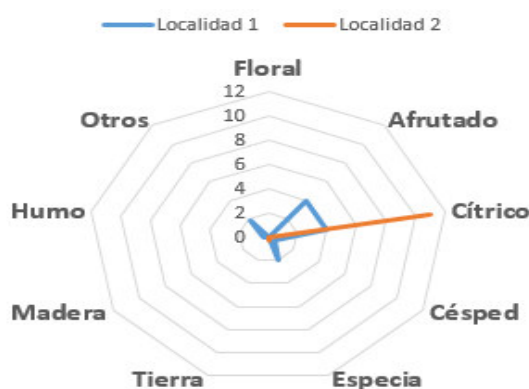


Fig. 21. Aromas de la variedad de lúpulo Amarillo, según la localidad de cultivo. Fuente: Van Holle et al. (2017).

Las variedades del lúpulo se pueden caracterizar con todas las herramientas descritas anteriormente: morfológicas, genéticas y bioquímicas. Mongelli et al. (2015) presentan un trabajo en el que 22 variedades del norte de Italia se agrupan por diferentes diagramas estadísticos basados en estudios morfológicos, de genotipo y de variedad de metabolitos secundarios (Fig. 22).

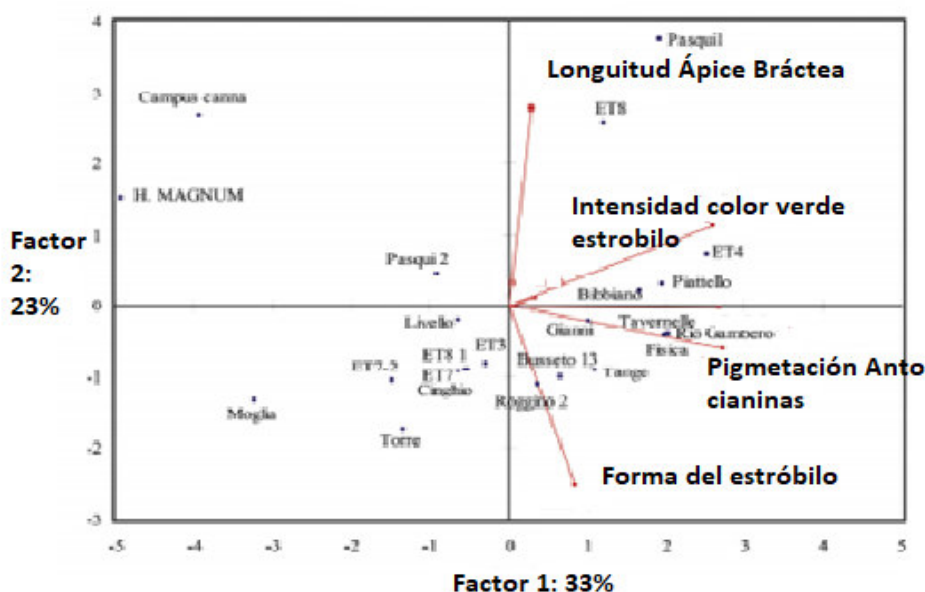


Fig. 22. Variedades de lúpulo agrupado por análisis de componentes principales según características de botánicas. Elaborado a partir de: Mongelli et al (2015).

Enfermedades del lúpulo. En líneas muy generales, las distintas variedades de lúpulo pueden ser atacadas por viroides, virus, bacterias (*Agrobacterium tumefaciens*), oomicetos (*Pseudocercospora*), ascomicetos (*Podosphaera*, *Verticillium*), áfidos y nematodos (Universidad de Michigan, <https://www.canr.msu.edu/>). De todas anteriores, las verticilosis causadas por *Verticillium albo-atrum* y *V. Verticillium dahliae* pueden ser las más devastadoras (Sewell y Wilson, 1984; OEPP/EPPO (2007)). *V. albo-atrum* produce micelios oscuros como forma de resistencia en el suelo, *V. dahliae* produce microesclerocios. El ciclo de *Verticillium* se inicia cuando los microesclerocios presentes en el suelo (pueden permanecer viables años) germinan y las hifas ayudadas por el agua, penetran en la planta por raíces o heridas y alcanzan el xilema, siendo diseminado el hongo por toda la planta a través de la corriente de transporte de agua del xilema. Llegan hasta las hojas y se desarrolla el conidióforo con conidios. Los síntomas son clorosis, necrosis y marchitez de la planta hasta la muerte de la misma, sobre la que producirán

las nuevas formas de resistencia (Fig. 23). La “virulencia” de esta enfermedad depende de la cepa de *Verticillium* en cuestión (Sewell y Wilson, 1984), por lo que es esencial la elección de variedades de lúpulo resistentes. Como complemento a estas notas, indicamos los resultados de Naraine y Small (2017), donde se estudia la densidad abaxial (envés) de glándulas foliares como una forma no química de proteger a las hojas de los insectos herbívoros. Los autores llegaron a la conclusión que las variedades de lúpulo norteamericanas poseían una densidad de glándulas de 2 a 4 veces superior a las variedades europeas, como hecho a tener en cuenta a la hora de obtener nuevas variedades de lúpulo.

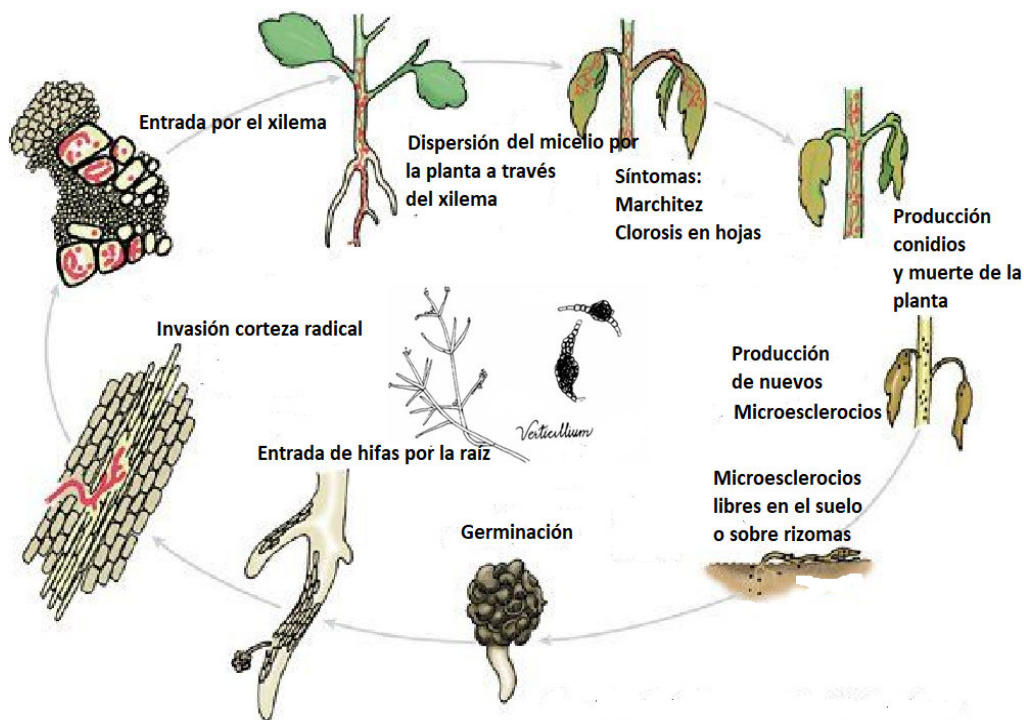


Fig. 23. Ciclo biológico de *Verticillium*. Redibujado a partir de Berlinger y Powelson. (2000).

Propiedades medicinales del lúpulo. Font-Quer (2007) le atribuye propiedades diuréticas, sedantes e hipnóticas. En la actualidad se emplea conjuntamente valeriana (*Valeriana officinalis*) y lúpulo como mezcla inductora del sueño (Mayer, 2003). El extracto de lúpulo también posee propiedades fitoestrogénicas. Era un hecho conocido que a las mujeres que recolectaban el lúpulo de forma manual se les alteraba el ciclo menstrual (Bravo-Díaz, 1969), si bien este hecho no se pudo demostrar en ratas. En los últimos 20 años se están concretando las posibles propiedades beneficiosas para la salud: fitoestrógenicas contra la menopausia (Keiler et. 2013), anticancerígenas, lucha contra el Alzheimer (Natsume et al., 2015), hipolipemiante, hipoglucemiante (Takahashi y Osada, 2017).

LEVADURAS

Clado: Fungi, Ascomycota, Hemiascomycetes (Saccharomycetes).

Orden: Saccharomycetales

Familia: Saccharomycetaceae.

Género: *Saccharomyces* Meyen.

Especie: complejo *sensu stricto* de *Saccharomyces* (Varias especies).

Taxa asociados: al género *Saccharomycetes* están asociados 439 taxa (especies, incluyendo subespecies y variedades) (<http://www.mycobank.org/>). Centenares de cepas comerciales y de laboratorio (seleccionadas como consecuencia de mutaciones e hibridaciones).

Alexopoulos y Mins (1985) consideran que el término “levadura” no tiene significación taxonómica, generalmente se aplica a hongos unicelulares (con escaso micelio o ausencia del mismo) que se reproducen por gemación o fisión, lo que tiene lugar en varios grupos de ascomicetos (*Pneumocystis*, *Taphrina*, *Candida*) y algunos basidiomicetos. Por ello estos autores definen el concepto de “levaduras verdaderas”: hongos unicelulares, sin hifas ni ascocarpos y, cuando forman ascas, éstas se originan directamente a partir del cigoto. Viven en exudados vegetales azucarados como el néctar de las flores y frutos en descomposición. La importancia en la vida humana es enorme por sus usos tradicionales en la fermentación de bebidas alcohólicas, industria panadera y elaboración de queso; existen otras aplicaciones: en farmacia (producción de vitaminas y proteínas recombinantes como hormonas y vacunas), investigación biológica, biotecnología ambiental (absorción de metales pesados), nutrición animal (fuente de proteínas), etc. (Mejías-Barajas et al., 2016). La familia y género de levaduras más importantes en este trabajo son Saccharomycetaceae y *Saccharomyces* respectivamente. Las especies que intervienen en la elaboración de la cerveza son: *S. cerevisiae*, *S. pastorianus* = *S. carlsbergensis*, *S. bayanus*, y *S. uvarum* (ambientes antrópicos); *S. cariocanus*, *S. mikatae*, *S. paradoxus* y *S. kudriavzevii* (ambientes naturales, raramente en ambientes antrópicos) (Azumi y Goto-Yamamoto, 2001; Sicard y Legras, 2011).

Las levaduras son los organismos eucariotas más simples del árbol filogenético (Faria-Oliveira et al., 2013). En ausencia de ascas y ascosporas, la identificación de *Saccharomyces* es difícil, de ahí haya que recurrir a test fisiológicos (capacidad de asimilar fuentes de hidratos de carbono o nitrógeno) o a pruebas de secuenciación de ADN. Las células tienen un tamaño pequeño (6-8 x 5-6 µm), la forma es variable según la especie (esférica, ovoide, alargada), quedando a veces unidas entre sí en un pseudomicelio (Fig. 24). En el citoplasma aparecen numerosas inclusiones y gran cantidad de orgánulos. Presentan un sólo núcleo y una enorme vacuola central, las mitocondrias son activas en periodos de demanda de energía o tienden a fragmentarse en periodos de poca actividad metabólica (fermentación anaeróbica) (Webster y Weber, 2013). El genoma de

S. cerevisiae se secuenció completo en 1996 (n=16, 12Mb, aproximadamente 6000 genes) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/g>).

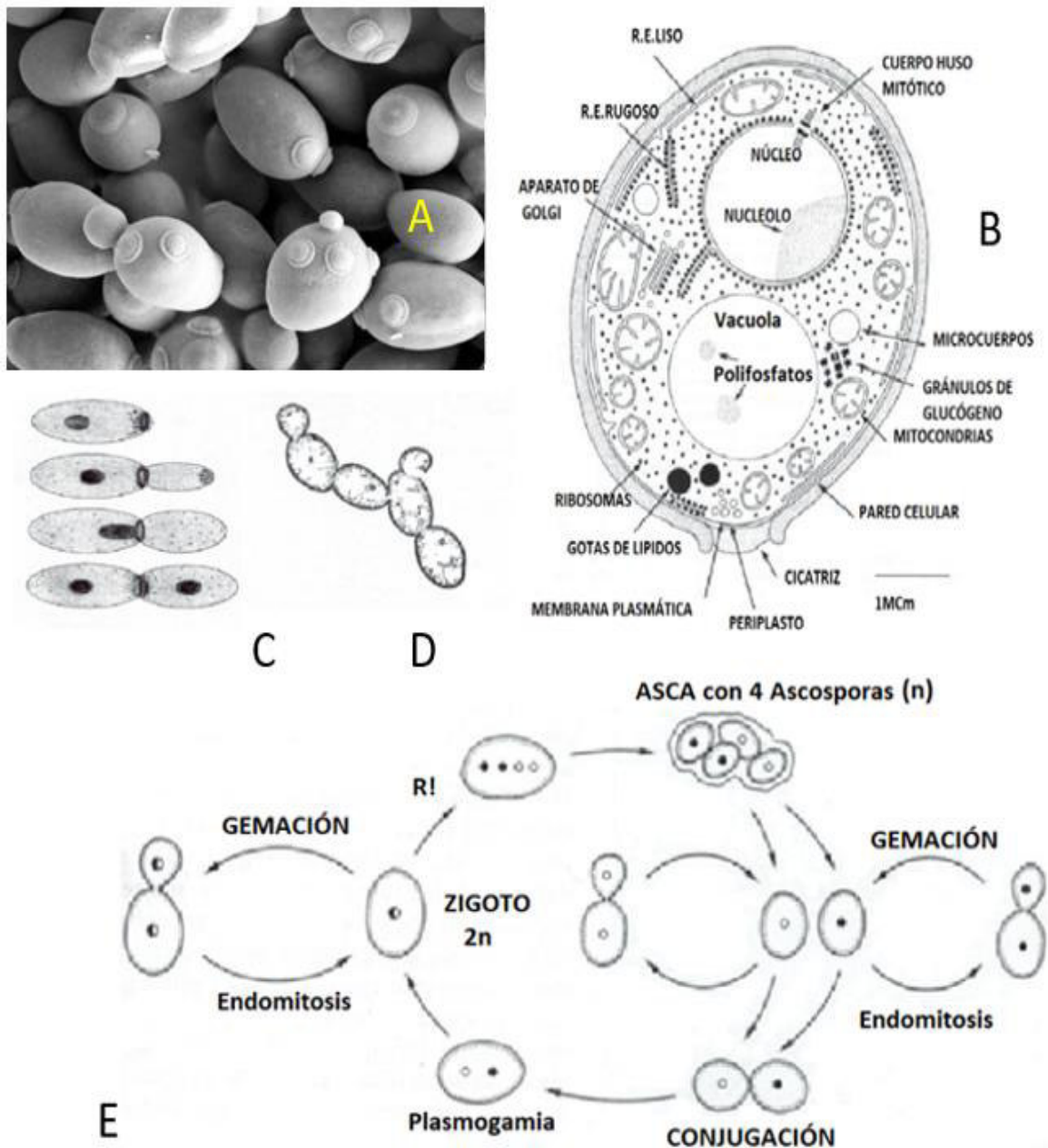


Fig. 24. Características de *Saccharomyces cerevisiae*. A: Foto Microscopio electrónico. B: Componentes celulares. C: Proceso de endomitosis. D: Pseudomicelio. E: Ciclo biológico. Elaboración propia a partir de: Alexopoulos y Mims (1985), Webster y Weber (2013) y Wikipedia.

Las células vegetativas de *S. cerevisiae* son haploides o diploides, si bien suelen ocurrir fenómenos de poliploidía (p.e. las cepas para panadería son autotetraploides) (Webster y Weber, 2013). La reproducción asexual en *S. cerevisiae* ocurre por gemación de la pared celular y la mitosis es intranuclear (no desaparece la membrana nuclear). La gemación ocurre en puntos

predeterminados (cicatrices), cada célula tiene una cicatriz de nacimiento y otras cicatrices de gemación. La reproducción sexual ocurre por la unión de dos células somáticas o también de dos ascosporas (realizan la función de gametangios de copulación) que originan un cigoto, del que se origina un asca con 1 a 8 ascosporas (Alexopoulos y Mims, 1985) (Fig. 24).

A diferencia de otras levaduras, las del género *Saccharomyces* son anaerobias facultativas. En ausencia de oxígeno utilizan las hexosas (preferentemente glucosa) para producir alcohol y dióxido de carbono. Este fenómeno fue observado por Pasteur en 1860 (Baxter, 2001; Sicard y Legras, 2011). En presencia de oxígeno y altas concentraciones de glucosa, *Saccharomyces* también fermenta. La fermentación se detiene con elevadas concentraciones de alcohol, que empieza a utilizarse como sustrato en el ciclo de Krebs; de ahí que al final de este proceso se obtengan otras sustancias como cetonas, aldehídos, ésteres y ácidos orgánicos que proporcionan sabores y aromas especiales a la cerveza (Faria-Oliveira et al., 2013). De hecho, la fermentación es un proceso sometido a muchas variables, de ahí que según se controlen estas variables, se puedan obtener multitud de cervezas diferentes. Por ejemplo, según las características de proceso, el tipo de lúpulo y cepa de levadura, actúan sinérgicamente de una u otra de forma (mecanismo poco estudiado) en la composición final de compuestos volátiles de la cerveza (Steyer et al., 2017).

Desde el punto de vista de la elaboración de la cerveza existen dos familias de levaduras, *Ale* y *Lager*. En la primera se incluye cepas de *S. cerevisiae* que fermenta durante días u horas a 15-24°C y son las utilizadas desde la antigüedad. Las levaduras *Lager* (*S. pastorianus*) son más recientes y fermentan a baja temperatura (5-14°C) durante meses. *S. pastorianus* es la resultante de la hibridación y selección interespecífica de *S. cerevisiae* y *S. bayanus*, esta última aislada en zonas frías de la Patagonia, y que de alguna manera llegó a Europa con los viajes marítimos en el siglo XIX (identificada en el Instituto Calsberg); aunque existen otros trabajos que proponen que ésta llegó a Baviera en el siglo XVI procedente de Asia (originando las primitivas cervezas *Lager*) (Bing et al., 2014). En este sentido la cerveza, *S. pastorianus* no se ha encontrado en Europa en estado silvestre. Por último, señalar que en los estilos *Lager Pilsen* (lúpulo Saaz- República Checa) y Calsberg (Dinamarca), las levaduras son diploides, mientras que en la cerveza estilo Frohberg (Holanda), las levaduras son triploides, con dos juegos cromosómicos de *S. cerevisiae* y uno de *S. bayanus*. Además se han detectado otros híbridos entre representantes del complejo *S. cerevisiae*. El hecho de que las levaduras industriales sean poliploides, supone una ventaja sobre las silvestres (diploides), ya que las primeras contienen más loci de genes que intervienen en la fermentación (Sicard y Legras, 2011).

CONCLUSIONES

La elaboración de la cerveza es un proceso complejo y quizás uno de los más antiguos de la humanidad, que ha ido perpetuándose a través de los siglos y civilizaciones con progresivos cambios, pero con la misma estructura: la fermentación de granos de cereales por levaduras, pasando de un líquido de elaboración artesanal en áreas geográficas determinadas, a una bebida producida en todo el mundo.

Los cuantiosos estilos de cerveza son el resultado de la enorme variabilidad botánica que se emplea en su fabricación. En la cebada, lúpulo y levaduras existen cientos de variedades comerciales producto de la selección humana, que se ha visto potenciada con estudios genéticos y moleculares, por ejemplo, ya se han secuenciado el genoma de cada uno de ellos, paso previo, para la mejora y obtención de nuevos estilos de cerveza.

La cebada de dos carreras es el principal cereal que se usa en la cerveza, la que le otorga el sabor característico a la bebida. La cebada (a diferencia del trigo) se puede cultivar en amplias regiones del mundo por su mejor adaptación a suelos pobres y a climas fríos. En la actualidad se trabaja para obtener variedades de ciclo corto, resistentes al encamado y al ataque por hongos.

El lúpulo se empezó a añadir a la cerveza en el medievo centro-europeo y se distribuyó por el resto del mundo, siendo Alemania y Estados Unidos, los principales productores y donde existen instituciones destinadas exclusivamente al estudio del lúpulo. Los iso- α -ácidos (humulonas) son los responsables del amargor de la cerveza y los compuestos volátiles (ésteres y terpenoides) son los responsables del aroma (distintas notas frutales, a tierra, madera, etc.). Actualmente existe una tecnología avanzada del lúpulo, lo que permite una producción más diversa de cervezas. Este hecho es importante en la elaboración de cervezas artesanales, que a su vez reforzado por la modificación controlada de las diversas variables que intervienen en la fermentación (tiempo, temperatura, concentración de sustrato, etc.).

El último elemento en descubrirse científicamente fueron las levaduras. Estos microorganismos, del complejo *Saccharomyces cerevisiae* se hibridan entre sí y en muchos casos están domesticados por el hombre y se encuentran en la naturaleza de forma silvestre. Con la aparición de *S. pastorianus*, que fermenta a bajas temperaturas, y las técnicas de refrigeración, la cerveza se puede elaborar en cualquier parte del mundo a partir de las materias primas adecuadas.

En este trabajo se han aunado los estudios de cebada, lúpulo y levaduras, por lo que sus resultados son parciales y pueden ampliarse en futuras investigaciones en las que se estudien cada elemento por separado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alexopoulos CJ, Mims CW. Introducción a la Micología. Barcelona: Omega. 1985.
2. Araújo G, López D, Reyes D, Romero G. Utilización de cebada como adjunto para la elaboración de una Pilsen por decocción según “Reinheitsgebot”. Cerveza y Malta. 2016; 211: 36-43.
3. Azumi M, Goto-Yamamoto N. AFLP analysis of type strains and laboratory and industrial strains of *Saccharomyces sensu stricto* and its application to phenetic clustering. Yeast. 2001; 18: 1145-1154.
4. Badr A, Müller K, Schäfer R. et al. On the Origin and Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*) Mol Biol. Evol. 2000; 17(4): 499–510.
5. Baxter AG. Louis Pasteur's beer of revenge. Nat Rev Immunol. 2001; 1:229-232.
6. Bing J, Han PJ, Liu WQ, Wang QM, Bai FY. Evidence for a Far East Asian origin of lager beer yeast. Curr Biol. 2014; 24(10): 380-381.
7. Bravo-Díaz L. Acción Farmacodinámica del Lúpulo (*Humulus lupulus* L.). Tesis Doctoral. Granada. Universidad de Granada. 1969.
8. Bremer, B.; Bremer, K.; Chase, M.W.; Stevens, P.F.; Andenberg, A.; Blackund, A. “An update of the Angiosperm Phylogeny Group. Classification for the orders and families of flowering plants: APG III”. Botanical J Linn Soc 2009; 61: 105-121.
9. Breuer T. El cultivo del lúpulo en España. Desarrollo espontáneo y regulación orientada hacia la demanda. Paralelo 37. 1985; 8-9:117-136.
10. Casares R. Tratado de Bromatología. Madrid: Casares ed. 1968.
11. Castelví S. 2014. Los cereales y el gluten (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://www.acgn.cat/project/los-cereales-y-el-gluten/>
12. Castro CB, Whittock LD, Whittock SP, Leggett G, Koutoulis A. DNA sequence and expression variation of hop (*Humulus lupulus*) Valerophenone Synthase (*VPS*), a key gene in bitter acid biosynthesis. Ann Botany. 2008; 102:265-273.
13. Catalán P. *Humulus lupulus* L. Flora Ibérica, Vol. III. Madrid: CSIC. 2005.
14. De Keukeleire D. Fundamentals of beer and hop chemistry. Quím Nova. 2000; 23(1): 108-112
15. De Keukeleire J, Janssens I, Heyerick A et al. Relevance of organic farming and effect of climatological conditions on the formation of alpha-acids, beta-acids, desmethylxanthohumol, and xanthohumol in hop (*Humulus lupulus* L.). J Agric Food Chem. 2007; 55(1):61-66.
16. Devesa-Alcaraz JA, Carrión-García JS. Las plantas con flor. Córdoba: Servicio de Publicaciones Universidad de Córdoba. 2012.
17. Devesa-Alcaraz JA. Vegetación y flora de Extremadura. Badajoz: Univeristas Editorial UNEX. 1995.
18. Diamond J. Evolution, consequences and future of plant of animal domestication. Nature 2002; 418: 700-704.
19. Eslava-Galán J. Enciclopedia Eslava. Barcelona: Espasa. 2017.
20. Eyres GT, Marriott PJ, Dufour JP. Comparison of odor-active compounds in the spicy fracyio of hop (*Humulus lupulus* L.) essential oil from four diferrent varieties. J Agric Food Chem. 2007; 55: 6252-6261.
21. Faria-Oliveira F, Puga S, Ferreira C. Yeast: World’s Finset Chef. INTECH open science. 2013 (en línea) [Consultado en: noviembre de 2018] <https://www.intechopen.com/books/food-industry/yeast-world-s-finest-chef>

22. Fernández-Álvarez, M. Carlos V: el César y el Hombre. Madrid: Espasa-Calpé: Madrid. 1999.
23. Font-Quer P. Plantas medicinales. El Dioscórides renovado. Barcelona: Península. 2007.
24. Henning JA, Shaun Townsend M, Gent DH, Bassil N, Matthews P, Buck E, Beatson R. QTL mapping of powdery mildew susceptibility in hop (*Humulus lupulus* L.). *Euphytica*. 2011; 180(3): 411-420.
25. Hussein HS, Brasel JM. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology*. 2001; 167: 101-134.
26. Jaskula B, Goiris K, De Rouck G, Aerts G, De Cooman. Enhanced quantitative extraction and HPLC determination of hop and beer bitter acids. *J Inst Brew*. 2007; 113(4): 381-390.
27. Keiler AM, Zierazu O, Kretzschmar G. Hop Extracts and Hop Substances in Treatment of Menopausal Complaints. *Planta Med*. 2013; 79 (7): 576-579.
28. Kurumatani M, Fujita R, Tagashira M et al. Analysis of polyphenols from hop bract regio using CCC. *J Liq Chrom Rel Technol*. 2005; 28: 1971-1983.
29. Laws B. Fifty plants that changed the course of history. China: Firefly Books Ltd.; 2012.
30. Macher M, Gundlach H, Stein N. A. Chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome. *Nature*. 2017; 554:427-433.
31. Mascher M, Schuenemann VJ, Davidovich U. Genomic analysis of 6,000-year-old cultivated grain illuminates the domestication history of barley. *Nature genetics*. 2016; 48(9): 1089-1093.
32. Mayer JG. Zur geschichte von baldrian und hopfen. *Zeitschrift fur Phytotherapie*. 2003; 24:79-81.
33. Mejía-Barajas JA, Montoya-Pérez R, Cortés-Rojo Ch, Saavedra-Molina A. Levaduras Termotolerantes: Aplicaciones Industriales, Estrés Oxidativo y Respuesta Antioxidante. *Información tecnológica*. 2016; 27(4): 3-16.
34. Mikyška A, Hrabák M, Hašková D, Šrogl J. The role of Malt and Hop Polyphenols in Beer Quality, Flavour and Haze Stability. *Inst. Brew*. 2002; 108(1):78–85.
35. Molina-Cano JL. La cebada cervecera: calidad, cultivo, nociones sobre fabricación de malta y cerveza. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1987.
36. Mongelli A, Rodolfi M, Ganino T, Marieschi M, Dall'Asta C, Bruni R. Italian hop germoplasma: characterization of wild *Humulus lupulus* L. genotypes from Northern Italy by means of phytochemical, morphological traits and multivariate data analysis. *Ind Crops Product*. 2015; 70: 16-27.
37. Naraine GU, Small E. Germplasm sources of protective glandular leaf trichomes of hop (*Humulus lupulus*). *Gen Resour Crop Evol*. 2017; 64: 1491-1497.
38. Natsume S, Takagi H, Shiraishi A et al. The Draft Genome of Hop (*Humulus lupulus*), an Essence for Brewing. *Plant Cell Physiol*. 2015; 56(3): 428-441.
39. Nelsson M. The Barbarian's Beverage: A History of Beer in Ancient Europe. 2005 (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en <https://scholar.uwindsor.ca/llcpub/26>.
40. Newman CW, Newman RK. A brief history of barley foods. *Cereal Foods World*. 2006; 51:1-7.
41. OEPP/EPPO. *Verticillium albo-atrum* and *V. dahliae* on hop. 2007; Bulletin 37: 528-535.
42. Peralta MA, Cabrera JC, Pérez C. Potencialidad terapéutica de los flavonoides prenilados. *Rev Fac de Odon. UBA*. 2013; 28(64): 39-46.

43. Pérez-Medina T, de Argila Fernández-Durán N, Pereira-Sánchez A, Serrano L. Beneficios del consumo moderado de cerveza en las diferentes etapas de la vida de la mujer *Nutr Hosp.* 2015; 32 (1):32-34.
44. Prance G, Nesbitt M. *The cultural hystory of plants.* Routlege: New York. 2012.
45. Puerto-Sarmiento FJ. *El mito de la panacea: compendio de la historia de la terapéutica y de la farmacia.* Aranjuez: Ed. Doce Calles. 1997.
46. Richard JL. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses- An overview. *Int J Food Microbiol.* 2007; 119: 3-10.
47. Riehl S, Zeidi M, Conrad NJ. Emergence of agriculture in Foothills of the Zagros Mountains of Irán. *Science.* 2013; 341:65-67.
48. Rodolfi M, Silviani A, Chiancone B, Marieschi M, Fabbri A, Bruni R, Ganino T. Identification and genetic structure of wild Italian *Humulus lupulus* L. and comparison with European and American hop cultivars using nuclear microsatellite markers. 2018; 65(5): 1405-1422.
49. Rosso AM. Beer and winw in antiquity: beneficial remedy or punishment imposed by the Gods? *Acta Med-Hist Adriat.*2012; 10(2): 237-262.
50. Schwarz PB, Casper HH, Beattie S. *J Am Soc Brewing Chem.* 1995; 53(3):121-127.
51. Seigner E, Lutz A, Oberhollenzer K, Seidenberger R, Seefelder S, Felsenstein F. Breeding of hop varieties for the future (Abstract). *ISHS Acta Horticulturae.* 2009. 848 Disponible en: https://www.actahort.org/books/848/848_4.html
52. Sewell GWF, Wilson JF. The nature and distribution of *Verticillium arlbo-atrum* strains highly pathogenic to the hop. *Plant Pathol.* 1984; 33(1): 39-51.
53. Sicard D, Legras JL. Pain, bière et vin: domestication des levures du complexe d'espèces *Saccharomyces sensu stricto.* *C R Biologies.* 2011; 334(3): 229-236.
54. Stajner N, Jakse J, Kozjak P, Javornik B. The isolation and characterisation of microsatellites in hop (*Humulus lupulus* L.). *Plant Sc.* 2005; 168 (2005) 213-221.
55. Steyer D, Tristram P, Clayeux C, Heitz F, Lauge Bl. Yeast Strains and Hop Varieties Synergy on Beer Volatile Compounds. *BrewingScience.* 2017; 70 (9-10): 131-141.
56. Strelec I, Has-Schön E, Vitale L. Differentiation of croatian barley varieties by gradient gel SDS-PAGE and isoelectric focusing of dry grains and green malt hordeins. *Poloiopriveda.* 2011; 17: (1) 23-27.
57. Takahashi K, Osada K. Effect of Dietary Purified Xanthohumol from Hop (*Humulus lupulus* L.) Pomace on Adipose Tissue Mass, Fasting Blood Glucose Level, and Lipid Metabolism in KK-Ay Mice. *J Ole Sci.* 2017; 66(5):531-54.
58. Takhtajan A. *Flowering Plants.* 2nd ed. Springer-Science+ Bussiness Media, B. V.; 2009.
59. Ullucci PA, Acworth IN, Plante M, Bailey BA, Crafts Ch. Gradient HPLC Method for Analysis of Beer Polyphenols, Proanthocyanidins, and Bitter Acids Using a Novel Spectro-Electro Array Platform. Application Note 1065. 2016. Disponible en: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CMD/Application-Notes/AN-1065-LC-Beer-Bitter-Acids-AN70715-EN.pdf>
60. Van Holle A, Van Landsschoot, Roldán-Ruiz I, Naudts D, De Keukeliere D. The brewing value of Amarillo hops (*Humulus lupulus* L.) grown in northwestern USA: A preliminary study of terroir significance. *J Inst Brew.* 2017; 123: 312-318.
61. Wanga J, Liua L, Ballc T, Yud L, Lie Y, Xingf F. Revealing a 5,000-y-old beer recipe in China *PNAS.* 2006; 7(113):23 Disponible en: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1601465113

62. Webster J, Weber RWS. Introduction to the Fungi. 3rd Ed. Cambridge University Press. 2013.
63. Whittle N, Eldridge H, Bartley J, Organ G. Identification of the Polyphenols in Barley and Beer by HPLC/MS and HPLC/Electrochemical Detection. Asia Pacific Conference, Perth. Inst Brew Distill. 1999; 105(2):89-99.
64. Zeist W, Bakker-Heeres JAH. Archaeological studies in the Levant 1. Neolithic sites in the Damascus basin: Aswad, Ghoraifé, Ramad. Palaeohistoria. 1985; 24:165-256.
65. Zhang H, Cheng L, Wang L, Qian H, Qi X. In vitro and in vivo antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley Yingbin Shen, Food Chem. 2016; 194: 1003–1012.

Referencias electrónicas

1. BEDCA. Base de datos española de composición de alimentos (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <http://www.bedca.net/>
2. Berlinger, I. and M.L. Powelson. 2000. *Verticillium* wilt. The Plant Health Instructor. APS (en línea) [Consultado en: octubre de: 2018] Disponible en: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/pages/verticilliumwilt.aspx>
3. BOE, nº304. 17 de diciembre de 2016 (en línea) [Consultado en: junio de 2018] Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/17/pdfs/BOE-A-2016-11952.pdf>.
4. Carbonell-Talón JV. Congreso Internacional Alimentación, nutrición y dietética Conferencias Sección A: Nutrición y Dietética. Descripción y composición nutricional de la cerveza. La cerveza en la dieta mediterránea. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (CSIC) (en línea) [Consultado en: agosto de 2018] Disponible en: http://revista.nutricion.org/hemeroteca/revista_marzo_02/VCongreso_publicaciones/Conferencias/Carbonell.pdf
5. Cerveceros caseros (en línea) [Consultado en: julio de 2018]. Disponible en: <http://cerveceros-caseros.com/index.php/foro/viewtopic.php?t=20211>
6. Cerveza artesana (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-del-lupulo.html>
7. Cervezas Cruzcampo (en línea) [Consultado en: noviembre de 2018] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cruzcampo>
8. Cerveza de mandioca (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <http://infonegocios.com.py/y-ademas/pilsen-apuesta-al-sector-gastronomico-con-su-cerveza-roja-de-mandioca>
9. Cerveza de quinoa (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en : <https://www.biobiochile.cl/noticias/2015/11/27/qui-la-primera-cerveza-100-de-quinoa-y-apta-para-celios-es-chilena.shtml>
10. Cerveza precolombina [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <https://www.cerveceral620.com/single-post/2017/11/23/Sendeck%C3%B3-cerveza-precolombina-a-base-de-ma%C3%ADzCreveza>
11. Cosecha del lúpulo ecológico en Galicia. Mundo HR 2015 (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <http://www.mundohr.com/la-cosecha-del-lupulo-en-galicia>
12. Enzimas (en línea) [Consultado en: julio de 2018]. Disponible en: <http://lccbtis7.blogspot.com/2011/06/enzimas.html>

13. Evans DV, Bamfort ChV. Beer foam: achieving a suitable head. 2009 (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/hordein>
14. FAO. Datos de producción de distintos alimentos (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC/visualize>
15. Fitoagícola.net. (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: www.fitoagicola.net/es/tienda-online/Catalog/show/cebada-shakira-r-2-300312
16. Flora of China (en línea) [Consultado en: agosto de 2018]. Disponible en: http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=2
17. *Fusarium graminearum* (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://www.wattagnet.com/articles/17699-how-deoxynivalenol-impairs-pig-gut-functionality>
18. Genoma de *Saccharomyces cerevisiae* (en línea) [Consultado en: noviembre de 2018] disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome?term=saccharomyces%20cerevisiae>
19. Herráiz EM. Cebada. Raco. 2009 (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/QuadernsFDAE/article/viewFile/254921/341902>
20. Horne ChF. The Code of Hammurabi. The Eleventh Edition of the Encyclopaedia Britannica. 1915 (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://talebooks.com/ebooks/150.pdf>
21. Indian Pale Ale (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <https://www.bbc.com/news/world-asia-india-19340289>
22. Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España años 2016 (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: <https://cerveceros.org/uploads/CE-informe-economico-2017-FINAL.pdf>
23. López-Querol A, Serra-Gironella J, Antón Betbsbé, Sayeras-Oliveras R. La oferta varietal de cebada en España. 2016 (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/163817-Panorama-varietal-actual-de-la-cebada-en-Espana.html>
24. Malteros-Cerveceros (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://www.agrodigital.com/2004/12/23/lista-de-variedades-de-cebada-cervecera-recomendadas-por-la-asociacion-de-malteros/>
25. Malteurop (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://es.malteurop.com/nuestra-actividad/cebadas/cebadas-cerveceras>
26. Ministerio de Agricultura (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=1487>
27. Ministerio de Agricultura (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=1484>
28. Mundo agrícola (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/cienciavegetalyanimal/cultivos-anuales/cebada>.
29. Nombres de hongos (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <http://www.mycobank.org/>
30. Reglamentación europea sobre cereales (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2010-81468>

31. Riera J. Micotoxinas de importancia en la producción animal (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/P173_Micotoxinas.pdf
32. Silva AR. Cultivo de Cebada Cervecera en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires.1988 (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/265728088_Cultivo_de_Cebada_Cervecera_en_el_Sudeste_de_la_Provincia_de_Buenos_Aires
33. The Orders and Families of Monocots (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <http://families.e-monocot.org/>
34. The Plant List, Royal Botanical Gardens, Kew (en línea) [Consultado: septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/>
35. Tipos de cerveza (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: <http://www.cervemur.es/tipos-de-cerveza/>
36. Universidad de Michigan. Enfermedades del lúpulo (en línea) [Consultado en: octubre de 2018] Disponible en: <https://www.canr.msu.edu/>
37. UNSP Perú (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/vegabner/exposicin-cebada-y-maiz>
38. UPNA. Universidad Pública de Navarra (en línea) [Consultado en: junio de 2018]. Disponible en: http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Hord_vulg_p.htm
39. Variedades de lúpulo (en línea) [Consultado en: marzo de 2018] Disponible: <http://www.hopslist.com/>
40. Ward LA. Proceso de fabricación de la cerveza (en línea) [Consultado en: septiembre de 2018] Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclopedia_OIT/tomo3/65.pdf