Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales

Leonel Ferreyra

Director: Ariel Vicente

Co– director: Leidy Carolina Ortiz

Lugar de Trabajo: Cátedra de Agroindustrias y Laboratorio de investigación en Productos Agroindustriales, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales UNLP.

2014

A mis padres,

Marta Gonzalez, Mario Ferreyra

y a mis hermanas

Leandra y Nadia Ferreyra

por apoyarme incondicionalmente

durante mi formación.

Agradecimientos

-Agradezco al Dr. Ariel Vicente, quien fue la guía principal de este trabajo y siempre estuvo dispuesto a responder consultas, además de la tesina, para el emprendimiento cervecero.

-A la Ing. Agroindustrial Leidy Carolina Ortiz por la organización de los paneles de degustación y corrección de la tesina.

-Al personal docente y no docente de la cátedra de Agroindustrias de la Facultad de Cs. Agrarias y Forestales que de manera directa o indirecta fueron parte de este trabajo.

-A los alumnos de quinto año de Ing. Agronómica quienes brindaron su tiempo y disposición para degustar la cerveza.

INDICE

1. HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA Y GENERALIDADES DE SU ELABORACIÓN
1.1. ORÍGENES DE LA CERVEZA Y PRINCIPALES PRODUCTORES Y CONSUMIDORES A NIVEL MUNDIAL 9
1.2. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE LA CERVEZA EN LA ARGENTINA 14
1.3. MATERIA PRIMAS EMPLEADAS EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA 18
1.3.1. Malta 18
a. Aspectos químicos de la malta 22
b. Compuestos nitrogenados 22
c. Otros componentes 22
1.3.2. Agua 23
1.3.3. Levadura 24
a. Fases del crecimiento de la levadura 25
b. Calidad de levaduras 26
c. Manejo de levaduras 27
1.3.4. Lúpulo 28
1.4. ELABORACIÓN DE CERVEZA 31
1.4.1. Molienda y maceración 31
1.4.2. Cocción 32
a. Inactivación de enzimas de la malta 33
b. Esterilización del mosto 33
c. Extracción y la isomerización de compuestos derivados del lúpulo 33
d. Coagulación de material de proteína en el mosto 34
e. Formación de compuestos asociados con el sabor, aroma y color 35
f. Aumento de la densidad del mosto a través de la evaporación de agua 35
g. Caída en el pH del mosto y formación de sustancias reductoras 35
1.4.3. Fermentación 37
1.4.4. Maduración y acondicionamiento 37
1.5. CALIDAD DE LA CERVEZA 39
1.5.1. Sabor 39
1.5.2. Espuma 40
1.5.3. Color 40
1.5.4. Grado alcohólico 41
1.5.5 Turbidez 41
1.5.6 Amargor 41
2. PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN TALLER DE ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL
2.1. TRABAJO PRACTICO DE ELABORACION DE CERVEZA ARTESANAL 44
a. Título de la actividad 44
b. Modalidad 44
c. Duración 44
d. Comisiones 44
e. Alumnos por comisión 44
f. Objetivo 44
g. Operaciones a realizar y conceptos a tratar en el trabajo práctico 44
h. Programación de actividades 45
i. Materiales necesarios 46
3. CAMBIOS DURANTE EL AUMENTO DE ESCALA DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL
3.1 MOLIENDA 48
3.2 MACERACIÓN 49

3.3 ENFRIAMIENTO 49
3.4. FERMENTACIÓN Y MADURACIÓN 50
3.5. CONTROL DE FACTORES DE PROCESO (TEMPERATURA, AZÚCARES) 51
3.6. GASIFICACIÓN 52
3.7. SANITIZACIÓN 52
3.8. DISEÑO DE MARCA 53
4. EVALUACION SENSORIAL DE LA CERVEZA BARFÜSS: INFLUENCIA DE FACTORES DE PROCESO Y COMPARACION CON TIPOS COMERCIALES
4.1. INTRODUCCION 55
4.1.1. ANÁLISIS SENSORIAL DE ALIMENTOS 55
4.1.2. EVALUACION SENSORIAL DE LA CERVEZA 55
a. Apariencia 55
b. Aroma 55
c. Sensación en boca y gusto 56
4.1.3. TIPOS DE PANELES Y EVALUACIONES SENSORIALES MÁS COMUNES 56
a. Test descriptivo 56
b. Test a pares 56
c. Test triangular 56
d. Test dúo-trío 57
e. Test de diferencia con un control 57
f. Test de preferencia 57
g. Test de aceptabilidad por atributos 57
4.1.4. ASPECTOS FISICOS Y QUIMICOS DEL SABOR DE LA CERVEZA 58
FACTORES DEL COMPLEJIZAN EL USO DEL LÚPULO 58
a. Efecto de la matriz en el amargor 58
b. Pérdidas durante la elaboración 58
c. Efecto del momento de agregado 59
4.2 MATERIALES Y METODOS 59
4.2.1. ELABORACIÓN DE CERVEZA 59
4.2.2. ENSAYO DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE CERVEZAS ELABORADAS REALIZANDO EL AGREGADO DE LÚPULO EN DIFERENTES MOMENTOS 60
4.2.3. EVALUACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DE LA CERVEZA ELABORADA POR UN PANEL DE CONSUMIDORES EN COMPARACIÓN CON TIPOS COMERCIALES 61
4.2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO 62
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 62
4.3.1. INFLUENCIA DEL MOMENTO DE AGREGADO DE LÚPULO SOBRE LA CALIDAD SENSORIAL DE LA CERVEZA 62
4.3.2. PREFERNECIA DE BARFÜS RESPECTO A OTRAS MARCAS COMERCIALES 64
4.4. CONCLUSION 65
5. REFERENCIAS 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Se cree que la cerveza se originó en la Mesopotamia al igual que la agricultura. 9
Figura 2: El pan y la cerveza eran dos productos muy comunes en la dieta egipcia 9
Figura 3: El hervido del mosto se realizaba antiguamente empleando piedras calentadas al rojo. Esta cerveza se conoce como "*Steinbier*" 10
Figura 4: El lúpulo de uso generalizado en la actualidad fue resistido en sus comienzos. 10
Figura 5: La ley de la pureza ("*Reinheitsgebot*") establecía que sólo podía emplearse en la elaboración de cerveza malta, agua, lúpulo y levadura. 10
Figura 6: La Orden de la templanza establecida en Alemania en 1600 limitaba el consumo diario de cerveza a 7 vasos. 11
Figura 7: La revolución industrial resultó en un importante aumento en la escala de producción de cerveza. 11
Figura 8: El interés por la cerveza de Pasteur hizo que estudiara los procesos de fermentación lo que generó grandes avances. 11
Figura 9: La cerveza al igual que otras bebidas alcohólicas estuvo prohibida en Estados Unidos entre 1920 y 1933. 11
Figura 10: Principales productores mundiales de cerveza (**FAOSTAT, 2012**) 12
Figura 11: Principales consumidores de cerveza a nivel mundial (**Bamforth, 2003**). 13
Figura 12: Muchas de las empresas pioneras en la elaboración de cerveza en nuestro país continúan aún vigentes. 15
Figura 13: Marcas comerciales distribuidas por los principales grupos de productores de la Argentina. 17
Figura 14: La comercialización en envases de consumo personal, la disminución en la edad de los consumidores y la transnacionalización de las marcas aparecen como tres cambios importantes en el mercado de la cerveza. 17
Figura 15: Estructura básica del grano de cebada (*Hordeum vulgare*). 18
Figura 16: Las fábricas modernas pueden procesar tandas de 200 a 300 toneladas de grano. 19
Figura 17: El malteado se inicia con la adición de agua al grano. 19
Figura 18: Granos de cebada germinados. 19
Figura 19: Coloración externa de la malta ante diferentes temperaturas de secado. 20
Figura 20: Existen unas 1500 especies de levaduras de las cuales 300 son fermentativas. 24
Figura 21: Las levaduras del género *Saccharomyces* poseen alta tolerancia al alcohol así como una elevada capacidad de producción de este compuesto. 24
Figura 22: Levaduras reproduciéndose por gemación. 25
Figura 23: El lúpulo junto con *Cannabis sativa* son las dos especies de la Familia Canabináceas. 28
Figura 24: Los conos son las partes empleadas en la elaboración de cerveza. 28
Figura 25: Cono de lúpulo maduro detallando las bractéolas con las glándulas de lupulina. 28
Figura 26: Los conos se secan a temperatura moderada para evitar pérdidas de α-ácidos. 30
Figura 27: Comúnmente se emplean pellets de lúpulo en la elaboración de cerveza. 30
Figura 28: Los extractos de lúpulo con alfa-ácidos isomerizados también pueden emplearse. 30
Figura 29: Malta infusionada en agua, en el proceso de maceración. 31
Figura 30: Hervor vigoroso del mosto finalizada la maceración. 32
Figura 31 Estructura de un iso-alfa ácido. 33
Figura 32: Variación de aroma, sabor y amargor según el tiempo de hervor. 35
Figura 33: Los polisacáridos del moho de Irlanda se usan en la clarificación en caliente. 35
Figura 34: Tanque de fermentación con "*air-lock*" para prevenir el ingreso de oxígeno. 37
Figura 35: Existe una gran diversidad de colores según el tipo de cerveza considerado. 40
Figura 36: A: Molienda mecánica con motor eléctrico. B Distribución de partículas en malta molida. 48
Figura 37: Sistema de maceración Herns. 49
Figura 38: A: Enfriador tubular. B: Enfriador de placas. 50
Figura 39: A: Fermentador troncocónico. B: Sistema de fermentación con enfriamiento con banco de agua y serpentín. 51
Figura 40: A: Termómetro bi-métalico. B: Refráctometro 51

Figura 41: A: Embotellado contrapresión. 52
Figura 42: A: Terminal de limpieza en sitio (CIP). 52
Figura 43: A: Primer diseño y apariencia de la marca Barfuss. B. Diseño y apariencia actual de la marca Barfüss. 53
Figura 44 Apariencia de la cerveza. 55
Figura 45: Los receptores del gusto. 56
Figura 46: Aceptabilidad de la cerveza por atributos. 64
Figura 47: Ordenamiento de preferencia de cervezas artesanales. 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de las maltas más utilizadas (***Kunze, 2006***). 21
Tabla 2: Variedades de lúpulo y sus niveles típicos de alfa ácidos. 29
Tabla 3: Valores de utilización de lúpulos en función de la forma de presentación y del tiempo de cocción (**Tinshet, 2009**). 34
Tabla 4: Sabores caracterizados por la **American Society of Brewing Chemists, (2001).** 39
Tabla 5: Características de los tipos más importantes de cerveza a nivel mundial**.** 41
Tabla 6: Amargor en los estilos clásicos de cerveza en unidades internacionales de amargor (IBU) **(Cerdán 2000).** 42

1.HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA Y GENERALIDADES DE SU ELABORACIÓN

1.1. ORIGENES DE LA CERVEZA Y PRINCIPALES PRODUCTORES Y CONSUMIDORES A NIVEL MUNDIAL

La cerveza es la tercera bebida en términos de popularidad junto con el agua y té. Si bien no se conoce con certeza la fecha y lugar en que comenzó a elaborarse, es considerada una de las bebidas alcohólicas más antiguas (**Nelson, 2008**). Plinio describe en sus escritos que "*el ingenio pervertido del hombre ha dado incluso al agua el poder embriagador donde el vino no es factible produciendo bebidas a partir del grano humedecido con las que se intoxican*".

Figura 1: *Se cree que la cerveza se originó en la Mesopotamia al igual que la agricultura.*

La cerveza representa la técnica biotecnológica más antigua de la humanidad. Si su descubrimiento obedeció a una contaminación accidental de los granos o a la curiosidad del hombre es aún un misterio. Una teoría expresa que la cerveza tuvo sus inicios entre los Ríos Tigris y Éufrates en parte del territorio de lo que sería hoy Irak, al mismo tiempo que la elaboración del pan (**Figura 1**). El empleo de agua por encima de la capacidad de absorción de la harina daba a un fermentado que podría asemejarse a la cerveza, mientras que cantidades inferiores de agua se empleaban para la obtención de pan (**Bamforth, 2008**). Otra historia sostiene que en la Mesopotamia, hace más de 8.000 años un hombre hambriento consumió un trozo de pan húmedo fermentado experimentando los efectos del alcohol. La preparación incubando miga de pan en agua también se encuentra descrita una tabla de arcilla del año 4.000 años a.C. en Egipto (**Figura 2**) donde se atribuía el efecto estimulante producido por el alcohol a Osiris, Dios de la agricultura.

Figura 2: *El pan y la cerveza eran dos productos muy comunes en la dieta egipcia.*

A diferencia de los griegos, tradicionales bebedores de vino, los babilonios y nativos de Bohemia eran asiduos consumidores de cerveza. La bebida elaborada inicialmente era muy distinta a la que hoy conocemos, Teofrasto en el año 100 d.C expresa en sus escritos "*los germanos beben una horrible pócima que tiene un lejano parecido al vino*".

A comienzos de la Edad Media, la cerveza comienza a ganar popularidad en todas las clases sociales. Las más alcohólicas eran consumidas por Reyes y nobles, mientras que las más livianas por la plebe **(Vogel, 1996)**. Incluso los niños la bebían, hecho explicado por su menor riesgo desde el punto de vista microbiológico respecto al agua de la época. La seguridad de la bebida se asociaba tanto con la presencia de alcohol como con la cocción del mosto que eliminaba potenciales agentes patógenos. No

obstante el calentamiento del agua y la cocción del mosto no era una tarea sencilla en esta época. El tratamiento térmico se realizaba por la técnica denominada "*Steinbier*" ("cerveza de piedra" en alemán) que consistía en colocar las piedras en el fuego al rojo y luego sumergirlas en el mosto **(Bamforth, 2008).** (**Figura 3**). Este método fue muy común en las regiones alpinas de Europa en donde las piedras podían extraerse con facilidad y transportarse a los sitios de elaboración. En esta técnica muchos azúcares son caramelizados sobre la piedra lo que aportaba sabores y aromas característicos.

Inicialmente, las mujeres eran las encargadas de elaborar la cerveza a las que se las catalogaba como "*brujas de cerveza*". Dado que se desconocían las bases físicas, químicas y biológicas del proceso, cuando la bebida resultante contenía gas, se creía que era por la acción de fuerzas diabólicas **(Vogel, 1996)**. En tal caso las elaboradoras eran quemadas en la hoguera.

En Inglaterra ya en el año 1305 para elaborar cerveza era necesario tener licencia. De hecho fueron nombrados en condados y ciudades inspectores llamados "*ale-conners*" para probar la calidad **(Clark, 1983)**. El "*ale-conner*" llevaba pantalones de cuero y llegaba a la cervecería sin ser invitado, vertía un vaso de cerveza en un banco de madera y se sentaba durante 30 minutos. Si al levantarse quedaba pegado al asiento, indicaba que la cerveza era de baja calidad (probablemente porque presentaba demasiados azúcares sin fermentar).

Figura 3: *El hervido del mosto se realizaba antiguamente empleando piedras calentadas al rojo. Esta cerveza se conoce como "Steinbier".*

Figura 4: *El lúpulo de uso generalizado en la actualidad fue resistido en sus comienzos.*

Figura 5: *La ley de la pureza ("Reinheitsgebot") establecía que sólo podía emplearse en la elaboración de cerveza malta y agua.*

El lúpulo no siempre fue el ingrediente en la cerveza (**Figura 4**). En los inicios se utilizaba una mezcla de hierbas denominada "*grut*" **(Clark, 1983)**. Dicha preparación, compuesta por distintas especies daba a cada cerveza una característica distintiva. El cilantro, el romero, el mirto, el tabaco, el pino y el abeto figuran entre las especies empleadas. Cuando comienzo a difundirse el lúpulo fue considerado una amenaza por los agricultores alemanes. Algo similar ocurrió en Inglaterra. Así por ejemplo en la ciudad de Norwich su uso fue prohibido entre los años 1471-1519 **(Ball, 1977)**. A pesar de esto, el empleo de la especie se afianzó debido a que además de su excelente aporte al sabor mejoraba la conservación, aspecto sumamente problemático en esa época. En el siglo XVI el duque de Baviera Guillermo IV, promulgó la primera ley de pureza de cerveza lo que refleja la importancia de la bebida (**Figura 5**). Esta ley prescribía el uso exclusivo de malta de cebada, agua y lúpulo en el proceso de elaboración **(Vogel, 1996)**. Las levaduras, no se adicionaban *ex professo,* ya que los microorganismos, y por ende los procesos que ellos desencadenan, eran desconocidos. Antonie van Leeuwenhoek describió la levadura en 1680, mientras que Charles Cagniard ciento cincuenta años más tarde informó que estas eran las responsable de la fermentación alcohólica. A partir de este momento deja de atribuirse carácter divino al proceso de fermentación. Con el transcurso de los años, la producción de cerveza continuó su expansión en toda Europa. Algunas normativas procuraron limitar el consumo, puesto que se consideraba que podía reducir la productividad de los trabajadores (**Figura 6**). A fines del siglo XVIII con la Revolución industrial aparecen las grandes fábricas cerveceras, lográndose un gran aumento de producción pero a su vez desapareciendo muchos productores pequeños (**Figura 7**). A finales del siglo XIX las cepas de levadura comenzaron a ser seleccionadas a partir del desarrollo de técnicas de cultivo *in*

Figura 6: *La Orden de la templanza establecida en Alemania en 1600 limitaba el consumo diario de cerveza a 7 vasos.*

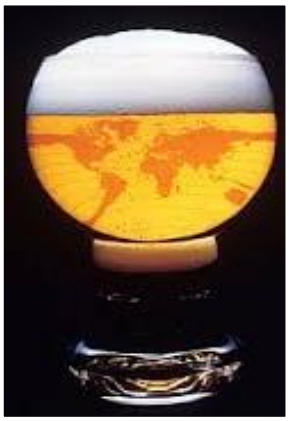
Figura 7: *La revolución industrial resultó en un importante aumento en la escala de producción de cerveza.*

Figura 8: *El interés por la cerveza de Pasteur hizo que estudiara los procesos de fermentación lo que generó grandes avances.*

Figura 9: *La cerveza al igual que otras bebidas alcohólicas estuvo prohibida en Estados Unidos entre 1920 y 1933.*

vitro y propagación de microorganismos. Emil Hansen utilizó de serie diluciones en 1883 para separar las células de levadura sobre la base de la morfología y mostró que los cultivos puros dan productos únicos y reproducibles. Los descubrimientos del químico francés Louis Pasteur a mediados del siglo XVIII sobre la microbiología y el famoso tratamiento térmico de "pasteurización" fueron avances muy importantes para la industria cervecera (**Figura 8**) **(Hough, 2011)**. Desde entonces pasando por momentos de estancamiento y zozobra (**Figura 9**) y etapas de avances significativos la cerveza se entiende como una bebida resultante de fermentar, mediante levadura cervecera, al mosto de cebada malteada o de extracto de malta, sometido previamente a un proceso de cocción, adicionado de lúpulo (**CAA, 1969**). Más allá de esta sencilla definición general claro está que modificaciones en el proceso de elaboración dan lugar a un sinnúmero de estilos con características de color, sabor y aroma únicos y diversos.

Los principales productores actuales de cerveza son China, Estados Unidos Rusia y Brasil, **(FAOSTAT, 2012),** todos países con mercados domésticos voluminosos (**Figura 10**). Argentina ocupa el puesto 24to con una producción de 2.000 millones de litros. De acuerdo a datos de la Cámara de la Industria Cervecera Argentina, en los últimos diez años la producción nacional de cerveza ha tenido un crecimiento muy marcado (25%). Los países que presentan mayores niveles de consumo son República Checa, Irlanda y Alemania (**Figura 11**). Argentina ocupa el puesto 60 entre los países consumidores de cerveza con un consumo de alrededor de los 45 litros por habitante y por año **(CIC, 2011)**. A pesar de que este valor es bajo si se lo compara con el de países tradicionalmente cerveceros, es remarcable que en la década del 80, el consumo en la Argentina ascendía sólo a 8 litros per cápita.



China
Estados Unidos
Rusia
Brasil
Alemania
México
Japón
Reino Unido
España
Polonia

Figura 10: *Principales productores mundiales de cerveza (**FAOSTAT, 2012**).*

País Litros per cápita

Republica Checa	157
Irlanda	131
Alemania	116
Australia	110
Austria	108
Reino Unido	99
Bélgica	93
Dinamarca	90
Finlandia	85
Luxemburgo	84

Figura 11: *Principales consumidores de cerveza a nivel mundial (**Bamforth, 2008**).*

En principal exportador de cerveza del mundo son los Países Bajos con (19.107 miles de hectolitros) y en segundo lugar se ubica México (16.461 miles de hectolitros) seguido por Alemania, Bélgica y el Reino Unido **(FAOSTAT, 2012)**. De todos modos el mercado de exportación sólo representa un 0,1% del volumen total.

1.2. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE LA CERVEZA EN LA ARGENTINA

La cerveza fue introducida en Argentina por inmigrantes europeos. En un principio la bebida era importada del viejo continente. Los datos más antiguos acerca de la cerveza en Argentina, son los aportados por el Historiador "Carlos Domingos Vives" quien argumenta que la primera cervecería nacional, data del año 1738. Su dueño era un inglés llamado Thomas Stuart y la misma estaba ubicada en Buenos Aires en lo que es el barrio de Retiro. El establecimiento se denominaba "La Zervezeria" y según cuenta la historia, el propietario del lugar era contrabandista de distintas mercancías. Así se cree que los sótanos donde se almacenaba la cerveza tenían salidas hacia un barranco en la costa del Río de La Plata para facilitar la salida de productos para llevar sus oscuros negocios.

Empleando insumos importados comenzaron los primeros intentos de producción local. Ya en la segunda mitad del siglo XIX aparecen algunos establecimientos productores de cerveza. La mayoría de ellos ubicados en la Capital. Varios de ellos son aún hoy en día grandes empresas productoras (**Figura 12**). Emilio Bieckert arriba a Buenos Aires y de inmediato entra como cervecero en el establecimiento "Santa Rosa", de Juan Buheler. Inicia su marca propia en 1860 con notable éxito. En 1889 la empresa es vendida a un consorcio inglés, Bieckert Brewing Company Limited regresando el fundador original a Niza Francia dos años más tarde donde se radica definitivamente. En el siglo XX Cervecerías Bieckert tuvo varias dificultades económicas, pasando a ser propiedad de Molinos Rio de la Plata, del grupo vitícola Pulenta, de Cervecería Quilmes y en 2008 finalmente del grupo chileno CiCSA. Otra empresa pionera fue "San Carlos" fundada en Santa Fe en 1884. La emblemática Quilmes fue fundada en 1888 en la mencionada localidad por Otto Bemberg bajo el nombre de "Cervecería Argentina" con el fin de convertirla en una empresa familiar .Luego de un auspicioso desarrollo inicial la empresa es intervenida en 1948 por el Gobierno Nacional junto con otras empresas del Grupo Bemberg que serán recién reintegradas una década más tarde. En 1953 Se lanza la "Quilmes Imperial" cerveza especial con gran aceptación, nombre continúa siendo empleado en la actualidad aunque ya no en la cartera de productos de Quilmes. En 1993 la empresa lanza al mercado Liberty la primera cerveza sin alcohol. Actualmente encuentra asociada con la firma belgo-brasileña AmBev (Brahma-Antarctica). Asimismo produce, y comercializa cervezas, gaseosas, aguas minerales, jugos e isotónicos, en alianza con empresas internacionales líderes como PepsiCo y Nestlé.

La Cervecería Palermo fue fundada en 1897 por iniciativa de Ernesto Tornquist. Una década más tarde lanza la marca comercial Palermo que aún continúa vigente. Entre 1918-1948 forma parte del Grupo Bemberg y al igual que lo ocurrido con Quilmes la empresa le es confiscada y restituida más tarde.

Figura 12: *Muchas de las empresas pioneras en la elaboración de cerveza en nuestro país continúan aún vigentes.*

El sector cervecero se ubica tercero en el ranking de alimentos y bebidas de mayor facturación en canales minoristas, detrás de las gaseosas y las galletitas **(INDEC, 2011)**. Actualmente el mercado argentino, se encuentra a cargo principalmente de cuatro grandes empresas: Cervecería Quilmes, Compañía Industrial Cervecera S.A (CICSA), Inversora Cervecera S.A. (ICSA), e Isenbeck. La firma Quilmes posee el 71% de participación en el mercado **(CIC, 2011)**. Quilmes es una de las empresas más importantes de la industria de bebidas de la Argentina. Creada en 1890, ocupa unas 4.700 personas en forma directa y posee 10 plantas industriales: 3 en la provincia de Buenos Aires, 1 en Corrientes, 1 en Tucumán y 1 en Mendoza. Suma a esa nómina una maltería, 7 centros de distribución y una red de más de 200 distribuidores independientes. Las marcas que comercializa incluyen Quilmes, Andes, Liberty, Patagonia, Brahma, Stella Artois, Norte e Iguana (**Figura 13**).

La Compañía Industrial Cervecera S.A. posee un 16% de participación en el mercado consumidor. Cuenta con un establecimiento en Santa Fe que emplea a 550 personas aproximadamente y otro en Salta donde trabaja un centenar de empleados. Produce las cervezas denominadas locales: Santa Fe, Schneider y Córdoba y Salta. Asimismo controla en el país de las marcas Guiness, Corona, Budweiser y Heineken. El tercer lugar del ranking corresponde a ICSA con 7% del mercado, que comercializa las marcas Imperial, Bieckert, Palermo. El restante 6% corresponde a Isenbeck, que además comercializa además la cerveza Warsteiner. Inversora Cervecera Sociedad Anónima (ICSA) es la única productora de cerveza constituida íntegramente por capitales nacionales. Elabora las cervezas Bieckert, Imperial y Palermo. Posee una producción anual de 2,9 millones de hectolitros, cifra que incluye la fabricación de cerveza por convenios de "façoneo" con los principales actores del mercado.

Las cervezas rubias constituyen el 90% del consumo. La marca más conocida y preferida en Argentina es la cerveza local Quilmes, seguida por Stella Artois y Heineken. Detrás de ellas están Brahma, Budweiser, Schneider e Isenbeck. Corona e Iguana de México se llevan las preferencias del público entre las cervezas importadas. Con respecto a la distribución intra-anual del consumo un 40% del total se realiza durante la época estival.

En las últimas décadas se han observado algunos cambios importantes en el mercado consumidor de las cervezas. Así se observa la transnacionalización de las empresas y su penetración en diversos mercados (**Figura 13**). Asimismo se ha incrementado el tamaño de varias empresas por fusión de cerveceras pre-existentes. Por ejemplo Brasil cuenta con una cervecería en el top 10 del mundo, AMBEV, formada por la reciente fusión de dos entidades ya enormes, Brahma y Antarctica. Alemania es una excepción a este proceso. Allí la producción se encuentra más atomizada (muchas compañías relativamente pequeñas, producen cervezas de consumo local) **(Cateora, 1995)**. A diferencia de lo que ocurre en otros países, no muchas marcas de cervezas alemanas son verdaderamente internacionales.

Figura 13: *Marcas comerciales distribuidas por los principales grupos de productores de la Argentina.*

Los hábitos de consumo se observan han sufrido importantes modificaciones con el correr de los años. Uno de los aspectos más evidentes es el aumento del consumo a nivel hogareño. Así en 1940, el 68% de la cerveza era comercializada en barril (consumo en bares) descendiendo este valor a 11% en 1990 **(INDEC, 2011)**. Otras tendencias recientes incluyen el aumento de la cartera de productos de las empresas (consumo segmentado), la venta en envases más pequeños (consumo personal) y no retornables (consumo conveniente), la disminución de la edad de los consumidores (consumo joven) y en algunos países el incremento en importancia de productos con menor contenido alcohólico (consumo menos restringido) (**Figura 14**).

Figura 14: *La comercialización en envases de consumo personal, la disminución en la edad de los consumidores y la transnacionalización de las marcas aparecen como tres cambios importantes en el mercado de la cerveza.*

1.3. MATERIA PRIMAS EMPLEADAS EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA

Para la fabricación de la cerveza, se requieren cuatro insumos básicos: *agua, malta, lúpulo y levadura.* Las características de estas materias primas, tiene una influencia decisiva sobre la calidad de los productos fabricados. Asimismo el conocimiento detallado se sus propiedades proporciona el fundamento para su óptimo procesamiento **(De Clerck, 1957).**

1.3.1. Malta

La malta se obtiene al germinar parcialmente y secar los granos de cereales. La cebada malteada es por excelencia el cereal empleado entre otras razones debido a que contiene gran cantidad de hidratos de carbono **(Hough, 2011)**. En la **Figura 15,** se observa la estructura básica de un grano de cebada *(Hordeum vulgare).* Sus dimensiones varían entre 6 y 12 mm de largo y 2,7 y 5 mm de ancho. La lema y pálea constituyen la cáscara del grano. La zona dorsal más curvada está cubierta por la lema que posee cinco crestas longitudinales, o `venas' a lo largo, mientras que el lado ventral presenta ranuras o surcos y está recubierta por la palea. La parte externa del grano posee varias capas con función protectora y en la base del grano hacia el lado dorsal se ubica el *embrión.* El eje embrionario está formado por el coleóptilo que apunta hacia el ápice del grano y en dirección opuesta la raíz (radícula). El endospermo constituye el tejido de reserva rico en almidón **(Miralles, et al., 2011)**

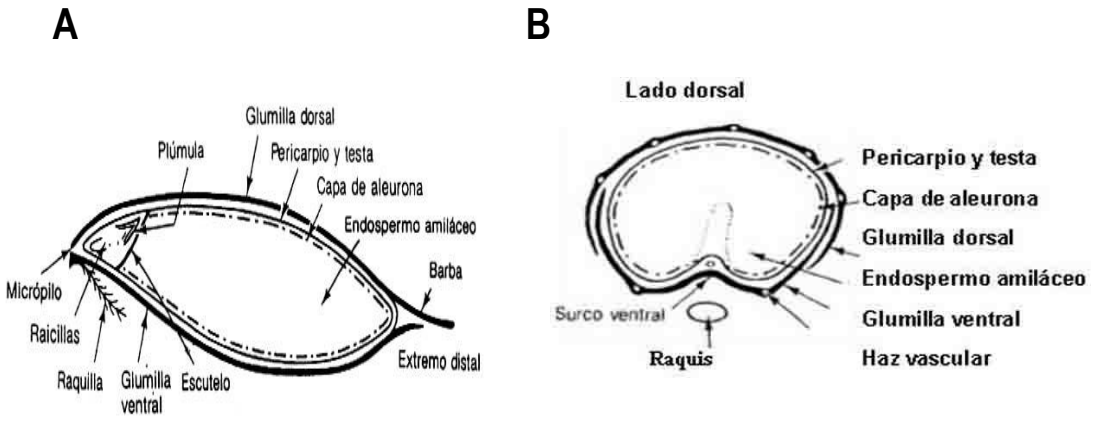


Figura 15: *Estructura básica del grano de cebada (Hordeum vulgare).*

Durante el malteado se activan las enzimas que degradan el almidón en azúcares simples y que serán el sustrato de las levaduras en la fermentación generando mayoritariamente dióxido de carbono y alcohol **(Bamforth, 2008)**. Actualmente pueden maltearse en volúmenes muy elevados de cebada (**Figura 16**). El proceso de malteado, se inicia hidratando el grano (**Figura 17**). El agua ingresa a través del micrópilo y se distribuye en el endospermo amiláceo. Posteriormente, el embrión se reactiva y produce hormonas (giberelinas) que migran a la zona aleuronífera estimulando la biosíntesis de enzimas **(Hough, 2011)**. Algunas de ellas se encargan de degradar las paredes celulares ricas en hemicelulosas denominadas β-1,3-1,4-glucanos. La fragmentación de estos compuestos es importante para evitar turbidez en la cerveza **(Bamforth, 2008)**. Otras enzimas poseen actividades proteolíticas y generan N soluble. Por último de vital importancia para la producción de cerveza son las enzimas amilolíticas.

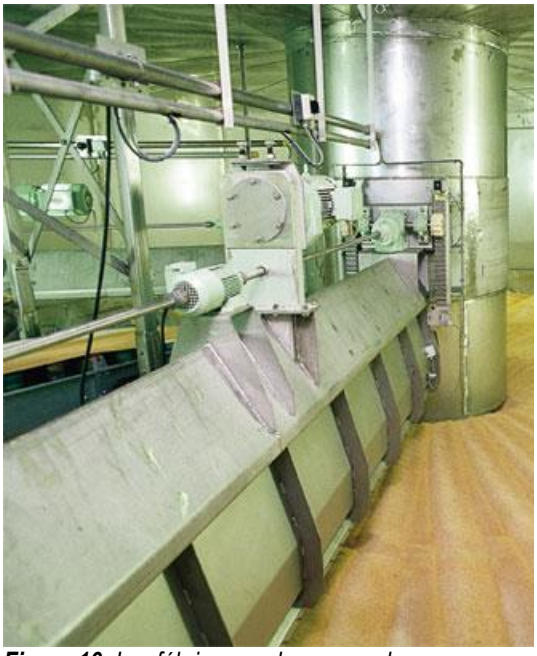


Figura 16: *Las fábricas modernas pueden procesar tandas de 200 a 300 toneladas de grano.*

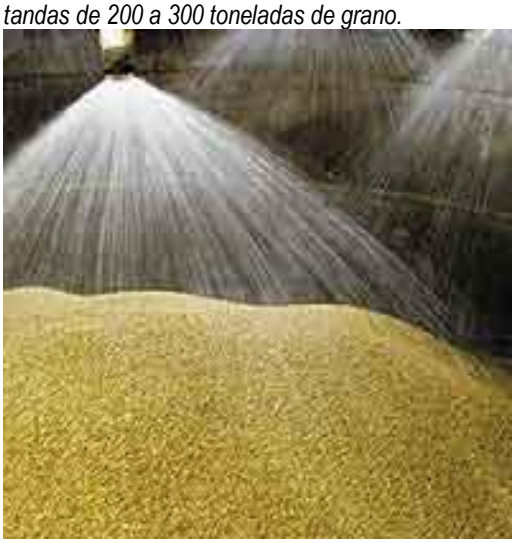


Figura 17: *El malteado se inicia con la adición de agua al grano.*

La germinación continúa progresando provocando la elongación de la plúmula o pequeño brote y la aparición de las raicillas (**Figura 18**). En la industria no es deseable que el brote tenga un desarrollo excesivo; de lo contrario parte de los azúcares se consumirán reduciendo el rendimiento. Por esta razón que cuando la plúmula crece ¾ del largo del grano la germinación es detenida por secado **(Hough, 2011)**. Para no inactivar las enzimas formadas por acción del calor el secado al horno se inicia en una temperatura relativamente baja (ej. 50 °C) hasta eliminar aproximadamente la mitad del agua. Dependiendo de la temperatura y del tiempo de secado se obtienen distintas maltas. Las mismas son clasificadas en dos grandes grupos: *maltas base* o *maltas especiales*. Las maltas base son irremplazables en la elaboración de cerveza **(Papazian, 1991)**. Las mismas se secan a temperaturas que

Figura 18: *Granos de cebada germinados.*

van de los 40 a 60 °C lo que permite que las enzimas puedan reactivarse en la etapa de maceración. Es decir son maltas ricas en enzimas capaces de degradar el almidón. Si bien existe amplia variedad de maltas base, las más utilizadas son la Pilsen, la Munich y la Viena.

Las maltas especiales son utilizadas para dotar a las cervezas de colores específicos (amarillo, rojo, marrón), sabores y aromas (sabores a pan, malta, chocolate, tostado, café, etc) no realizando en general aporte muy marcado de enzimas diastásicas. Este tipo de maltas se secan a temperaturas superiores (90-250 °C) lo que favorece reacciones de caramelización y tostado, la formación de pigmentos llamados melanoidinas (**Figura 19**) y la síntesis de sustancias aromáticas (ej. maltol). Las maltas especiales más utilizadas son la malta caramelo (característico de la cerveza roja), la malta chocolate, y la malta negra (características de cervezas negras).

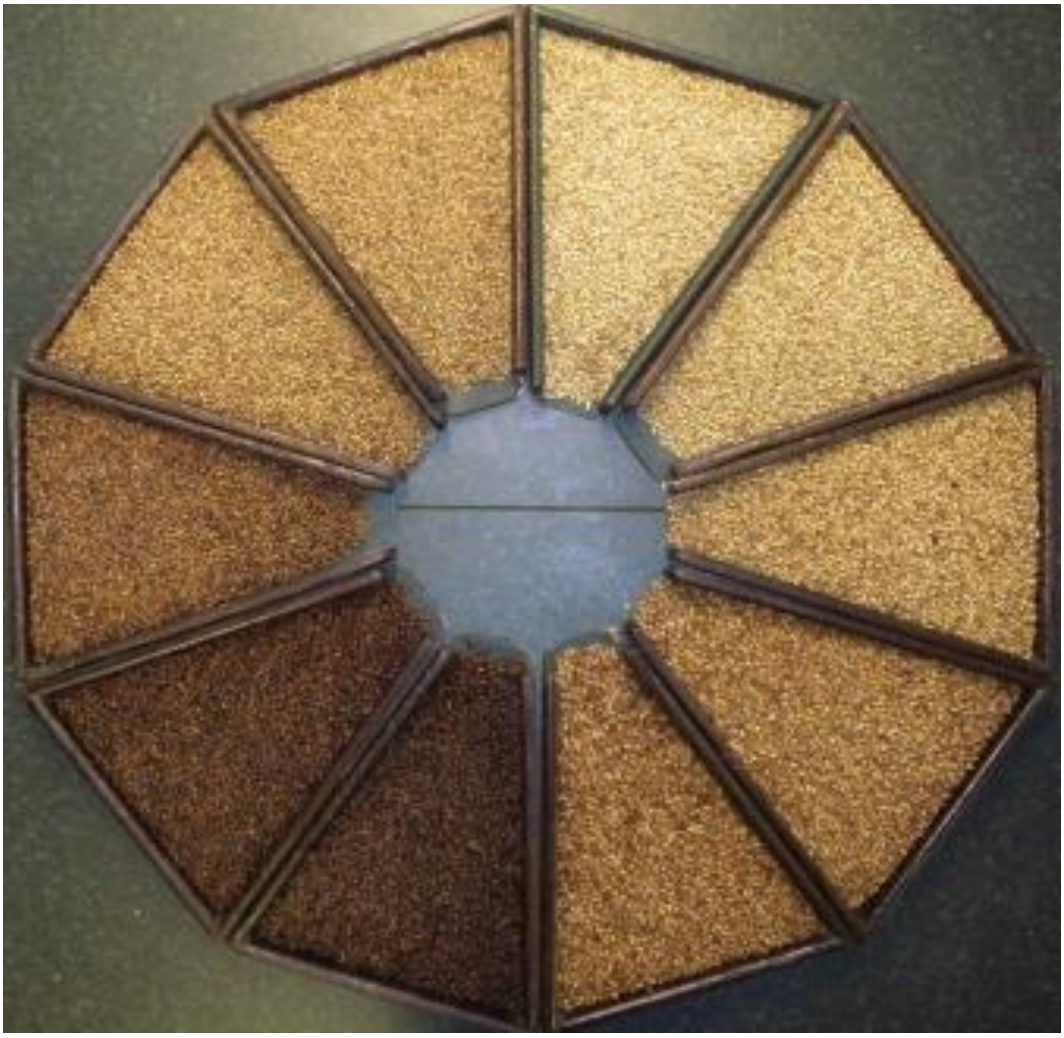


Figura 19: *Coloración externa de la malta ante diferentes temperaturas de secado.*

Tabla 1: *Características de las maltas más utilizadas (**Kunze, 2006**).*

MALTAS BASE
Pilsen: Secada a temperaturas de 50 ºC, color pálido y sabor a malta pronunciado. Forma parte de la mayoría de las recetas.
Munich: Se produce a mayor temperatura de secado que la Pilsen o Pale, proporciona cuerpo y maltosidad**.** Descripta como dulce y suave, el color puede ir de dorado hacia ámbar
Viena*:* Producida de similar manera que la malta Munich y presenta aplicaciones similares. Es más clara y aporta un efecto dorado a naranja.
MALTAS ESPECIALES
Caramelo: Estas maltas aportan cuerpo y una amplia gama de colores y sabores que varían según la temperatura de caramelizado.
Malta chocolate*:* cebada malteada que ha sido horneada a alta temperatura. Aporta sabores tostados.
Malta negra (también llamada "*Black Paten*"): Cebada malteada que ha sido horneada a alta temperatura, aporta un amargor seco, quemado con un carácter de ceniza. Muchos cerveceros la usan para la coloración de la cerveza.

Las maltas base se suelen almacenar entre 4 y 6 semanas antes de su uso. Por razones desconocidas, sus propiedades para la elaboración de la cerveza a menudo mejoran. Contrariamente, las maltas especiales deben ser utilizadas a la brevedad ya que durante el almacenamiento sus aromas declinan **(Bamforth, 2008)**.

Las maltas de trigo, si bien son mucho menos utilizadas, también pueden emplearse. Son generalmente pálidas y se emplean en algunas cervezas especiales como la *Weizenbier* (cerveza de trigo). En maceraciones con maltas de trigo (o centeno, triticale) resulta por lo común dificultosa la clarificación por la presencia de β-glucanos residuales, estos generan mostos viscosos que dan baja recuperación de extracto y dificultan el filtrado **(Vogel, 1996)**. Pequeñas cantidades de maltas de avena se utilizan para mejorar la espuma y la cerveza. Las maltas de sorgo muy empleadas en África. Pueden en ciertos casos contener cantidades muy grandes de durrina (un glucósido cianogénico), por lo que debe evaluarse por su potencial toxicidad.

Algunas recetas utilizan también cebada tostada que aporta un amargor seco y definido gusto a café. El trigo, maíz, arroz y avena también pueden emplearse. Estos se denominan genéricamente cereales adjuntos. Algunos pueden mezclarse con la cebada malteada sin pre-cocción, como las harinas de trigo. Para minimizar los problemas de manipulación resulta conveniente que las harinas posean un diámetro de partícula de aproximadamente 100 μm (en lugar de 17-35 μm más común para otros usos). Otra alternativa consiste en aglomerar harina de pequeño tamaño. Otros adjuntos que pueden emplearse incluyen al el maíz en copos, trigo torrado, granos de arroz y sorgo. La cebada torrada puede liberar β-

glucano en el mosto lo que es indeseable **(Hornsey, 2003)**. En algunas zonas (ej. Baviera, Alemania) no se emplean adjuntos mientras que en Estados Unidos se utiliza hasta 40-50% de harina de trigo

a. Aspectos químicos de la malta:

Almidón: El almidón constituye la mayor proporción de malta (a menudo cerca de 58% en base seca). El almidón se encuentra en la forma de gránulos. En la cebada se producen los gránulos en dos poblaciones, los más grandes que pueden tener diámetros de 22-48 μm y gránulos pequeños con diámetros de 1,7-2,5 μm. Los gránulos grandes constituyen 10-20% de total en número pero 85-90% del almidón en masa. También, tienen un rango de temperatura de gelatinización inferior que los pequeños gránulos. El almidón está constituido por amilosa y amilopectina. La primera es una mezcla predominantemente lineal de α-(1,4)-D-glucopiranosa, Constituye 22-26% del almidón total, siendo el resto amilopectina. La amilosa posee un grado de polimerización de 1.600 a 1.900 y adopta una forma helicoidal (seis residuos de glucosa por giro) **(Ferrán, 1959)**. La misma puede interactuar con el yodo dando color azulado. Esta reacción puede utilizarse para detectar amilosa residual en caldos de maceración. Asimismo puede reaccionar con lípidos polares lo que resulta indeseable. Por su parte la amilopectina es una mezcla de moléculas muy ramificadas de glucosa con enlaces α-(1,4) y α-(1,6).

b. Compuestos nitrogenados: El desarrollo de las levaduras en la fermentación es dependiente de las sustancias nitrogenadas que están presentes. Los niveles de aminoácidos en la malta son casi siempre adecuados para un buen crecimiento de la levadura, sin embargo en mostos que se preparan empleando adjuntos los niveles pueden caer por debajo de lo recomendado (100-140 mg/L) **(Papazian, 1991)**. El color de la cerveza también se ve influenciado por las proteínas, que son sustrato en el pardeamiento no enzimático también conocidas como reacción de Maillard. Algunas proteínas de malta o productos modificados (proteína Z, de 40 kDa, y LTP 1 una proteína de transferencia de lípidos de 10 kDa) sobreviven todo el proceso de elaboración de cerveza. Estas proteínas y polipéptidos contribuyen al "cuerpo" y "sensación en la boca" de la cerveza así como a la formación de espuma. De hecho, LTP1 constituye una proporción importante de la proteína en la espuma **(Kunze, 2006)**.

c. Otros componentes: La malta contiene aproximadamente 3,5% de lípidos y es la principal fuente de estos compuestos en la cerveza. En los mostos los mismos son degradados a ácidos grasos libres. La malta posee también compuesto fenólicos que son antioxidantes y contribuyen al sabor y astringencia. Los flavan-3-oles como la catequina, epicatequina, galocatequina y epigalocatequina y como las pro-antocianidinas son los mayoritarios **(Hough, 2011).**

1.3.2. Agua

Cuantitativamente, el agua es la materia prima usada en mayor proporción **(De Clerck ,1957).** Por lo tanto, es esperable que sus propiedades influyan ampliamente en la calidad del producto. Muchos estilos famosos de cerveza deben buena parte de sus características a la composición del agua. La ciudad de *Burton-on-Trent* en el centro de Inglaterra posee aguas muy duras ricas en sulfato de cálcico y es famosa por las cervezas pale ales. Munich con aguas blandas es reconocida por las lagers oscuras mientras que Dublin con agua blanda y con muy poco sulfato también por sus Stouts **(Jackson, 1994)**.

El $CaSO_4$ es muy importante. Posee entre otros un efecto reductor del pH que puede favorecer la proteólisis y la sacarificación durante la maceración. Las condiciones ácidas reducen también el color del mosto, la utilización del lúpulo y reducen la astringencia **(Ros, 1980)**. Por otra parte el calcio posee otros efectos deseables como la formación de turbios luego de la cocción y la floculación de la levadura finalizada la fermentación no afectando el sabor en forma significativa.

El Mg es necesario como cofactor para muchas enzimas de la levadura (Ej. piruvato descarboxilasa enzima crucial en la síntesis de etanol). Algunos otros efectos del Mg se parecen a los del calcio pero son menos marcados. Las concentraciones elevadas de iones de magnesio son inusuales pero en tal caso pueden impartir sabor amargo y tener efecto laxante. El límite superior de iones de magnesio propuesto es del orden de 30 mg/L. Los iones de sodio pueden impartir sabor salado por encima de 150 mg/L. El agregado de NaCl puede emplearse en niveles apropiados (75-150 mg/L) para mejorar el cuerpo. El alto nivel de bicarbonato en el agua de elaboración de la cerveza es indeseable ya que provoca incrementos no deseados en el pH durante la maceración. Se ha sugerido que la concentración de iones bicarbonato en el licor de infusión no debe exceder de 50 mg/L. El cobre cataliza la oxidación favoreciendo la inestabilidad del sabor y turbidez, sus niveles deben ubicarse por debajo de < 0,1 mg/L. El agua con alta concentración de hierro es también indeseable porque puede depositar óxidos hidratados color rojo-marrón y conferir colores oscuros por interacción con sustancias fenólicas de la malta y el lúpulo. Asimismo puede transmitir gusto metálico. El sulfato es el principal contra-ión del calcio en el agua con dureza permanente. Aporta sabor amargo y sensación de sequedad. Las concentraciones de sulfato aceptables se ubican en el rango 10-250 mg/L. El cloruro contribuye al carácter suave de cerveza. Una concentración máxima razonable es de 150 mg/L **(Kunse, 2006)**. La relación cloruro/sulfato ayuda a regular la solución salina / carácter amargo de la cerveza.

1.3.3. Levadura

Las levaduras son hongos unicelulares con variados formas tamaños y colores. Representan un grupo muy heterogéneo, existiendo más de 1.500 especies (**Figura 20**). Se emplean en diversas disciplinas en la obtención de alimentos fermentados, en la obtención de ingredientes alimentarios, y como bio-fábricas en la producción de enzimas, hormonas y vacunas. También se utilizan en la investigación básica en múltiples disciplinas biológicas y en la agricultura en el control biológico de enfermedades **(Madigan et al., 2003)**

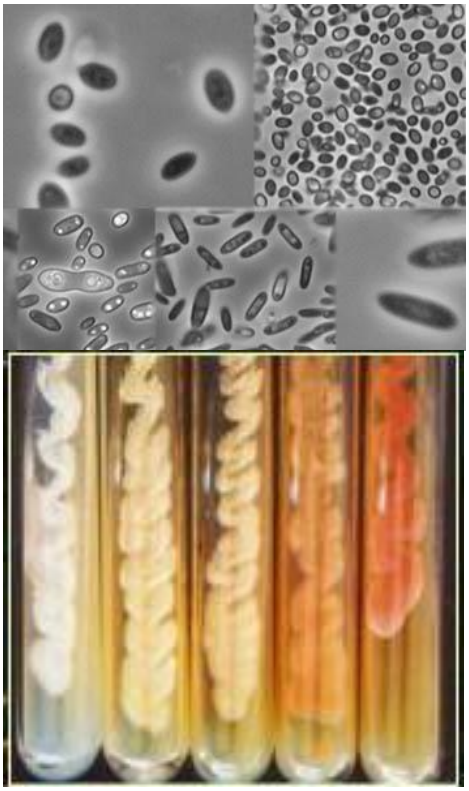


Figura 20: *Existen unas 1500 especies de levaduras de las cuales 300 son fermentativas.*

Más de 300 especies de levaduras son fermentativas aunque en la elaboración de productos alcohólicos predominan las especies del género *Saccharomyces. Esto es debido a que las mismas presentan alta* capacidad de producción de alcohol y por otra parte toleran elevadas concentraciones de este compuesto (**Figura 21**). Dentro de la misma especie existen cepas con diferente tolerancia al etanol. Cuanto mayor sea la tolerancia al alcohol, morirán menos células en la medida que progrese la fermentación y podrán conseguirse cervezas con mayor grado alcohólico **(Brown et al., 1989)**. Si bien las levaduras del género *Saccharomyces* se encuentran presentes de forma natural en las frutas, cereales uno de sus hábitats naturales es la corteza de los árboles. Las levaduras de la cerveza se dividen en dos grandes grupos las de fermentación superficial o "ale" (*Saccharomyces cerevisiae*, Meyen ex EC Hansen) y de fondo o "lager" referidas como *S pastorianus* o *S carlsbergensis*. *S. pastorianus* se cree que se originó a partir de un evento de hibridación natural que ocurrió entre una cepa de *S. cerevisiae* y probablemente una cepa de *S. bayanus* que aportó la habilidad para fermentar a baja temperatura **(Bourdchon et al., 2012)**. *S. cerevisiae* es además el agente responsable de la fermentación del vino, pan, cerveza, cerveza Weiss y sake.

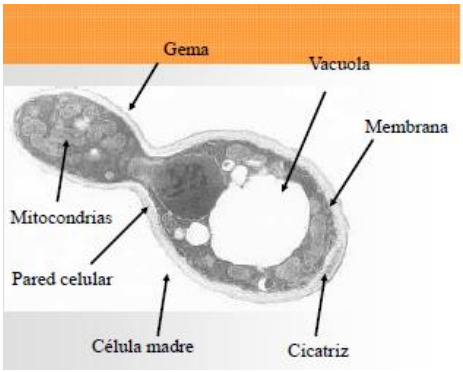


Figura 21: *Las levaduras del genero Saccharomyces poseen alta tolerancia al alcohol así como una elevada capacidad de producción de este compuesto.*

a. Fases del crecimiento de la levadura:

Cuando se cultivan levaduras para la fermentación de la cerveza, el cultivo sigue un patrón de crecimiento que puede ser dividido en cuatro fases: (1) lag o de latencia; (2) logarítmica; (3) de desaceleración, y (4) fase estacionaria. Durante la fase de latencia, no hay crecimiento y la levadura comienza a aclimatarse al ambiente. A esto le sigue la fase logarítmica en la que las células están en rápido crecimiento y multiplicación (**Figura 22**). Los nutrientes se encuentran en exceso con respecto al número de células y los residuos están lo suficientemente diluidos para inhibir el desarrollo de las levaduras, luego de un tiempo se observa que el crecimiento celular comienza a disminuir. Finalmente las levaduras alcanzan la fase estacionaria, etapa en la que no hay crecimiento debido a la alta concentración de residuos o a la deficiencia de nutrientes **(Madigan et al., 2003)**.

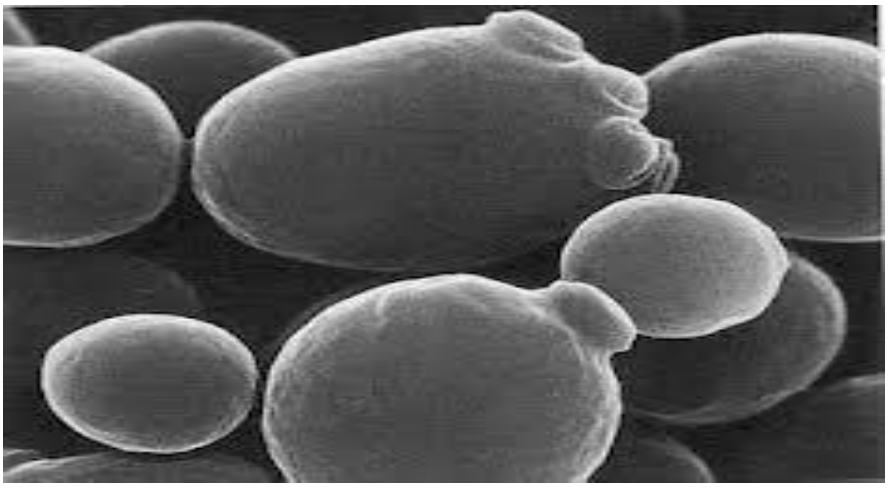


Figura 22*: Levaduras reproduciéndose por gemación.*

Las levaduras son organismos anaeróbicos facultativos, es decir que pueden desarrollar sus funciones biológicas con o sin oxígeno. La fermentación etanólica es un proceso anaeróbico en el que los hidratos de carbono son metabolizados para obtener como productos finales etanol (CH_3-CH_2-OH), dióxido de carbono (CO_2) y ATP. Este proceso es exotérmico por lo que ocurre con una importante liberación de calor; más allá de estos productos el metabolismo de las levaduras da lugar a la formación de numerosos metabolitos de importancia en el sabor y aroma de la cerveza **(Jackson, 1998)**. La producción de los mismos puede afectarse marcadamente por las condiciones en las que se lleva a cabo la fermentación, así por ejemplo la levadura generará más ésteres (sabor a banana) si se desarrolla cerca del límite superior de temperaturas y más fenoles (sabor a clavo) en el al límite inferior. Los dos principales grupos de nutrientes que afectan a la levadura de cerveza son los *hidratos de carbono y los compuestos nitrogenados* **(Branyik et al., 2008)**. Las cepas empleadas en la **e**laboración de la cerveza pueden utilizar diversos hidratos de carbono (glucosa, sacarosa, fructosa, maltosa, galactosa, rafinosa y maltotriosa), una característica que distingue cepas ale de lager es su capacidad de estas últimas para fermentar la melibiosa. La captación de azúcar por parte de las levaduras se inicia comúnmente con la hidrólisis de sacarosa presente a azúcares simples, aumentando la concentración de glucosa y fructosa.

Estas se movilizan por transportadores de membrana **(Kobayashi et al., 1998)**. Existen dos sistemas de captación de glucosa uno de baja afinidad (constitutivamente expresado) y uno de alta afinidad que es reprimido en presencia de altas concentraciones de glucosa. La eficacia de los transportadores de la glucosa depende además de la presencia de oxígeno y del estado energético de la célula. Los mostos con alta densidad muestran un efecto negativo sobre la fermentación principalmente debido a la presión osmótica del medio que provoca estrés a las levaduras **(Bisson et al., 1993)**. La maltosa es el principal azúcar del mosto y representa 50-55% del contenido total de hidratos de carbono. Este azúcar es importado sin previa hidrólisis a través de la membrana celular. Luego una maltasa (α- glucosidasa) que hidroliza la maltosa internamente para producir dos unidades de glucosa.

Con respecto al nitrógeno, las principales fuentes de este elemento en el mosto son aminoácidos, iones de amonio y algunos di-y tri-péptidos. Los aminoácidos son utilizados por las levaduras en una secuencia que parece ser independiente de la condiciones de fermentación. Los primeros aminoácidos empleados son la arginina, asparagina, aspartato, glutamato, glutamina, lisina, serina y treonina, seguido por la histidina, isoleucina, leucina, metionina y valina **(Bisson et al., 1993)**. La alanina, glicina, fenilalanina, tirosina, triptófano y el amoníaco sólo son absorbidos después de la completa eliminación de los aminoácidos del primer grupo, finalmente la prolina es poco utilizada. La mayor parte del nitrógeno libre (FAN) es utilizado por la levadura para la formación de proteínas (estructural y enzimática). Las condiciones que estimulan el crecimiento excesivamente rápido de la levadura (alta temperatura y alta concentración de azúcar) pueden dar lugar a la elevada tasa de utilización de FAN y formación de productos que desequilibran el sabor **(Lei et al., 2012)**.

b. Calidad de levaduras:

La viabilidad es una característica importante de las levaduras que se define como es la capacidad de una célula de multiplicarse **(Kunze, 2006)**. Las pruebas de viabilidad comúnmente utilizadas se basan en la prueba de decoloración con azul de metileno, en esta prueba las células viables permanecen sin color mientras que las células muertas se tiñen azul. La forma incolora se piensa que es el resultado de la lenta absorción del colorante sumada a la capacidad de reducirlo en células viables, mientras que las células muertas no pueden excluir el colorante **(ASBC, 1992)**. Si bien es la prueba más comúnmente utilizada en la industria de la cerveza, su fiabilidad ha sido cuestionada para viabilidades inferiores a 90%. Una alternativa es el empleo de algunos colorantes fluorescentes que diferencian más claramente células vivas de aquellas no viables; desafortunadamente la necesidad de microscopios de fluorescencia más complejos ha impedido su aplicación práctica en las cervecerías.

Una segunda propiedad importante es la *vitalidad*, esta se define como la capacidad de las levaduras para iniciar el metabolismo rápidamente después de transferirlas desde un medio pobre en nutrientes a un ambiente rico **(ASBC, 1992)**. Se han publicado numerosas opiniones y discusiones sobre los distintos métodos propuestos. La citometría de flujo permite seguir el desarrollo de una población.

Finalmente, cada levadura tiene un valor de *atenuación* declarada por el fabricante. Este parámetro indica el porcentaje de azúcares consumidos por la levadura del mosto original y para obtenerlo, se mide la densidad original del mosto (OG), y se toma una cata final al acabar la fermentación para medir la densidad final (FG) Para calcular el porcentaje de atenuación aparente, se utiliza la siguiente fórmula: [(OG-FG)/(OG-1)] x 100

c. Manejo de las levaduras

Las levaduras pueden en ciertos casos recuperarse luego de su uso. Dado que durante la fermentación son expuestas a diversos tipos de stress (por cambios en la densidad del medio, en la concentración de CO_2, etanol y nutrientes) un porcentaje de las mismas se desecha **(Gibson et al., 2007)**. El objetivo es evitar las células más viejas o muertas que sedimentan en el cono ya que si posteriormente se siembran levaduras viejas esto daría lugar a una prolongada fase de retardo. Asimismo en cultivos con células muy jóvenes recién gemadas el tiempo necesario para alcanzar el tamaño crítico para el inicio de la división también daría lugar a un retraso en el inicio de la fase de activo crecimiento; por lo tanto se procura seleccionar poblaciones evitando organismos muy jóvenes o de edad avanzada. Comúnmente se realiza un lavado ácido (ácido fosfórico) de las levaduras para eliminar bacterias **(Bamforth, 2008)**. El procedimiento típico requiere una reducción en el pH a un valor de 2,2 a 2,5 de pH por un par de horas a una temperatura inferior a 4 °C. Sin embargo, este proceso no elimina a todas las bacterias y puede impactar negativamente en la condición de levadura reduciendo su viabilidad y afectando la carga e hidrofobicidad superficial de las levaduras. La levadura recuperada se almacena hasta que se requiere para la fermentación.

1.3.4. Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus L*) es una especie de la familia de las Canabináceas (**Figura 23**). Es una planta trepadora perenne cuya parte aérea muere en otoño. Las plantas se propagan vegetativamente y Requiere pH por encima de pH 6,5, posee raíces profundas, por lo que es necesaria una buena profundidad del suelo (**Papazian, 1991)**. El crecimiento de lúpulo está fuertemente influenciado por la cantidad de luz del día, requiriéndose al menos 13 horas de luz para vegetar; fotoperíodos más cortos hacen que la planta se vuelva latente. Si bien excelentes cervezas lager se pueden producir con lúpulo con semillas, y la mayoría de las variedades que se cultivan, no las producen.

Figura 23: *El lúpulo junto con Cannabis sativa son las dos especies de la Familia Canabináceas.*

Figura 24: *Los conos son las partes empleadas en la elaboración de cerveza.*

El lúpulo se adicionó inicialmente a la cerveza por su contribución al sabor y aroma, este aporte está dado respectivamente por las *resinas* y *aceites esenciales* que se encuentran en las glándulas de lupulina de las inflorescencias femeninas (**Figura 24 y 25**). Las resinas incluyen principalmente a los denominados alfa-ácidos cuyo contenido puede variar considerablemente entre 2 y 16% (**Meilgaard y Peppard, 1986**). Más allá de la dependencia genética, la concentración de alfa-ácidos se ve afectada por las condiciones edáficas de la región productiva. Los aromas, son debidos a los aceites esenciales **(Benitez et al., 1997).** Existen lúpulos que aportan solo amargor, otros más importantes por su contribución al aroma y algunas variedades se emplean con ambos propósitos. En la **Tabla 2** se observan los niveles de alfa ácidos para algunas variedades de lúpulo.

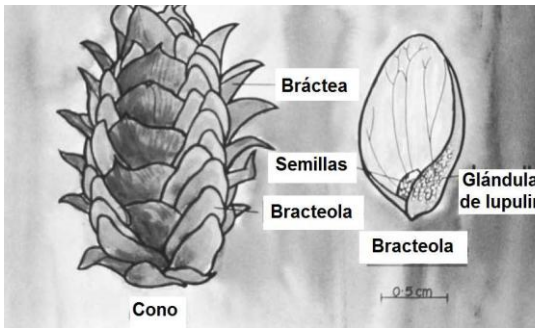


Figura 25*: Cono de lúpulo maduro detallando las bractéolas con las glándulas de lupulina.*

Tabla 2: *Variedades de Lúpulo y sus niveles típicos de alfa ácidos* **(Bamforth, 2008)**.

Cultivar	Alfa-ácidos (%)
Cascade	4-7
Centennial	10-12
Chinook	12-14
Columbus	14-16
Crystal	2-4,5
Eroica	11-13
Fuggle	3,5-5,5
Galena	12-14
Liberty	3-5
Lublin Polaco	3-4,5
Mallertau Northern brewer	7-10
Northern brewer	8-10
Nugget	12-14
Perle	7-9,5
Pride of Ringwood	7-10
Saez Checo	3-4,5
Spalt	3-6
Spalt	3,5-5,5
Super Styrian	8-10
Tettnanger	3-5,5
Willamette	3-6
Wye target ingles	10-13

La cosecha del lúpulo se realiza cuando las brácteas y bractéolas se cierran dando una forma compacta al cono, esto es indicio de que la bractéola terminal cesó su crecimiento. Asimismo el color de las bractéolas y en menor medida las brácteas, cambian a un color verde amarillento y las glándulas de lupulina están completamente llenas y el aroma del lúpulo se desarrolla plenamente **(Kunze, 2006)**. Una vez cosechados los conos se llevan a un nivel final de humedad de alrededor del 10% o menos. La velocidad del aire y la temperatura tienen que ser controlados cuidadosamente durante el secado como puesto que los α-ácidos pueden destruirse (**Figura 26**).

Históricamente se quemaba azufre en el horno durante los primeros 30 ± 45 minutos de secado lo que mejoraba el color. Sin embargo el azufrado puede destruir los α-ácidos por lo que la práctica ha sido interrumpida. Comúnmente se emplean pellets de lúpulo a nivel comercial (**Figura 27**), los mismos se preparan por secado de las glándulas de lupulina, las que son aplastadas. Actualmente aproximadamente un 50% de la cosecha se procesa en pellets. Estos son granulados de lúpulo estabilizados, los que se preparan mezclando hasta 2% en peso de óxido de magnesio (o de calcio) con el polvo de lúpulo antes de la pelletización **(Bamforth, 2008)**, esto convierte a los α-ácidos en sus sales que son más estables. El lúpulo es muy sensible a la degradación por lo que se recomienda su almacenamiento a baja temperatura **(Vogel, 1996)**. La principal causa de deterioro es la oxidación. La hidrogenación de humulona en presencia de platino (IV) puede reducir la susceptibilidad a la oxidación.

Figura 26: *Los conos se secan a temperatura moderada para evitar pérdidas de α-ácidos.*

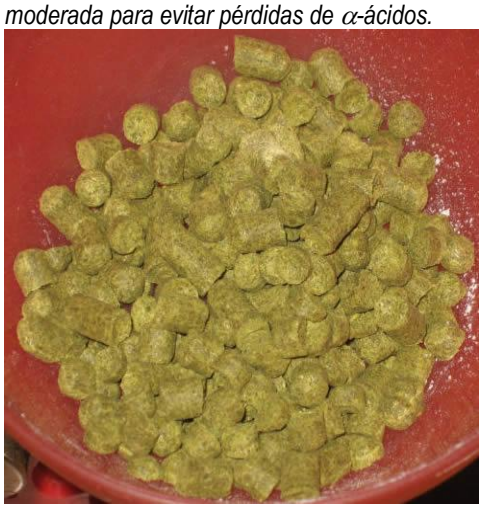


Figura 27: *Comúnmente se emplean pellets de lúpulo en la elaboración de cerveza.*

Durante la cocción del mosto convencional sólo alrededor del 50% de los alfa-ácidos disponibles en el lúpulo pueden isomerizarse y pasar a solución. Sumado a esto existen otras pérdidas durante la fermentación, de manera que la utilización rara vez excede el 40% y puede ser tan bajo como 10% (**Briggs., 2004**). La mayor parte de los *aceites esenciales* se volatilizan y pierden durante este período de ebullición en la elaboración de cerveza, por tal motivo los cerveceros pueden añadir una porción de la opción "aroma" del lúpulo al final de la cocción. Alternativamente el lúpulo seco puede añadirse a la cerveza directamente en tanques de barril o de acondicionamiento lo que se conoce como lupulado en seco **(Daniels, 2004)**. Algunos cerveceros ahora utilizan extractos de lúpulo ya isomerizados (**Figura 28**).

Figura 28: *Los extractos de lúpulo con alfa-ácidos isomerizados también pueden emplearse.*

1.4. ELABORACIÓN DE CERVEZA

El proceso de elaboración, consta de 4 etapas: molienda y maceración, cocción, fermentación, maduración y acondicionamiento.

1.4.1 Molienda y maceración

La *molienda* procura romper el grano malteado de manera tal que el endospermo amiláceo posteriormente pueda hidratarse. Es importante que la molienda no sea excesiva ni tampoco queden granos enteros. Cualquiera de los dos extremos complicará la elaboración, en el primer caso por generar mucha harina perjudicando el filtrado. En el otro extremo, el agua no podrá ingresar al grano y por ende la extracción de azúcares será incompleta **(Jackson, 1994)**. La malta molida es posteriormente macerada; si bien este proceso puede realizarse de diferentes formas, una de las técnicas más comunes es la infusión, para ello se coloca agua a la malta en una relación alrededor de 3 a 1 a 65-75 °C **(Figura 29**). Los azúcares extraídos aumentan rápidamente al principio y en una hora se obtiene la mayor parte del extracto, aunque la mayor extracción se obtiene luego de 1,5 a 2 horas.

***Figura 29**: Malta infusionada a en agua, en el proceso de maceración.*

La maceración puede realizarse en forma isotérmica (a una temperatura fija) o bien con escalonamiento de temperatura (normalmente se comienza a temperaturas más bajas para luego ir aumentándola hasta 75 °C). De este modo se procura mantener la mezcla a las temperaturas óptimas que ocurren las reacciones que se desea favorecer (degradación de almidón, proteínas, hemicelulosas) **(Papazian, 1991).** La proteólisis favorece el desarrollo de color durante la posterior cocción y mejora además la utilización del lúpulo, dado que es más rápida a temperaturas menores de 65 °C, en algunas maceraciones se incuba inicialmente a baja temperatura. Las maceraciones con temperaturas bajas iniciales también favorecen la degradación de los β-glucanos que dan turbidez a la cerveza **(Palmer, 1995)**. A medida que el almidón se calienta en agua comienza la gelatinización que favorece el ataque

de las enzimas hidrolíticas. Si bien el almidón se puede degradar en ciertos casos por debajo de su temperatura de gelatinización, su hidrólisis ocurre más rápidamente después que los gránulos se han hinchado convenientemente. A 65 °C se maximiza la conversión del almidón en azúcares simples, pero el aumento excesivo de la temperatura de maceración aumenta la tasa de desnaturalización y precipitación de proteínas (incluyendo la inactivación de las enzimas). La maceración a temperaturas finales altas (80 °C) acelera los procesos de disolución, difusión y mezclado. Esto puede maximizar la recuperación de extracto aunque su fermentabilidad puede ser baja por inactivación de enzimas (ej. 30% respecto a 70%, o más en mostos provenientes de maceraciones a 65 °C) **(Vogel, 1996)**.

El pH del macerado es otro factor importante a considerar y como se mencionó anteriormente las sales presentes en el agua juegan un rol central como reguladoras del mismo. El pH tiende a declinar durante maceración y aún más durante la ebullición, los purés de infusión se realizan mejor a pH 5,2-5,4 que terminarán dando mostos fríos con valores de aproximadamente 5,5-5,8 respectivamente. La reducción excesiva del pH aumenta el nitrógeno soluble pero alarga el tiempo de sacarificación y reduce el rendimiento de extracto (**Bamforth, 2008**). Los iones calcio además estabilizan la amilasa durante maceración, aceleran la separación del mosto, la precipitación durante la ebullición y la floculación de las levaduras resultando en una cerveza más clara.

Finalizada la maceración se realiza el filtrado. Su objetivo es extraer las partículas que se encuentran en suspensión de manera tal de obtener un producto límpido. Para tal fin se utilizan las glumas de la malta, que forman un filtro natural compacto en el fondo del macerador, luego de recircular el mosto sobre la cama de grano, las partículas quedan retenidas en los canalículos formados.

1.4.2. Cocción

En esta etapa consiste en hervir al mosto en forma vigorosa por alrededor de una hora (**Figura 30**).

***Figura 30**: Hervor vigoroso del mosto finalizada la maceración.*

Según **(Kunze, 2006)** los cambios principales que se producen durante la cocción del mosto son:

a. Inactivación de enzimas de la malta: El tratamiento térmico provoca la desnaturalización de las enzimas frenando los procesos de proteólisis, lipólisis y amilólisis.

b. Esterilización del mosto: Pocos microorganismos sobreviven temperaturas de 100 °C. Las excepciones son algunas bacterias termófilas formadoras de esporas, principalmente del género *Bacillus sp*. Sin embargo la cerveza estándar es un medio de crecimiento pobre para estos organismos.

c. Extracción e isomerización de compuestos derivados del lúpulo: Como se mencionó anteriormente el lúpulo juega un papel preponderante a la hora de dotar a las cervezas de amargor y aroma. Los principales compuestos responsables del amargor son los denominados alfa ácidos (co-humulona, humulona y ad-humulona) que si bien son insolubles en agua luego de la cocción se isomerizan a iso-alfa ácidos solubles (**Figura 31**) (**Jacobsen et al., 1989**). La producción de iso-alfa ácidos de amargor durante la elaboración de cerveza dependerá entonces de tres factores: a) la cantidad de lúpulo adicionada, b) de la concentración de alfa ácidos en el lúpulo empleado y c) el porcentaje de utilización del lúpulo. Este último factor claramente dependiente de las condiciones de cocción oscila entre 0 y 40% (**Briggs, 2004**). La utilización es dependiente del grado de isomerización (y consecuente de solubilización) de los alfa-ácidos y de las pérdidas que pueden ocurrir por reacciones con las proteínas.

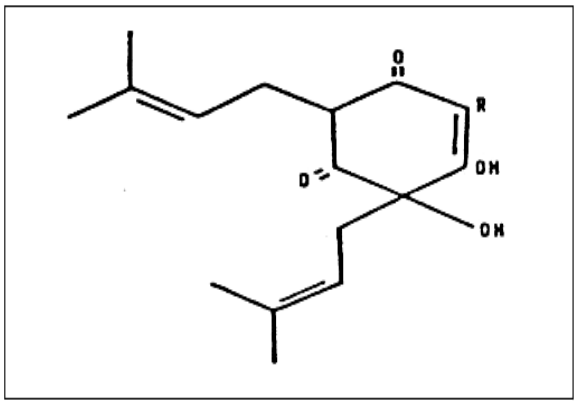


Figura 31 *Estructura de un iso-alfa ácido* ***(Hudston, 1977)***

El amargor, se cuantifica en grados IBU (International Bitterness Unit) lo que equivale a un mg de iso-alfa ácido por litro de cerveza **(Mosher, 2009)**. La cantidad de lúpulo a agregar se calcula a partir del volumen de mosto (V) de los IBU deseados (normalmente entre 20 y 50) del porcentaje de alfa-ácidos del lúpulo (%AA) y de la eficiencia teórica de la utilización (%U) según:

$$\text{Lúpulo (g)} = \frac{\text{IBU deseados} \times V(L) \times 10}{\%AA \quad \%U}$$

Los valores de alfa ácido para cada tipo de lúpulo son aportados por el proveedor o bien se obtienen de tablas (**Tabla 2**). Los porcentajes de utilización para tiempos de hervor diferentes se detallan en la **Tabla 3**.

Tabla 3: *Valores de utilización de lúpulos en función de la forma de presentación y del tiempo de cocción* ***(Tinshet, 2009).***

Tiempo de cocción (min)	**Utilización (%)**	
	Lúpulo seco	**Pellets**
0-10	5	6
10-20	12	15
20-30	15	19
30-45	19	24
45-60	22	27
60-75	24	30
>75	27	34

Esto es válido para cervezas con una densidad inicial menor a 1,05 g/mL. Por encima de ella se considera que existe menor utilización del lúpulo por lo que se corrige la fórmula multiplicándose por el siguiente factor (FC):

$$FC = 1 + \{[(DO / 1000) - 1,05] / 0,2\}$$

DO= densidad inicial (densidad del mosto antes de adicionar la levadura en g/L)

d. Coagulación de material de proteína en el mosto: Como se mencionó anteriormente la eliminación de parte de la proteína de alto peso molecular es uno de los objetos de la etapa de ebullición. Por mucho tiempo se pensó que los polifenoles también participaban pero en realidad los complejos proteína-polifenol no son estables a 100 °C. El turbio en caliente esta de hecho compuesto en buena parte por proteínas **(Jackson, 1998)**. La coagulación insuficiente y la eliminación de dichas proteínas pueden afectar el intercambio entre las células de la levadura y el medio circundante (bloqueo de la membrana). Asimismo puede provocar una caída insuficiente de pH en la fermentación. Finalmente el exceso de proteína no puede ser eliminado durante la fermentación dando lugar a problemas de clarificación **(Hornsey, 2003)**. Las proteínas que sobreviven en la cerveza pueden reaccionar en el almacenamiento con polifenoles dando turbidez que acortará el tiempo de conservación. Es importante mencionar que algunas proteínas son necesarias en la cerveza para producir buena retención de espuma y para mejorar la sensación en la boca **(Daniels, 2004)**.

El pH es importante en la precipitación de proteínas. Por debajo de 5,0 la misma disminuye. Por encima de pH 5,0 la cantidad de nitrógeno precipitado durante la ebullición de dos horas es relativamente constante. El vigor del hervor es importante en la precipitación puesto que en mostos cocidos a 98 ± 100 °C sin hervir o agitación se observa mayor turbidez **(Bamforth, 2008)**. Los equipos de cocción modernos operan con un 5-8% de evaporación en 60 min.

e. Formación de compuestos asociados con el sabor, aroma y color: En la **Figura 32** se observa como varía el porcentaje de aroma, sabor y amargor luego de 90 minutos de ebullición **(Mosher, 2009)**. El aumento en el color se debe al pardeamiento no enzimático (una reacción entre aminas o aminoácidos y compuestos carbonílicos de los azúcares). Para una cerveza clara se estima que un tercio del color se forma en el secado al horno de la malta. Maltas oscuras y cristalinas contendrán más melanoidinas. Los otros dos tercios se forman durante la cocción del mosto.

Figura 32: *Variación de aroma, sabor y amargor según el tiempo de hervor* **(Mosher, 2009).**

f. Aumento de la densidad del mosto a través de la evaporación de agua. La cocción permite la evaporación de los compuestos volátiles formados en la maceración o del lúpulo así como una concentración de los azúcares y demás componentes no volátiles **(Vogel, 1996)**. En los equipos de cocción modernos se produce un 5-8% de evaporación en una hora.

g. Caída en el pH del mosto y formación de sustancias reductoras: El descenso de pH favorece la clarificación y la capacidad de almacenamiento de la cerveza. Asimismo en el hervor pueden formarse sustancias reductoras que, al disminuir el potencial de óxido reducción, protegen al mosto de reacciones oxidativas.

Figura 33: Los polisacáridos del moho de Irlanda se usan en la clarificación en caliente.

Finalmente la ebullición permite eliminar las sustancias que contienen azufre a partir de mosto (formadas por oxidación de los grupos tiol) lo que mejora el sabor de la cerveza **(Kunze, 2006)**. Los hidratos de carbono experimentan pocos cambios durante la cocción, por lo que su composición es muy similar a la de mosto luego de la maceración.

Con el fin de mejorar la formación de turbio, muchos cerveceros agregan clarificantes electronegativos cerca del final de la ebullición (4 ± 8 g/hl) **(Vogel, 1996)**. Uno de los más comunes es el musgo irlandés "*Irish moss*" obtenido por secado de algas marinas rojas (*Chondrus cripus)* o el polisacárido purificado de ellos producen (**Figura 33**). El polisacárido exudado por el alga (kappa-carragenina) es el compuesto activo. Se encuentra compuesto por galactosa y anhidro-galactosa. Algunos de los grupos hidroxilo libres de los azúcares mencionados están esterificados con grupos sulfato que proporcionan carga negativa.

Algunos cerveceros agregan en su lugar gel de sílice. Estos clarificantes deben distinguirse de la cola de pescado adicionada en la etapa final de la elaboración de cerveza para el acondicionamiento en tanques. Los clarificadores empleados en la cocción se deben añadir lo suficientemente temprano en la ebullición para que se disuelvan, pero lo suficientemente tarde como para que no se degradan **(Jackson, 1994)**.

Finalizada la cocción, el mosto debe enfriarse rápidamente. Para facilitar la formación de turbios se realiza un remolino (*whirpool*) ya sea por agitación vigorosa en forma circular en la olla de cocción o bien a nivel industrial por trasvase a otro contendor cilíndrico vertical, con una relación de alto/ ancho de 0,7- 0,8 / 1 en el cual el caldo se inyecta tangencialmente a la pared del vaso **(Kunze, 2006)**. Durante la rotación de las partículas en el mosto y el líquido son impulsadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga. La presión vertical del líquido levantado en los bordes tiende a impulsar las partículas hacia depositándose en el fondo. Luego cuando la rotación mosto se ralentiza y la fricción del caldo en la pared retarda el flujo en la zona externa se favorece su acumulación en el centro del recipiente lo que facilitará la eliminación final. En caso de ser necesaria la filtración del mosto caliente puede llevarse a cabo utilizando filtros horizontales con tierra de diatomeas o perlita. Esto permite la formación de mostos excepcionalmente claros. Finalizada la cocción es crucial que el mosto debe manipularse cuidadosamente para evitar contaminaciones. El tiempo de espera hasta la fermentación debe ser lo más corto posible.

1.4.3. Fermentación

En esta etapa, el mosto es inoculado con levaduras ale o lager, según sea el estilo buscado y luego se cierra para que se agote el oxígeno (**Figura 34**) **(Bamforth, 2008)**. Si las levaduras utilizadas son de fermentación alta, el mosto deberá ser inoculado cerca de 18 ºC y el proceso fermentativo se extenderá durante por 7 a 10 días. Cuando las levaduras elegidas, son de fermentación baja (lager) la temperatura del mosto al momento de la adición deberá estar entre 8 y 13 ºC y el periodo de fermentación será de unos 14 a 21 días. La diferencia en cuanto al sabor aportado por los dos tipos de levaduras mencionados es notoria, las levaduras ale dan notas frutadas, mientras que las lager generan sabores más secos y redondeados **(Daniels, 2004)**. El vigor de la fermentación (principalmente en cervezas de tipo Ale) genera además de una pérdida iso-alfa-ácidos que precipitan en el fondo del fermentador Durante la fermentación. Lo habitual es que se mida la evolución de la densidad, esto permite observar cómo progresa el proceso (el consumo de azúcares hace que la densidad vaya disminuyendo). Los fermentadores más populares son los cilindro-cónicos.

Figura 34: *Tanque de fermentación con air-lock para prevenir el ingreso de oxígeno.*

1.4.4. Maduración y acondicionamiento

Finalizada la fermentación se extraen las levaduras que sedimentan luego se coloca el líquido resultante (cerveza verde) a temperaturas cercanas a 0 °C para que los sabores y aromas se armonicen y las levaduras junto a las proteínas (que se encuentran en suspensión) se ubiquen en el fondo del fermentador, facilitando su remoción. La cerveza verde contiene poco el dióxido de carbono atrapado y su sabor y aroma son inferiores a los de la cerveza madurada. El proceso se llama "*lagering*"" (Almacenada en Alemán) cuando se refiere a las cervezas en las que se realizó una fermentación de baja. En sus inicios ocupaba varias semanas o incluso meses, pero ahora a menudo se completa en una o dos semanas (a veces aún menos). La maduración implica una fermentación secundaria que es efectuada por la pequeña cantidad de levadura que queda en la cerveza cuando se transfiere desde el recipiente de fermentación. Esta levadura puede utilizar los carbohidratos fermentables remanentes en la cerveza al final de la fermentación primaria o pequeñas cantidades de hidrato de carbono fermentable añadidas (azúcar de cebada). El dióxido de carbono que se produce se disuelve en la cerveza gasificándola **(Vogel, 1996)**. Durante la maduración también se lleva a cabo la clarificación de la cerveza por precipitación de complejos de proteínas y polifenoles en frío. Antes del envasado la cerveza es

filtrada. Varios grupos de compuestos cambian su concentración durante la maduración de la cerveza, los más importantes son las dicetonas (especialmente diacetilo), los compuestos azufrados, los aldehídos y los ácidos grasos volátiles. El diacetilo y 2,3- pentanodiona se producen en todas las fermentaciones de cervecería y dan un sabor intenso a caramelo **(Hough, 2011)**. Esto no es deseable en las cervezas lager por lo que su concentración debe ser menor a 0,1 mg/L. Un período de acondicionado caliente (2 ± 3 días a 14 ± 16 °C) es muy eficaz para reducir el diacetilo (descanso de diacetilo). Los compuestos de azufre son importantes en el sabor de la cerveza a pesar de sus concentraciones muy bajas. Generalmente el sulfuro de hidrógeno se reduce luego de 5 a 7 días. Dentro de los aldehídos el más relevante es el acetaldehído, puede ser detectado en concentraciones de aproximadamente 10 mg/L en cerveza tipo Pilsen dando sabor de manzana verde. Es una característica de algunas cervezas ale y se produce por oxidación del etanol que puede ocurrir si la transferencia de la cerveza luego fermentación primaria a la maduración es realizada sin cuidado permitiendo la incorporación de oxígeno **(Araki et al., 1999)**. Durante maduración normal, la concentración de acetaldehído se reduce a 2-7 mg/L. Los ácidos grasos volátiles Temperatura de la cerveza acondicionada son muy importantes en la determinación de la excreción de C4 a C10 ácidos grasos. La síntesis de ácidos grasos de cadena corta por la levadura se detiene en el inicio de la maduración, finalmente estos normalmente se reducen en la maduración aunque esta tendencia se puede revertir si el proceso en cuestión se prolonga demasiado. En tal caso puede haber aumentos en la concentración de ácidos grasos libres debido a la hidrólisis de glicéridos de reserva, con consiguientes efectos adversos en el sabor **(Meilgaard et al., 1995)**.

1.5. CALIDAD DE LA CERVEZA

Según (**Posada, 1995**), la calidad de la cerveza presupone la ausencia de aspectos indeseables los que depende de varios factores que poseen íntima relación con las materias primas utilizadas y con los proceso de elaboración. Dentro de los parámetros más importantes de evaluación de calidad, se encuentra el sabor, espuma, color, grado alcohólico y la turbidez.

1.5.1 Sabor

Es uno de los pilares estructurales de la calidad de la cerveza, existe una amplia gama de sabores característicos de los diferentes estilos. Cualquier anormalidad en este punto es caracterizado como sabores indeseables. En la **Tabla 4** se mencionan los sabores caracterizados por la Sociedad Americana de Químicos Cerveceros.

Tabla 4: *Sabores caracterizados por la* ***(ASBC, 1992).***

Alcohol	Etanol, vinoso, pleno
Astringente	Áspero
Amargo	Agua tónica, quinina
Cuerpo	Pleno: empalagoso, denso, chicle, cremoso, viscoso. Escaso: aguado, sin carácter, apagado.
Quemado	Ahumado, chocolate, licoroso
Carbonatación	Alta: gaseosa, hormigueo, vivacidad Baja: apagada, chata, sin vida.
Carbón	Cartón, Papel, paja, aserrín
Queso	Sudoroso
Vegetales cocidos	Coles
Diacetilo	Caramelo de manteca, mantecoso, toffe
DMS	Jugo de tomates, maíz cocido
Éster	Banana, pera, solvente
Ácido graso	Cera, cebo
Floral	Rosas, lúpulos frescos, flores
Frutado	Cítrico, pomelo, naranja, lima
Granos	Cáscara, harina
Césped	Césped cortado, herbal
Lúpulo	Resinoso, Lúpulo fresco, herbal
Golpe de Luz	Zorrino
Medicinal	Antiséptico, desinfectante
Metálico	Oxidado
Fenolito	Desinfectante
Agrio	Jugo de limón
Sulfhídrico	Huevo podrido
Levadura	Levadura autorizada

1.5.2. Espuma

La formación de espuma es uno de los factores más importantes en la evaluación de calidad que realizan los consumidores, ya que transmite la primera impresión del producto tan pronto es servido un vaso de cerveza. Se puede definir como una dispersión de burbujas de gas en una fase continua, líquida o semisólida, que contiene un agente con actividad de superficie, soluble. Las burbujas de gas están separadas por una fase continua de capas delgadas de líquido denominadas laminillas. Según (**Switowiez; 1977)**, los elementos de la formación de espuma son las proteínas de alto peso molecular derivadas de la malta y las iso-humulonas provenientes del lúpulo.

1.5.3. Color

Existe una gama de colores enmarcados en los diferentes estilos de cerveza que van de excesivamente pálidas, hasta intensamente negras (**Figura 35**).

Figura 35: Existe una gran diversidad de colores según el tipo de cerveza considerado

Esta variedad, se logra mediante la adición de maltas o extractos de maltas que según sea su proceso de obtención aportará la coloración característica. Respecto a la química del color, se han identificado tres reacciones principales. Reacción de Maillard o pardeamiento, la caramelización y la formación de productos de oxidación. La primera corresponde a la fuente más importante para la formación de color por reacción de azúcares y aminoácidos**.** Aunque los productos de la reacción de Maillard son la principal fuente de color de la cerveza, otras fuentes tienen un impacto significativo **(Kunze, 2006)**. La oxidación de los polifenoles es probablemente la segunda fuente más importante de la formación del color en la cerveza. Los polifenoles provienen de las cáscaras de malta y el lúpulo, y pueden reaccionar con el oxígeno para aportar colores rojo-marrones en la cerveza. Si se hierve el lúpulo solo en el agua y no en el mosto durante una hora o un poco más, por lo general se observa este efecto. La investigación cervecera contemporánea en la oxidación del fenol se centra en el envejecimiento y en las propiedades de la turbidez de los productos de la reacción más que en el aporte de color que hacen. Sin embargo, muchas fuentes indican el oscurecimiento del color que acompaña a la oxigenación de los mostos y cervezas en cualquier etapa de la producción, así, la reducción de los niveles de polifenol y las

reducciones en la oxidación del mosto pueden ayudar a reducir la formación de color. Por último, la caramelización es un proceso químico que afecta a los azúcares sometidos a alta temperatura. A diferencia de las melanoidinas los compuestos formados no contienen nitrógeno. La caramelización puede ocurrir durante la ebullición pero de forma limitada en la mayoría de los casos y puede ser acentuada por la forma de la olla de cocción y el método de calentamiento, hervores más prolongados y mostos de mayor densidad.

1.5.4. Grado alcohólico

Cuanto mayor contenido de azúcar presente el mosto más mayor será el grado alcohólico **(Schmidt y Hebbel, 1966)**. Esto a su vez depende demás de tolerancia al alcohol la cepa de levadura utilizada**.** En la **Tabla 5**, se expresa el contenido alcohólico de algunos estilos de cerveza.

Tabla 5: *Características de los tipos más importantes de cerveza a nivel mundial.*

Estilo	**Alcohol (%v/v)**
Pilsen	3,6
Dortmund	4,2
Märzen	4.6
Bock	4-5
Lager	4-4,5
Munich	3,4-4,3

1.5.5 Turbidez

La turbidez es una característica indeseable principalmente en la cerveza industrial **(Siebert et al., 1996)**. Es medida mediante la evaluación de la dispersión de luz. Se mide determinando la luz dispersada luego de atravesar una muestra de cerveza, cuanto más luz sea dispersada, mayor será la turbidez. A veces una cerveza puede contener partículas extremadamente pequeñas que no son fácilmente visibles pero que dispersan luz fuertemente.

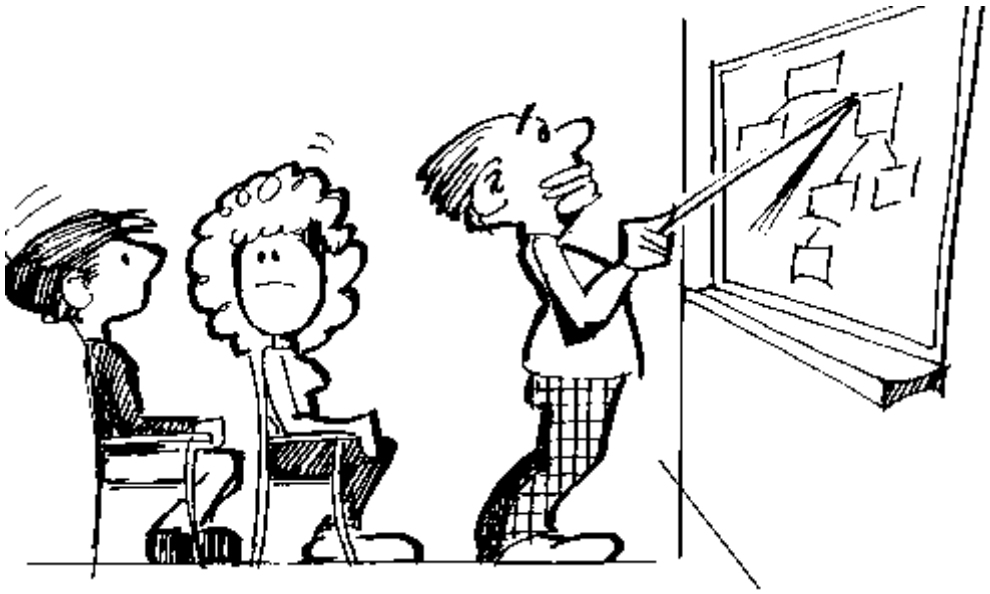
1.5.6 Amargor

Como se mencionó anteriormente el amargor está en buena parte dado por los iso-alfa-ácidos **(Meilgaard y Peppard, 1986)**. Para determinar estos compuestos en el laboratorio puede emplearse la espectrofotometría. Para ello se desgasifica la cerveza (10 mL) se acidifica se extrae con iso-octano (20 mL) y, después de la centrifugación, la absorbancia de la capa de iso-octano se lee a 275 nm. Asimismo puede evaluarse por técnicas de análisis sensorial. Cada tipo de cerveza posee un rango de amargor típico. En la **Tabla 6**, se expresa el amargor (IBU) de los principales estilos de cerveza a nivel mundial.

Tabla 6**: Amargor en los estilos clásicos de cerveza en unidades internacionales de amargor (IBU)* ***(Daniels, 2004).

Estilo	**IBU**
Altbier	25-48
Barley wine	50-100
Bitter	20-35
Bock	20-30
Bohemian Pilsener	30-40
Brown ale americana	25-60
Brown ale inglesa	15-25
California common	35-45
Doppelbock	17-27
Dry stout	30-40
India pale ale (IPA)	40-60
Kolsch	20-30
Marzen	22-28
Mild ale	10-25
Munich	16-25
Pale ale americana (APA)	20-40
Pale ale inglesa (EPA)	20-40
Pilsener alemana	35-45
Porter	20-40
Special inglesa	28-46
Stout dulce	15-25
Strong scotch ale	25-35
Trigo americana	5-17
Weizen	10-15

2. PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN TALLER DE ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL



El curso de Agroindustrias de la carrera de Ing. Agronómica trata el tema Fermentaciones que es sumamente amplio ya que en una sola clase deben verse todos los tipos de procesos de tipo fermentativos empleados en la industria alimentaria. El módulo posee una carga horaria total de 5 horas distribuidas en 2 horas de clase teórico-práctica y 3 de trabajo práctico de laboratorio. En años anteriores se desarrolló como actividad práctica de este módulo un proceso de elaboración de yogurt (fermentación láctica). Las fermentaciones alcohólicas más difundidas en nuestro país son las involucradas en los procesos de elaboración de vino y cerveza. Dado que el curso de Agroindustrias se realiza en el segundo semestre del año resulta difícil contar con insumos para la realización de un trabajo práctico de vinificación. Por el contrario, los insumos necesarios para la elaboración de cerveza pueden disponerse durante todo el año. En ese sentido se propuso como aporte práctico de los conceptos aprendidos de la presente tesis planificar y ejecutar un TP de "Elaboración de cerveza artesanal" para los estudiantes de la cursada 2013.

2.1. TRABAJO PRÁCTICO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

a. Título de la actividad: "Elaboración de cerveza artesanal"

b. Modalidad: Trabajo práctico de laboratorio curso de Agroindustrias

c. Duración: 3 horas

d. Comisiones: 2

e. Alumnos por comisión: 50

f. Objetivos

-Conocer los fundamentos de la fermentación alcohólica

-Comprender los principales aspectos a considerar en el proceso de transformación de malta en cerveza

-Adquirir habilidades las operaciones necesarias para realizar y controlar procesos de fermentación

g. Operaciones a realizar y conceptos a tratar en el TP

i) Reconocimiento de insumos de cervecería (levadura y lúpulo formas de presentación, forma apropiada de conservación)

ii) Identificación de distintos tipos de malta (maltas base, y maltas especiales)

iii) Repaso del proceso de elaboración de cerveza: Molienda, Maceración, filtrado (recirculado), hervido, fermentación, carbonatación artificial y natural.

iv) Finalización de un proceso de maceración (iniciado previamente) y realización del recirculado de mosto por parte de los alumnos.

v) Inicio de la cocción de un mosto. Discusión de la importancia de esta etapa. Los alumnos realizarán el control del proceso empleando densímetro para evaluar la necesidad de dilución y termómetro para realizar el ajuste necesario a esa medida.

vi) Fermentación: Se tratarán los aspectos prácticos para el control del desarrollo y actividad de las levaduras. Se discutirá sobre las levaduras de fermentación alta y baja. Los alumnos realizarán el enfriamiento en contracorriente de un mosto para poder dar inicio a la fermentación con la adición de levaduras.

vii) Se discutirá sobre la importancia y forma de maduración y acondicionamiento de cerveza.

h. Programación de actividades

Previo al inicio de la clase, se iniciará una maceración colocando malta y agua en relación 3/1. El agua estará a 65 °C inicialmente y luego se hará un escalonamiento térmico hasta 75 °C, esto permitirá la sacarificación necesaria para la posterior fermentación. Debido a que el proceso de maceración tiene un periodo de duración mayor al de la clase, resulta necesario iniciarla una hora antes de que los alumnos ingresen al TP. Al comienzo del mismo se dará una breve introducción teórica de aproximadamente 15 minutos, en la que serán presentados los objetivos de la actividad y se hará un repaso general del proceso de elaboración de cerveza. Allí se presentarán los insumos necesarios. Luego de concluir la teoría los alumnos reconocerán los diferentes tipos de malta así como la forma de presentación del a levadura y lúpulo empleados. Posteriormente se invitará a los alumnos a realizar la etapa de recirculado de un mosto macerado. Mientras esto ocurre se discutirán los fundamentos y objetivos de esta etapa. Los alumnos podrán luego medir la densidad y temperatura del macerado y darán inicio a la etapa de cocción. Dado que la cocción requiere una hora se contará con un mosto ya cocido que los alumnos enfriarán empleando un intercambiador en contracorriente. Finalmente darán inicio a la etapa de fermentación. En los últimos minutos de la clase se procederá a discutir sobre la maduración y acondicionamiento de la cerveza así como sobre otros aspectos que los alumnos crean de interés. La clase se cerrará repasando los conceptos más importantes. Los alumnos serán invitados a concurrir a la cátedra para observar el proceso de fermentación que se extiende por 7 días.

i. Materiales necesarios

-Proyector

-Olla de 20 Litros

-Enfriador contra corriente

-Densímetro de 1000 a 1100 g/cm^3

-Probeta de 250 m mLl.

-Agitador (Sparkling)

-Manguera de 3/8

-Caño de aluminio 3/8

-Termómetro

Dado que se plantea la realización en 2 comisiones diferentes se prepararán 2 estilos de cerveza diferentes: Irish Red y Porter. Los insumos necesarios para cada uno de las cervezas se detallan a continuación

Cerveza Porter

3 Kg Malta Pilsen.

0,4 Kg Malta caramelo 120.

20 g Lúpulo Cascade.

10 g Levadura Nottingham.

Cerveza Irish Red

3 Kg Malta Pilsen.

0,3 Kg Malta caramelo 30.

0,35 Kg Malta caramelo 60.

22 g Cascade.

10 g Levadura Nottingham.

3. CAMBIOS DURANTE EL AUMENTO DE ESCALA DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

En el año 2010 inicié la producción de cerveza artesanal como una actividad de esparcimiento no orientada hacia la producción con fines comerciales. A medida que me fui involucrando en el conocimiento del "mundo de la cerveza" fue tomando interés la idea de desarrollar esta actividad como una actividad profesional luego de la finalización de mi carrera de grado. Las condiciones de elaboración para fines comerciales difieren lógicamente de aquellas necesarias cuando se elabora un producto para consumo propio. Tanto en el equipamiento necesario, en el cuidado y control que debe tenerse en los procesos debe modificarse de modo de poder obtener un alimento inocuo y de calidad elevada y constante. Asimismo existen importantes modificaciones cuando se aumenta la escala en los procesos y las operaciones específicas no resultan de una simple multiplicación de lo que se realiza con pequeños volúmenes. El simple aumento de la cantidad de grano a procesar implica modificaciones en los equipos de molienda. El calentamiento y enfriamiento de grandes volúmenes requiere del empleo de intercambiadores de calor con características diferentes, el movimiento del fluido no puede realizarse en forma manual en forma eficiente, la fermentación requiere de la instalación de sistemas específicos de control y la limpieza de los equipos requiere de dispositivos adaptados. En tal sentido, se inició un proceso de mejora y aumento de escala de la producción. En la presente sección se describe las modificaciones que fueron realizadas al pasar de una escala de producción de 10-20 L a 200 L por "*batch*". Asimismo se mencionan las mejoras desde el punto de visto técnico obtenido con cada modificación.

3.1. MOLIENDA

La molienda inicialmente se realizaba con una licuadora de uso doméstico. Esto lógicamente resulta inapropiado para la elaboración de volúmenes de 200 litros de cerveza. Se incorporó un molino basado en un tornillo sinfín (**Figura 36**). El molino permitió aumentar la capacidad de molienda 2-3 kg por hora a 150 kg por hora. En la molienda con tornillo sinfín la ruptura de los grano es más equilibrada. Una molienda apropiada debiera tener 30% de harina 30% de cáscara, 30% de grano fino y 10% de grano grueso. De esta manera las cáscaras intactas obtenidas por una molienda por compresión más que

A

B

Figura 36: *A: Molienda mecánica con motor eléctrico con tornillo sinfin. B Distribución de partículas en malta molida.*

por cizalla favorecen la separación del caldo en el proceso de recirculación resultando en mostos con menor turbidez y en un buen balance entre rendimiento, uniformidad y facilidad de filtrado.

3. 2. MACERACIÓN

El sistema de elaboración Herms (**Figura 37**) está constituido por tres ollas y un equipo de cocción, que permiten llevar a cabo la maceración y cocción sin fuego directo. La olla ubicada a la izquierda sobre-elevada respecto a las dos restantes es la de licor que provee agua caliente para el macerado. Posee en su interior un serpentín el que se utiliza para el control de temperatura. La olla central, está térmicamente aislada y es en la que se realiza la maceración; la regulación de temperatura para el proceso, se obtiene haciendo pasar el mosto por el interior del serpentín de la olla de licor que tiene agua a mayor temperatura. La cocción por su parte de realiza en la tercer olla dinamizando el proceso. La maceración a fuego directo como se realizaba anteriormente era poco práctica y difícil de controlar con un volumen tan elevado. De este modo los sobrecalentamientos eran más factibles favoreciendo la caramelización de azúcares y la extracción de taninos de las cáscaras. Mediante el sistema de maceración incorporado se pudo obtener mayor homogeneidad de temperatura evitando la inactivación de enzimas por sobre-calentamiento localizado. Asimismo es factible procesar volúmenes 5 veces superiores a los anteriores en el mismo período de tiempo.

Figura 37: *Sistema de maceración Herns.*

3.3 ENFRIAMIENTO

El rápido enfriamiento del mosto después de la cocción puede mejorar significativamente la calidad de la cerveza. Algunas de las ventajas son:

- Reduce el riesgo de infección :- el mosto es vulnerable a la infección bacteriana cuando está debido a que es rico en nutrientes. En tal sentido el enfriamiento rápido y la inmediata iniciación de la fermentación permiten minimizar los riesgos de contaminaciones.
- Mejora de la claridad: - Al enfriar el mosto rápidamente, muchas de las proteínas y taninos se insolubilizan. De este modo se logran cervezas con menor turbidez.

• Disminuye los niveles de ciertos compuestos indeseables: La formación de compuestos volátiles- dimetil-sulfuro (DMS), que da la cerveza un a maíz dulce se reduce si se enfría rápidamente el mosto luego de la cocción. El enfriamiento con intercambiadores tubulares en contra-corriente permite enfriar el mosto con cierta rapidez pero esto no es suficiente en algunos casos. Para aumentar la eficiencia de intercambio de calor en líquidos no particulados pueden emplearse intercambiadores de placas (**Figura 38**). Los mismos consisten en una serie de placas con juntas que están fijadas a un bastidor. Los fluidos entran en el intercambiador de calor de placas y circulan en contra-corriente con el agua o fluido de refrigeración. Los Intercambiadores de placas poseen flexibilidad, facilidad de mantenimiento y alta eficiencia térmica. Las placas cuentan con ondulaciones que permiten que el flujo sea turbulento, permitiendo los valores más altos de transferencia de calor. La incorporación del intercambiador de placa se permitió reducir el tiempo de enfriado del mosto hasta 30 °C de 1,5 horas con un intercambiador tubular a 25 minutos.

A

B

Figura 38: *A: Enfriador tubular. B: Enfriador de placas.*

3.4. FERMENTACIÓN Y MADURACIÓN

Inicialmente la fermentación se realizaba a temperatura ambiente en bidones de plástico de 20 litros. La duración de esta etapa, era condicionada por la temperatura del ambiente, cuanto mayor es la temperatura más rápido es el metabolismo y por ende la fermentación. Finalizada la fermentación, mediante sifón, la cerveza verde o joven se trasladaba a otro bidón plástico y se ubicaba en la heladera.

Hoy en día, la fermentación y madurado se llevan a cabo en el mismo recipiente controlando la temperatura. El fermentador, está constituido por dos tanques tronco cónicos dotados de un serpentín interno. Por el espiral, circula agua fría, proveniente del banco de refrigeración, (**Figura 39**) con lo cual se logra controlar la temperatura que tiende a incrementarse por tratarse de un proceso exotérmico. Estos fermentadores son versátiles ya que permiten realizar el madurado de la cerveza *in situ*, es decir, luego de la fermentación se extraen las levaduras floculadas y al disminuir la temperatura, se da inicio al madurado.

La incorporación de estos equipos permite:

Disminuir los procesos oxidativos: La oxidación es una reacción indeseada en la elaboración de la cerveza, ocurre cuando el líquido se pone en contacto con el oxígeno del aire en la cerveza y otorga un "*flavor*" característico como a cartón, papel o rancio.

Facilita la remoción de levaduras : Los fermentadores en la base del cono, poseen una canilla que permite extraer las levaduras y disminuyendo la temperatura a 2 ºC permiten pasar del proceso fermentativo al madurado.

A

B

Figura 39: *A: Fermentador troncocónico. B: Sistema de fermentación con enfriamiento con banco de agua y serpentín.*

3.5. CONTROL DE FACTORES DE PROCESO (TEMPERATURA, AZÚCARES)

En la transición hacia la producción comercial se incorporaron instrumentos de medición para controlar el proceso de mejor manera. En todos los procesos de elaboración de la cerveza es de gran importancia tener controlada la temperatura, en especial en la maceración y fermentación. Si se macera a más de 65 °C, resulta una cerveza menos alcohólica pero con mayor cuerpo. Si se macera a menos de 65 °C se obtendrá una cerveza con menos cuerpo pero con mayor grado alcohólico. En la fermentación el control de la temperatura también es fundamental. El metabolismo de las levaduras genera calor y con este aumento se producen sabores y aromas indeseados.

Los termómetros de vidrio resultan frágiles y en general se trasladan en cada medición. Para minimizar rupturas que pueden generar riesgos físicos en el producto se incorporaron termómetros bimetálicos fijos. (**Figura 40A**), que no presentan esa fragilidad y son más prácticos puesto que se encuentran fijos a la olla y fermentadores.

El control de densidad o sólidos solubles es importante para conocer los volúmenes de agua a adicionar

B

Figura 40: *A: Termómetro bi-métalico. B: Refráctometro*

en diferentes etapas. El densímetro resulta frágil y las lecturas no son instantáneas, ya que, debe enfriarse el mosto para una correcta medición. El refractómetro auto-compensado (**Figura 40 B**), permite realizar mediciones instantáneas utilizando solo una gota y permite tomar mediciones del mosto con facilidad y practicidad.

3.6. GASIFICACIÓN Y EMBOTELLADO

Para la producción a pequeña escala la gasificación del producto se realizaba mediante el agregado de azúcar fermentable en la fase de embotellado. De este modo luego del tapado se colocaba a las botellas a 18-20 ºC por 1-2 semanas durante las cuales la levadura residual metabolizara a los carbohidratos generando CO_2. Con esta técnica resulta complejo generar la gasificación justa, ya que esta depende del contenido de azúcar adicionado y de la cantidad de levaduras en suspensión. Asimismo por tratarse de un proceso biológico puede ser afectado por numerosas variables. Otro aspecto negativo de esta forma de gasificación es que finalizada la fermentación secundaria, las botellas presentan sedimentos que provienen de la floculación de levaduras. A fin de mejorar el proceso de gasificación se compraron tubos de CO_2 comprimido que pueden ser directamente introducidos en los tanques de almacenaje.

Figura 41: *Embotellado contrapresión*

Hoy en día se adiciona gas de manera artificial (**Figura 41**) y esto permite lograr la gasificación deseada, además de obtener un producto sin sedimento lo que permite mejorar la estética y vida útil de la cerveza.

3.7. SANITIZACIÓN

La limpieza y desinfección es crucial en la producción de cerveza. El mosto es rico en hidratos de carbono, aminoácidos y proteínas, con lo cual resulta ser un medio de cultivo ideal para muchos microorganismos.

El sistema CIP (las siglas en Ingles de limpieza en el lugar) permite realizar las desinfecciones *in situ*, es decir mediante la conexión de un sistema de bombeo, se consigue higienizar los equipos haciendo recircular un bajo volumen de desinfectante.

A

Figura 42: *Terminal de limpieza en sitio (CIP).*

Cuenta con una bomba que se conecta a la salida del fermentador con solución desinfectante y luego de su puesta en marcha, asperja el líquido al pasar por una bocha CIP **(Figura 42)**

3.8. DISEÑO DE MARCA

No sólo se perfeccionaron aspectos técnicos que posibilitaron mejorar la calidad de la cerveza propiamente dicha sino también se desarrolló la estética y presentación del producto. Se denominó a la marca Barfüss (descalzo en Alemán). La misma se encuentra en registro. El envasado y etiquetado actual es más acorde al mercado actual **(Figura 43)**.

A

B

Figura 43: *A: Primer diseño y apariencia de la marca Barfüss. B. Diseño y apariencia actual de Barfüss.*

4. EVALUACION SENSORIAL DE LA CERVEZA BARFÜSS: INFLUENCIA DE FACTORES DE PROCESO Y COMPARACION CON TIPOS COMERCIALES

4.1. INTRODUCCION

4.1.1. ANÁLISIS SENSORIAL DE ALIMENTOS

La evaluación sensorial de alimentos permite medir, analizar e interpretar reacciones a aquellas características de los alimentos y de los materiales cuando son percibidos por los sentidos de la vista, oído, gusto y tacto. (**IFT, 1981**). En otras palabras los panelistas permiten obtener información sobre las cervezas de interés.

Las pruebas sensoriales se aplican a las siguientes funciones:

. Desarrollo y reformulación de productos.

. Reducción de costos de producción.

. Seguimiento de los productos con respecto a la competencia.

. Control de calidad y aseguramiento de la calidad.

. Especificación de materias primas.

. Especificación sensorial de un producto.

. Estabilidad en el almacenamiento.

4.1.2. EVALUACION SENSORIAL DE LA CERVEZA

La evaluación sensorial de la cerveza se basa en la determinación en forma secuencial de la de la apariencia, aroma, gusto y sensación en boca

a. Apariencia:

La apariencia de una cerveza viene definida por la ***transparencia*** (cervezas claras y brillantes, y cervezas turbias); **e*l color***; la ***presencia de burbujas***, las ***características de la espuma*** **(Figura 44)**

Figura 44: *Apariencia de la cerveza*

b. Aroma

Es la fragancia del alimento que permite la estimulación del sentido del olfato y permite identificar materiales tanto de dentro como de fuera de la boca. Los humanos somos capaces de percibir e identificar miles de aromas y, además, somos capaces de diferenciarlos y recordarlos de forma muy diferente a otros sistemas de memoria que poseemos.

El sentido del olfato se ubica en el epitelio olfatorio de la nariz. Está constituido por células olfatorias ciliadas, las que constituyen los receptores olfatorios. Es un órgano versátil, con gran poder de discriminación y sensibilidad.

c. Sensación en boca y gusto:

El gusto se percibe principalmente en la lengua y cavidad bucal. Se definen cuatro sensaciones básicas: ácido, salado, dulce y amargo.

Los cuatro gustos básicos son registrados por diferentes células gustativas, distribuidas desigualmente en la lengua. Los receptores del gusto dulce están en la punta, los receptores del salado en los bordes anteriores, los del ácido en los costados y los del amargo en el fondo de la lengua, en la V lingual (**Moncrieff, 1951**) (**Figura 45**). De todos modos la percepción es también influenciada por la estimulación simultánea de propiedades físicas como la presión, calor, frío y fisiológicas como el dolor a través del nervio trigémino. Un ejemplo clásico es la sensación que se produce cuando sumergimos la punta de la lengua en una bebida de cola y resulta que, transcurridos unos minutos, el olor es muy intenso e insoportable.

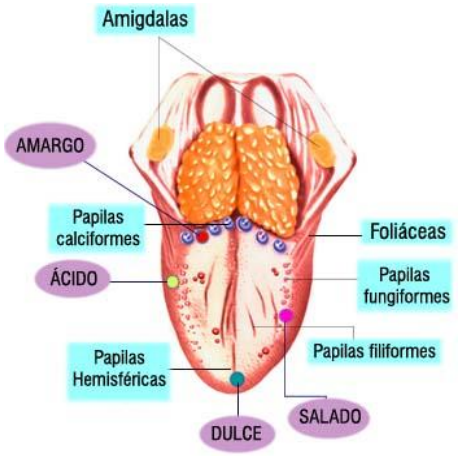


Figura 45: *Los receptores del gusto.*

4.1.3. TIPOS DE PANELES Y EVALUACIONES SENSORIALES MÁS COMUNES

a. Test descriptivo

Es una metodología sofisticada si se compara con los métodos *discriminación* y de *preferencia*. Los resultados comprenden una descripción completa de los productos y proveen la base para determinar las características sensoriales que son importantes para la aceptabilidad; también sirve para relacionar como variables de proceso resultan en cambios puntuales en las características sensoriales. Este Test puede ser empleado para monitorear a la competencia. realizar pruebas de almacenamiento, desarrollar nuevos productos, controlar la calidad y establecer relaciones entre pruebas instrumentales y propiedades sensoriales.

b. Test de comparación de a pares

Esta prueba se emplea cuando se quiere determinar de qué manera un atributo sensorial difiere entre dos muestras (por ejemplo: más dulce o menos dulce). Por este motivo también se lo conoce como Prueba de diferencia direccional. Es una de las pruebas más simples y más usadas. Se puede emplear como primera prueba para determinar si se requiere alguna otra más sofisticada.

c. Test triangular

Este se emplea cuando se busca determinar si existe diferencia sensorial entre dos productos y evaluar y comparar dos lotes, los consumidores no saben cuál es la combinación de las muestras que reciben y tienen que determinar cuales dos de las tres muestras que reciben son iguales entre sí y, por lo

tanto cual es la diferente y no se aceptan respuesta como tres iguales o tres desiguales. Tiene uso limitado en aquellos productos que produzcan fatiga, persistencia o adaptación sensorial

d. Test de dúo-trío

En este test se le entregan a los consumidores 3 muestras: primero se da un estándar conocido y en seguida se presentan 2 muestras desconocidas, y este tiene que decir cuál de las dos muestras es igual al estándar que se entregó primero. Es estadísticamente ineficiente si se la compra con la del triángulo, porque la posibilidad de obtener un resultado correcto por azar es de 1 en 2. Pero esta prueba es sencilla y fácil de comprender. Si se la compara con la prueba de comparación de a pares tiene la ventaja que al presentar una muestra de referencia, evita confusiones con respecto a qué constituye la diferencia, pero la desventaja es que se deben probar tres muestras en lugar de dos.

e. Test de diferencia con un control

El evaluador debe evaluar cada muestra contra el control y especificar el grado de diferencia del atributo frente al mismo. Es importante porque permite medir la diferencia global, o medir la diferencia por atributo y también provee información acerca de la magnitud de la diferencia. Esta prueba es útil en situaciones en que la diferencia es detectable, pero donde le tamaño de la diferencia puede afectar las decisiones a tomar.

f. Test de preferencia

Esta prueba consiste en entregar dos muestras a un consumidor. Este debe de contestar una sola pregunta ¿Qué muestra prefiere? Si la prueba es forzada la pregunta puede ser del tipo ¿Cuál de las dos muestras es la más dulce? Usando esta pregunta solo va a ver una posible respuesta correcta. Se utiliza este método cuando el objetivo es comparar la preferencia de más de dos muestras. También se utiliza como prueba de discriminación cuando se quiere ordenar una serie de muestras según un atributo, por ejemplo dulzor o dureza. Es un método sencillo y de fácil comprensión por parte de los consumidores. La desventaja es que muestras contiguas que son muy diferentes entre sí, al igual que las que son muy similares, están separadas por una unidad de ordenamiento.

g. Test de aceptabilidad por atributos

Se presentan muestras codificadas con número al aleatorio y los consumidores deben evaluar la preferencia ya sea global o por atributos.En estudios con consumidores, muchas veces se busca saber el porqué de una preferencia o rechazo hacia un producto mediante el empleo de preguntas dirigidas a atributos particulares y se utiliza una escala hedónica para medir la aceptabilidad de distintos atributos

4.1.4. ASPECTOS FISICOS Y QUIMICOS DEL SABOR DE LA CERVEZA

Si bien la cerveza, es un producto muy complejo con más de 800 compuestos que contribuyen a su característico sabor (**Meilgaard y Peppard, 1986**) algunos de sus principales atributos son su nota alcohólica asociada con la presencia de etanol, la efervescencia relacionada con el dióxido de carbono y el amargor al cual contribuye en buena parte el lúpulo (*Humulus lupulus L.*). Si bien a principios de la edad media se adicionaba "grut" para otorgar sabor y aroma con posterioridad este componente se sustituyó por el lúpulo (**Vogel, 1996**). Hoy el lúpulo cumple un rol fundamental y es irremplazable en la producción de cerveza. Otros aspectos favorables más allá del aporte de amargor y aroma del uso del lúpulo incluyen la protección ante contaminación microbiana, el aumento de la clarificación, la mayor estabilidad de la espuma (**Verzele y De Keukeleire, 1991**). En lo que a color respecta si bien no aporta tonalidad, precipita las proteínas en suspensión y eso otorga al producto mayor pureza al color. Tres componentes de importancia presentes en la lupulina incluyen a la co-humulona, la humulona y la ad-humulona. Estos son conocidos como alfa-ácidos que luego de una isomerización inducida por el tratamientos térmico se transforman en iso-alfa-ácidos (**Briggs., 2004**). Al ser solubles en agua, los iso-alfa-ácidos (los alfa-ácidos no lo son), aumentan la concentración de componentes amargos en el proceso de elaboración de la cerveza. Por tal motivo es sumamente importante que se logre una isomerización eficiente para lograr el amargor deseado (**Jacobsen et al., 1989**).

Como se mencionó anteriormente el tenor amargo de la cerveza se mide en unidades internacionales de amargor (IBU; del inglés: International Bitterness Units) que son una medida de concentración de los iso-alfa-ácidos en partes por millón. A modo de ejemplo, las cervezas lager americanas, poseen de 8 a 12 IBUs mientras que las Pale Ale inglesas se encuentran alrededor de los 45 (**Palmer, 1996**). Las cervecerías industriales de gran escala poseen laboratorios en los cuales mediante cromatografía logran determinar la cantidad exacta de lúpulo que se debe agregar para lograr la misma cantidad de iso-alfa-ácidos y por ende producir cervezas iguales en cada cocción. (**De Cooman et al., 2000**). En la cervecería artesanal se emplean fórmulas para calcular el agregado del lúpulo.

FACTORES DEL COMPLEJIZAN EL USO DEL LÚPULO

a. Efecto de la matriz en el amargor: La densidad de la cerveza puede tener influencia en el grado de amargor. Las cervezas más densas suelen ser más dulces por aumento de azúcar disuelto por lo que si se desea mantener el amargor es necesario realizar un mayor agregado de lúpulo.

b. Pérdidas durante la elaboración: Algunas reacciones de los iso-alfa-ácidos con las proteínas durante la cocción o la, adsorción por parte de las levaduras en la fermentación puede provocar pérdidas la pérdida de iso-alfa-ácidos en el proceso de elaboración. En la cocción, los isómeros reaccionan con proteínas precipitándolas En parte(**Verzele y De Keukeleire, 1991**).

c. Efecto del momento de agregado: El momento en el cual se coloca el lúpulo es se considera según la literatura muy importante (**Briggs, 2004**). Como se mencionó anteriormente los aceites esenciales y polifenoles aportarán sabores y aromas característicos pero pueden volatilizarse luego de un prolongado hervor. Por lo tanto el momento de agregado resulta importante en la determinación del balance entre amargor y aroma. Si bien en términos generales y a partir de lo descrito en la literatura (**Briggs, 2004**) es dable esperar que el agregado de lúpulo a inicios de hervor genere una cerveza amarga pero con menos aroma y que el agregado al final de la cocción resulte en cervezas con poco amargor y mucho aroma esto depende de la cerveza y del tipo de lúpulo. (**Vogel, 1996**). A fin de evaluar esta variable en la cerveza Barfüss se decidió en un primer ensayo determinar la influencia del momento de agregado de lúpulo sobre la calidad de la cerveza. Como último objetivo del trabajo de tesis se decidió determinar sensorialmente la aceptabilidad de la cerveza Barfüss realizada respecto a otras cervezas similares ya comerciales y de amplia distribución en el mercado.

4.2 MATERIALES Y METODOS

4.2.1. Elaboración de cerveza

Se molieron 8 kg de malta Pilsen, 600 g de malta caramelo 60 y 400 g de malta caramelo 120 en un molino de rodillos. Se adicionaron 38 litros de agua a 65 ºC y la mezcla se incubó a dicha temperatura durante 90 minutos. Finalizado dicho período se recirculo el mosto extrayendo líquido de la parte inferior de la olla de maceración y colocándolo en forma de lluvia en la parte superior. La recirculación se realizó durante aproximadamente 20 minutos y se obtuvieron 30 L mosto con una densidad de 1,080 g cm^{-3}. Posteriormente los granos se lavaron con 10 litros de agua a 70 ºC con el fin de extraer el azúcar residual. El líquido de lavado se unificó con el mosto concentrado, obteniendo de esta forma 40 litros de mosto con una densidad de 1,045 g cm^{-3}. El mosto se colocó sobre el fuego hasta romper hervor, momento en el cual, se dividió a la mitad en dos ollas de 20 L. Lo tratamientos realizados difirieron en el momento de argado de lúpulo durante la cocción:

Tratamiento A: Al inicio del proceso de cocción de mosto

Tratamiento B: Luego de 20 minuto del inicio del cocción del mosto.

Se empleó lúpulo Cascade y la adición total fue de 20 g. La cocción se extendió en ambos casos por 1 hora y faltando 10 minutos para concluir la cocción, se agregaron 2 gramos de clarificante (Irish moss) previamente hidratado en 50 mL de agua. El mosto se enfrió con un intercambiador tubular en contra-corriente en 10 minutos hasta llegar a los 20 °C: Posteriormente se adicionó 1 g de levadura Nottingham por litro de mosto. El líquido resultante se colocó en tanques de plástico de 20 L lavados y desinfectados con etanol 70%, se le colocó un air-lock (trampa de aire) para permitir la salida del CO_2 evitando la entrada de aire y posibles contaminaciones. La fermentación se llevó a cabo a 18-20 ºC por

7 d. Luego se realizó un trasvase a envases plásticos para eliminar los residuos y se colocó a una temperatura de 4 °C por 10 días. La cerveza se embotelló y tapó previo agregado de 5 g de azúcar por litro en forma de almíbar para la segunda fermentación y consecuente gasificación. Para esto las botellas se almacenaron por 2-3 semanas a 20 °C hasta su análisis.

4.2.2. Ensayo de evaluación sensorial de cervezas elaboradas realizando el agregado de lúpulo en diferentes momentos

Se determinó la aceptabilidad global de la cerveza y también la aceptabilidad por atributos (Color, sabor, y textura). Se empleó una escala hedónica de 9 puntos. La muestra se colocó en vasos con 40 mL y se sirvieron a 7 °C y ordenadas aleatoriamente.. La evaluación fue realizada por 72 consumidores. A continuación se muestra una planilla tipo de las evaluaciones realizadas

EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD POR ATRIBUTOS

Fecha: _____ Nombre: _____ Evaluador Nº: _____

Ud. recibirá cuatro (2) muestras de Cerveza. Por favor, evalúe, la aceptabilidad de cada atributo. Marque con una cruz la casilla correspondiente. Evalúe todos los atributos de la primera muestra, y luego pase a la siguiente, ubicada a la derecha de la anterior.

MUESTRA Nº: _____

	Me disgusta Mucho				Me es indiferente				Me gusta mucho
Color	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sabor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Textura	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Aceptabilidad general	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

MUESTRA Nº: _____

	Me disgusta Mucho				Me es indiferente				Me gusta mucho
Color	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sabor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Textura	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Aceptabilidad general	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

4.2.3. Evaluación de la apreferencia de la cerveza elaborada por un panel de consumidores en comparación con tipos comerciales

Se realizó un ensayo de ordenamiento por preferencia. Se presentó a Barfüsss junto con otras dos cervezas artesanales que se comercializan localmente: una llamada Gülmen que se fabrica en Viedma, Río Negro desde el 2002 tiene una participación en ventas a nivel nacional y otra denominada comercialmente Nonthue que es e producida desde el 2002 en Berisso y tiene un participación en el mercado de las cervezas artesanales regional. Con la siguiente planilla se pidió que se hiciera el ordenamiento de preferencia de las cervezas.

PRUEBA DE ORDENAMIENTO POR PREFERENCIA

NOMBRE:
CONSUMIDOR Nº: FECHA: …../……./…….

Ud. recibirá 3 muestras de distintas Cervezas Artesanales "Roja". Por favor ordénelas según el orden de preferencia escribiendo el número de la muestra que más le gusta a la izquierda siguiendo hacia la derecha con las que le gustan menos.

COLOR: Mire una cerveza y según su color responda:

.....	…….	…….
Gusta más		Gusta menos

En relación al a que más le gusta escriba el por qué:…….

SABOR: Pruebe las cervezas una por una con el intervalo de la galleta sin sal y responda:

.....	…….	…….
Gusta más		Gusta menos

En relación al a que más le gusta escriba el por qué:…….

TEXTURA: Mientras toma la cerveza, evalúe el cuerpo, espuma, y responda:

.....	…….	…….
Gusta más		Gusta menos

En relación al a que más le gusta escriba el por qué:…….

PREFERENCIA GLOBAL: Teniendo en cuenta todo lo anterior responda:

.....	…….	…….
Gusta más		Gusta menos

En relación al a que más le gusta escriba el por qué:…….

4.2.4. Análisis estadístico

A partir de los datos obtenidos se calcularon las medias para cada atributo y se realizó un análisis estadísticos Los datos se analizaron por medio de ANOVA y las medias se compararon con un test de Fisher a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. INFLUENCIA DEL MOMENTO DE AGREGADO DE LÚPULO SOBRE LA CALIDAD SENSORIAL DE LA CERVEZA

Para todos los atributos evaluados (color, sabor, textura y aceptación general) se observó a partir de la selección de valores elevados de la escala que la cerveza tuvo buena aceptabilidad por parte de los consumidores (**Figura 46**). El momento de agregado del lúpulo en las condiciones presentes de elaboración no provocó diferencias en la aceptabilidad del sabor de la cerveza a diferencia de lo que hubiera sido esperado en función de lo descrito en la literatura (**Briggs, 2004**). Esto no necesariamente implica que ambas cervezas presentaron el mismo sabor sino que es posible que hubieran existido

diferentes sabores pero que fueron igualmente aceptados a la hora del consumo. Para determinar si este fue el caso resultaría necesario un ensayo que permitirá discriminar las dos muestras en función de su amargor por ejemplo mediante un test de preferencia evaluando solo el atributo de amargor. El hecho que los consumidores encuentren igual aceptabilidad del producto en ambos tratamientos es lo más relevante en términos comerciales. Por cierto es también posible que la falta de diferencias en la aceptabilidad entre los tratamientos A y B se haya debido a que se alcanzaron similares concentraciones finales de alfa-ácidos con 40 y 60 minutos de hervor. Esto podría determinarse mediante el análisis de alfa-ácidos en el producto por vía química. En tal caso ausencia de diferencias podría atribuirse a múltiples causas puesto que se dijo anteriormente la concentración de iso-alfa-ácidos en la cerveza es afectada por numerosos factores. Así, por ejemplo, podrían isomerizarse y solubilizarse similares niveles de alfa-ácidos con 40 y 60 minutos de hervor. Otra alternativa podría ser que se liberen más alfa-ácidos en el tratamiento A pero luego estos podrían también haber sufrido mayores pérdidas en reacciones degradativas y/o procesos físico-químicos dependientes de la concentración de sustrato. Algunos de estos procesos de pérdida podrían incluir la precipitación con proteínas, la degradación, la adsorción a levaduras. El análisis de estos aspectos más detallados requeriría más estudios y excede los objetivos de la presente tesis. A pesar de esto los resultados muestran inequívocamente que el momento de agregado de lúpulo (al menos con 40 min de hervor) no posee un efecto significativo en la aceptabilidad del sabor o global del producto. Los otros atributos de calidad color y textura tampoco fueron afectados por el momento de agregado de lúpulo en forma significativa (**Figura 46**). Si bien la vinculación del lúpulo con estor atributos de calidad es menos directa que con el sabor, su evaluación se realizó debido a que los iso-alfa-ácidos al precipitar proteínas podrían también tener influencia en la clarificación y remoción de proteínas que contribuyen al cuerpo. Al igual que para el sabor el color y la textura de la cerveza Barfüss elaborada no fueron afectados en forma significativa por el agregado de lúpulo al inicio o a los 20 min de la cocción.

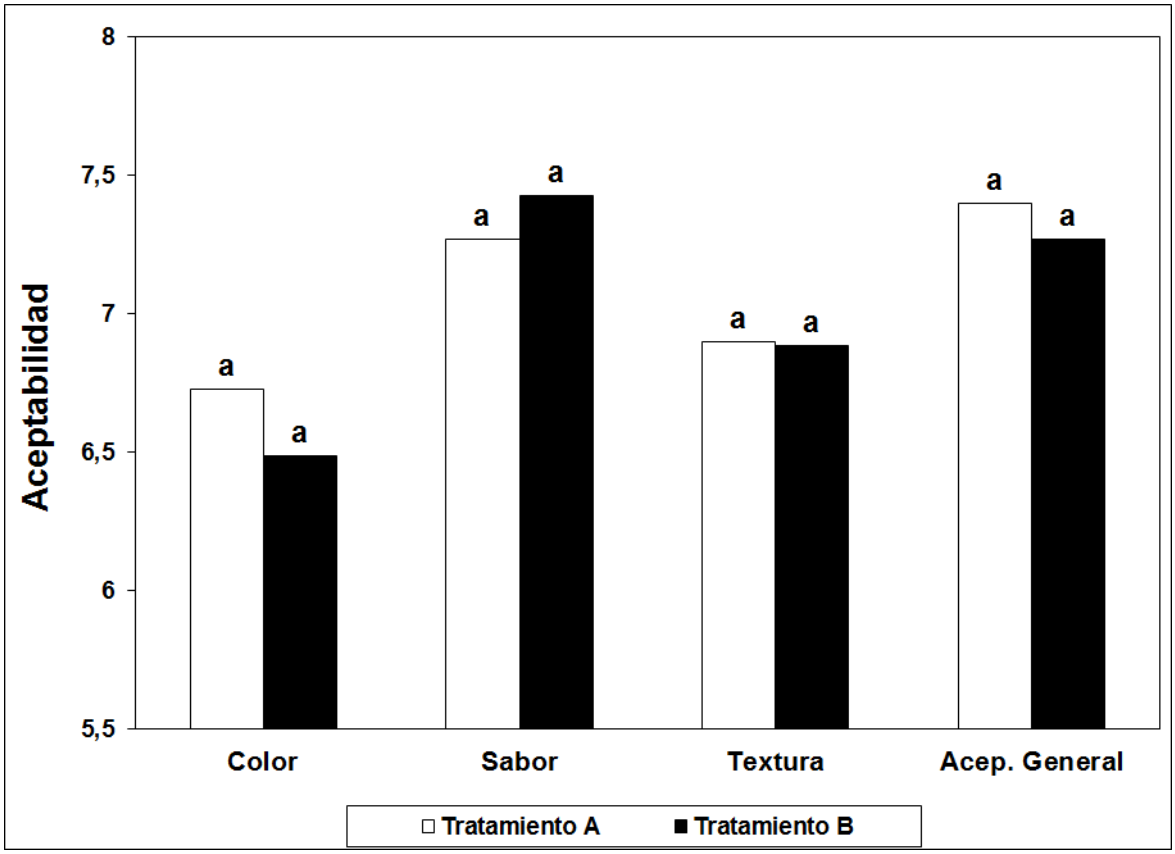


Figura 46: *Aceptabilidad de la cerveza por atributos.*

4.3.2. PREFERENCIA DE BARFÜSS RESPECTO A OTRAS MARCAS COMERCIALES

En un segundo grupo de ensayos se evaluó la preferencia de la cerveza Bärfuss elaborada en el marco de la presente tesis respecto a dos cervezas del mismo estilo (roja y artesanal). Los resultaros hallados fueron muy positivos. En primer término la cerveza Bärfuss supero (seleccionada con más frecuencia en primer lugar) a la cerveza Gülmen un producto con varios años de permanencia en el mercado (**Figura 47**). Barfüss mostro similar preferencia en todos los atributos que Nonthue.

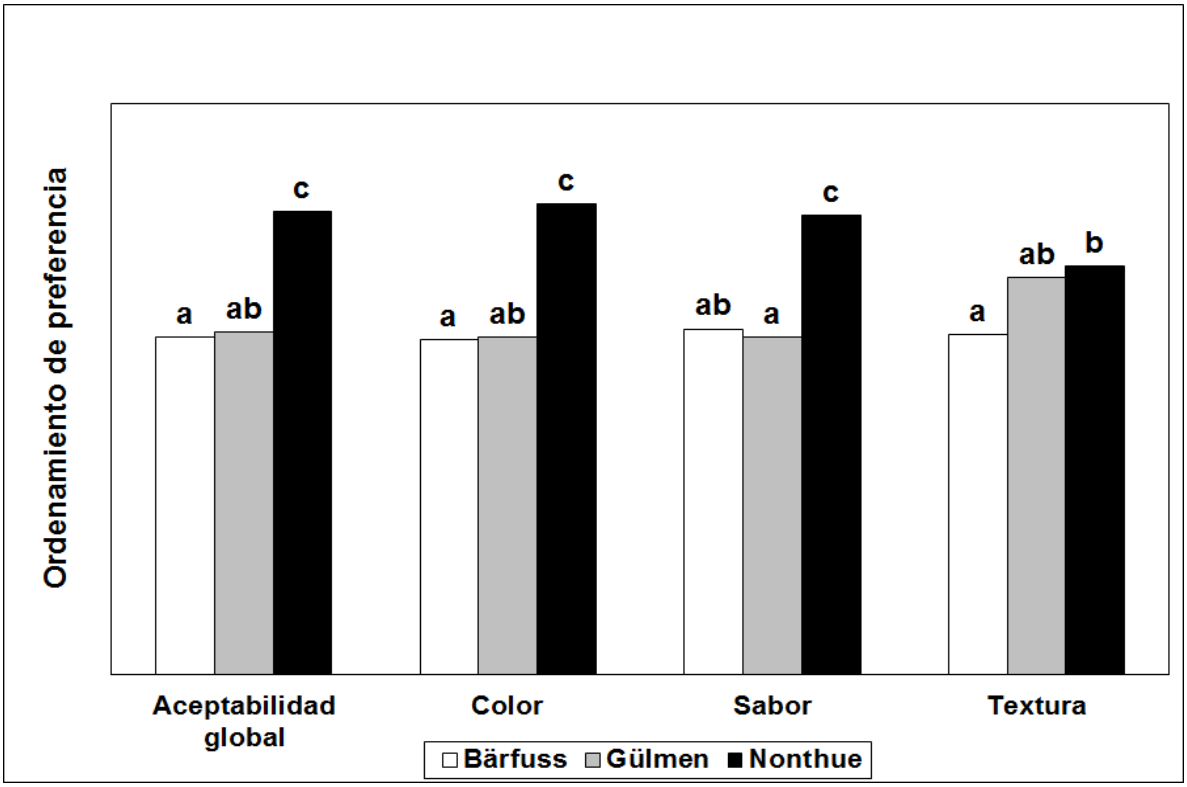


Figura 47: *Ordenamiento de preferencia de cervezas artesanales.*

4.4. CONCLUSION

Los resultados del presente estudio permiten concluir que el agregado de lúpulo al inicio o luego de 20 minutos de la cocción no resulta en diferencias en la aceptabilidad de cerveza Barfüss roja bajo las condiciones de elaboración empleadas. Por otra parte, el análisis comparativo de la preferencia sensorial de distintas cervezas sugiere que Barfüss muestra un nivel que supera a otras cervezas existentes en el mercado del mismo tipo y se asemeja a Gülmen (un producto reconocido por sus buenas características de calidad). Este tipo de estudios es asimismo de gran utilidad para ponderar la relevancia de las diferentes variables de proceso sobre la calidad del producto y así como para detectar potenciales mejoras respecto a otros productos disponibles en el mercado con la incorporación de modificaciones en materias primas y procesos de elaboración.

5. REFERENCIAS

-Araki, S., Kimura, T., Shimizu, C., Furusho, S., Takashio, M., Shinotsuka, K., (1999). Estimation of antioxidative activity and its relationship to beer flavor stability. J. Am. Soc. Brew. Chem. 57 pp.

-ASBC (1992) American Society of Brewing Chemists. Methods of Analysis (8th ed.); St. Paul, Minnesota. 198 pp.

-Ball, M. (1977) .The worshipful company of brewers: a short history. Hutchinson Benhan. London.

-Bamforth, C. (2008). Tap into the art and science of brewing. Oxford University Press. 780 pp

-Benitez, J., Forster, A., De Keukeleire, D., Moir, M., Sharpe, R., Verhagen, C., Westwood, K., (1997). European brewery convention manual of good practice: Hops and hop products. Fachverlag Hans Carl, Nurnburg, Germany.

-Bisson, L., Coons, D.M., Kruckeberg, A.L., Lewis, D.A. (1993). Yeast sugar transporters. Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology, 28, 259–308.

-Branyik, T., Vicente, A., Dostalek, P., Teixeira, J. (2008). A review of flavour formation in continuous beer fermentations. Journal of the Institute of Brewing. 114 pp.

-Briggs (2004). Beer in health and disease prevention. Elseivier Inc. USA 980 pp.

-Brown, C., Cambell, I., Priest, F. (1989). Introducción a la biotecnologia. Editorial Acribia. España 167 pp.

-Bourdchon, F., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J., Gerds, L., Hammes, W., Harnett, J., Huys, G., Laulund, S., Ouwehand, A., Powell, I., Prajapati, J., Seto, Y., Schure, E. (2012). Food fermentations: Microorganisms with technological beneficial use. International Journal of Food Microbiology. 154: 87-97

-CAA. (1969). Codigo Alimentario Argentino. En: www.anmat.gov.ar. Visitado Abril 2013.

-Cateora, P. (1995). The American Beer Company, hacia la internacionalización. En: Marketing International. Mc Graw Hill, México. 10: 791 - 798 p.

-CIC. (2011). En www.camaracervecera.com.ar visitado en Abril de 2013.

-Clark P. (1983) The English alehouse: a social history. Longman London.

-Daniels, R. (2004). Designing Great Beers: The Ultimate Guide to Brewing Classic Beer Styles

-De Clerck, J. (1957) Textbook of Brewing. Chapman and Hall. London. 650 p.

-De Cooman, L., Aerts, G., Overmeire, H., De Keukeleire, D. (2000). Alterations of the profiles of iso alfa acids during beer ageing, marked instability of trans-iso-acids and implications for beer bitterness consistency in relation to tetra-hydroiso-acids. J. Inst. Brew. 106 pp.

-FAOSTAT. (2012). Food and agriculture Organization of the United Nations. En: www.faostat.fao.org visitado en Junio de 2013.

-Ferrán, L. (1959). Cebada: variedades cerveceras y cerveza. AEDOS. 246 pp.

-Gibson, B., Lawrence, S. J., Leclaire, J.P.R., Powel, C. D., Smart, K. A. (2007). Yeast responses to stresses associated with industrial brewery handling. FEMS Microbiology Reviews. 31: 535–569.

-Hornsey, S. (2003). Elaboración de cereza: microbiología, bioquímica y tecnología. Ed. Acribia 229 pp

-Hough, J.S. (2011). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Ed. Acribia, S. A. España 187 pp.

-Hudston, H. (1977). El Cervecero en la práctica. Segunda Edición. Asociación de Maestros cerveceros de las Américas, Madison, Wisconsin. 150 p.

-INDEC. (2011). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. En: www.indec.com.ar visitado en Abril de 2013.

-IFT (1981). Institute of Food Technologists. Guide for testing food and beverage products. Sensory Evaluation Division of the Institute of Food Technologists. Food Technology. 35: 50-59.

-Jackson, M (1994). El libro de la cerveza. Blume 304 pp.

-Jackson, M. (1998). The ultimate beer. DK Publishing Group. USA 192 pp.

-Jacobsen, T., Hage, T., Kristensen, R., Malterud, K.E. (1989). Hop utilization in the brewery- An interbrewery comparison. J. Am. Soc. Brew. Chem. 47 pp.

-Kobayashi, O., Hayashi, N., Kuroki, R., Sone, H. (1998). Proteins responsible for sugar recognition. Journal of Bacteriology. 180: 6503-6510.

-Kunse, W. (2006). Tecnología para cerveceros y malteros. VLB Berlin. 1063 pp.

-Lei, H., Zao, H., Yu, Z., Zao, M. (2012). Effects of wort gravity and nitrogen level on fermentation performance of brewer's yeast and the formation of flavor volatiles. Applied Biochemistry and Biotechnology. 166: 1562–1574.

-Medigan, M., Martinko, J., Parker, J. (2003). Biología de los microorganismos. Pearson education 1096 pp.

-Meilgaard, M., Peppard, TL. (1986). The flavour of beer. In Food flavours, Part B. The flavour of beverages; Morton, ID, MacLeod, AJ., Eds.; Elsevier: Amsterdam, Holanda. 99 pp.

-Meilgaard, M., Bang Moltke, A., Trolle, B., (1995). The utilization of hops during brewing process as judged by countercurrent distribution analysis. Proc. Eur. Brew. Conv. Congr. Baden Baden, 109 pp.

-Miralles, D. J., Benech, A., Abeledo ,G. (2011). Cebada cervecera. Facultad de agronomía-UBA Argentina, 284 pp.

-Moncrieff, R. W. (1951). The Chemical Senses, 2 ed. Leonard Hill, London. 152 pp.

-Mosher, R. (2009) Tasting beer. Storey Publishing, LLC. 248 pp.

-Palmer, J. (1996) How to brew. Brewers Publications.USA 347 pp.

-Papazian, C. (1991) The complete Joy of Homebrewing Third edition. Paperback. 224 pp

-Posada, J. (1995). Ciencia cervecera. Edicion Pollock. España 379 pp.

-Ros, J. (1980). Estabilidad coloidal de la cerveza. Laboratorio Industrial de Bioquímica S.A. (L.I.B.S.A) Pamplona. España. 83 pp.

-Siebert, K., Carrasco, A., Lynn, P. (1996). Formation of protein-polyphenolhaze in beverages. Journal of Agricultural and Food Chemistry.44:1997-2005.

-Schimidt, A., Hebbel, G. (1966). Quimica y tecnologia de los alimentos. Editorial Salesiana. Santiago. 313 pp.

-Swistowies, W. (1977) El cervecero en la practica. Asociacion de maestros cerveceros de las Américas. Wisconsin. 413 pp.

-Tinshet, G. (2009). The Buckapound Brewery. The frugal brewer's guide to an advanced home brewery. Brewing Techniques Mmagazine. 5 : 5 – 7 p.

-Verzele, M., De Keukeleire, D. (1991). Chemistry and analysis of hop and beer bitter acids. Elsevier Science, Amsterdam, Holanda. 42 pp.

-Vogel, W. (1996). Elaboración casera de cerveza. Editorial Acribia S.A. España. 121 pp.