

UNIVERSIDAD ADVENTISTA DE CHILE
Facultad de Ingeniería y Negocios
Ingeniería Civil Agroindustrial



ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ANALCOHÓLICA A BASE DE
CEBADA

TESIS

Presentada en cumplimiento parcial
de los requisitos para el título de
Ingeniero Civil Agroindustrial y grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería

Por

Pablo Ricardo Carrasco Castañeda

Profesor guía: Sergio Benavides Valenzuela

Chillán, Diciembre de 2008

Dedico esta tesis a mis padres Pablo Nicolás Carrasco Vivar y Sara Guadalupe Castañeda Constante y a mis queridos hermanos, quienes con tanto cariño me han apoyado en forma incondicional, permitiendo cumplir en mi vida cada uno de mis sueños. Es motivo de mucha alegría poder compartir con ustedes estos logros.

Agradezco en primer lugar a Dios, quien me ha apoyado incondicionalmente de múltiples maneras en todos estos años de estudio. Agradezco a mi profesor guía con quien fue posible desarrollar esta tesis. Agradezco también a las lindas amistades quienes me brindaron de su tiempo y estuvieron a mi lado en cada uno de los detalles de mi tesis.

RESUMEN

El volumen de ventas por cervezas en Chile ha ido en aumento en el transcurso de los años, vislumbrándose así un mayor consumo de cerveza en el futuro. Pero no existe en Chile una cerveza artesanal y que a la vez sea analcohólica, por lo que el propósito del estudio consiste en elaborar una cerveza analcohólica artesanalmente y determinar el método de mayor efectividad para la extracción del alcohol.

Se elabora una bebida fermentada a base de cebada a nivel piloto, y se procede a la extracción de alcohol del producto elaborado. Esta extracción de alcohol se piensa realizar mediante tres métodos: destilación, evaporación y una interrupción del proceso de fermentación.

Al realizar la experiencia, los tres métodos fueron eficaces para la extracción alcohólica. La destilación resultó ser el método por el cual se logró un mayor porcentaje de extracción, mientras que en la evaporación, la extracción además de ser menor, necesitó de mucha minuciosidad para el control del proceso. En cuanto al control del proceso de fermentación, se obtuvo una cerveza con un bajo nivel alcohólico, y al aplicar el golpe de calor se logró eliminar el alcohol restante.

Palabras claves: cebada, fermentación, analcohólica, evaporación, destilación.

TABLA DE CONTENIDO

Portada	
Dedicatoria	
Agradecimientos	
Resumen	
Palabras clave	
Tabla de contenido	
Lista de figuras y tablas	

CAPÍTULO I: Antecedentes y naturaleza del estudio:

1.1	Introducción-----	1
1.2	Declaración del problema-----	9
1.3	Propósito de la investigación-----	10
1.4	Hipótesis y objetivos-----	10
1.5	Importancia y justificación del problema-----	10
1.6	Limitaciones del estudio-----	11
1.7	Definición de términos-----	11

CAPÍTULO II: Marco teórico:

2.1	Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza-----	12
2.2	Método de elaboración de cerveza-----	12
2.3	Fermentación alcohólica-----	22
2.4	Sabor y defectos de la cerveza-----	22
2.5	Destilación simple-----	23
2.6	Evaporación-----	24
2.7	Control del proceso de fermentación-----	27

CAPÍTULO III: Metodología de la Investigación

3.1	Destilación -----	29
3.2	Evaporación-----	29
3.3	Interrupción del proceso de fermentación-----	29
3.4	Evaluación sensorial mediante escala Hedónica-----	30
3.5	Técnica de análisis de datos-----	30

CAPÍTULO VI: Presentación de resultados

4.1	Características de la extracción de alcohol-----	31
4.2	Interrupción del proceso de fermentación -----	32
4.3	Evaluación sensorial-----	33

CAPÍTULO V: Discusiones y conclusiones:

5.1	Discusiones -----	34
5.2	Conclusiones-----	35
Lista de referencias -----		36
Apéndices (anexos) -----		40

LISTA DE FIGURAS

1.	Consumo de cerveza sin alcohol en algunos países de Europa-----	6
2.	Importación neta de cerveza embotellada en el periodo de 1844-1900-----	8
3.	Predominio del mercado de bebidas alcohólicas en Chile-----	8
4.	Evolución de volumen de ventas de cervezas-----	9
5.	Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza-----	12
6.	Semillas de Cebada-----	14
7.	Cebada germinada-----	15
8.	Densidad de jarabe después del enfriado-----	21
9.	Proceso de destilación simple-----	24
10.	Evaporador de Rotavapor-----	26
11.	Diagrama de bloques del proceso de destilación de cerveza-----	42
12.	Diagrama de bloques del proceso de evaporación cerveza-----	45

LISTA DE TABLAS

1.	Prueba de Yodo-----	17
2.	Características de la extracción de alcohol mediante el proceso de destilación y evaporación-----	31
3.	Cambios en el contenido de alcohol en el transcurso de la fermentación-----	32
4.	Contenido de alcohol del producto elaborado según destilación, evaporación e interrupción del proceso de fermentación-----	32
5.	Evaluación sensorial de cerveza analcohólica, puntajes de escala Hedónica.-----	33

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y NATURALEZA DEL ESTUDIO

1.1 Introducción

1.1.1 Historia de las bebidas fermentadas.

La agricultura se desarrolló en la zona de Mesopotamia entre el 1000 a. C. y el 6000 a. C. Es entonces bastante probable que tanto el pan como la cerveza fuesen descubiertas al mismo tiempo. Sólo era una cuestión de proporciones: si se ponía más harina que agua y se dejaba fermentar, se obtenía pan, si se invertía la proporción y se ponía más agua que harina, y se dejaba fermentar, se conseguía cerveza. Los rastros más antiguos que atestiguan la existencia de panificación y de cervecería los encontramos en Mesopotamia, pero sería ocioso buscar una filiación con procedimientos idénticos descubiertos en el resto de Europa. Es preciso entonces creer que la cerveza se descubrió o inventó en muchos lugares del Mediterráneo y de Europa de forma simultánea (Portocarrero, 2008).

La cebada se utilizó como grano para pan por los griegos y romanos antiguos. Existen ilustraciones de monedas griegas que datan del 413 al 50 a.C. que contienen espigas o granos de cebada en su dibujo. En el siglo XV en Inglaterra, el alimento básico de los campesinos y de la población más pobre estaba constituido por pan obtenido con harina de cebada y de centeno, mientras que los nobles comían pan de trigo (Kent, 1987).

Originalmente la cerveza ofrecía dos ventajas básicas: En primer lugar, permitía un uso más eficiente de un ingrediente no muy fácil de cultivar. En efecto, era más fácil hacer mucha cerveza con un poco de grano que mucho pan con la misma cantidad de grano. De hecho, muchas cervezas se hicieron remojando panes fermentados, cocidos en agua y dejando fermentar la mezcla. La cerveza se chupaba con cañas para evitar encontrarse con grumos de pan. Cuando la cerveza se empezó a filtrar y beber sin caña, se diferenció claramente del pan y pasó a ser una bebida independiente de la panificación. En segundo lugar, la fermentación producía alcohol y desinfectaba el agua ofreciendo así una bebida limpia de contaminación bacteriana (Portocarrero, 2008).

1.1.2 Importancia social.

La nutrición de un babilonio era constituida principalmente de cerveza, grano, frutas, verduras y cebolla, dieta poco diferente de la mayoría de la gente modesta de la antigüedad. Muchos salarios se cobraban en grano o directamente en cerveza. Otro indicio de la importancia social de la cerveza consistía en que los países elaboradores de cerveza no tenían la obligación de participar en guerras. En cambio, eran obligados a seguir a los ejércitos con tal de asegurarles el abastecimiento de cerveza. Como la cerveza era un alimento de primera necesidad, fue objeto de codicias por parte de la gente poderosa, que a lo largo de la historia hizo monopolio de esta en diversas ocasiones. También se aplicaron importantes impuestos o bien se establecieron leyes de uso exclusivo de algún cereal para favorecer un monopolio de dicho cereal (Portocarrero, 2008).

1.1.3 Elaboración actual.

1.1.3.1 Malteo.

En esta etapa se selecciona la cebada, se pesa y se limpia de materias extrañas. Entonces se inicia el malteado propiamente tal, haciendo germinar el cereal. Por ello, los granos deben remojarse bien. El remojo dura entre tres y cinco días, según las características del cereal y el tipo de malta deseada. La cebada germinada se transporta a hornos especiales para el tueste o secado hasta dejar entre dos y cinco por ciento de humedad y se detendrá la germinación. Tras el tueste, se eliminan los brotes y la malta pasa a un proceso de molienda para después seguir con la maceración (Vogel, 1999).

1.1.3.2 Maceración.

En la maceración se eleva gradualmente la temperatura de la mezcla malta-agua, en el punto óptimo de actuación se establecen “tiempos de estacionamiento de temperatura”, es decir, que el macerado se realiza por un tiempo determinado a una temperatura determinada (Vogel, 1999). De esta manera las enzimas se activan y comienzan a convertir el almidón en azúcares simples. Durante los 30 a 60 minutos de la maceración, la cáscara de los granos de cebada se va al fondo del recipiente y el azúcar pasa disuelto al líquido. Luego se lava la capa

de cáscara con agua caliente para completar la extracción. Se añade lúpulo al mosto para dar sabor y la mezcla se hierve durante 90 minutos para esterilizarla, isomerizar los humulones o alfa-ácidos a los amargos iso-alfa-ácidos y extraer el lúpulo. La ebullición coagula los compuestos nitrogenados del mosto y ayuda a clarificar la cerveza (Kent, 1987).

1.1.3.3 Fermentación.

En esta etapa los azúcares simples del mosto se transforman en alcohol y dióxido de carbono por acción de la levadura. Tanto la duración del proceso (que se extiende aproximadamente por siete días) como la temperatura se determinan en función del tipo de cerveza deseado, que puede ser Ale o Lager (Portocarrero, 2008). La velocidad de la fermentación aumenta durante las primeras 18 horas de fermentación, se mantiene durante aproximadamente 72 horas y luego declina lentamente. Una vez dada por concluida la fermentación, se enfría la cerveza a cuatro grados centígrados y se bombea cuidadosamente para realizar la separación del sedimento depositado en el fondo de la cuba de fermentación (Hoseney, 1991).

1.1.3.4 Maduración.

En esta fase la cerveza adquiere su sabor y aroma distintivos, a la vez que se libera el dióxido de carbono que la hace espumosa (Vogel, 1999). Una vez madura, se deposita en barriles o se envasa lista para ser despachada.

1.1.4 Tipos de cerveza.

Según Vogel (1999) es muy difícil resumir sistemáticamente las cervezas alemanas. Las cervezas pueden clasificarse de muchas maneras. Los tipos de cerveza de la nación alemana y austro-húngara, han sido determinados según las respectivas particularidades locales, agua de elaboración y variedades locales de cebada, así como por los métodos de malteado y maceración practicados. Sin embargo, resaltando las características esenciales de

tipos de cerveza de fermentación baja habituales en Alemania, se tienen los siguientes tipos de cerveza: Dortmund, Manchen, Pilsen y Wiener (vieneses).

Debido a las condiciones para elaboración de cerveza que se tiene en el laboratorio de química de la Universidad Adventista de Chile, la cerveza que se va a elaborar es de tipo Ale, la cual recibe este nombre ya que es elaborada con levaduras flotantes o de fermentación alta (es decir, aquellas que flotan en la superficie del mosto en fermentación); las cervezas que se elaboran con levaduras que desarrollan su fermentación en el fondo del fermentador reciben el nombre de tipo Lager.

Las cervezas de tipo Ale fermentan más rápido a temperaturas entre los 15 y los 25 °C, mientras que las del tipo Lager fermentan más lentamente entre los cinco y los nueve grados centígrados. Las cervezas tipo Ale pueden servirse a los pocos días de finalizar la fermentación; las de tipo Lager por el contrario, deben almacenarse a cero grados centígrados durante periodos que oscilan entre tres semanas y tres meses (Simonazzi, 2007).

1.1.5 Cervezas alternativas.

1.1.5.1 Cerveza Lager sin filtrar.

Cerveza obtenida antes de la filtración, de prolongado reposo, color rubio y turbidez natural. La presencia de células jóvenes de levadura entrega intensos sabores, con balanceado amargor de lúpulos alemanes (Innatia, 2008).

1.1.5.2 Cerveza casera Imperial Stout.

La Imperial Stout es una de las cervezas negras más potentes que existen. Con un porcentaje alcohólico de alrededor de 10 grados, se destaca por su coloración oscura y su sabor robusto, que por momentos parece un café o un chocolate amargo (Innatia, 2008).

1.1.5.3 Honey beer.

Una de las maneras que tienen los elaboradores artesanales de cerveza para fermentar sus producciones es mediante la miel. Esta es una sustancia que posee buenas cualidades para

tal fin, logrando que los caldos queden con un tinte levemente dulzón, con mayor claridad y además, un sabor particular (Innatia, 2008).

1.1.5.4 Cerveza analcohólica.

Se considerará cerveza sin alcohol aquella cuya graduación alcohólica sea menor al uno por 100 en volumen. Sin embargo, en el trabajo de tesis se tiene como objetivo la extracción del alcohol total, con la finalidad de obtener un producto cero por ciento alcohol.

Para la extracción de alcohol existen variados procedimientos, entre los cuales se encuentran: evaporación, rectificación al vacío, osmosis inversa y métodos más primarios como la simple detención del proceso de fermentación (Mollenhauer, 1992).

Beneficios del consumo de cerveza analcohólica.

La cerveza sin alcohol, por su alto contenido en agua (95%) y muy limitado contenido alcohólico (0 a 0,8%) constituye una bebida hidratante, que además tiene un aporte calórico bastante limitado (de 150 a 200 kcal/litro frente a 450 kcal/litro en la cerveza normal) (Martínez Alvarez J.R.; Villarino Marín A y Cobo Sanz JM., 2000).

Más aún beneficioso, si se reduce el alcohol a un cero por ciento, se puede considerar a la cerveza sin alcohol como un producto que está constituido por agua en más de un 95%.

Desde el punto de vista nutritivo, la cerveza analcohólica contiene una moderada dosis de carbohidratos y proteínas, además de vitaminas del complejo B y minerales. Aporta una importante cantidad de fibra soluble que puede complementar el aporte de fibra de otros alimentos. Por otra parte, a la cerveza se le atribuyen varias propiedades saludables que la hacen muy atractiva. El Dr. Michael Gaziano, investigador de la facultad de Medicina de la Universidad de Harvard, observó que la cerveza incrementa la producción de lipoproteínas de alta densidad, que son las que transportan el colesterol bueno. Por ello, contribuyen a prevenir las enfermedades cardiovasculares, impidiendo la formación de placas en el interior de las arterias (Manzini, 2003).

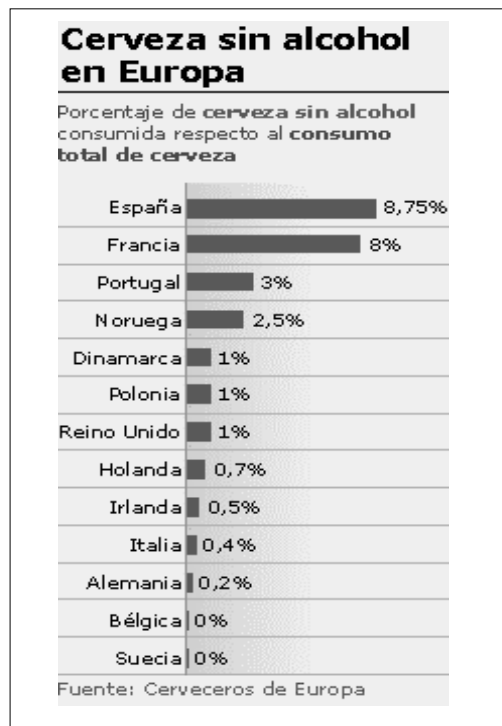


Figura 1: Consumo de cerveza sin alcohol en algunos países de Europa (Cerveceros de Europa, citado por Cerveceros de España, 2007).

En Europa el consumo de cerveza analcohólica es mucho menor al de cerveza alcohólica. Si se pudiese reemplazar la ingesta de la segunda por la primera, se contribuiría a la solución de variados problemas tanto de salud como sociales que se relacionan con el consumo de productos alcohólicos (Ver figura uno).

1.1.6 La cerveza en Chile.

Historia y evolución del mercado de la cerveza en Chile.

En el caso de Chile, el consumo de cerveza se inició con la apertura de los puertos al comercio extranjero. En 1825, el médico británico Andrés Blest instaló la primera cervecería en la ciudad de Valparaíso en la Plaza del Orden cuya producción se vendía también en Santiago. De esta manera empieza la formación de nuevas cervecerías, como la formada en 1833 por José Tomás Ramos en sociedad con Luis Infante, quien ya tenía alguna experiencia en el rubro, lo que da una idea del carácter artesanal que tenía por entonces su producción. La

"fábrica" contaba con dos pailas de cobre, dos pequeños hornos para tostar cebada y un molino de mano; para la fermentación se contaba con cinco tinajas de madera y una de greda. La existencia de botellas cuando se formó la sociedad solo alcanzaba a 14 docenas. En cuanto a la calidad, la cerveza fabricada en Chile era de menor calidad que la importada; en Chile se producía una cerveza de tipo Porter, fabricada en Valparaíso en pequeñas cantidades, destinado al consumo de los extranjeros. Ya en 1857 existían cinco cervecerías en Valparaíso, tres de ellas de propiedad de alemanes y dos de italianos. En la zona colonizada por los alemanes, la industria más importante era la cervecería fundada en Valdivia por Carlos Andwanter en 1851. En 1905 la razón social de la fábrica cambió a Cervecería Valdivia, sucesora de Andwanter Hermanos y Cía, y su capital fue aumentado. Por otra parte, el establecimiento de una línea regular de navegación entre Valdivia y Valparaíso en 1862 permitió abrir nuevos mercados para la cerveza, primero en el centro y norte de Chile y luego en los países vecinos. La proliferación de cervecerías refleja tanto el creciente consumo de la bebida como las dificultades y el alto costo de su transporte (Couyoumdjian, 2004).

De ahí que, en la medida que mejoraban las comunicaciones y se extendía la red de ferrocarriles, los establecimientos más grandes con menores costos y mayor calidad entraban a competir directamente con las cervecerías chicas. Conforme a las estadísticas oficiales, para 1909 aún quedaban 65 fábricas de cerveza distribuidas entre Tocopilla y Punta Arenas, un número comparativamente alto que se explica en parte por ser un registro más completo que los anteriores pero también por considerar las distintas plantas de una misma empresa. Hasta la década de 1870, casi la totalidad de las importaciones provenían de Gran Bretaña, lo que se explica en parte por la preferencia de los súbditos de esa monarquía por el sabor particular de las cervezas de su país: los Ales y los Stout; frente a las fórmulas germanas empleadas en la cervecería chilena, aunque también se traía desde allí cerveza tipo Pilsen (Couyoumdjian, 2004).

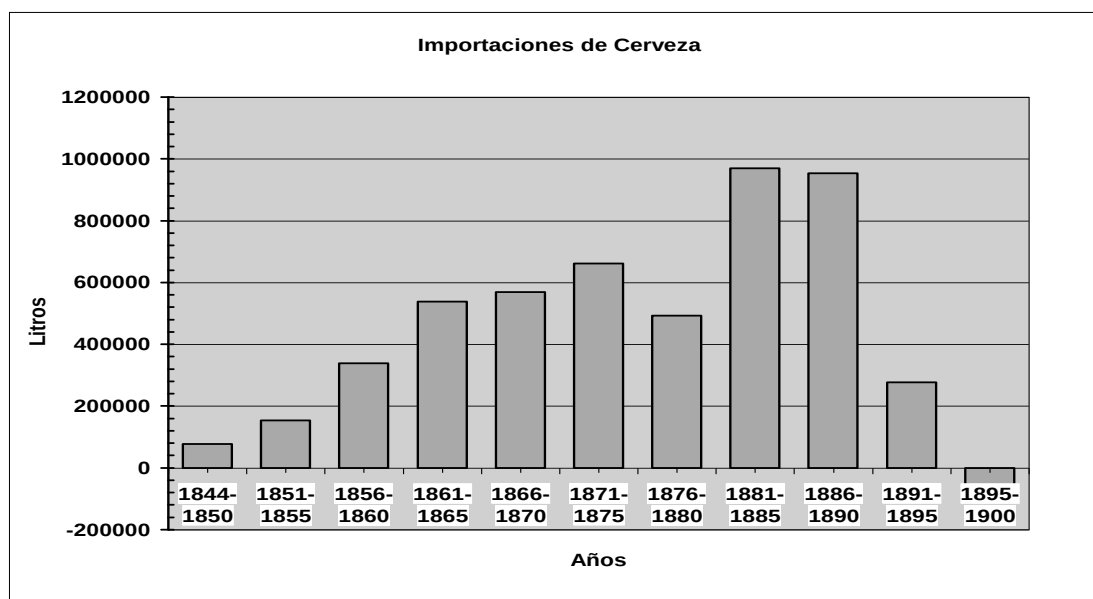


Figura 2: Importación neta de cerveza embotellada en el período de 1844-1900 (Couyoumdjian, 2004).

El desarrollo de la industria cervecera en Chile desde mediados del siglo XIX, muestra que su consumo se fue haciendo cada vez más generalizado, al igual que en los demás países de América. Para 1876 la cerveza era "de uso diario en muchas casas", y había dejado de ser considerada una bebida elegante (Couyoumdjian, 2004).



Figura 3: Predominio del mercado de bebidas alcohólicas en Chile (Monografías, 2006).

En la actualidad el consumo de bebidas alcohólicas en Chile durante el año 2006 está dado en su mayoría por la cerveza. Si se provee a este mercado un producto alternativo como una cerveza analcohólica, se podría dirigir gran parte del consumo de bebidas alcohólicas y de cervezas hacia el consumo de este producto alternativo. Esto repercutiría en una reducción considerable del consumo de alcohol y de sus efectos adversos (Ver figura tres).

El consumo per-cápita de cervezas en Chile ha ido en aumento en el transcurso de los años, por lo que se vislumbra un mayor consumo de cerveza en el futuro, asegurando así un mercado para la cerveza. De esta manera es posible introducir en el mercado una cerveza analcohólica que reemplace o que sea una alternativa a la cerveza con alcohol (Ver figura cuatro).

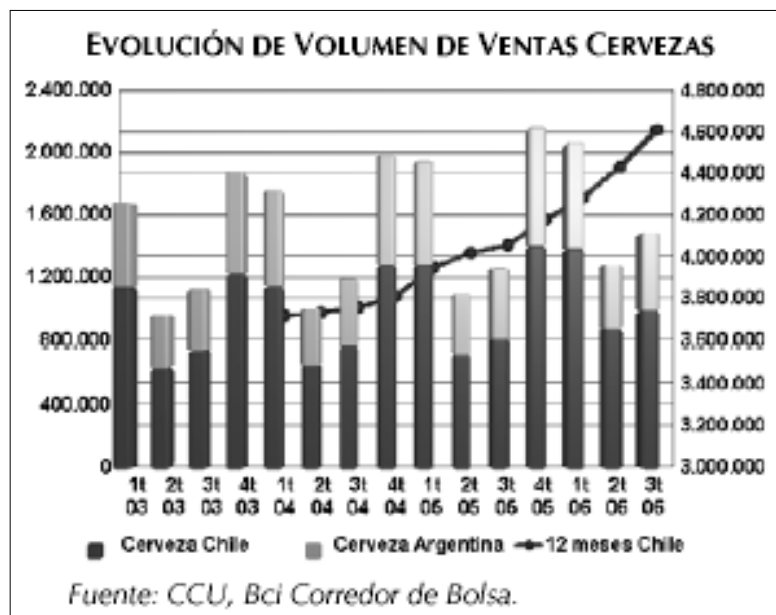


Figura 4: Evolución de volumen ventas de cervezas (CCU, citado por Castro M. y Pereira A., 2006).

1.2 Declaración del problema.

No existe en Chile una cerveza artesanal analcohólica.

1.3 Propósito de la investigación.

Elaborar una cerveza artesanal analcohólica y determinar el método de mayor efectividad para la extracción del alcohol.

1.4 Hipótesis y objetivos.

Es posible elaborar una cerveza artesanal que tenga cero por ciento de alcohol y que sea una alternativa para los que deseen consumir cerveza sin alcohol.

1.4.1 Objetivos.

1.4.1.1 Objetivo general.

- Elaborar cerveza analcohólica y determinar el método de mayor efectividad para la extracción de alcohol.

1.4.1.2 Objetivos específicos.

- Elaborar cerveza a nivel piloto.
- Elaborar cerveza con interrupción del proceso fermentativo.
- Extraer alcohol por método de destilación simple.
- Extraer alcohol por método de evaporación, usando presión reducida.
- Obtener una cerveza que tenga un contenido de cero por ciento de alcohol.

1.5 Importancia y justificación del problema.

Debido a un aumento del consumo de cerveza con contenido alcohólico se puede suponer que se incrementarán también las enfermedades provocadas por el consumo de alcohol. Si se logra que el consumidor opte por este producto alternativo analcohólico, estará cuidando su salud al evitar los daños que provoca el consumo de bebidas alcohólicas.

1.6 Limitaciones del estudio.

Los equipos disponibles en la Universidad Adventista de Chile solo permiten probar dos métodos de extracción de alcohol.

1.7 Definición de términos.

Elementos constitutivos de la cerveza.

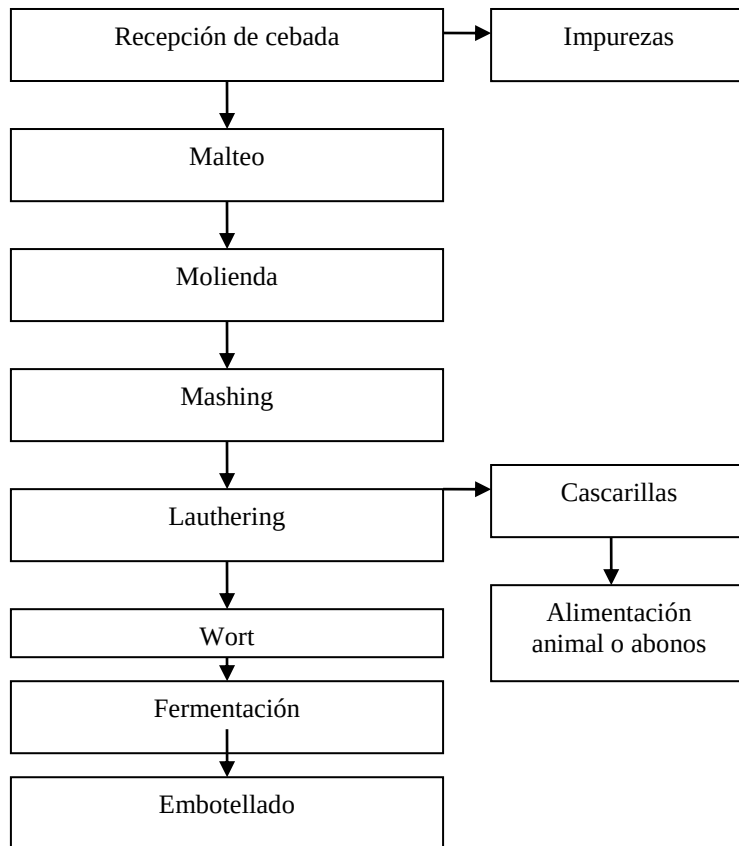
- Cebada Malteada: Este es el proceso en que se convierte la cebada en malta, activando las enzimas del grano mediante el remojo y germinación.
- Levadura de Cerveza: Tipos de levadura que van a permitir la fermentación.
- Lúpulo: El lúpulo es el fruto (cono) desecado de la planta perenne *Humulus lupulus*; la que se utiliza para darle el aroma y el amargor a la cerveza (Hoseney, 1991).
- Agua tratada: Se refiere a la disminución de los carbonatos del agua y la eliminación de cloro.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza.

Figura 5: Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza (Elaboración propia, 2008).



2.2 Método de elaboración de cerveza.

La mayoría de los métodos de elaboración de cerveza analcohólica parten de la obtención de una cerveza alcohólica primeramente. Mediante un proceso de desalcoholización o bien mediante un control de la fermentación para que la producción de alcohol no sea completa, se elimina el etanol producido en el transcurso de la fermentación. El tipo de

cerveza que se quiere elaborar es con levaduras de fermentación alta, por tanto de tipo Ale (Cerveza casera, 2008).

2.2.1 Malteo.

2.2.1.1 Remojo de la cebada.

En el laboratorio luego de remojar el grano por 24 horas, se extiende la cebada en lechos de capas de un centímetro aproximadamente, en contacto con agua, de tal manera que el grano al haberse hidratado, empieza el proceso de germinación. Luego que el grano empieza a germinar, se retira de los lechos y se somete a un proceso de secado, para lo cual se revuelve el grano periódicamente, de ésta manera se evita exceso de calor que podría dañar el producto.

Industrialmente las partidas de cebada limpia se dejan caer del silo a un tanque de remojo parcialmente lleno de agua, a 15° C. Muchos tanques de remojo son simples cilindros verticales con base cónica. El contenido del tanque se airea intensamente insuflando aire a través del agua de remojo mediante el uso de tuberías perforadas o por succión. Esto permite condiciones más aeróbicas en el agua de remojo. El contenido de agua de los granos aumenta rápidamente a partir de la inmersión, pero la velocidad del incremento del contenido del agua descende luego progresivamente. La velocidad de la rehumidificación es función de las condiciones en que haya crecido la cebada, de la variedad de ésta, del tamaño de los granos y de la temperatura del agua. Está también considerablemente influida por el daño mecánico que hayan podido sufrir los granos durante el remojo. El remojo se interrumpe por drenaje a las 12 a 24 horas. Cuando la cebada se ha remojado, el agua penetra a través de la cascarilla y cubierta del fruto y entra en el grano a través del micrópilo. El embrión toma rápidamente agua, en cambio el endospermo se hidrata más lentamente. Cualquier fractura sufrida por la cascarilla o las cubiertas del fruto y la semilla facilita el humedecimiento del endospermo o el embrión y desde luego la fuga de sustancias solubles del endospermo. Éste constituye uno de los sumandos que dan cuenta de las pérdidas sufridas durante el malteado. Otro es el representado por la respiración del embrión, que consume reservas de nutrientes, liberando energía, dióxido de carbono y agua. La respiración aumenta significativamente cuando el embrión se activa, lo que crea una demanda de oxígeno en el agua de remojo (Aldón, 2008).



Figura 6: Semillas de Cebada (Biodiversityexplorer, 2008).

2.2.1.2 Germinación de la cebada.

El remojo suele completarse en un par de días. En las modernas técnicas de malteado los granos dan al término del mismo, muestras claras de que han comenzado a germinar, se transfieren entonces al equipo de germinación. En la mayor parte de los casos el contenido de humedad se halla en torno al 42% y permanece constante durante la etapa de germinación. Los modernos equipos permiten la germinación en tres o cuatro días. Desde el punto de vista fisiológico existe una continuidad entre el remojo y la germinación. El crecimiento embrionario se inicia durante el remojo y como las reservas de nutrientes inmediatamente disponibles son limitadas, resulta necesario movilizar las del endospermo. El debilitamiento físico de la estructura del endospermo y las degradaciones bioquímicas son conocidos en su conjunto con el término de Desagregación. Los granos malteados pueden por tanto clasificarse en subdesagregados, desagregados o sobredesagregados, según hasta donde haya avanzado esta desagregación enzimática (Aldón, 2008).

Para las cervezas claras se emplean maltas poco desagregadas, mientras que en las cervezas oscuras la desagregación debe haber progresado más, por una parte porque el color oscuro depende del azúcar presente y por otra porque la malta oscura adquiere el color apropiado a temperaturas elevadas, con lo que buena parte de las enzimas quedan destruidas (Vogel, 1999).



Figura 7: Cebada germinada (Portocarrero, 2008).

2.2.1.3 Secado y tostado del grano.

Son numerosos los factores que afectan la deshidratación del grano; cabe citar entre ellos el volumen de aire que pasa a través del lecho del grano, la profundidad del lecho, el peso del agua a ser eliminado del lecho del grano, la temperatura del aire utilizado para la deshidratación, la humedad relativa del aire y el carácter higroscópico de la malta. La deshidratación se comienza con temperaturas de 50 a 60° C, que inicialmente calientan el secadero y el lecho del grano. Más adelante las capas superiores comienzan a deshidratarse y el contenido de agua en la cebada empieza a descender progresivamente desde el fondo a la superficie del lecho del grano. En esta etapa de deshidratación libre, se extrae sin restricciones el agua de la cebada y por razones económicas se ajusta el flujo de aire de manera que su humedad relativa sea de 90 a 95 % en el aire del extremo de salida. Cuando se ha eliminado aproximadamente el 60% del agua, la deshidratación subsiguiente se ve dificultada por la naturaleza ligada del agua residual. Llegado este punto de ruptura se incrementa la temperatura del aire de entrada y se reduce el flujo. La estabilidad térmica de las enzimas es ahora mayor que cuando la malta contenía un 45% de agua (Aldón, 2008).

Para la cerveza tipo Ale, se considera una malta seca cuando la humedad se reduce hasta dos o tres por ciento. Simultáneamente se forman el aroma y color del tostado merced a la reacción de Maillard. Luego se calienta por dos horas a temperatura de tostado y se tuesta

cuatro a cinco horas a 80° C (malta clara) o a 105° C (malta oscura). Acto seguido la malta se libera de gérmenes, se limpia y purifica (Belitz y Grosch, 1988).

2.2.2 Molienda del Grano.

Una vez germinado y secado el grano, se somete a molienda mediante un equipo de molienda de rodillos. Estos rodillos se encuentran regulados de tal manera que se logre romper el núcleo del grano partiéndolo en trocitos pequeños intentando no romper completamente el grano ni la cáscara. La cáscara jugaría un papel muy importante en la infusión ya que impediría la formación de pelotas de harina (Cerveza casera, 2008). Sin embargo, esto no es necesario debido a la filtración a través de mallas que se usará en el macerado del grano.

En la operación no debe calentarse demasiado la malta, porque resulta inevitable un daño en las enzimas. Por ello se recomienda efectuar pausas transcurridos unos minutos (Vogel, 1999).

2.2.3 Mashing.

Se introduce el grano en una de las bolsas filtrantes y se cierra fuertemente, de tal manera que se impida la salida de los granos en el proceso de maceración, para de esta manera obtener un jarabe bastante limpio. Luego se introduce la bolsa filtrante con el grano seco dentro de la marmita.

El curso del pH y de la temperatura en el macerado de cebada reviste importancia decisiva para la composición de las sustancias aromáticas y con ello para la clase y calidad de la cerveza. Las alfa-amilasas de la malta desarrollan acción óptima entre 72 y 76° C, las beta-amilasas entre 60 y 65° C y las proteinasas entre 55 y 65° C (Belitz y Grosch, 1988).

Una forma de saber la cantidad de agua que se debe agregar es de ocho hectolitros de agua por cada 100 kilogramos de malta (Belitz y Grosch, 1988). Otra equivalencia es la de agregar 2,4 litros de agua mas 1,4 litros de agua extra por cada kilogramo de malta. Esta agua extra se considera por motivos de controlar los valores de densidad del jarabe resultante de la maceración, añadiendo agua, según sea necesario para ajustar los rangos de valor de densidad recomendada. Se calienta agua de manera que llegue a 80° C, que se controlará con un

termómetro. Luego se añade a la marmita menos de 2,4 litros de agua por kilogramo de malta, teniendo así un sobrante para el lavado del grano. Después de 90 minutos de macerado con el recipiente tapado para minimizar pérdidas de calor, el jarabe se habrá vuelto dulce (sacarificación). Se debe mantener en el transcurso de estos 90 minutos la temperatura constante de 67° C (Cerveza casera, 2008). Se puede comprobar la total conversión del almidón en azúcar mediante la prueba de tintura de yodo (Ver tabla uno).

Tabla 1

Prueba de Yodo (Elaboración propia, 2008).

Posibilidades en la muestra.	Características de la muestra.
Conversión total	Coloración particular del yodo.
Conversión parcial	Color negro en forma de partículas. Existe almidón

Se necesita un jarabe, como mínimo de una densidad de 1,030 [g*cm⁻³]. Esto se puede en cierto modo controlar agregando mas agua si el jarabe ha quedado muy denso, pero si queda menos espeso, es posible terminar con una cerveza muy aguada.

Con el paso del tiempo, la temperatura de maceración va disminuyendo, sin embargo es posible mantener una temperatura de 67° C agregando el agua que se ha hervido que se encontrara por encima de los 67° C. Si el agua mezclada con el grano se encuentra mas caliente de los 67° C, se mantiene la tapa del equipo de maceración abierta para eliminar el calor en exceso. Es recomendable cada media hora medir la temperatura. Manteniendo esta temperatura de maceración, el proceso estará listo, dentro de los próximos 90 minutos. Este es el tiempo que se demora la conversión de almidones en azúcares (Cerveza casera, 2008).

Concluida la maceración, los componentes insolubles de la malta deben separarse del líquido que constituirá la futura cerveza. En las fábricas cerveceras se utiliza grandes tinajas con un dispositivo de filtración, que es un fondo de sedimentación compuesto por láminas de cobre o latón. La temperatura del agua de lavado no debe superar los 80° C, pues en tal caso se arrastra también con el bagazo almidón sin desdoblar, que más tarde provoca enturbiamientos de la cerveza (Vogel, 1999).

2.2.4 Lauthering.

Primeramente se retira el jarabe que se ha formado en la marmita. Luego se extrae la bolsa de filtración y mediante un prensado, se extrae el resto del jarabe, con la finalidad de extraer todo el jarabe producido. Luego se procede al lavado. El lavado consiste en verter agua caliente, de tal manera de lavar el grano con agua limpia (temperatura aproximada de 60° C). Mientras se lava el grano se va extrayendo el jarabe y se coloca en la marmita, para el posterior proceso de hervido (wort). Las instalaciones modernas utilizan filtros de mosto continuos o discontinuos. Los residuos reciben el nombre de heces. Las heces se aprovechan como pienso para el ganado (Belitz y Grosch, 1988).

2.2.5 Wort.

La cocción del mosto con lúpulo o productos de éste se lleva a cabo en perolas “ad hoc” (calderas de lúpulo), donde se mezclan los jugos obtenidos al principio y final de la filtración (Belitz y Grosch, 1988).

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta perenne. Los lúpulos incorporan a la cerveza dos matices: el amargor y el aroma. El amargor potencial de un lúpulo se encuentra principalmente en la cantidad de ácidos alfa que se encuentran en sus flores, la que dependerá de la variedad del lúpulo. Normalmente se utilizan aquellos lúpulos con mayor porcentaje de alfa ácidos para conferir el amargor y aquellos con menor porcentaje para el aroma final (Cerveza casera, 2008).

La flor de lúpulo también contiene esencias en forma de aceites que aportan el aroma a la cerveza, el problema es que estas esencias se pierden por evaporación en la cocción progresivamente, por el contrario los alfa ácidos son poco solubles y a mayor cocción mayor será el amargor transferido a la cerveza. Es por esto que los lúpulos que van a incorporar el amargor se añaden al principio de la cocción y los que van a incorporar el aroma se añaden prácticamente en los últimos cinco minutos, a fin de que se evapore la menor cantidad de esencias posibles. El grado de amargor de una cerveza normalmente se mide en unidades IBU (International Bittering Units). Se pueden definir las IBU de una cerveza como los miligramos de ácidos alfa en un litro de dicha cerveza. A cada estilo de cerveza le corresponde un número de IBU's determinado. La dosis recomendada se rige a la regla de 1,5 gramos de lúpulo por

cada litro de jarabe (aquí se toman en cuenta los litros finales, después de la hora de hervor, y que deberían ser un 10% menos del contenido inicial) (Cerveza casera, 2008). En la cerveza que se desea elaborar se ocuparán 0,75 gramos de lúpulo por cada litro de jarabe, para obtener una cerveza menos amarga, simplemente por gustos personales.

Si el lúpulo se añade dos veces, la primera dosis será después de que el jarabe empiece a ebullición o un poco antes. El líquido debe hervir a borbotones; solo así se consiguen los objetivos de la ebullición. Esta cocción dura aproximadamente entre una hora y media y dos horas, como máximo dos horas y media, a contar desde el momento en que el mosto empieza a hervir a borbotones (Vogel, 1999). Unos cinco minutos antes de detener el proceso de hervor se añade la segunda cantidad de lúpulo y se hierve, para que de esta manera se evite la pérdida de las esencias al impedir la evaporación de las mismas (Cerveza casera, 2008).

2.2.6 Enfriamiento.

Una vez colado el lúpulo, el mosto tiene siempre una temperatura de 80 a 90° C. A partir de este momento se debe disminuir la temperatura del mosto a unos 15 a 20° C, en el método de fermentación alta (Vogel, 1999). Se necesita enfriar lo mas rápido posible por varias razones: la primera es que se tiene un caldo azucarado que permitiría las mejores condiciones para el desarrollo de las levadura, al igual que para otro tipo de bacterias, las cuales perjudicarían el jarabe que se ha logrado, impidiendo de esta manera la fermentación necesaria para la formación de cerveza. Otra razón es porque la cerveza contiene siempre componentes que más tarde pueden manifestarse produciendo turbidez. En un enfriamiento rápido precipitan tales componentes, que después son eliminados definitivamente de la cerveza (Vogel, 1999).

Si se echan las levaduras en un jarabe de 100° C, estas se destruirán, por esto, es necesario preparar las levaduras antes de agregarlas al jarabe. Mientras se realiza el enfriamiento, se toma una muestra del jarabe y se mide la densidad inicial la cual debe estar entre 1,040 y 1,050 [g*cm⁻³], de esta manera mas adelante se logra calcular el porcentaje de alcohol al final de la fermentación (Cerveza casera, 2008).

Al enfriar el jarabe o mosto se evapora agua, lo que aumenta la proporción del extracto seco en un uno por ciento, aunque lo normal es un 0,5% (Vogel, 1999).

2.2.7 Fermentación.

Al momento de mezclar la levadura con el wort, se cierra el fermentador y se procede a mezclar con la finalidad de conseguir homogenizar el jarabe, esto se realiza durante unos cinco minutos. Como la fermentación va a producir grandes cantidades de CO₂, no se puede mantener el fermentador herméticamente cerrado, es por eso que se tiene que dejar un espacio para la salida del gas, a la vez se evita al máximo la entrada de bacterias al fermentador porque echaría a perder toda la cerveza. Es por eso que se usa un airlock. Este consiste en un tubo de plástico con forma de U, que en su parte inferior contiene agua, el agua deja salir al gas pero no deja entrar ninguna bacteria (Cerveza casera, 2008). El proceso de fermentación sigue varias etapas y dura entre dos y siete días. Al mosto o jarabe se le añade la levadura en forma de pasta espesa, en la cuantía aproximada de 0,5 a un litro, iniciando la fermentación a una temperatura de 15 a 20° C (Belitz y Grosch, 1988).

Aunque depende de la levadura que hayamos utilizado y de la temperatura del proceso. Se debería empezar a observar síntomas de fermentación alrededor de las 10 horas de haber incluido la levadura. Estos síntomas pueden ser: burbujas de gas en el airlock, burbujas de gas que suben por dentro del fermentador, una capa de espuma que empieza a aparecer en la parte superior de la wort, agitación interna de toda la wort como si estuviese hirviendo con grandes partículas blanquecinas de levadura circulando por la wort (Cerveza casera, 2008).

Una primera fermentación, se llamaría a la que ocurre dentro de los primeros dos a cuatro días, caracterizada por hacer mucha espuma y mucho gas. Transcurrido este periodo de tiempo, la fermentación comienza a suavizarse y la levadura y los restos de lúpulo comienzan a depositarse en el fondo del fermentador, dejando una capa de un espesor de tres o cuatro centímetros. Transcurridos los 10 días, la cerveza ya está lista para ser envasada en botellas y para dejarla descansar para su maduración. Una forma de saber que la fermentación funcionó es midiendo la densidad de la cerveza y comparando la densidad medida después del proceso de enfriado y la densidad final, una vez que ha terminado la fermentación. La densidad inicial del hervido (wort) esta entre 1,040 y 1,050 [g*cm⁻³] antes de ingresar al fermentador (después del proceso de enfriado). Debido a que en el proceso de fermentación muchos de los azúcares se transforman en algo mucho más liviano (alcohol etílico y gas) la densidad de la cerveza va a ser mucho menor. Una cerveza a punto de ser embotellada debiera tener una densidad entre 1,010 y 1,030 [g*cm⁻³]. Para medir la cantidad de alcohol se deben restar los valores de

densidad inicial y el valor de densidad final, teniendo así el contenido de alcohol (Ver anexo 1). Mientras más baja densidad tenga el mosto, durante el proceso de fermentación, habrá una mayor presencia de etanol (Terán, 2007). La levadura que forma una espesa capa superficial se separa en varias fracciones (una correspondiente al lúpulo, otra a la levadura propiamente dicha y una tercera excedente). No suele realizarse ninguna postfermentación, aunque tanto en los depósitos como, sobre todo, en las botellas, puede tener lugar a continuación (Belitz y Grosch, 1988).



Figura 8: Densidad del jarabe después del enfriado (cerveza cacera, 2008).

Una vez terminado el proceso de fermentación, se tiene la cerveza lista para la aplicación de los métodos de extracción de alcohol que se han propuesto. Una vez desarrollados se tiene la cerveza en condiciones de ser embotellada.

2.2.8 Embotellado.

La cerveza dispuesta para el consumo se hace pasar por filtros de lana de algodón y silicatos. Para conservar la buena calidad de la cerveza es esencial evitar oscilaciones de temperatura durante el almacenamiento y transporte (Belitz y Grosch, 1988).

La cerveza embotellada se conserva fresca, porque la botella se abre solo en el momento de beber. La cerveza embotellada puede enfriarse en refrigerador a la temperatura de consumo (Vogel, 1999).

2.3 Fermentación alcohólica.

Aproximadamente el 96% de la fermentación de etanol se lleva a cabo por *Saccharomyces cerevisiae* o especies relacionadas, particularmente *S. uvarum*. El rendimiento teórico de un gramo de glucosa es de 0,51 g de etanol y 0,49 g de CO₂. Sin embargo, en la práctica, aproximadamente el 10% de la glucosa se transforma en biomasa y el rendimiento en etanol y CO₂ alcanzan el 90% del valor teórico (Owen, 1989). La fermentación alcohólica está dada por la reacción:

Glucosa → Alcohol etílico + Anhídrido carbónico



(Instituto de Salud Pública de Chile, 1998).

En la fermentación, las levaduras utilizadas en la elaboración de cerveza utilizan los azúcares sacarosa, fructosa, maltosa y maltotriosa en este orden. El mosto de cerveza producido a partir de malta contiene 19 aminoácidos además de otros nutrientes. Estos aminoácidos son asimilados a distintas velocidades durante la fermentación. Las temperaturas de fermentación, la respiración de las levaduras y el crecimiento celular son claramente diferentes. La formación de niveles elevados de alcohol también dependen de la temperatura (Owen, 1989).

2.4 Sabor y defectos de la cerveza.

El agradable sabor de una cerveza de buena calidad obedece a la cantidad presente de anhídrido carbónico, tanino, sustancias amargas del lúpulo, esteres y aminoácidos como los factores principales. Si existe algún problema en estos, se notará en el olor y sabor, que pueden obedecer a una fabricación y almacenamientos inadecuados. La cerveza puede enturbiarse durante el almacenamiento, formando en ocasiones sedimentos en el fondo de los recipientes. El 40 al 75 % de las sustancias responsables de la turbidez son proteínas y

polipéptidos, que se hacen insolubles entre otras causas por la formación de uniones disulfuro intermoleculares, al construir complejos con polifenoles o al reaccionar con iones de metales pesados (Cu, Fe, Sn). Los defectos de la cerveza que por lo general provocan su completa descomposición son las contaminaciones por sarcinas, bacterias acidolácticas y acidoacéticas, así como por cocos formadores de mucus. (Belitz y Grosch, 1988).

Pardeamiento u oscurecimiento no enzimático

Generalmente, el pardeamiento no enzimático es el resultado de reacciones originadas por las condensaciones entre compuestos carbonilos y aminados; o por la degradación de compuestos con dobles enlaces conjugados a grupos carbonilo. Estas reacciones conducen a la formación de polímeros oscuros. La reacción de Maillard es el resultado de productos reductores, primariamente azúcares, que reaccionan con proteínas o con grupos amino libres. La caramelización es la reacción de pardeamiento de los azúcares que son calentados por encima de su punto de fusión en ausencia de proteínas o aminoácidos. La caramelización puede ser conveniente o perjudicial para la calidad de un producto alimentario, y se puede prevenir evitando el proceso a alta temperatura y almacenando a bajas temperaturas (Song P.S. y Chichester C.O., 1967).

2.5 Destilación Simple.

La destilación es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura. Por ejemplo, la eliminación del agua de la glicerina evaporando el agua, se llama evaporación, pero la eliminación del agua del alcohol evaporando el alcohol se llama destilación, aunque se usan mecanismos similares en ambos casos (Ximenez, 1995).

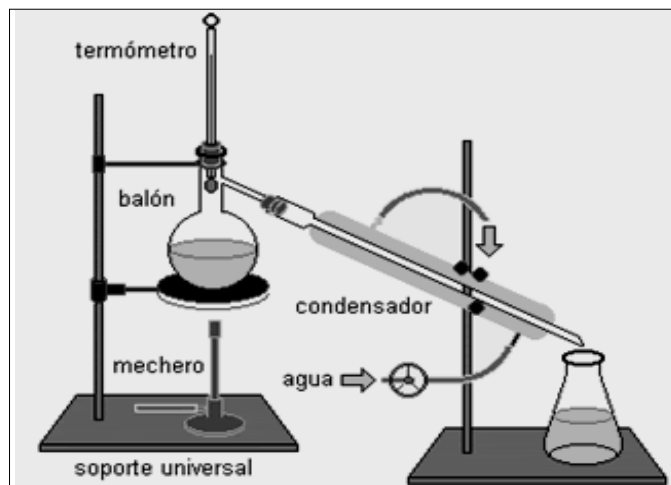


Figura 9: Proceso de destilación simple (Universidad de Antioquia, 2008).

2.6 Evaporación.

La evaporación consiste en someter a un producto con más o menos contenido en agua a temperatura similar al punto de ebullición del líquido que se quiere evaporar. El punto de ebullición del etanol es de 78,4° C a presión atmosférica y varía al modificar las condiciones de presión (Arthey, 1997).

2.6.1 La evaporación y las propiedades de la cerveza.

La cerveza es un producto que se altera organolepticamente cuando se somete a altas temperaturas. Para reducir los daños causados a los componentes sensibles al calor durante la evaporación, la temperatura de ebullición deberá ser baja y el tiempo de residencia del líquido en la zona de calentamiento deberá ser corto. La temperatura de ebullición se rebaja reduciendo la presión de operación del evaporador, con lo que pueden conseguirse diferencias de temperatura satisfactorias con medios de calentamiento a temperaturas correspondientes más bajas (Arthey, 1997).

Los componentes del aroma y del sabor de la cerveza son más volátiles que el etanol. Cuando la cerveza se somete a evaporación, los componentes volátiles son arrastrados con el vapor, con lo que se produce una reducción de la calidad del producto desalcoholizado. Normalmente los componentes volátiles se recuperan del vapor en forma de esencia por

destilación fraccionada. El líquido, una vez desalcoholizado, se vuelve a mezclar con los aromas recuperados (Arthey, 1997).

2.6.2 Tecnología del proceso.

Existen muchos tipos de evaporadores, pero para la desalcoholización de la cerveza se suelen utilizar los de tubos largos que constan de una cámara vertical provista de cambiadores de calor tubulares. Como medio de calentamiento suele utilizarse vapor que se condensa en el interior de la cámara. Este tipo de evaporadores está recomendado en los productos sensibles al calor, ya que el tiempo de residencia es corto y permite emplear sistemas de vacío que disminuyen la temperatura de tratamiento, lo que no altera el producto. También tienen aplicación en la desalcoholización de la cerveza los evaporadores de placas que utiliza el principio de la película ascendente-descendente dentro de un cambiador de calor de placas. Las altas velocidades del líquido que se consiguen dentro del evaporador permiten una buena transferencia de calor y unos tiempos de residencia cortos. También tiene la ventaja de que se desmonta y se limpia rápida y fácilmente (Brenan, 1980).

2.6.3 Equipo auxiliar del evaporador.

Debido a que los sistemas de evaporación empleados en la desalcoholización de la cerveza operan a presión inferior a la atmosférica, se precisan condensadores de vapor y bombas de vacío o eyectores. Otra parte fundamental es la recuperación de la fracción aromática. Ésta normalmente se realiza en una columna de conos giratorios, que consta de una serie de placas cónicas por donde fluye la cerveza calentada a unos 40 o 50° C. En la evaporación, las primeras fracciones que el vapor arrastra corresponden a las sustancias más volátiles, es decir la fracción aromática (Hochberg, 1988).

2.6.4 Evaporador de Rotavapor.

Básicamente consiste en un motor eléctrico que produce el giro de un tubo con un ajuste esmerilado al que se acopla un matraz de fondo redondo que contiene la disolución.

Dicho matraz se sumerge parcialmente en un baño de agua, manteniendo el giro. La temperatura del baño no debe exceder de 35 a 40° C para la manipulación de los disolventes orgánicos más comunes. Acoplado al sistema, se encuentra un refrigerante por el que circula un líquido, por lo general agua, que produce la condensación del disolvente que se recoge en un colector. El conjunto constituye un sistema cerrado conectado a una bomba de vacío, una trompa de agua o un circuito de vacío. (Universidad de Granada, 2004). La temperatura a usar para la evaporación de cerveza será de 10 a 20° C, debido a la rápida evaporación del alcohol y la sensibilidad a las temperaturas.



Figura 10: Evaporador de Rotavapor (Universidad de Granada, 2004).

El proceso de evaporación lleva asociado la aplicación de calor para vaporizar el agua a su punto de ebullición. Debido a que la mayoría de productos son termolábiles, se utiliza un alto vacío (baja presión) para que el agua se evapore a una temperatura más baja. Para esto existen curvas de un sistema, como por ejemplo para Cloruro de sodio (Barbosa, 1997). El trabajar con la curva de etanol-agua se complica debido a los estrechos rangos de extracción para las muy pequeñas cantidades de alcohol a extraer.

2.7 Control del proceso de fermentación.

Con el proceso de fermentación normal, se alcanzan concentraciones en alcohol entre 3,3% y 3,8% habiendo excepciones en el caso de elaboraciones de cervezas especiales. Si durante el proceso fermentativo no se dejan agotar todos los azúcares presentes en el mosto, no se alcanzarán concentraciones altas de etanol, pero en el fermentado resultante quedarán restos de azúcares fermentables, que harán que el producto sea microbiológicamente inestable, por proliferación de levaduras, hongos y/o bacterias. Aunque el pH de la cerveza sea relativamente ácido (3,5 - 5), éste no será suficiente para mantener el líquido en condiciones de estabilidad microbiana, por eso será necesario esterilizar el producto mediante sustancias químicas y/o conservarlo a temperaturas de inactividad microbiológica (Chandrasekhar, 1994).

Si en vez de interrumpir la fermentación, se procede a hacer una fermentación combinando alta y baja temperatura, también se consiguen cervezas con bajo contenido en alcohol y sin alcohol. El proceso consiste en someter los granos molidos a temperaturas de 75 a 80° C de forma que se reduce la fermentación del mosto. La fermentación se lleva a cabo por las levaduras que se utilizan en la elaboración de cerveza tradicional pero, bajo estas condiciones adversas para el correcto desarrollo de la levadura, la producción de alcohol es menor. Por ejemplo, un mosto de densidad 1,030 [g*cm⁻³], con una fermentabilidad del 30%, produciría una cerveza con un contenido alcohólico de 1,5%.

Otro proceso alternativo que limita la fermentación consiste en utilizar bajas temperaturas, de tal forma que el mosto es sometido a temperaturas de -1° C y se inocula con la levadura. Ésta, permanece en suspensión por el gas carbónico presente en el mosto. El tiempo de contacto puede ser de 24 a 48 horas. Durante el contacto de la levadura con el mosto en estas condiciones de tan baja temperatura, el metabolismo de la levadura está muy limitado y la producción de alcohol es muy pequeña. Sin embargo, se observa una considerable reducción del sabor de la cerveza y la formación de algunos ésteres.

El mayor inconveniente de la producción de cervezas con bajo contenido en alcohol limitando el desarrollo de la levadura, es que se forman ciertos ésteres y alcoholes superiores, como etil-acetato, isoamil-acetato, etc. que dan sabores y olores desagradables al producto final. Siguiendo los pasos descritos en el método de elaboración de cerveza y deteniéndose en el proceso de fermentación, es donde se controlará el consumo de sustratos, que se convertirán

en alcohol, entre otros productos, para disminuir el contenido de alcohol, usando un golpe de calor, logrando inactivar la fermentación, dada por las levaduras (Chandrasekhar, 1994).

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Destilación.

El proceso se realiza en el Laboratorio de Química de la Universidad Adventista de Chile. Para ello se toma una muestra de cerveza artesanal (elaborada en el Laboratorio Tecnológico de la misma Universidad), y se mantiene en ebullición entre 75 a 80° C, hasta que la ebullición termine, indicando la ausencia de alcohol en la muestra.

Se realiza la destilación en un equipo de destilación “Kjeldahl”. En ausencia de ebullición, se deja enfriar la muestra y se toman medidas de alcohol extraído experimentalmente y se comparara con el contenido de alcohol teórico.

El cálculo para el contenido de alcohol teórico se basa en la diferencia de densidad de la cerveza desde el comienzo del proceso de fermentación y el valor de densidad de la muestra a destilar (Ver anexo uno). Esta diferencia de densidades indica el contenido alcohólico en un centímetro cúbico.

$$\text{Contenido de alcohol} = \text{Densidad inicial} - \text{Densidad final}$$

3.2 Evaporación.

Se toma una muestra de cerveza a la cual se le extraerá el alcohol y se coloca en un balón de vidrio, el cual está conectado al equipo de evaporación por rotavapor. Se inicia la evaporación y de ser posible manteniendo temperaturas muy bajas (10 a 15° C) o evitando que la temperatura del producto ascienda de la temperatura ambiente.

Se evapora el alcohol evitando la evaporación del agua, si es posible, permitiendo la disminución de temperatura o el escape parcial del vacío en el equipo. Para finalizar se toman medidas del alcohol extraído y del producto concentrado, sin alcohol (Universidad de Granada, 2004). (Ver anexo tres).

3.3 Interrupción del proceso de fermentación.

Si durante el proceso fermentativo no se dejan agotar todos los azúcares presentes en el mosto, no se alcanzarán concentraciones altas de etanol. Entonces se realiza el proceso de

control sometiendo los granos a temperaturas de 75 a 80° C de forma que se reduzca la fermentación del mosto. De esta manera se obtiene una cerveza con menor contenido alcohólico (Chandrasekhar, 1994).

3.4 Evaluación sensorial mediante escala Hedónica.

Se realizó una test a un grupo de 30 estudiantes con gustos semi-entrenados para evaluar la cerveza a través de una escala Hedónica de cinco puntos; estos puntajes son los siguientes:

- 1 : Me disgusta mucho
- 2 : Me disgusta
- 3 : No me gusta ni me disgusta
- 4 : Me gusta
- 5 : Me gusta mucho

Se evaluaron tres tipos de muestras, la primera corresponde a la obtenida por destilación; la segunda por evaporación; y la tercera a partir de interrupción de la fermentación. Los parámetros evaluados consideraron características como: sabor, color, aroma, palatabilidad, efervescencia y por último una apreciación general para cada una de las muestras (Ver Anexo cuatro).

3.5 Técnica de análisis de datos.

Se aplica el análisis estadístico ANOVA, para determinar la significancia de cada parámetro en las tres muestras de cerveza, con la finalidad de determinar si existe diferencia significativa entre las tres muestras de cerveza a evaluar.

Para esto se utiliza el programa estadístico Statgraphics Plus, tomando un porcentaje de error aceptable del 5%.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Características de la extracción de alcohol.

Tabla 2

Características de la extracción de alcohol mediante el proceso de destilación y evaporación.

	Densidad inicial de la muestra [g/cm ³]	Densidad final de la muestra [g/cm ³]	Contenido de alcohol [g/100 cm ³]	Alcohol extraído [g/100cm ³]	Tiempo del proceso [minutos]
Promedio Destilación	1,051	1,018	3,3	1,76	78
Promedio Evaporación	1,051	1,018	3,3	1,44	14

El contenido de alcohol se refiere al contenido de alcohol teórico, determinado por diferencia de densidades (Ver Anexo uno). Éste es mayor que el alcohol que se extrajo al momento de aplicar los métodos de extracción (Ver tabla dos). El alcohol extraído corresponde al alcohol encontrado experimentalmente; el cual se extrae hasta la ausencia de ebullición que se da entre 75 y 85° C. Se comprueba la ausencia de alcohol obteniendo cero gramos por cada 100 cm³ al realizar una diferencia de densidades entre el producto antes del procesos de destilación y al término de este.

Un factor importante de considerar en la evaporación es la necesidad de un duro control de los equipos, ya que en varias ocasiones se complica el proceso al haber arrastre de agua o de la espuma propia del producto.

El tiempo promedio de cada uno de los procesos es de más de una hora para destilación y apenas 14 minutos para evaporación. Por lo que existe una gran cantidad de factores que se podrían evaluar en cuanto al ahorro de energía entre ambos métodos. Uno de ellos es la energía consumida por el equipo de destilación y en el otro caso la energía consumida por la bomba de vacío del proceso de evaporación.

Se realizó un precalentamiento en la muestra sometida a destilación y un proceso lento de destilación, para generar el mínimo pardeamiento en las muestras que fueron destiladas.

4.2 Interrupción del proceso de fermentación.

Tabla 3

Cambios de contenido de alcohol en el transcurso de la fermentación.

Días	Densidad [g/cm ³]	Cont. Alcohol [g/ 100 cm ³]	Grados Brix
1	1,051		12
2	1,048	0,3	11,5
3	1,040	1,1	11
4	1,030	2,1	10
5	1,027	2,4	9,5
6	1,025	2,6	9

En el método de interrupción del proceso de fermentación, se consigue una cerveza con menor contenido alcohólico, corroborando así lo mencionado en la teoría. Interrumpiendo el proceso fermentativo por golpe de calor al cuarto día, se tiene una cantidad de alcohol de 2,1 g/100 cm³.

Tabla 4

Contenido de alcohol del producto elaborado según destilación, evaporación e interrupción del proceso de fermentación.

Contenido de alcohol [g/100 cm ³]	
Destilación	3,3
Evaporación	3,3
Interrupción de fermentación (día 1)	0
Interrupción de fermentación (día 2)	0,3
Interrupción de fermentación (día 3)	1,1
Interrupción de fermentación (día 4)	2,1

Se ha considerado como punto crítico el día cuatro en la interrupción del proceso de fermentación, puesto que en este día se combinan tanto las características organolépticas deseables propias del ciclo fermentativo con la de un mínimo contenido de alcohol. Es por

esto que en el cuarto día se realizó un golpe de calor para detener el proceso de fermentación, deteniendo así la acción de las levaduras.

En los proceso de destilación y evaporación, se trabajó con un producto elaborado bajo los mismos parámetros y por tanto un mismo contenido de alcohol. A diferencia de éstos, el producto en el que se realiza una interrupción del proceso de fermentación tiene un contenido de alcohol mucho menor.

Al realizar una interrupción del proceso fermentativo y el posterior golpe de calor, se logra eliminar el alcohol de este producto.

4.3 Evaluación sensorial.

Tabla 5:

Evaluación sensorial de cerveza analcohólica, puntajes de escala Hedónica.

Producto obtenido por:	Sabor	Color	Aroma	Palatabilidad	Efervescencia	Apreciación General
Destilación	4,2±0,408 ^a	4,0±0,408 ^a	4,8±0,392 ^a	4,0±0,416 ^a	2,4±0,416 ^a	3,8±0,356 ^a
Evaporación	2,6±0,408 ^b	4,0±0,408 ^a	3,6±0,392 ^b	2,6±0,416 ^b	2,4±0,416 ^a	3,0±0,356 ^b
Interrupción	3,0±0,408 ^b	3,0±0,408 ^b	3,6±0,392 ^b	2,6±0,416 ^b	2,0±0,416 ^a	2,8±0,356 ^b

De los resultados encontrados al evaluar los tres tipos de cerveza mediante el test de evaluación se pudo determinar lo siguiente: se puede notar que la cerveza a la que se le extrajo alcohol mediante un proceso de destilación tiene una mejor apreciación general que las cervezas obtenidas por los demás métodos. Además se nota una diferencia significativa en comparación con los otros métodos, haciendo de este método el mejor evaluado.

En otros parámetros como: sabor, aroma y palatabilidad, se puede notar diferencias significativas entre el producto obtenido mediante destilación y los demás métodos. De estos en la palatabilidad se nota una clara diferencia de los demás parámetros evaluados, notándose así que de corregir este defecto, se podría tener una cerveza mucho mejor evaluada.

En cuanto al proceso de evaporación y de interrupción del proceso de fermentación se nota que no existen diferencias significativas entre estos dos métodos a excepción del parámetro del color, siendo menos relevantes que en la aplicación del proceso de destilación.

CAPITULO V

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

5.1 Discusiones.

- En cuanto al funcionamiento de un equipo evaporador de Rotavapor, la Universidad de Granada menciona que la temperatura de baño no debe exceder de los 30 a 40° C. En la investigación realizada se encuentra que para la cerveza solo es necesario mantener una temperatura ambiente en el agua de baño ya que la influencia de mayor temperatura hace mucho mas complicado el control de la evaporación. En otros tipos de líquidos es necesario aumentar la temperatura para conseguir la concentración del producto eliminando agua. En la cerveza se desea eliminar alcohol solamente. Por tanto como el porcentaje de alcohol por extraer es tan bajo, no se adiciona temperatura al baño de agua.
- En el proceso de destilación se controla la temperatura. Arthey (1997), menciona que manteniendo una temperatura de 78,4° C es posible conseguir la ebullición de etanol. Este control de temperatura se mantiene dentro de un rango de 75 a 85° C, para de esta manera lograr la completa ebullición de alcohol. Debido a que el termómetro no esta en contacto directo con el producto en ebullición, es posible que se tienda a subestimar la temperatura, razón por la cual se mantiene la destilación en el rango de temperaturas ya mencionado ya que al aumentar esta temperatura existe el peligro de evaporar el agua del producto.
- Según Song P.S. y Chichester C.O. (1967), la reacción de Maillard es el resultado de productos reductores, primariamente azúcares, que reaccionan con proteínas o con grupos amino libres. Esto pudo ser observado en momentos en que el producto fue expuesto por mayor tiempo del necesario o a temperaturas más altas, apareciendo características sensoriales indeseables como pardeamiento, olor y sabor desagradables. Estas características son atribuibles a la reacción de Maillard.
- Vogel, (1999) presenta una forma que permite determinar el contenido de alcohol que se obtiene en el proceso de fermentación de una cerveza. El menciona que gracias a la diferencia de densidades entre el nivel inicial y final de la fermentación, se puede calcular el contenido de alcohol del producto fermentado. Sin embargo en las experiencias de extracción, los cálculos obtenidos por este método dejan de lado un porcentaje que es

atribuible a la volatilización propia del etanol. Esto fue visualizado al realizar el proceso de destilación, cuando las cantidades de alcohol destilado no fueron iguales a las cantidades calculadas en forma teórica.

5.2 Conclusiones.

- El método de mayor efectividad en la extracción de alcohol encontrado es el de destilación.
- Es posible elaborar un producto fermentado alcohólicamente y a éste aplicar los diferentes procesos de extracción de alcohol planteados.
- Se elaboró el producto fermentado al que se le extrajo el alcohol mediante evaporación con un equipo de rotavapor.
- Se logró elaborar un producto a base de cebada al cual se aplicó el método de interrupción del proceso fermentativo.
- Al producto elaborado se le extrajo el alcohol, hasta conseguir un valor del cero por ciento de contenido alcohólico.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aldón, Hugo. (s.f./2008). *Elaboración de cerveza: Pasos para la elaboración* [documento de WWW]. URL <http://aldon.org/cerveza/sectos.htm>
- Arthey, P.R. Ashurt. (1997). *Procesado de frutas*. Zaragoza: Acribia.
- Barbosa-Cánovas, Gustavo. Ma, Li. y Barletta, Blas. (1997). *Manual de laboratorio de Ingeniería de alimentos*. España: Acribia.
- Belitz H. D y Grosch. W. (1988). *Química de los Alimentos: Bebidas Alcohólicas*. España: Acribia.
- Biodiversityexplorer. (s.f./2008). *Hordeum vulgare (Barley)* [documento de WWW]. URL http://www.biodiversityexplorer.org/plants/poaceae/images/eos07369_327w.jpg
- Brenan, J.G. (1980). *Las operaciones de la Ingeniería de los alimentos (2ª. ed.)*. España: Acribia.
- Castro Mauricio y Pereira Álvaro (diciembre, 2006) *Actualización de precio objetivo: Compañía Cervecerías Unidas S.A. / Sector Bebidas Mantener*. Bci Corredor de Bolsa.
- Cerveceros de España (s.f./2007). *Datos del sector. Europa* [documento de WWW]. URL http://www.cerveceros.org/d_sector_europa.asp
- Cerveza casera. (s.f./2008). *Haga su propia cerveza en casa* [documento de WWW]. URL <http://www.cervezacasera.cl/maceraacion.htm>
- Chandrasekhar, J. (1994). *Production of Low Alcohol Beer and Alcohol-free Beer using a Combination of High Temperature Mashing and Cold Contact Fermentation*. BRF International.

- Couyoumdjian, Juan Ricardo. (dic. 2004) *Una bebida moderna: La cerveza en Chile en el siglo XIX. Historia (Santiago). Chile*. Tesis. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile.
- Hochberg, U.; Zander, J. (1988). *Desalcoholización de la cerveza por medio de evaporación en el evaporador de flujo descendente*. Brauerei-Journal.
- Hoseney R, Carl (1991). *Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales*. España: Acribia.
- Innatia. (s.f./2008). *Variedades de Cerveza* [documento de WWW]. URL <http://www.innatia.com/s/c-variedades-cerveza.html>
- Kent N. L. (1987). *Tecnología de los cereales. Introducción para estudiantes de ciencia de los alimentos y agricultura*. España: Acribia.
- Manzini E, Andrés. (2003, 10 de febrero). *Evalúan calidad de cervezas rubias vendidas en Chile* [documento de WWW]. URL http://www.lun.com/ediciones_anteriores/detalle/noticia.asp?idnoticia=C37661785694444&dia=10&mes=2&anno=2003
- Martínez Alvarez J.R.; Villarino Marín A y Cobo Sanz JM. (s.f./2000). *Cerveza y Salud: Cerveza sin Alcohol. Sus Propiedades* [documento de WWW]. URL <http://www.cervezaysalud.es/html/publicaciones.htm>
- Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile. (1998). *Manual: Métodos de Análisis Fisicoquímicos de Alimentos, aguas y suelos*. Chile.
- Mollenhauer, (1992; septiembre). *Bebidas desalcoholizadas en el área de los refrescos*. Food Technologie Magazin.
- Monografías. (s.f./2006). *Cerveza Orgánica* [documento de WWW]. URL <http://www.monografias.com/trabajos52/cerveza-organica/Image5325.gif&imgrefurl>

Owen P. Ward. (1989). *Biotecnología de la Fermentación*. España: Acribia.

Portocarrero, Robert. (2008, 1 de junio). *Historia de la cerveza*. [documento de WWW]. URL http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_cerveza

Simonazzi, Analia. (2007, Enero). *Tipos de cervezas* [documento de WWW]. URL <http://www.monografias.com/trabajos11/cervza/cervza.shtml?monosearch>

Song P.S. y Chichester C.O. (1967). Kinetic behavior and mechanism of inhibitor in the Maillard reaction. *Journal Food Science* 32:98.

Taringa (s.f./2008). *Cerveza Casera* [documento de WWW]. URL <http://www.taringa.net/posts/recetas-y-cocina/1002111/Cerveza-Casera.html>

Teran Montero, Cinthya Carolina. (2007) *Extracción de etanol a partir de maíz (Zea mays l, var. indentata), trigo (Triticum turgidum L, var. durum Husn) y avena (Avena sativa, var. Strigosa Schreb)*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Agroindustrial. Universidad Adventista de Chile. Chile.

Universidad de Antioquia. UDEA. (s.f./2008). *Recristalización y destilación* [documento de WWW]. URL <http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslabquimico/02practicass/practica08.htm>

Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Dpto. Química Orgánica (s.f./2004). *Operación de un Rotavapor* [documento de WWW]. URL http://www.ugr.es/~quiorred/lab/oper_bas/dest_red.htm

Wolfgang Vogel, Kôngen (1999). *Elaboración de Cerveza Artesanal*. Alemania.

Ximenez, Pedro Eduardo (s.f./1995). *Destilación, Teoría y Tipos* [documento de WWW].

URL http://www.alambiques.com/tecnicas_destilacion.htm

APÉNDICES

Anexo Uno:

Cálculo del contenido de alcohol:

Por ejemplo si se tiene:

Densidad inicial: 1,051 [g/ cm³]

Densidad final: 1,018 [g/ cm³]

$$\text{Contenido de alcohol} = \text{Densidad inicial} - \text{Densidad final} \quad \text{ec.1}$$

$$\text{Contenido de alcohol} = 1,051 \text{ [g/ cm}^3\text{]} - 1,018 \text{ [g/ cm}^3\text{]}$$

$$\text{Contenido de alcohol} = 0,033 \text{ [g/ cm}^3\text{]}$$

Es decir, se tienen 0,033 gramos de alcohol por cada centímetro cúbico de cerveza obtenidos.

Por tanto en 100 cm³ se tiene 3,3 gramos de alcohol.

Anexo Dos:

Laboratorio de Destilación.

Materiales y Equipos:

- Cerveza artesanal (elaboración propia).
- Manta calefactora.
- Termómetro manual.
- Lactodensímetro.
- Balón de destilación.
- Mangueras para refrigeración.
- Soporte universal.
- Pinzas.
- Probeta de 100 cm³.
- Pipeta.
- Papel aluminio.
- Vaso precipitado 500 cm³.
- Pesa.
- Crema de alto vacío.

- Equipo de destilación Kjeldahl.
- Tubo conector Claisen.
- Adaptador de termómetro.

Reactivos:

- Ácido sulfúrico 3 cm³.

Procedimiento o método:

- Se toman datos de volumen, densidad, temperatura, masa de la muestra de cerveza clarificada para determinar resultados de la destilación.
- Se realizan cálculos del contenido de alcohol de la muestra de cerveza.
- Se monta el equipo de destilación.
- Colocando el balón de destilación con la muestra en la manta calefactora, se inicia el proceso de destilación.
- Se mantiene la temperatura de destilación entre 75 y 80° C. En este rango de temperatura se debe observar una ebullición permanente, que indica la ebullición y por tanto extracción del alcohol que se encuentra en la cerveza.
- Una vez que no se detecta ebullición a 85° C, se detiene el proceso, ya que todo el alcohol ha sido extraído.
- Se deja enfriar la muestra y se registran los resultados obtenidos para el respectivo balance de materia.

Datos Experimentales.

Al inicio del proceso:

- Masa de matraz A con muestra de cerveza a destilar: 368,8 g.
- Masa de matraz A: 167,8 g.
- Masa de muestra de cerveza a destilar: 201 g.
- Volumen de la muestra: 200 cm³.

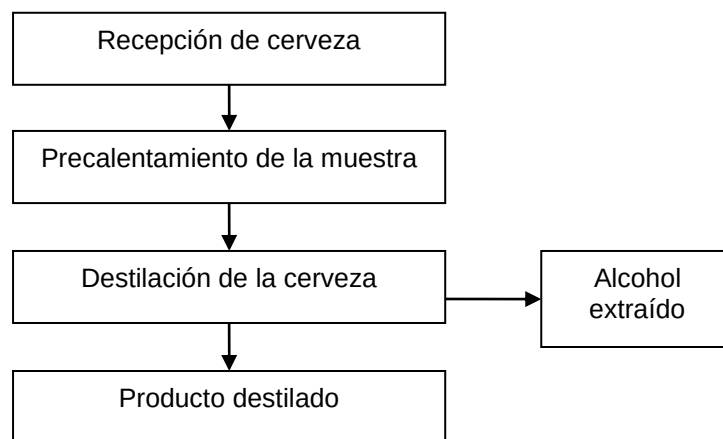
- Densidad de la muestra: $1,018 \text{ g/cm}^3$.
- Masa de alcohol a extraer: $6,6 \text{ g/200cm}^3$ (teórico).

Al final del proceso:

- Masa de matraz A con muestra de cerveza analcohólica: 363,8 g.
- Masa de matraz A: 167,8 g.
- Masa de muestra A de cerveza destilada (sin alcohol): 196 g.
- Masa de matraz B: 161,8 g.
- Masa de alcohol extraído: $3,3 \text{ g/100 cm}^3$. (experimental).

Diagrama de bloques del proceso de destilación.

Figura 11: Diagrama de bloques del proceso de destilación de cerveza (Elaboración propia, 2008).



Contenido de alcohol:

Contenido de alcohol para extraer de la muestra: $6,6 \text{ g/200cm}^3$.

Cantidad de alcohol extraído experimentalmente: $3,3 \text{ g/100cm}^3$

Anexo Tres:

Laboratorio de Evaporación.

Materiales y Equipos:

- Cerveza artesanal (elaboración propia).
- Evaporador a rotavapor de la Universidad Adventista.
Marca: Bringman Instruments
- Compresor
Marca: Precission.
Modelo: D 25
- Agitador magnético térmico:
Marca: Termolyne.
Modelo: Cimatec 2
- Manómetro:
Instrumentación de la Universidad Adventista.
- Termostato:
Marca: Fisher automerse.
- Refractómetro:
Marca: Veto.
- Termómetro manual.
- Crema de alto vacío (evitar filtraciones).

Procedimiento o método:

- Se realiza una clarificación de la cerveza, para tener la menor cantidad posible de partículas suspendidas que puedan provocar una evaporación instantánea.
- Se arma el equipo, colocando crema de alto vacío en las bocas de los balones.
- Se enciende el compresor y se abre lentamente la llave de control para el vacuómetro, luego se cierra la válvula de alivio de vacío. De esta manera se puede empezar con el proceso de evaporación.
- Concentración por evaporación.

- Se toman datos de presión y temperatura cada 5 minutos, con la finalidad de llegar a una presión y temperaturas de equilibrio y se continúa con la evaporación.

Para finalizar:

- Se cierra la válvula que controla entrada de presión al vacuómetro.
- Se abre la válvula de presión del evaporador.
- Se apaga el vacuómetro para que de esta manera el cese de la generación de presión del compresor no dañe el vacuómetro.
- Se analizan los datos de pesos de muestra obtenidos.

Datos Experimentales

Al inicio del proceso:

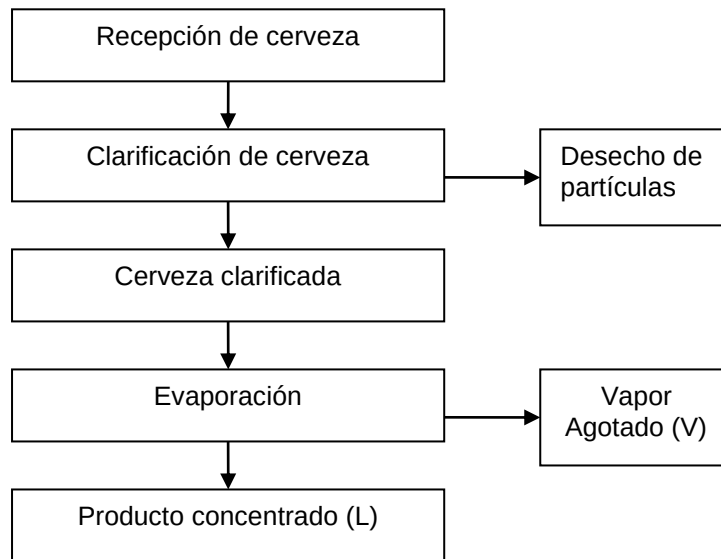
- Alimentación de entrada = 61,3 g
- T° de alimentación= 11° C
- Baño de agua= 11° C
- Densidad = 1,018 g/cm³.
- Volumen de muestra de alimentación = 200 cm³.

Al final del proceso:

- Cantidad de muestra evaporada = 58,4 g.
- Cantidad de alcohol extraído = 2,9 g/200 cm³

Diagrama de bloques del proceso de evaporación:

Figura 12: Proceso de evaporación de cerveza (Elaboración propia, 2008).



Anexo Cuatro:

**TEST DE EVALUACIÓN SENSORIAL.
ESCALA HEDÓNICA.**

A continuación usted tendrá en frente tres muestras de cerveza artesanal libres de alcohol, por favor evalúe cada parámetro, según escala adjunta.

ESCALA:

- 1 Me disgusta mucho
- 2 Me disgusta
- 3 No me gusta ni me disgusta
- 4 Me gusta
- 5 Me gusta mucho

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Sabor			
Color			
Aroma			
Palatabilidad			
Efervescencia			
Apreciación general			

Observaciones:

Muchas Gracias!!