

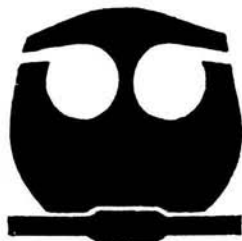


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DESARROLLO DE CONDICIONES  
METODOLÓGICAS PARA ELABORAR  
CERVEZA ALE A NIVEL LABORATORIO

**T E S I S**  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**QUÍMICO DE ALIMENTOS**  
P R E S E N T A :  
**RAFAEL GALINDO PACHECO**



EXAMENES PROFESIONALES  
MEXICO, D. F. FACULTAD DE QUÍMICA

2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

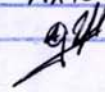
NOMBRE: \_\_\_\_\_

RAFAEL GALINDO PACHECO

FECHA: \_\_\_\_\_

24 - MAYO - 2004

FIRMA: \_\_\_\_\_



Jurado Asignado:

Presidente

Prof. Federico Galdeano Bienzobas

Vocal

Prof. Miguel Ángel Hidalgo Torres

Secretario

Prof. Alfredo Salazar Zazueta

1er. Suplente

Prof. Gloria Díaz Ruiz

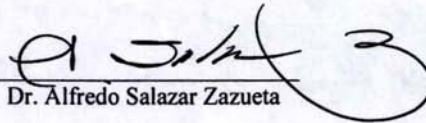
2º. Suplente

Prof. Luis Padilla Fuentes

Sitio en donde se desarrolló el tema:

Facultad de Química, UNAM. Laboratorio 4 – A, Edificio A.

Asesor del Tema:



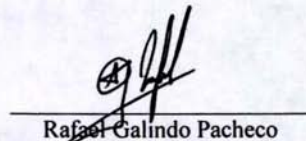
Dr. Alfredo Salazar Zazueta

Supervisor Técnico:



Ing. Luis Padilla Fuentes

Sustentante:



Rafael Galindo Pacheco

## **Dedicatorias**

---

*A mis Padres:*

*Por toda su paciencia, amor y enseñanzas transmitidas en estos años. Gracias por brindarme un excelente ejemplo y por alentarme en las buenas y en las malas. Ambos son las personas a quienes más quiero y admiro. Este logro también es parte suya, espero sea una de tantas satisfacciones más que yo les pueda brindar. LOS AMO.*

*A mis Abuelos Rafa y Alicia:*

*Que desde arriba sigan mis pasos y cuidan de mí. Me hubiera encantado compartir este momento tan especial de mi vida con ustedes. Me comprometo a que no sea la última ocasión en que se sientan orgullosos de mí: LOS QUIERO MUCHO, SIEMPRE ESTARÁN EN MI CORAZÓN.*

*A Tania:*

*A ti hermana querida, por todas tus atenciones conmigo. Espero ser un buen ejemplo, te invito a seguir luchando por alcanzar tus metas, ojalá ésta ocasión sea un estímulo para que en un futuro no muy lejano tú también culmines exitosamente tus estudios.*

## **Agradecimientos**

---

*A mis Tíos:*

*Por brindarme su apoyo en todo momento, espero ser un digno ejemplo para sus hijos.*

*A mis Primos (Alfredo, Marlene, Alicia, Octavio y Omar):*

*Los invito a superarse, pongan mucho empeño y dedicación a sus estudios. Es la mejor forma de darle satisfacciones a sus padres. Recuerden que siempre estaré para apoyarlos y brindarles mi tiempo para lo que sea necesario.*

*A la Maestra Lucía Cornejo y al Doctor Alfredo Salazar:*

*Por brindarme sus valiosos consejos y además su amistad. Gracias por su valiosa ayuda y sobre todo por haber tenido siempre un momento para escucharme.*

*Al Ingeniero Luis Padilla y al Biólogo Iván Rocha:*

*Por compartir sus conocimientos en el área, brindarme su tiempo y ayuda. No tengan duda de que su experiencia fue bien aplicada en la elaboración de este trabajo.*

*A la Profesora Ma. Elena Villatoro:*

*Por su incalculable ayuda y comprensión. Gracias por brindarme su amistad y permitirme trabajar a su lado.*

*Al Doctor Francisco Ruiz:*

*Le agradezco las facilidades que me brindó para trabajar en su laboratorio.*

*A Liliana:*

*Por ser la persona que me brindó su ayuda, tiempo, comprensión y amistad en todo momento. Las experiencias que vivimos a lo largo de la carrera nunca las podré olvidar.*

*A Esmeralda, Ligia, Cristina, Pancho, César y Alexey:*

*Por su amistad sincera y comprensión en todo momento. Gracias por compartir un sin fin de anécdotas y experiencias inolvidables. Deseo mantener su amistad por siempre.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México:*

*Por inculcarme disciplina y responsabilidad a lo largo de mi formación. Gracias por compartir tu sabiduría, instalaciones, tiempo y sobre todo, tu gente. Eres la mejor institución, me contagiaste un gran sentimiento y me ensañaste a querer tus colores. Tú eres mi segunda casa: SOY DE SANGRE AZUL Y PIEL DORADA.*

## Índice

---

I	Introducción	1
II	Objetivos	4
III	Antecedentes	5
IV	Materias Primas	9
	▪ Cebada	9
	▪ Adjuntos	12
	▪ Lúpulo	13
	▪ Agua	16
	▪ Levadura	18
V	Proceso	20
	▪ Malteo	20
	▪ Molienda	24
	▪ Maceración	25
	▪ Filtración	27
	▪ Ebullición del Mosto	28
	▪ Enfriamiento del Mosto	30
	▪ Fermentación	31
	▪ Clarificación	33
	▪ Embotellado	34
VI	Metodología	35
VII	Resultados y Discusión	53
VIII	Conclusiones	70
IX	Bibliografía	71
X	Anexos	76

## I. INTRODUCCIÓN

---

Con base en referencias sobre la civilización Egipcia y Babilónica se conoce que la producción de cerveza data de hace 5,000 – 8,000 años (Mallowan,1961). El arte de su elaboración ha venido evolucionando, quizá, primeramente debieron producirse varios descubrimientos de forma independiente, por ejemplo, que al exponer al aire jugos de frutas o extractos de cereales se obtenían bebidas fermentadas (vino de cebada), posteriormente se fueron dando mejoras paulatinas a las técnicas de elaboración, hasta el desarrollo de la tecnología actual que es el producto de la acumulación de los resultados científicos generados por programas de investigación.

El proceso para elaborar cerveza artesanal consistía en triturar la cebada (malteada o no), se mezclaba con agua y se hervían ligeramente para obtener una papilla. Esta se dejaba fermentar durante algunos días y se pasaba a unas cestas que favorecían el goteo del líquido que se recogía en un botijo. Se solía añadir miel y algunas plantas aromáticas (Ishida,2000). Posteriormente los celtas, y más tarde los germanos, introdujeron la cerveza al norte de Europa, donde la elaboración de cerveza era artesanal. La popularidad de la "cervesia" o "cervoise" entre los galos se debía, en parte, a la falta de agua potable. Para su elaboración usaban más el trigo que la cebada, y la especia que más frecuentemente se añadía era el comino, aunque también se solía agregar miel. Los galos inventaron las cubas y los toneles, ambos de madera; los primeros servían para la fermentación y maduración, y los toneles para la conservación y transporte de la cerveza. Prácticamente la producción se destinaba al consumo familiar y las recetas se transmitían de generación en generación. Tiempo



después, la elaboración de cerveza se admitió como un oficio y de esta forma comenzó a producirse en cervecerías comunes por pueblo (Arnold,1911).

Durante los siglos VI y VII se fundaron en Bélgica los primeros monasterios, en cada uno de ellos había un edificio dedicado a la elaboración artesanal de su propia cerveza. Uno de los ingredientes utilizados frecuentemente en estas épocas fue el gruit o grutum (mezcla de cinco o seis plantas silvestres) que le impartía un sabor característico a la cerveza. Sin embargo, una de las aportaciones más importantes dentro del proceso cervecero se gestó en el siglo XII, la introducción del lúpulo como un nuevo ingrediente. Su sabor amargo, su aporte de aroma y su mejor conservación fueron las causas que fomentaron su uso. Además, mejoró las posibilidades de transporte y comercialización del producto. La fabricación de cerveza ligera y lupulizada hizo que desapareciera el gruit y que la denominación "cervesia" o "cervoise" cambiara a "bier" (Arnold,1911).

Hasta finales del siglo XV la cerveza se fabricaba mediante fermentación espontánea y a partir del siglo XVI se comenzó a utilizar la levadura e inclusive los restos de una producción anterior, que contenía restos de fermentación, garantizando así la continuidad del proceso y la homogeneidad de los lotes subsecuentes (Clerk,1969).

Durante el siglo XVIII, la industria cervecera se actualizó con la tecnología que se importaba principalmente de Inglaterra. Y precisamente un siglo después fue cuando se dio el ascenso de la industria cervecera mexicana, fundándose importantes establecimientos como la Pila Seca (1825) y la Candelaria (1849). El hecho que marcó la historia cervecera

mexicana fue la Fundación de la cervecera Cuauhtémoc en 1890, año en el cual la industria cervecera se consolida por completo ([www.gmodelo.com](http://www.gmodelo.com)).

Actualmente el Grupo Modelo y el Grupo Cuauhtémoc-Moctezuma encabezan la industria cervecera mexicana. Sin menospreciar algunas Microcerveceras que se encargan de fabricar cervezas de corte artesanal, entre ellas destacan *Beer Factory*, *Cervecería Casta*, entre otras. Por el momento, es solo en estas microcerverías donde se puede degustar cervezas *Ale*, por lo que el objetivo de este proyecto es desarrollar las condiciones para elaborar cerveza *Ale*.

## II. OBJETIVOS

---

### Objetivo General

Desarrollar una metodología para elaborar cerveza *Ale* a nivel laboratorio.

### Objetivos Específicos

Establecer una formulación que permita elaborar cerveza *Ale*.

Desarrollar y adecuar el equipo necesario para elaborar cerveza *Ale* a nivel laboratorio.

Realizar el seguimiento de azúcares fermentables, contenido de alcohol en volumen y unidades de amargor, que permitirán evaluar la calidad del producto.

Determinar el perfil organoléptico de la cerveza elaborada.

### III. ANTECEDENTES

---

La cebada ocupa el cuarto lugar de importancia en la producción mundial de cereales con 170 millones de toneladas, siendo Canadá el principal productor con 11 millones de toneladas, seguido de países como Rusia, Alemania, Francia, España, Turquía y Estados Unidos. En este rubro, México aporta tan solo un 0.3% de la producción, aún cuando la producción y comercialización de este cereal juega un papel importante en la economía de nuestro país debido a su correlación con la industria cervecera (Bancomext, 2003).

En el ámbito nacional, aproximadamente el 60% de la cebada producida en México se obtiene de los estados de Hidalgo y Tlaxcala, y el 40% restante, de otros estados como son Guanajuato, Estado de México, Zacatecas, entre otros. La superficie cultivada en México es de aproximadamente 290, 000 hectáreas, con un rendimiento promedio de 2.5 ton/ha y predominando tajantemente el cultivo de temporal (Agrosíntesis, 1998).

Este cereal es la materia prima ideal para la elaboración de malta debido a su alta actividad enzimática, tal característica se aprovecha en la elaboración de cerveza. Si bien durante aproximadamente 10,000 años se ha gestado la historia de la cerveza, es difícil establecer una cifra acerca de la cantidad de los diferentes estilos que han ido surgiendo y desapareciendo con el paso de los años (Daniels, 2001). Es verdad que existen cervezas, que hoy en día son conocidas por ser fabricadas en famosos centros europeos, además de cumplir con las expectativas de sabor y calidad impuestas por los conocedores. Pero es precisamente aquí, donde antes de hablar de estilos se debe mencionar la más simple y sencilla división dentro del mundo cervecero.

La primera clasificación en cuanto a los diferentes tipos de cerveza debe realizarse con base a la fermentación aplicada: la de superficie o la de fondo, también llamadas de fermentación alta y baja, respectivamente. En ellas se utilizan dos tipos de cepas de levaduras diferentes *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces uvarum*, la primera tiende a flotar al final de la fermentación y la segunda tiende a precipitarse. Las cervezas elaboradas con levaduras de fermentación de superficie son llamadas comúnmente "Ale" y las cervezas elaboradas con levaduras de fermentación de fondo "Lager" (Hough, 1994).

La cerveza tipo Ale precedió en muchos siglos a la Lager. Sin embargo, el sabor suave de esta última la hace el tipo de cerveza más consumida en el mercado. Tradicionalmente la producción de cerveza Ale se asocia con Inglaterra, sin embargo, ésta se produjo inicialmente en Edimburgo, Escocia. Su sabor y aroma son complejos, incluye algunas variedades afrutadas y otras amargas con fuerte nota a lúpulo. Generalmente es de color cobrizo, aunque existen variedades que abarcan desde el color claro hasta el negro.

En el mercado internacional existen un gran número de variedades de cervezas Ale. En Inglaterra la típica Ale es dulce y suave, generalmente no es pasteurizada y se prefiere beberla a temperatura ambiente. Los ingleses no le dan mucha importancia a la espuma, al contrario de los Belgas y Alemanes. En la mayoría de los casos las cervezas Ale producidas en otros países son imitaciones del estilo británico, aunque existen excepciones. En Estados Unidos también se producen cervezas Ale, aunque generalmente solo utilizan el término para referirse a las cervezas con más de un 5% de alcohol en volumen (Glover, 1995).

La terminología más ampliamente utilizada para nombrar las variedades de cerveza es la inglesa, a continuación se definen algunas de ellas (Glover, 1995):

### ***Bitter***

El nombre viene de la voz inglesa que significa “Amargo”, usado inicialmente para designar aquellas cervezas con adición de lúpulo. En realidad, aunque algunas son verdaderamente amargas, el sabor de otras no difiere mucho de las *Pale Ale* normales. Son cervezas secas, con bastante lúpulo y generalmente con poco contenido alcohólico, el cual oscila entre 3.5 – 4% para la cerveza normal, 4 – 4.75% para la *Best* o *Special* y 5.5% para la *Extra Special*. El color de la cerveza *Bitter* varía del dorado al cobre rojizo y su contenido de gas es escaso. Generalmente genera poca cantidad de espuma, no se pasteuriza y se sirve a temperatura ambiente.

### ***Brown Ale***

Es una cerveza de color oscuro, cuerpo medio y sabor suave a malta, a veces afrutado, con un toque a lúpulo para cortar el gusto dulce de la malta. Las *Brown Ale* inglesas producidas en el norte tienen un contenido alcohólico que varía de 4.5 – 5%, mientras que las del sur son más oscuras y contienen de 3 – 3.5% de alcohol en volumen.

### ***Pale Ale***

Este estilo es un clásico de la cerveza inglesa, tiene un sabor amargo muy pronunciado y un aroma que opaca casi por completo cualquier vestigio frutal o de malta, debido a una inusual concentración de lúpulo en su composición. Aunque su nombre (*Pale*) hace

referencia a un color pálido, en realidad varía entre el color bronce y el rojo ámbar, aunque si es bastante translúcida. Al parecer, ese nombre le fue dado para diferenciarlas de las *Porter* y *Stout* que son de color más oscuro. Generalmente su contenido de alcohol varía entre 4.5 – 5.5% de alcohol en volumen.

Bélgica también produce una cerveza de aroma picante bajo la denominación *Pale Ale*, aunque es más dulce, con sabor a malta y frutas. Por otro lado, en Estados Unidos se producen *Pale Ale* más ligeras, con menos sabor a malta y aroma ácido a lúpulo.

### ***Strong Ale***

Mejor conocida como *Old Ale* y en menor medida como *Stock Ale*, la *Ale* Fuerte inglesa posee un fuerte contenido alcohólico (6 % de alcohol en volumen), aunque menor que el Vino de Cebada (*Barley Wine*). Son cervezas de cuerpo denso, color ámbar oscuro y sabor malteado y dulce. Este tipo de cerveza puede ser envejecida por varios años madurándose muy bien.

La *Ale* Fuerte de Bélgica también conocida como *Golden Ale* es también muy similar al Vino de Cebada y por ende a la *Old Ale* inglesa, tiene el sabor dulce de la malta y un contenido alcohólico bastante alto. El color de esta cerveza oscila entre el dorado pálido al pardo oscuro, aunque en las versiones más oscuras no solo varía el color, sino que también son más dulces y tienen más cuerpo.

## IV. MATERIAS PRIMAS

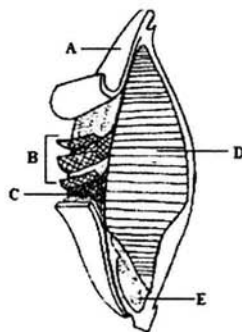
---

### 4.1 CEBADA

Existen esencialmente dos variedades de cebadas malteras, la de dos hileras (*Hordeum distichum*) y la de 6 hileras (*Hordeum vulgare*). El tamaño del grano depende de la influencia del ambiente y sus dimensiones varían de los 6.0 mm a los 9.5 mm de longitud, de ancho mide entre 1.5 y 4.00 mm y su densidad es de aproximadamente 60.50 kg/Hl en cebadas de 6 hileras y de 66.40 kg/Hl en las de dos hileras. En general, de acuerdo con las características de tamaño, el grano se clasifica arbitrariamente en: grande, mediano y pequeño (Serna, 2001).

Durante el desarrollo de este trabajo, el conocimiento de la estructura y composición del grano de cebada es esencial para comprender los cambios que se realizan en el proceso cervecero, por lo tanto, debido al amplio estudio del que a sido objeto este cereal, a continuación se describe su estructura (Figuroa,1985):

**Figura 1. Estructura del Grano de Cebada**



A. Cascarilla; B. Pericarpio y Epicarpio; C. Capa de Aleurona; D. Endospermo; E. Embrión.



Cáscara: funciona como capa protectora del grano, de consistencia gruesa en la parte que cubre el germen y más delgada en el extremo opuesto. Generalmente las cebadas de 2 hileras tiene cáscaras mas delgadas que las de 6 hileras. Es fuente de hemicelulosa, proteínas y taninos.

Pericarpio y Epicarpio: estas estructuras son capas semipermeables ubicadas debajo de la cascarilla, evitan el paso de agua, ácidos y álcalis entre otros. Y contienen principalmente lípidos.

Aleurona: comprende tres capas de células vivas, en las cuales se inicia la síntesis primaria de la mayor parte de las enzimas del grano, estas a su vez se necesitaran para modificar la cebada.

Endospermo: localizado debajo de las capas de aleurona, se compone principalmente de almidón. El almidón se encuentra en forma de gránulos en tamaños grande (20 – 30  $\mu\text{m}$ ) y pequeño (1 – 6  $\mu\text{m}$ ), que a su vez están constituidos por amilosa y amilopectina.

La amilosa representa el 25 % del almidón y está constituida por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  1,4 – glucosídicos, cuya molécula se encuentra enrollada en forma de hélice. La amilopectina constituye el 75 % del almidón y es un polímero ramificado formado por unidades de glucosa enlazadas por uniones  $\alpha$  1-4 glucosídicos y con una ramificación en la unión  $\alpha$  1-6 cada 25 unidades.

Embrión: Contiene una elevada cantidad de proteína, grasa y ácidos nucleicos. Estimula la síntesis de enzimas y es aquí donde principia la germinación, con el desarrollo de las raicillas y la plúmula.

Los componentes presentes en las diferentes estructuras que conforman el grano de cebada determinan en gran parte las propiedades que presenta el grano para desarrollar las actividades para las que se requiere, esto se refleja de forma más sencilla en la composición química del grano, Tabla 1.

**Tabla 1. Composición del Grano de Cebada**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Proteína	10 - 12
Grasa	1.8 - 3.0
Carbohidratos	54 - 65
Celulosa	8 - 10
Minerales	2 - 3
Agua	10 - 14

Fuente: Canadian Grain Comision, 2001

La humedad, es un parámetro importante pues determina el estado del grano. Un porcentaje de humedad elevado, favorece su contaminación y afecta la germinación; mientras un porcentaje de humedad bajo indica la mala calidad del grano. La proteína es el índice más importante, ya que nos indica calidad de la malta, en la Norma Mexicana se especifican valores inferiores al 12% en el grano (NMX-FF-043-1982). Otro parámetro importante para el proceso de comercialización es el tamaño, el cuál esta relacionado con uniformidad, cuidado y calidad de la cosecha. Los tamaños varían dependiendo de la variedad del grano y manejo del cultivo.

## 4.2 ADJUNTOS

Se definen como aquel material auxiliar proveedor de carbohidratos fermentables en la formulación de la cerveza. El principal objetivo de su adición es modificar sus fuentes de almidón mediante las enzimas que aporta la malta, logrando incrementar el porcentaje de azúcares en el mosto (página 26).

La adición de adjuntos ofrece ciertas ventajas dentro del proceso cervecero, entre ellas se encuentran las económicas y las de calidad. En el aspecto económico se busca que el adjunto aporte una cantidad importante de carbohidratos y que su precio sea mucho más bajo que el de la misma malta. En cuanto a la calidad, el uso de adjuntos ha favorecido la obtención de mostos más uniformes y prolonga la vida de anaquel del producto (Pollock,1979).

Hay numerosos materiales que son utilizados como adjuntos, por ejemplo derivados de maíz y arroz son los más utilizados, últimamente cebada, jarabes, sorgo y trigo. Los adjuntos se clasifican de forma muy general en adjuntos sólidos y adjuntos líquidos, tal como a continuación se resume en la Tabla 2.

**Tabla 2. Clasificación de los Adjuntos Cerveceros**

Adjuntos Sólidos	Adjuntos Líquidos
Maíz	Jarabe de Maíz
Maíz refinado	Jarabe de Cebada
Arroz	Jarabe de Trigo
Sorgo	Jarabe de Azúcar
Trigo	Jarabe de Azúcar Invertida

Fuente: Pollock, 1979.

De los adjuntos citados en la tabla anterior, se describirá con especial énfasis al grano de arroz, que es la materia prima que se eligió para la elaboración de la cerveza tipo *Ale*. A continuación su composición química en la Tabla 3.

**Tabla 3. Composición del Grano de Arroz**

Componente	Porcentaje (%)*
Proteína	7 - 9
Grasa	0.3 - 0.6
Carbohidratos	86 - 91
Fibra	0.2 - 0.6
Cenizas	0.3 - 0.9

Fuente: Serna, 2001 \* Valores expresados en base seca

En lo que respecta a las características físicas del arroz, este cuenta con una longitud aproximada de 6 a 7 mm, de 2 a 2.5 mm de ancho y un espesor de 1.4 a 2 mm. Los granos crudos carecen de enzimas, contienen carbohidratos en gran porcentaje, de los cuales la amilosa representa entre 25 y 26%; su temperatura de gelatinización es de baja a intermedia (Serna, 2001). En el proceso de elaboración de cerveza ayuda a la obtención de productos claros y sabores neutros, además de proporcionar una mayor estabilidad a la cerveza (Varnam, 1997). Dentro de los aspectos a cuidar para este ingrediente se encuentran la revisión de la calidad sanitaria, que su contenido de grasa sea aproximado de 0.5 % y verificar su temperatura de gelatinización.

### 4.3 LÚPULO

Su nombre científico es *Humulus lupulus*, es una planta trepadora perteneciente a la familia de las *Urticaceae*. Se utilizan solo las flores femeninas, ya que aportan la sustancia denominada lupulina, que contiene las resinas amargas y aceites esenciales que sirven para

imprimir aroma a la cerveza y el amargor característico. Los principales países productores de lúpulo son Estados Unidos, Canadá, Alemania e Inglaterra (Lemmens,1998).

En general, dentro del lúpulo existen dos componentes importantísimos para los cerveceros, estos son los aceites esenciales y las resinas. Los aceites esenciales, son compuestos de tipo aromático que incorporan el olor característico a la cerveza; mientras los taninos contribuyen a la acción de conservación del producto.

Mención aparte merecen las resinas, ya que son los compuestos de mayor interés para el cervecero, pues dentro de ellas se encuentran los  $\alpha$ -ácidos y  $\beta$ -ácidos, los primeros son los encargados de impartir en su gran mayoría el tenor amargo a la cerveza. Los  $\alpha$ -ácidos son cinco compuestos específicos: la humulona, cohumulona, adhumulona, prehumulona y posthumulona.

Los  $\alpha$ -ácidos sufren un cambio estructural llamado isomerización durante el hervor del mosto, originando la formación de los compuestos solubles amargos, estos se denominan iso-alfa-ácidos. Específicamente se forman la iso-humulona, iso-cohumulona, iso-adhumulona, iso-prehumulona e iso-posthumulona. En general, la formación de iso-alfa-ácidos es proporcional a la cantidad de alfa-ácidos presentes en los lúpulos agregados. Por lo tanto, es importante la variedad de lúpulo agregada, porque la cantidad de alfa-ácidos depende de la variedad (Hopunion,1999).

El lúpulo puede adicionarse en cualquiera de las siguientes presentaciones (Pollock,1979):

Flor Seca: se consigue en forma de pacas. Su uso es poco común, pues las operaciones se complican al tener que calcular la composición total de la flor y dificulta el lavado del equipo. Se utiliza principalmente en la elaboración de cervezas muy tradicionales.

Polvo: en esta presentación pueden encontrarse productos en polvo suelto o en polvo comprimido (pellets), son bastante utilizados en los procesos y ahorran espacio en el almacenamiento. Deben mantenerse en refrigeración y fuera del alcance de la luz.

Extractos: se obtienen mediante una extracción con bióxido de carbono líquido, pueden encontrarse extractos sin isomerizar o pre – isomerizados. Aportan un buen número de sustancias amargas, pero durante la extracción se pierden la mayoría de los compuestos aromáticos.

Jarabes: pueden ser concentrados e isomerizados, son mucho más costosos y se adicionan en la etapa de fermentación, no es necesario un tratamiento térmico para que aporten los compuestos amargos, además de los aromas.

El uso del lúpulo en cualquiera de las variedades anteriores, otorga algunos beneficios en la formulación de la cerveza, entre ellos se encuentran (Forster, 2000):

- Proporciona la nota amarga a la cerveza terminada
- Alarga la vida de anaquel del producto por su actividad bacteriostática
- Contribuye al perfil de sabor y aroma en el producto final

Un dato de suma relevancia del que debe informar el proveedor al comprador es el porcentaje de alfa-ácidos de la variedad elegida, ya que este valor será utilizado por el maestro cervecero en la formulación. En este caso se propuso el pellet de lúpulo *Golding* con 5% de  $\alpha$ -ácidos. El porcentaje de  $\alpha$ -ácidos de otras variedades de lúpulo se enlista en el Anexo 1.

#### 4.4 AGUA

Es la materia prima que se utiliza en mayor proporción durante la elaboración de cerveza, la cual representa hasta un 92 por ciento del producto terminado. Existen parámetros microbiológicos que aseguran la calidad del agua, además de parámetros fisicoquímicos que en realidad serán los que definirán la calidad de la cerveza, ya que comprende lo relativo a los compuestos químicos y su pH. Finalmente las características físicas y organolépticas que no dejan de ser importantes (Rose, 1989).

Es necesario partir de un agua que cumpla con las normas de calidad establecidas si es que se pretende obtener un buen producto, para esto es necesario cubrir con los siguientes parámetros de calidad en cuanto al aspecto microbiológico:

**Tabla 4. Especificaciones de Calidad Microbiológica**

Microorganismo	Límite Máximo
Coliformes totales	2 NMP/100 mL
Coliformes totales	0 UFC/100 mL
<i>Vibrio cholerae</i>	Negativo

Fuente: NOM-201-SSA1-2002

Además de cubrir con los anteriores parámetros de calidad, es vital que el agua utilizada en el proceso contemple los valores de los siguientes compuestos con la finalidad de llevar por buen camino el desarrollo de la cerveza:

**Tabla 5. Contenido Límite de Minerales**

<b>Compuesto</b>	<b>Límite (mg/L)</b>
Nitrato	< 20
Cloro	< 250
Sulfato	< 100
Calcio	40 - 100
Magnesio	10 -50
Fierro	< 0.1
Silicato	< 50

Fuente: Briggs,1981.

Los elementos disueltos en el agua pueden estar en forma de iones que afectan o no el proceso de elaboración. La presencia de Nitrato, Silicato, Fierro y Sulfato en valores superiores a los indicados generalmente afectan el proceso cervecero y lo hacen dañando la levadura, dañando el equipo, formando lodos e impartiendo características extrañas a la cerveza (posible formación de anhídrido sulfuroso), respectivamente. En contraste, las concentraciones adecuadas de Cloruro, Calcio y Magnesio proporcionan ventajas al proceso. El cloruro funciona como ión impartidor de sabor; el calcio regula el pH del proceso; y el magnesio participando como coenzima (Padilla, 2000).

Para la elaboración de cierto tipo de cerveza, es necesario que el agua posea una composición de sales específica. La dureza del agua es uno de los parámetros que influyen en forma definitiva en la calidad de la cerveza, ya que le aportará un sabor característico y único. En general cuando una cerveza tiene sabores suaves requiere de agua suave y baja en sales, mientras que una cerveza oscura y pesada requiere de agua dura y alta en sales.



Por principio, el proceso de elaboración de cerveza se beneficia con valores de pH debajo de 7. Este valor suele ser lo óptimo si el agua es de características normales (Barnforth,2001).

#### 4.5 LEVADURAS

Son hongos unicelulares que se reproducen por gemación bajo condiciones de absoluta esterilidad y son las responsables de la fermentación de los azúcares contenidos en el mosto produciendo como subproductos principales etanol y CO<sub>2</sub>. También son capaces de metabolizar algunos otros elementos como fósforo y compuestos nitrogenados. La presencia de estos elementos en el mosto asegura la reproducción de las levaduras y favorece una adecuada fermentación (Pollock,1981).

En el proceso, la levadura comenzará a metabolizar los azúcares fermentables presentes en el mosto, cuando la concentración de oxígeno existente en el fermentador se termine, habrá terminado su etapa de multiplicación, pero la fermentación seguirá su curso, formándose alcohol y CO<sub>2</sub> principalmente. Según la cepa de levadura, la fermentación durará cierto periodo de tiempo, normalmente los límites de una fermentación se sitúan entre 3 y 11 días.

En la industria cervecera se utilizan dos subespecies de levadura principalmente: de fermentación alta y de fermentación baja. La primera pertenece al género *Saccharomyces cerevisiae*, que produce cerveza de fermentación alta o *Ale*. Esta trabaja a temperaturas que oscilan entre los 15 y 25 °C, otra de sus características es que se aglutina y flota en la superficie, de tal forma que facilitan su separación del producto, evitando residuos y sabores a levadura. Precisamente se utilizará este tipo de levadura en la formulación. La

segunda, llamada de fermentación baja se incluye en el género *Saccharomyces uvarum*, produce cerveza de fermentación baja o *Lager*, trabaja a temperaturas inferiores a los 15 °C y sedimenta al fondo (Tenney,1985). Cabe destacar que la gran mayoría de las cervezas consumidas en México utilizan este tipo de levadura.

Dentro de las especificaciones más importantes evaluadas en la adquisición de levaduras por la industria están las microbiológicas, se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6. Especificaciones de Calidad Microbiológica**

Microorganismo	Límite *
Patógenos	ausencia
Coliformes Totales	< 0.1/ml
Lactobacilos	< 1/ml
Levaduras Salvajes	< 1/ml

Fuente: Hammond,1993 \* Para siembra de 10 millones de células / 1 ml de mosto

Otra parte no menos importante son las especificaciones físicas y organolépticas, que indican que la levadura debe ser de un color blanco, grisáceo o pajizo, además de insípida.

El tiempo, la temperatura y la cantidad de levadura, utilizados en la elaboración de cerveza deberán ser constantes en ocasiones subsecuentes, con la intención de elaborar un producto uniforme y de buena calidad (Knudsen,1985).

Cada una de las fábricas cerveceras tiene y deberá empeñarse en conservar su propia cepa de levadura, pues esta también influye en el sabor y calidad de la cerveza (Graham,2001).

## **V. PROCESO GENERAL PARA ELABORAR CERVEZA**

---

Para comenzar con la descripción del proceso de elaboración de cerveza es necesario hablar de la obtención de malta a partir de la cebada, para posteriormente comentar y hacer mucho más sencillo el entendimiento del proceso cervecero, del cual la malta es la materia prima por excelencia.

### **5.1 MALTEO**

Para obtener la malta, el grano de cebada se somete a tres operaciones básicas que son: remojo, germinación y secado, en las que se controla cuidadosamente la humedad, la temperatura y la aireación. Para determinar la calidad de la malta se toma en cuenta parámetros como: contenido de proteínas, beta glucanos, poder diastásico y humedad, siendo éstas las más importantes. (Hoseney,1994)

Previo al inicio de la etapa de malteo, la cebada es lavada con el objetivo de homogeneizar el estado de la misma, eliminando de la superficie del grano cualquier contaminante. Además puede funcionar como pre – remojo, que facilitará y beneficiará las siguientes etapas para la obtención de una malta de buena calidad.

#### **5.1.1 Remojo**

En este paso, la cebada limpia se coloca en agua ya sea en un ciclo o varios, con el objetivo de introducir agua al grano, su humedad deberá incrementarse de 12 a 44 %, preferentemente a una temperatura de 16 °C, para no dañar el grano. De tal forma que se disuelvan en el agua las sustancias solubles del grano y se promueva el desarrollo del

embrión. Al inicio la absorción de agua es rápida y disminuye conforme transcurre el tiempo. En esta fase, las sustancias nutritivas son transportadas por ósmosis al embrión, el cual produce las hormonas que activan sistemas enzimáticos destinados a hidrolizar sustancias insolubles y convertirlas en solubles y asimilables (Figueroa, 1985).

Es necesario cuidar la respiración durante el remojo, ésta comienza poco tiempo después del inicio de la operación. Se requiere la presencia de oxígeno en el agua y al mismo tiempo se produce bióxido de carbono. Un exceso de este inhibe las funciones del grano.

### **5.1.2 Germinación**

Después de concluir la etapa de remojo, se hace germinar la cebada bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y oxigenación que permitan lograr la mayor actividad enzimática, misma que se procurará mantener después del secado. Estas enzimas, serán necesarias en el macerador, donde realizarán una adecuada conversión de los sustratos y proporcionarán las sustancias necesarias para la fermentación (Hardwick,1995). De igual forma, es deseable que el endospermo del grano se modifique completamente para obtener un máximo aprovechamiento a partir del almidón y las proteínas, evitando la pérdida de sustancias extraíbles y necesarias para la acción de la levadura.

Se obtiene una buena concentración de enzimas y una buena modificación del grano cuando la plúmula se desarrolla a unas tres cuartas partes del tamaño del grano (Serna,2001). Otro aspecto importante en el proceso germinativo es la ventilación, una disminución proporciona una atmósfera rica en CO<sub>2</sub> lo que implica una menor respiración y menor crecimiento. Es recomendable una germinación a temperaturas que oscilen entre los

5 y 15 °C, para evitar el desarrollo de hongos y a la vez obtener mayor formación de enzimas.

### 5.1.3 Secado

El secado es la etapa que determina la utilización posterior de la malta de acuerdo con las características fisicoquímicas logradas en ella. Para lograrlo, los granos de cebada germinada que contienen una humedad cercana al 45% comienzan a secarse a bajas temperaturas (35 – 45 °C) por medio de una corriente intensa de aire caliente y a medida que disminuye la humedad del grano se aumenta la temperatura de secado hasta aproximadamente 65 - 70 °C, evitando la destrucción de cantidades elevadas de enzimas (Figueroa, 1985). De lo contrario un sobrecalentamiento provoca rompimiento del grano y la destrucción masiva de enzimas.

Otro de los objetivos que se consigue con el secado es la obtención de diferentes tipos de malta, estos se consiguen al seguir un programa de secado específico para cada variedad deseada, de tal forma que el programa de temperatura vs tiempo otorga diferentes características de aroma, color y actividad a cada malta procesada. A continuación algunos ejemplos de las maltas especiales:

**Malta Munich y Viena:** se elaboran a partir de cebadas con un contenido en proteínas ligeramente elevado, el secado se realiza a temperaturas de 90 -100 °C (Weyermann,2001).

**Malta Caramelo:** se elaboran a partir de cebadas con un contenido de proteínas normal. Este tipo de maltas se someten a germinaciones prolongadas, las temperaturas típicas de

horneado para las malta caramelo claras son de 75 – 85 °C y para los colores oscuros se utilizan hasta 200 °C (Holle,1999).

**Malta Cristal Oscura:** es calentada durante 60 minutos a 50 °C, posteriormente es sometida a una corriente de aire a 150 – 180 °C y se sostiene a esta temperatura por 2 horas para caramelizar el grano (Holle,1999).

**Malta Negra:** la cantidad utilizada de este tipo de malta no debe exceder el 1% de la formulación ya que puede generar sabores ahumados o quemados, se produce con malta verde con 5% de humedad, se tuesta a 70 °C y se lleva a 175 – 200 °C durante dos horas (Glover,1997).

**Malta Chocolate:** es una variedad horneada a una temperatura aproximada a los 160 – 170 °C, se desea obtener un color castaño intenso, imparte sabores ligeramente astringentes (Glover,1997).

**Malta Tostada:** se elabora a partir de malta verde húmeda, primero se somete a una etapa de sacarificación a 50 °C y posteriormente se somete a temperaturas de 120 – 150 °C, el color de la malta marrón oscuro (Weyermann,2001).

## 5.2 Proceso Cervecerero

Las principales etapas para la elaboración de cerveza se describen a continuación; asimismo, en cada una de ellas se incluyen los aspectos más característicos y se hace un énfasis especial en los puntos que deben ser supervisados a detalle para evitar problemas en

su elaboración. Otra recomendación es el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura (NOM-120-SSA1-1994), garantizando así la viabilidad del proceso y la calidad de la cerveza producida.

### **5.2.1 Molienda de la Malta**

Es el primer paso en la elaboración de cerveza y juega un papel importante, pues de ella dependen varios factores que podrán beneficiar nuestro proceso y asegurar la calidad del producto. El objetivo principal es obtener un adecuado tamaño de partícula, favoreciendo la actividad de las enzimas al tener una mayor superficie de contacto y así lograr disolver la mayor cantidad de compuestos solubles elevando el rendimiento en la producción del mosto (Herrman,1999).

La molienda tiene dos modalidades: la molienda en seco y la molienda húmeda, ésta última es la que se describe a continuación. La molienda se realiza en molinos de rodillos, estos se encuentran en pares acomodados paralelamente y de forma horizontal, dependiendo del número de rodillos utilizados se clasifican en molinos de 2, 4, 5 y 6 rodillos, se encuentran separados por 0.3 a 1.5 milímetros, giran en sentido opuesto y a diferentes velocidades para desgarrar y aplastar el grano, favoreciendo la eliminación de la cascarilla entera y la obtención de partículas homogéneas (Stoscheck,1988).

Si el grado de modificación de la malta es bueno, durante la molienda se utilizará una cantidad reducida de rodillos, de lo contrario en la molienda se utilizarán molinos de mayor número de rodillos. Precisamente si la modificación del grano es buena la cascarilla se obtendrá entera, lo que favorecerá la filtración durante la maceración (Evans,1999). De lo

contrario, si se obtiene una cascarilla quebrada e incompleta, ésta retardará la filtración al formar un lecho impermeable, lo que traerá consecuencias en la elaboración de la cerveza.

### **5.2.2 Maceración**

La maceración consiste en mezclar la malta molida con agua a una temperatura determinada, con el objeto de disolver los almidones y demás componentes solubles de la malta y los adjuntos. De acuerdo a la temperatura, actuarán diferentes enzimas sobre el almidón produciendo azúcares fermentables y no fermentables, así como otros componentes secundarios, a este conjunto de sustancias se le denomina extracto. Se desea que el porcentaje de extracto obtenido a partir de las materias primas sea de un 70-75%.

Existen principalmente dos tipos de maceración: la maceración por infusión y la maceración por decocción. La maceración por infusión consiste en la adición de la mezcla del grano molido con el agua en un solo equipo, fijando y controlando las temperaturas de la mezcla de acuerdo a las condiciones óptimas de trabajo de las enzimas de la malta para la producción de mosto (Pollock,1987).

El método utilizado en esta ocasión es la maceración por decocción. Este método consta de mínimo dos equipos, uno denominado cocedor de cereales y el macerador. El proceso inicia en el macerador con la etapa llamada peptonización, ésta se desarrolla a una temperatura aproximada de 50°C y tiene como finalidad garantizar la liberación y activación de las enzimas presentes en la malta. En esta etapa existe también la degradación de proteínas y de  $\beta$ -glucanos, las primeras se degradan entre 45 - 55°C, las proteínas son deseables ya que imparten cuerpo a la cerveza y favorecen la estabilidad de la



espuma. Sin embargo el exceso de proteínas solubles ocasiona velo en la cerveza. Mientras tanto, los  $\beta$ -glucanos se degradan entre 45 y 50 °C, y un exceso de ellos dificulta la filtración debido a que provocan un incremento en la viscosidad de la masa.

A continuación se da la gelatinización de los gránulos de almidón contenidos en la malta. Existen gránulos grandes que tienen una temperatura de gelatinización de 57 a 59 °C y gránulos pequeños que se gelatinizan entre 59 y 65 °C. Es decir que la temperatura promedio en la cual se realizará la gelatinización será de aproximadamente 60 °C. Durante esta etapa el almidón absorbe el agua necesaria, se hincha y se da un incremento en la viscosidad dentro del macerador. Es aquí donde las enzimas (principalmente  $\alpha$ -amilasas) actúan sobre las moléculas de almidón que ahora son más susceptibles, rompen su estructura y reducen significativamente la viscosidad en el proceso.

El cocedor de cereales tiene como objetivo licuar el almidón proveniente del adjunto seleccionado, en este caso el arroz. El cocedor de cereales actúa de forma paralela al macerador y realiza prácticamente la misma acción pero con el arroz. En este, el arroz molido se hidrata y se lleva a la gelatinización, posteriormente se agregan 50 g cantidad de malta molida, que contienen la carga enzimática necesaria para licuar el almidón. Finalmente la temperatura del cocedor se lleva a 80 °C y enseguida su contenido se agrega al macerador, donde se realiza la conversión del almidón. La actividad se realiza por separado esperando obtener una mayor cantidad de azúcares fermentables y a un costo menor a partir del adjunto utilizado.

La siguiente fase en el macerador es la conversión del almidón, se lleva a cabo a temperaturas de 65 –75 °C y es donde las enzimas producidas durante el malteo y accionadas en la peptonización actúan sobre las moléculas de almidón liberadas de la malta y del adjunto en las etapas anteriores. Las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas actúan sobre la amilosa y amilopectina, ambas componentes del almidón y las transforman rápidamente, dándose así la conversión del almidón.

En esta etapa se da la completa degradación del almidón a maltosa, glucosa, maltotriosa y dextrinas por acción de las enzimas. Es decir, al culminar la sacarificación es un hecho que el mosto se encuentre constituido en su gran mayoría por este tipo de azúcares que serán más fácilmente fermentables, además de material soluble. Al final de esta etapa se incrementa la temperatura del macerador hasta 80 °C, favoreciendo la inactivación de las enzimas y llegando así al término del programa de macerado (Fahy,1999).

### **5.2.3 Filtración**

Una vez realizada la maceración es necesario separar el mosto de los restos de malta no disueltos. El objetivo es conseguir la separación del mosto del bagazo en su totalidad, es decir, obtener la mayor cantidad de mosto posible (Christiansen,1993).

El contenido del macerador se vierte en otro recipiente que servirá como filtro, éste tendrá perforaciones en el fondo y funcionará como un suelo falso que a su vez servirá como soporte del elemento filtrante (casarilla). Los orificios del fondo medirán de 2 a 3 milímetros de diámetro en su totalidad. Se desea que el fondo del recipiente tenga la mayor superficie disponible para facilitar la filtración, esto sin afectar la calidad de la filtración.

Las cascarillas se depositan en el fondo formando una capa filtrante y encima de las cascarillas se depositarán los demás componentes del bagazo que también servirán como elemento filtrante. De inicio fluirá un mosto turbio, el cual deberá recircularse en una ocasión, hasta obtener mosto claro. La cantidad deberá ser de aproximadamente 1 a 1.5 L (de tal forma que se obtenga subsecuentemente un mosto claro) y solo así se deberá seguir la filtración.

Al final de la filtración el bagazo presente quedará todavía impregnado de mosto, para extraer este mosto adicional se lavará con una carga de 2 L de agua a 80 °C. De preferencia el agua se añadirá en dos fases cada una de 1 L, de esta manera seguiremos obteniendo mosto, aunque diluido. Es necesario tomar en cuenta que podría hacerse un lavado mucho más exhaustivo, pero al realizar esta operación repetidamente también podrían extraerse compuestos que afectarían la calidad del producto. El desecho orgánico (bagazo), se separa y se destina para la alimentación animal y otros usos biotecnológicos.

Una buena filtración lleva un tiempo aproximado de 90 a 120 minutos, de lo contrario, una filtración más lenta indica un error en la molienda o descuidos en la maceración. Se recomienda también que la exposición del mosto al aire sea la mínima, pues se corre el riesgo de oxidar el mosto (Thomas,2003).

#### **5.2.4 Ebullición del Mosto**

Este proceso implica al mosto filtrado obtenido de la maceración y dura una hora en completa ebullición. Existen diferentes motivos por los cuales se realiza la cocción del mosto y son los siguientes:

- Obtención de componentes amargos y aromáticos a partir del lúpulo
- Coagulación y precipitación de proteínas (para clarificar el mosto)
- Destrucción de enzimas, evitando así que continúen su actividad
- Esterilización y concentración del mosto

La adición del lúpulo es quizá la parte esencial de esta etapa. Las resinas del lúpulo, que imparten el amargor final a la cerveza, se isomerizan en el mosto hirviendo y se disuelven con mayor facilidad. Otros factores que intervienen en el amargor final de la cerveza son el tipo de alfa ácidos contenidos en el lúpulo, la duración de la cocción y obviamente la cantidad de lúpulo agregada al mosto (Held,1998).

Respecto a las proteínas, estas forman uniones con los taninos que aporta el lúpulo, estos compuestos insolubles precipitan terminada la cocción o en la cerveza misma, por lo que es sencillo eliminar estos compuestos que son indeseables en la elaboración de la cerveza.

La esterilización del mosto es otra parte fundamental durante la cocción. Así se asegura la calidad del producto, después de la destrucción de los microorganismos posiblemente presentes en el mosto, esta fase también favorece la inactivación de las enzimas que utilizamos durante la maceración (Hoseney,1994). De igual forma al utilizar temperaturas de ebullición (90 °C o superiores), una gran parte del agua se evaporará, normalmente será entre el 10 y 15 % del total y esto dará como resultado la concentración del mosto. Esta concentración tiene como finalidad incrementar la cantidad de sólidos solubles totales en la cerveza, para obtener así la cantidad predeterminada de alcohol deseada (Narziss,1993).

Como se comentó anteriormente, durante la cocción se añade el lúpulo. Podremos añadirlo al principio o dividirlo en porciones, en este caso se agregará en dos porciones. La primera carga tiene por objetivo impartir el amargor que se desea obtener en el producto terminado, ésta se agregará a los 15 minutos de comenzado el hervor; mientras que la segunda adición impartirá el aroma, por ello se realizará al final (entre 1 y 3 minutos antes del término de la cocción) para que los compuestos que imparten el aroma no se volatilicen.

La cantidad de amargor de una cerveza se mide internacionalmente en IBU (International Bittering Units), que se traduce como “Unidades Internacionales de Amargor”. Las unidades miden las ppm (partes por millón) de alfa ácidos isomerizados que contiene cada litro de cerveza (Held,1998).

#### **5.2.5 Enfriamiento del Mosto**

El mosto aún caliente tras la cocción deberá enfriarse lo antes posible con la finalidad de situarlo a una temperatura idónea en la cual se pueda añadir la levadura. El mosto deberá enfriarse de unos 90 °C hasta 20 °C, debido a que la levadura necesaria para obtener la cerveza propuesta trabaja de forma óptima a esta temperatura. Otro de los motivos del pronto enfriamiento de la cerveza es su posible contaminación, pues el prolongado tiempo que tardaría esta fase fomentaría un incremento desmedido de microorganismos si el mosto se contaminara (Strauss,1999).

La forma de enfriamiento más rápida y económica utilizada por la mayoría de las cerveceras es el intercambiador de calor de placas. En este caso bajo el mismo principio se elaboró un serpentín formado, por un tubo interior de cobre, por donde circula el mosto en

una dirección, y un tubo exterior, que contiene al de cobre, por el que circula el agua fría en dirección contraria, asegurando la salida del mosto frío por un extremo. El control de la temperatura se basa en el control de las velocidades de flujo de ambos líquidos, la superficie de contacto y la longitud del serpentín. El mosto frío (20 °C) es colocado en el llamado tanque de fermentación, para dar paso a la etapa de fermentación.

### **5.2.6 Fermentación**

La fermentación para obtener una cerveza Ale, como la propuesta, necesita de levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae*, que trabajen a una temperatura entre 18 y 25 °C, se caracteriza también por que al final de la etapa de fermentación la levadura flota en la superficie de la cerveza, acción que facilita su retiro del proceso. Esta etapa tiene la particularidad de realizarse en dos etapas denominadas: Primera Fermentación y Segunda Fermentación, ambas con objetivos, características y duración distintos.

#### **5.2.6.1 Primera Fermentación**

Esta etapa tiene por objetivo transformar los azúcares fermentables en alcohol y CO<sub>2</sub>, esta acción se desarrolla en el tanque de fermentación y tiene una duración aproximada de 7 a 10 días. La fermentación dependerá principalmente de la cepa de levadura utilizada, la composición del mosto y las condiciones del proceso.

La composición general del mosto necesaria para realizar una buena fermentación incluye: azúcares, proteínas, iones, aniones, FAN, entre otros. Estos componentes facilitarán la nutrición de la levadura, la correcta reproducción de células y por ende, el metabolismo de los azúcares (Hsu, 1980).

En la fermentación, la cantidad de oxígeno disuelta en el mosto determinará la velocidad de multiplicación de las células. También será importante la cantidad de levadura añadida al mosto, ya que repercutirá en la obtención de cervezas de calidad constante (Depretere,2003). Se sugiere agregar una cantidad de 0.5 g/L, es decir, en nuestro caso se utilizarán 7.5 gramos para 15 litros.

Igualmente, influirán de forma determinante la temperatura y la composición del mosto, ya que a partir de los compuestos contenidos en el mosto se formará etanol, CO<sub>2</sub> y otros subproductos característicos tales como: alcohol metílico, ésteres, diacetilo y acetaldehídos. El control de estos durante la fermentación es esencial para conseguir un producto de calidad, pues influyen directamente en la estabilidad, sabor, aroma y espuma de la cerveza.

Para evitar la producción de alcohol metílico, la fermentación debe realizarse con una cantidad adecuada de levadura y se recomienda utilizar temperaturas bajas que se encuentren dentro del rango óptimo de trabajo de la levadura.

Los ésteres son esenciales en la configuración del sabor final de la cerveza, generalmente otorgan sabores afrutados que pueden ser bastante pronunciados o incluso impartir un amargor seco; mientras que el acetaldehído imparte un sabor a manzanas verdes o hierbas recién cortadas a la cerveza. Otro de los subproductos producidos es el diacetilo, puede eliminarse al incrementarse en uno o dos grados la temperatura al final de esta etapa de la fermentación. La importancia de este subproducto es que en una concentración importante otorga un sabor a mantequilla, que es indeseable en el producto (Edelen,1996).

### **5.2.6.2 Segunda Fermentación**

Este paso del proceso de elaboración de la cerveza se denomina maduración o segunda fermentación. Tiene una duración aproximada de entre 15 y 25 días, dependiendo del tipo de cerveza, la cepa de levadura y el proceso. Se realiza a una temperatura que oscila entre los 0 a 4 °C. En esta etapa la levadura aglutinada es eliminada.

Durante el tiempo que la cerveza se mantiene en reposo, los sabores y los aromas de la cerveza maduran. La fermentación seguirá desarrollándose en mucha menor proporción y de forma mucho más lenta por las levaduras que quedaron en suspensión. Además, las bajas temperaturas contribuyen a la coagulación y precipitación de las proteínas y levaduras para su posterior eliminación (Knudsen,1999). Cuanto mayor sea la cantidad de levaduras y proteínas depositadas en el fondo, menor será la cantidad a filtrar posteriormente. Generalmente las cervezas fermentadas con levaduras de superficie o Ale son vendidas después de tres semanas de maduración, mínimo.

### **5.2.7 Clarificación de la Cerveza Madurada**

Esta etapa se realiza por dos motivos principalmente; el primero, eliminar por completo del producto las levaduras y posibles restos orgánicos contenidos aún en la cerveza y el segundo es la clarificación de la cerveza. Se realiza una vez terminado el período de maduración y una vez definido el perfil de sabor y aroma característico de la cerveza (Pollock,1987).

Otro de los problemas presentes en la elaboración de la cerveza *Ale* en el Laboratorio, es la inexistencia de un filtro que permitiera facilitar la clarificación de la cerveza elaborada, por



lo cuál esta etapa se realizó en una centrífuga a 12,000 r.p.m. por un tiempo de 10 minutos. Se decidió realizar la filtración de esta forma debido a que la filtración es rápida, sencilla, elimina partículas pequeñas y además la centrífuga es fácil de limpiar. Cabe recordar que esta acción influirá en la vida de anaquel que tendrá nuestro producto terminado.

### **5.2.8 Embotellado**

El embotellado se hace a partir del tanque de maduración y una vez que la cerveza ha llegado al nivel de maduración deseado. La cerveza a baja temperatura mantiene una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto que a una temperatura superior. Cabe recordar, que el equipo utilizado en esta ocasión no tiene la capacidad de contener el CO<sub>2</sub> producido.

Se propone, que las botellas utilizadas para embotellar el producto sean recicladas, es decir, pertenecen a otras cervezas existentes en el mercado. Tienen las siguientes cualidades: no son retornables, son color ámbar y además poseen un sistema abre-fácil de taparrosca, por lo cual son ideales para esta ocasión. Los envases deben ser lavados minuciosamente evitando cualquier tipo de contaminación, además no deben quedar olores extraños en ella. Una vez madurada la cerveza, se embotellará dejando un espacio de 5 cm libre (entre el líquido y la boca de la botella). Este espacio es necesario para la adición de 4 mL de una solución de dextrosa y una porción de levadura (6.3.10). Ambas acciones facilitarán la formación de CO<sub>2</sub> dentro de la botella. Finalmente se colocará la taparrosca y se dará un periodo de 10 días antes de consumir la cerveza. La cerveza debe guardarse en un lugar fresco y de preferencia debe envolverse en plástico o cualquier otro objeto para evitar que se rompa o estalle por un exceso de gas dentro de la botella.

## VI. METODOLOGÍA

---

### 6.1 Equipo y Utensilios

Molino de rodillos para malta

Cocedor de cereales \* (Olla de acero inoxidable de 5 litros)

Macerador \* (Olla de acero inoxidable de 20 litros)

Olla de Cocción \* (Olla de acero inoxidable de 20 litros)

Pala de Madera (Sirve para agitar durante todo el proceso de elaboración)

Termómetro de Mercurio (Escala -10 °C a 210 °C)

Garrafón de Plástico \*\* (Funciona como fermentador, capacidad 20 litros)

Vitrolero de plástico \*\* (Recipiente perforado en el fondo, funciona como Filtro Lauter)

Recipiente de plástico 18 L (Con llave en la base, facilita recolección y manejo del producto)

Serpentín \*\* (Intercambiador de Calor)

Estufa o Mecheros Fischer

Trampa (Realizada con tubo de vidrio y manguera plástica, evita contaminación)

Cuarto Frío (Situado en el Laboratorio 4-A, temperatura promedio 2°C)

Centrífuga

Mangueras de plástico

\*Se suplieron por ollas de acero inoxidable

\*\*Este material fue ideado y desarrollado para el protocolo (Anexo 2)

## 6.2 Ingredientes

Malta Americana 2H

Malta Munich

Lúpulo *Goldings*, en pellets

Levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Marca Safale)

Arroz Comercial

### 6.2.1 Cálculo de las cantidades de los ingredientes (Pfisterer,1984, Manning,1994 y Holle,2003)

Las características con las que deseamos que cuente nuestra cerveza son las siguientes:

**Tabla. 7 Características Deseables en la Elaboración de Cerveza Ale**

Característica	Valor
Cantidad a Elaborar (L)	15
Gravedad Específica	1.060 – 1.062
Extracto Deseado (°P)	15
Alcohol vol (% v/v)	6
IBU's (ppm)	20
Tiempo de Maduración	28 – 30 días

### Cálculo de la cantidad de malta

Para esto necesitamos emplear la siguiente ecuación:

$$GE = \frac{(^{\circ}P \times 4)}{1000} + 1$$

Donde:

GE= Gravedad Específica

°P = Grados Plato

Entonces obtengo;  $GE = \frac{(15 \times 4)}{1000} + 1 = 1.060$

Esta fórmula nos permite corroborar los datos antes mencionados para la elaboración del lote de cerveza, a continuación se muestra la fórmula que nos permitirá calcular la cantidad de malta necesaria para elaborar el lote deseado.

$$\text{PESO MALTA} = \frac{\text{PER}}{\% \text{PGCE}}$$

Donde:

PER = Peso Extracto Requerido

% PGCE = Peso Grano que se Convertirá en Extracto

A la vez, la misma fórmula puede expresarse de la siguiente manera:

$$\text{PESO MALTA} = \frac{[(\text{VM})(\text{DA})(\text{GE})(\text{°P})]}{[(\% \text{EG})(1-\% \text{H})(\text{EE})]}$$

Donde:

VM = Volumen de Mosto

DA = Densidad del Agua = 1 Kg / L

GE = Gravedad Específica = 1.060

°P = Grados Plato

%EG = % Extracto del Grano

1-%H = 1- % Humedad del Grano

EE = Eficiencia del Equipo = 50 %

Tomando en cuenta ambas fórmulas se deduce:

$$\text{PESO MALTA} = \frac{[(\text{VM})(\text{DA})(\text{GE})(\text{°P})]}{[(\% \text{EG})(1-\% \text{H})(\text{EE})]} = \frac{\text{PER}}{\% \text{PGCE}}$$

Es decir, los datos con los que contamos nos permiten realizar los cálculos necesarios para saber con exactitud la cantidad de malta necesaria para elaborar la cerveza. Cabe recordar, que la formulación establecida para este trabajo incluye dos variedades de malta, por lo que, se realizará la operación en dos ocasiones tomando en cuenta que se agregará 50% de la Malta Munich y 50 % de la Malta Americana 2H. De tal forma que los cálculos son los siguientes:

$$\text{PESO MALTA MUNICH} = \frac{[(50\%) (15\text{L}) (1\text{Kg/L}) (1.060) (15\%)]}{[(85\%) (1- 3\%) (50\%)]} = \frac{1.1925}{0.4122} = 2.89$$

$$\text{PESO MALTA 2H} = \frac{[(50\%) (15\text{L}) (1\text{Kg/L}) (1.060) (15\%)]}{[(85\%) (1- 2\%) (50\%)]} = \frac{1.1925}{0.4165} = 2.86$$

Para manejar de forma más práctica los valores de malta de cada tipo el valor se redondea, quedando finalmente 2.9 kg de malta Munich y 2.85 kg de malta Americana 2H para la formulación propuesta.

#### **Cálculo de la cantidad de adjuntos**

Los adjuntos también aportan compuestos fermentables al proceso y debieron haber sido considerados dentro de la formulación, pero, al no tener un valor exacto de la eficiencia de nuestro equipo de macerado, se decidió agregar un 10 % de adjuntos tomando como base la cantidad total de malta agregada, asegurando así la cantidad de azúcares fermentables necesarios para la elaboración de la cerveza propuesta.

### Cálculo de la cantidad de lúpulo

La fórmula para medir la cantidad de lúpulo que hay que añadir a la olla de cocción es la siguiente:

$$\text{Cantidad de lúpulo (g)} = \frac{\text{LCE} \times \text{IBU} \times 0.001}{\% \text{ utilización} \times \% \text{ alfa ácidos}}$$

Donde:

LCE = litros de cerveza a elaborar

IBU = IBU's deseadas en la cerveza

% utilización = Coeficiente que depende del tiempo de hervor

% alfa ácidos = % alfa ácidos contenidos en el lúpulo

0.001= Factor de Conversión

El porcentaje de utilización es del 28 %, si se añade el lúpulo a los 15 minutos del inicio del hervor, es de 21 % si lo añadimos a los 30 minutos de hervor, finalmente será de 14 % si lo añadimos a un minuto antes del final. Por lo tanto si deseamos elaborar 15 litros de cerveza con 20 IBU's y disponemos de lúpulo tipo *Goldings* con un 5 % de alfa ácidos, los cálculos serán los siguientes:

$$\text{Cantidad de lúpulo (g)} = \frac{15 \text{ L} \times 17 \text{ IBU's} \times 0.001}{0.05 \times 0.21} = 28.57 \text{ g}$$

Esta primera adición de lúpulo será agregada a los 15 minutos de iniciado el hervor y tendrá como objetivo otorgar el amargor necesario a la cerveza.

$$\text{Cantidad de lúpulo (g)} = \frac{15 \text{ L} \times 3 \text{ IBU's} \times 0.001}{0.05 \times 0.14} = 6.42 \text{ g}$$

La segunda adición, calculada en esta ecuación será agregada de 2 a 3 minutos antes de cumplirse la hora de hervor y tendrá por enmienda impartir el aroma característico a la cerveza elaborada.

Después de haber realizado con detalle los cálculos necesarios para la obtención de las cantidades necesarias de cada uno de los ingredientes, se sugiere realizar un cuadro que resuma lo antes realizado con la finalidad de acceder más fácil y rápidamente a la información de las materias primas necesarias en la elaboración del tipo de cerveza propuesto. A continuación en la Tabla 8 se muestran las materias primas y sus respectivas cantidades para elaborar cerveza *Ale*.

**Tabla 8. Cantidades de cada Ingredientes para elaborar Cerveza *Ale***

<b>Ingrediente</b>	<b>Cantidad (g)</b>
Malta Americana 2H	2, 850
Malta Munich	2, 900
Arroz	500
Lúpulo	28.6 + 6.5

### **6.3 Procedimiento**

#### **6.3.1 Molienda**

##### **Molienda de la Malta**

- Colocar 5.75 kilogramos de malta en el molino de rodillos (2.85 kg malta Americana 2H y 2.9 kg de malta Munich).
- El molino desgarrará la malta, separando la cascarilla del grano y posteriormente lo triturará, para obtener un tamaño de partícula homogéneo con la menor cantidad posible de harina fina.

- La inspección de esta etapa es de forma visual (las cascarillas no deberán contener partículas de malta y el tamaño de partícula deberá ser superior a 120  $\mu\text{m}$ ).

#### Molienda de Adjuntos

- Moler 1 kilogramo de arroz pulido en un molino de bolas o martillos
- Recolectar la parte que pase entre las mallas No. 20 y 40, hasta juntar 500 gramos.
- Moler por separado 50 gramos de malta 2H, a un tamaño cercano de 1 milímetro, esta malta facilitará las enzimas necesarias para licuar el almidón en el cocedor de cereales.

#### 6.3.2 Obtención de Mosto

Para el proceso de obtención de mosto se eligió el proceso denominado decocción, en el cual se utiliza un cocedor de cereales y un macerador.

#### Cocedor de Cereales (Licuefacción del Almidón)

- Agregar los 500 gramos de arroz molido en la olla de acero inoxidable de 5 Litros
- Introducir en la misma olla 4 litros de agua electropura.
- Calentar a 65 °C con ayuda de estufa o mecehero Fischer, hasta que comience la gelatinización de los almidones del arroz.
- Mover continuamente con la pala de madera evitando que se queme la mezcla.
- Al observar un aumento considerable de la viscosidad, agregar 50 gramos de malta molida (esta acción es la que hace posible la licuefacción).
- Incrementar la temperatura a 70 °C y mantenerla durante 10 minutos.
- Inmediatamente después calentar hasta obtener 80 °C



## Macerador

### Peptonización

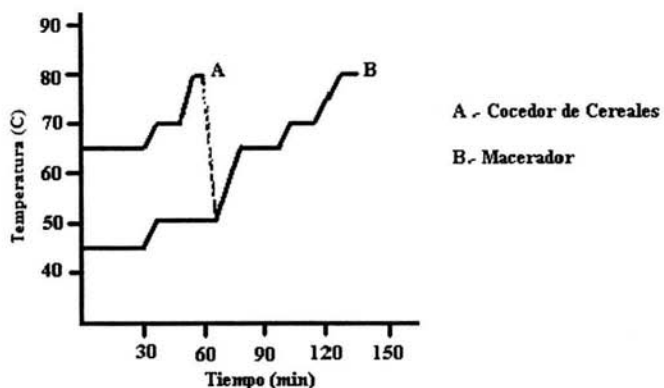
- Agregar en una olla de acero inoxidable los 5.1 kilogramos de malta molida, además de 14 litros de agua electropura.
- Calentar a una temperatura de 45 °C con la estufa o mechero Fischer por un tiempo de 35 minutos.
- Mover la mezcla de forma continua con la pala de madera.
- Elevar la temperatura hasta 50 °C y mantenerla durante 30 minutos.

### Conversión del Almidón

- Agregar al macerador el contenido del cocedor de cereales.
- Recordemos que el contenido del cocedor de cereales tiene una temperatura aproximada de 80 °C y que el macerador se encuentra a 50 °C.
- Verificar la temperatura (por la diferencia de T entre ambos equipos, la temperatura deberá ser de aproximadamente 65 °C).
- Agitar continuamente con la pala de madera, durante las siguientes etapas.
- Mantener la mezcla a una temperatura de 65 °C durante 15 minutos.
- Calentar a una temperatura de 70 °C y mantenerla por un lapso de 10 minutos.
- Elevar la temperatura a 80 °C y mantenerla por 5 minutos.

Nota: Para visualizar mejor los perfiles de tiempo y temperatura propuestos para la elaboración de cerveza *Ale* en el laboratorio, se facilita la Figura 2.

**Figura 2. Maceración por Decocción (Diagrama tiempo-Temperatura)**



### 6.3.3 Filtración

- Colocar el recipiente de plástico de 18 litros como base, encima colocar el vitrolero de plástico perforado en la parte inferior, este funcionará como filtro lauter.
- Vaciar la carga completa del macerador en el filtro lauter, de tal forma que las cascarillas queden en el fondo del filtro formándose así el lecho filtrante.
- Sacar por la llave del recipiente de plástico el primer litro o litro y medio de mosto filtrado y vaciarlo de nuevo en el filtro lauter para recircularlo.
- Dejar fluir el mosto hacia el recipiente de plástico y antes de que el proceso termine calentar a 80 °C de dos a tres litros de agua electropura.
- Poco antes de que el bagazo esté seco, lavar éste agregando el agua caliente en dos fases distanciadas por un tiempo de 3 a 5 minutos.
- Recolectar el mosto en el recipiente de plástico.

**Nota:** La filtración no deberá exceder las 2 horas.

#### **6.3.4 Olla de Cocimientos**

- Verter el mosto recolectado en una olla de acero inoxidable.
- Calentar el mosto hasta llegar a la ebullición.
- A los 15 minutos de comenzada la ebullición agregar la primera carga de lúpulo que consta de 28.6 gramos.
- Mover la mezcla con la pala de madera, repetir la operación 3 o 4 veces.
- A los 58 minutos agregar una segunda carga que constará de 6.5 gramos de lúpulo.
- Al cumplirse una hora en ebullición la etapa de la olla de cocimientos termina.

#### **6.3.5 Enfriamiento**

- Bajar la temperatura del mosto lupulado de aproximadamente 90 °C a 20 °C.
- Enfriarlo haciéndolo pasar por un serpentín de cobre (intercambiador de calor).
- Recibirlo a una temperatura de 20 °C en un garrafón de agua de 20 litros que funcionará como tanque fermentador. Previamente lavado y sanitizado con una solución de cloro al 10 %.

#### **6.3.6 Inóculo de levadura**

- Adicionar de 7 a 8 gramos de levadura Saf-ale.
- Sellar el garrafón en el que se fermentará el mosto, perforando solo un orificio en la tapa para colocar una manguera que por el lado contrario se encontrará sumergida en un recipiente que contenga agua clorada (solución al 10%), esto evitará la contaminación.

### **6.3.7 Fermentación primaria**

- Realizar la fermentación primaria colocando el garrafón en un lugar fresco y a temperatura ambiente.
- Esta etapa tendrá una duración de 10 a 12 días después de agregar la levadura.
- Retirar la levadura al terminar este lapso de tiempo. Se recomienda realizar esta acción por decantación, debido a que la levadura sedimenta al final de la etapa. La cerveza verde se transferirá a otro garrafón previamente lavado y sanitizado con la ayuda de una solución de cloro al 10 %.
- Sellar el garrafón y colocar nuevamente la trampa para evitar contaminación.

**Nota:** se puede mantener la misma cepa de la levadura (Anexo 3 ).

### **6.3.8 Fermentación secundaria**

- Colocar el garrafón que contiene la cerveza verde en el cuarto frío. (0 - 4 °C)
- Realizar la fermentación secundaria, dejando ahí la cerveza por 21 días.

### **6.3.9 Clarificación**

- Centrifugar la cerveza madurada a una velocidad de 12, 000 rpm. por 10 minutos.

### **6.3.10 Embotellado**

- Verter la cerveza clarificada en botellas de vidrio color ámbar sin llenarlas por completo. Dejando un espacio aproximado de 4 cm a partir de la boca de la botella. (Se recomienda utilizar botellas abre-fácil, debido a que son de rosca).

- Para gasificar, agregar 4 mL de solución de dextrosa (10 g dextrosa en 100 mL de agua) a la botella, además de agregar 0.2 g de levadura.
- Tapar la botella con su taparrosca, solo se debe girar en sentido contrario y llegar al tope. Revisar que no se derrame el producto.
- Guardar en un lugar fresco por un periodo de 10 días.
- Ahora esta lista para degustarse.

Para facilitar la comprensión de cada una de las etapas descritas anteriormente, se incluye en el Anexo 4 un diagrama general del proceso de elaboración de Cerveza *Ale*.

#### **6.4 Seguimiento del proceso de elaboración de cerveza**

Para garantizar la calidad y la obtención de las características de la cerveza *Ale* propuesta se realizó un seguimiento detallado durante el periodo de elaboración de la cerveza, el cual se basó principalmente en tres aspectos: el primero, fue el seguimiento de la cantidad de azúcares contenidos durante la etapa de fermentación; el segundo, el contenido de alcohol obtenido finalmente en el producto; y el tercero, la cantidad de amargor obtenida a partir de la adición de lúpulo determinada en IBU's. A continuación se detallan las técnicas empleadas para el seguimiento de estos parámetros.

##### **6.4.1 Gravedad Específica**

###### **Principio del Método**

La gravedad específica de un líquido se determina por medio de picnómetros, los cuales se llenan con un líquido de referencia como agua destilada a 20 °C, el cual se reemplaza por el líquido al cual se le requiere determinar la densidad. La relación entre el peso del líquido de la prueba y el peso del líquido de referencia será igual a la gravedad específica del líquido.

### Preparación de la Muestra

Atemperar la muestra por lo menos 10 minutos en un baño de agua de temperatura constante a 20°C. Secar el envase, transferir a un matraz Erlenmeyer de 250 mL y agitar con movimientos circulares para liberar el gas carbónico contenido en la muestra procurando no derramarla, tapar el matraz con un tapón de hule sujetándolo con fuerza y agitar de nuevo. Destapar para eliminar el gas carbónico liberado por la agitación y tapar. Repetir la operación hasta que la muestra no libere gas al agitarla. Filtrar a través de un papel filtro de poro delgado colocando un vidrio de reloj sobre la boca del embudo y recibir el filtrado en el mismo envase.

### Secuencia del Análisis

Llenar el picnómetro con cerveza utilizando una pipeta Pasteur con bulbo de goma, eliminar cualquier burbuja en el picnómetro agitando cuidadosamente. Colocar el picnómetro en un baño de temperatura constante a 20 °C por un lapso de 20 minutos. Al término de este tiempo aforar el picnómetro retirando el exceso de cerveza presente con una pipeta Pasteur y utilizar tiras delgadas de papel filtro para remover cualquier vestigio de cerveza adherida a la superficie interior del cuello. Es necesario que el cuerpo del picnómetro se encuentre sumergido en el baño a temperatura constante durante el periodo de ajuste. Una vez aforado el picnómetro, retirarlo del baño de agua, secarlo cuidadosamente con papel absorbente y colocarlo en una superficie plana cercana a la balanza, esperar un tiempo de 5 minutos y finalmente pesar el picnómetro lleno. Evitar el contacto directo de las manos con el picnómetro, utilizar guantes o auxiliarse de una tela o papel suave para sujetarlo.

Cálculos

$$\text{Peso Específico} = (\text{Peso pic. con cerveza} - \text{Peso pic. vacío}) / \text{Peso de agua a } 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Donde:

$$\text{Peso del agua a } 20\text{ }^{\circ}\text{C} = \text{Peso pic. Con agua destilada a } 20\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{Peso pic. Vacío}$$

#### 6.4.2 Destilación

##### Principio del Método

El extracto de mosto original se define como la gravedad específica del mosto que fue fermentado para producir una cerveza. Si una muestra de cerveza se evapora a un tercio de su volumen se asegura que todo el alcohol y CO<sub>2</sub> que contienen se elimina por completo, al ajustar el peso original de la muestra con agua destilada se puede entonces calcular el extracto de mosto original, el extracto real y la cantidad de alcohol producida por el extracto que se consumió durante la fermentación.

##### Preparación de la Muestra

Atemperar la muestra por un periodo no menor a 10 minutos en un baño de temperatura constante que se encuentre a 20 °C, secar el envase y transferir la muestra a un matraz Erlenmeyer de 250 mL, agitar con movimientos circulares para liberar el gas carbónico contenido en la muestra procurando no derramarla, tapar el matraz con un tapón de hule sujetándolo con fuerza y agitar. Destapar para eliminar el gas carbónico liberado por la agitación y tapar para repetir la operación anterior hasta que la muestra no libere gas al agitarla. Filtrar a través de un papel filtro colocando un vidrio de reloj sobre la boca del embudo, recibir el filtrado en el mismo envase.

### Secuencia del Análisis

En un matraz volumétrico de 100 mL colocar cerveza decarbonatada rebasando un poco el nivel de aforo. Colocar en un baño de temperatura constante que se encuentre a 20 °C por 15 minutos aproximadamente con el fin de atemperar la muestra. Aforar adecuadamente el matraz, secar y verter en un matraz redondo de fondo plano de 250 mL seco y limpio. Pipetear 50 mL de agua destilada y enjuagar el matraz volumétrico, vaciar el enjuague al matraz redondo de fondo plano que contiene la muestra y conectar al equipo de destilación. Enjuagar el matraz volumétrico con agua destilada y colocarlo a la salida del condensador, en un baño de hielo o mezcla de agua-hielo. La temperatura del agua que abandona el condensador no debe ser mayor a 25°C, en caso contrario el calentamiento debe disminuirse.

Se debe obtener un destilado de aproximadamente 96 mL en un lapso de 30 a 60 minutos. Al obtener este volumen se debe suspender el calentamiento e inmediatamente desconectar el matraz de destilación del equipo. Retirar el matraz volumétrico de recepción de destilado y taparlo. Colocar el matraz en un baño a temperatura constante que se encuentre a 20 °C por un lapso aproximado de 15 minutos y aforar con agua destilada a 100 mL. Mezclar el contenido del matraz y determinar el peso específico. Transferir el residuo contenido en el matraz de destilación con ayuda de un embudo, a un matraz aforado de 100 mL. Realizar enjuagues al matraz de destilación con agua destilada en ebullición, procurando limpiar las paredes del mismo. Recibir los enjuagues en el matraz aforado hasta alcanzar los 100 mL. Enfriar el matraz en un baño de agua-hielo durante 10 minutos, a continuación colocar el matraz en un baño de temperatura constante que se encuentre a 20 °C durante 15 minutos y aforar con agua destilada. Mezclar el contenido del matraz y determinar el peso específico.



De tal forma que con el valor de peso específico del destilado se obtiene el valor correspondiente de alcohol en volumen y los gramos de alcohol en 100 mL.

### **6.4.3 Azúcares Reductores**

#### Principio del Método

El método utilizado para la determinación de azúcares reductores es el volumétrico de Lane y Eynon en el cual el hidróxido de cobre que se encuentra como precipitado en medio alcalino se mantiene en solución por medio de la sal de Rochelle (tartrato doble de sodio y potasio). Los reactivos utilizados para este análisis son la solución Fehling (mezcla de sulfato de cobre, hidróxido de sodio y sal de Rochelle) y el azul de metileno el cual se utiliza como indicador interno. La determinación de azúcares reductores se basa en el hecho de que las disoluciones neutras de estos azúcares reducen las disoluciones alcalinas de las sales de los metales pesados que por medio de calentamiento producen un precipitado de óxido cuproso que va a ser proporcional a la cantidad de azúcar presente en la muestra.

#### Secuencia del Análisis

Agregar 50 mL de la muestra a un matraz aforado de 100 mL. Llevar al aforo con agua destilada, mezclar por inversión y agitación. Transferir a una bureta de 25 mL la muestra diluida. En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se agregan 5 mL de solución de Fehling "A" y 5 mL de solución Fehling "B" agregar agua destilada hasta la marca de 50 mL. Se adiciona un volumen aproximado al del gasto estimado menos 1 mL del punto final de titulación, dejar en ebullición dos minutos y agregar de 2 a 5 gotas de solución de azul de metileno, tomar tiempo y adicionar de 3 a 4 de la muestra diluida cada 15 segundos hasta la

desaparición del color azul. La titulación no debe exceder de 3 a 4 minutos desde el inicio de la ebullición.

#### Cálculos

El contenido de azúcares reductores como maltosa se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\% M = (L \times D) / (Sp \text{ Gr} \times Tc)$$

Donde:

L = 192.005 (De tablas Lane & Eynon, factor de Lane para 25 mL de solución de Fehling en mg de maltosa anhidra).

Tc = Lectura Corregida = T x Factor de Fehling x 2.5

T = lectura de la bureta (gasto en mL)

D = volumen de dilución / 10 x volumen de muestra = 100 mL / 10 x 50 mL

Sp Gr = Gravedad específica de tablas contra °P = para cervezas el valor es de 1.01079

#### 6.4.4 Unidades de Amargor

##### Principio del Método

Esta técnica se basa no tanto en una reacción química que pueda evaluarse sino más bien en dos fundamentos fisicoquímicos básicos; por una parte la extracción basada en la propiedad que tiene un determinado solvente de extraer un compuesto afín a su estructura de una solución acuosa que lo contenga (en este caso la isohumulona es compatible con el iso-octano). Y por la otra parte la espectrofotometría cuyo fundamento establece que un compuesto específico en solución es capaz de absorber la luz emitida a una longitud de

onda determinada y que dicha absorción se encuentra en relación directa a la cantidad del compuesto en la solución.

#### Lectura del Blanco Reactivo

Tomar en la celda del aparato una muestra de iso-octano y leer a 275 nm. La absorbancia obtenida se toma como blanco reactivo.

#### Preparación de la Muestra

Para cerveza terminada es necesario enfriar previamente, preferentemente en hielo, al menos por 15 minutos antes de tomar la muestra.

#### Análisis de la Muestra

A cada matraz Erlenmeyer se le agregan 10 mL de muestra cuidando no arrastrar las partículas sedimentadas, en el caso de cerveza terminada esta debe ser sin decarbonatar. Verter sobre las paredes del matraz 1 mL de ácido clorhídrico 3N y 20 mL de iso-octano. Colocar el tapón esmerilado y agitar por 15 minutos a 275 rpm. Trasladar la muestra a los tubos de vidrio con rosca, centrifugar a 2400 rpm durante 15 minutos para separar las fases. Leer la absorbancia a 275 nm tomando solo el sobrenadante con la ayuda de una pipeta evitando derrames por las paredes exteriores de la celda.

#### Cálculos

El valor en IBU's de la muestra se calcula según la siguiente ecuación:

$$\text{IBU} = A \times 50$$

Donde A es la absorbancia de la muestra medida a 275 nm.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

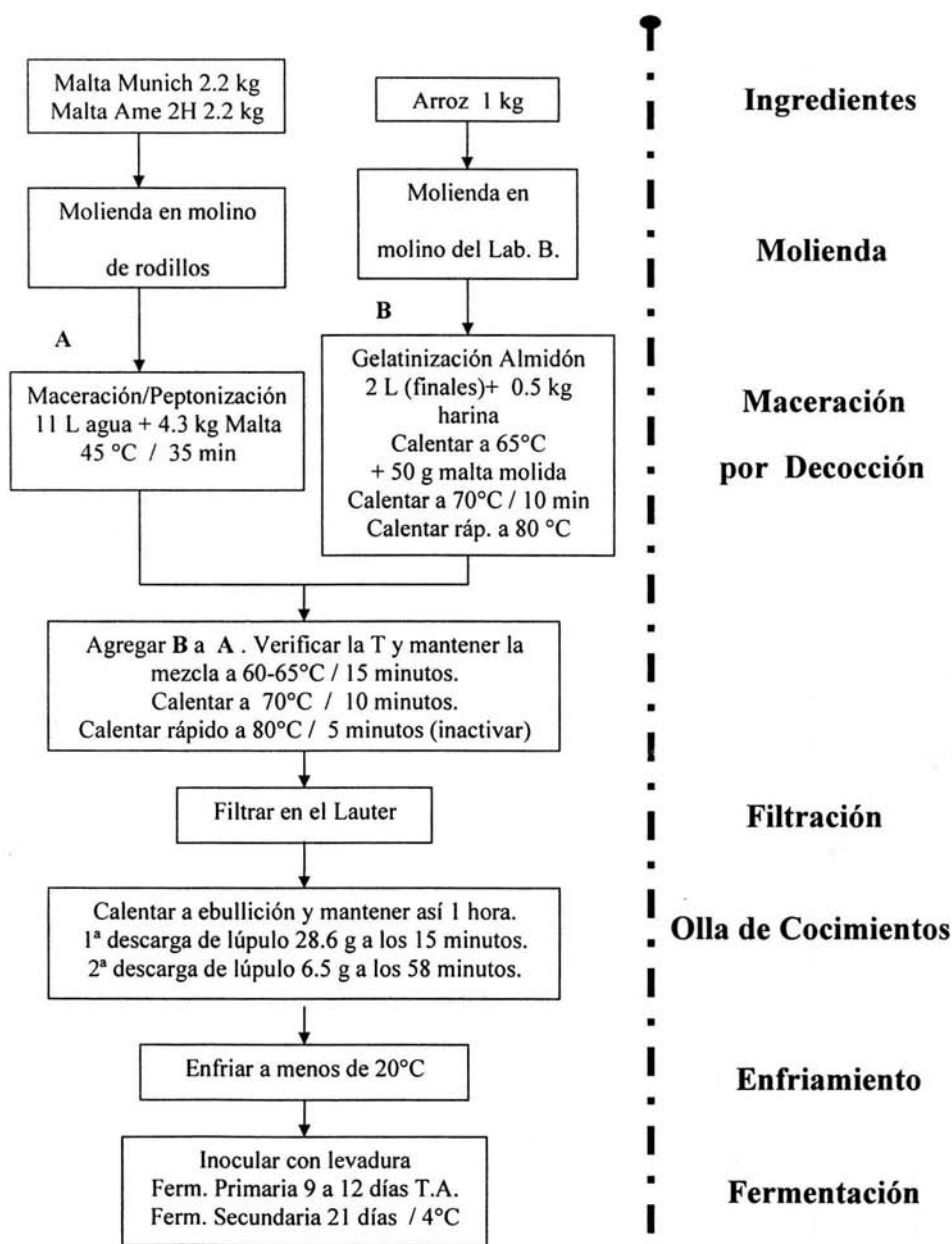
Para lograr el objetivo principal de este proyecto de tesis se realizaron tres ensayos preliminares a fin de optimizar las condiciones metodológicas a nivel laboratorio para la elaboración de cerveza *Ale*, en los laboratorios de alimentos localizados en el cuarto piso del edificio A de la Facultad de Química de la UNAM.

Las características de calidad que debe poseer la cerveza *Ale* se midieron en función de (1) azúcares reductores contenidos en el mosto; (2) evaluación del contenido final de alcohol; (3) amargor medido en Unidades Internacionales de Amargor.

Para el primer ensayo se creó un plan de trabajo para establecer una metodología inicial (**Diagrama 2**) basado principalmente en la investigación bibliográfica realizada. Este protocolo fue propuesto como base de la experimentación en este trabajo de tesis, con la finalidad de observar su comportamiento y realizar los ajustes necesarios para la posterior obtención de un producto que cumpliera con las características de calidad que corresponden a la cerveza *Ale*.

Es fundamental que este trabajo incluya y aporte las acciones realizadas a lo largo de la experimentación. Por ahora, se hablará específicamente acerca de la evolución del diagrama del proceso. A continuación se muestra el primer diagrama propuesto en la elaboración de cerveza *Ale* a nivel laboratorio.

**Diagrama 2. Metodología para Elaborar Cerveza Ale a Nivel Laboratorio**



Los resultados obtenidos indicaron que el producto final (Cerveza *Ale*) no reunía las principales características deseadas como: cuerpo, sabor, aroma y % de Etanol. Estas se muestran a detalle en la Tabla 10.

El producto obtenido en este ensayo puede ser descrito organolépticamente como se indica a continuación:

El cuerpo de la cerveza elaborada resultó ser más delgado de lo esperado, se esperaba una cerveza con una densidad mayor.

El sabor de la cerveza era ligeramente alcohólico y con una nota alta a melaza. Cuando se esperaba que tuviera un sabor malteado y dulce, típicos en una cerveza *Ale*; inclusive, el amargor que debía ser percibido quedó cubierto por la nota a melaza.

El aroma de la cerveza era afrutado, dulce y con un toque a melaza, cuando lo ideal era que solo mostrará notas afrutadas. Esto indica la existencia de una concentración mayor de ésteres en la cerveza.

Finalmente, el contenido de alcohol en volumen obtenido (5.52%) resultó ser menor al propuesto. El contenido ideal de la cerveza *Ale* elaborada era de 6% de alcohol en volumen, esto no cumplía con las expectativas que se tenían del producto, el objetivo era desarrollar un producto con un carácter mucho más fuerte que los ya existentes en el mercado mexicano.

El seguimiento de las características citadas a continuación fue propuesto con la finalidad de establecer la calidad del producto y tener una percepción más amplia acerca de las características obtenidas en el producto elaborado, respecto a las propuestas inicialmente:

Los valores obtenidos de azúcares reductores se presentan en Anexo 5, donde se observa que la cantidad de azúcares, determinados como % de Maltosa que se obtuvieron a partir de la maceración (12.84 %), fueron insuficientes. Lo que originó la necesidad de replantear los cálculos, tanto de la cantidad de malta utilizada, como del agua necesaria para la elaboración de la cerveza. De igual forma, se dieron algunas modificaciones en el programa de temperatura vs tiempo seguido durante la maceración de este primer lote.

El objetivo deseado con estos cambios fue aumentar la cantidad de malta para así poder extraer una mayor cantidad de azúcares reductores a partir del almidón contenido en la malta y contar con una mayor cantidad de enzimas durante la maceración, lo que beneficiará al proceso. Además en la modificación del programa de maceración se buscó mantener un equilibrio entre las temperaturas de trabajo de las diferentes enzimas que participan en la maceración y el tiempo que necesitan para desarrollar su trabajo de forma adecuada, con la finalidad de obtener una cantidad suficiente de azúcares fermentables en el mosto, los cuales serán degradados por la levadura durante la fermentación.

Los cálculos de las cantidades óptimas de malta, así como programa de temperatura vs tiempo se encuentran en el apartado de Metodología de este trabajo.

La evaluación del contenido final de alcohol tampoco fue favorable para este primer lote, pues al obtener una cantidad insuficiente de azúcares fermentables el porcentaje de etanol producido (5.52%) por la levadura durante la fermentación no llegó al valor propuesto para el producto (6%). Este parámetro también se relaciona con la etapa de maceración y los cambios propuestos en el párrafo anterior y se espera que con las modificaciones realizadas se tengan las condiciones de elaborar un producto con el volumen de etanol deseado.

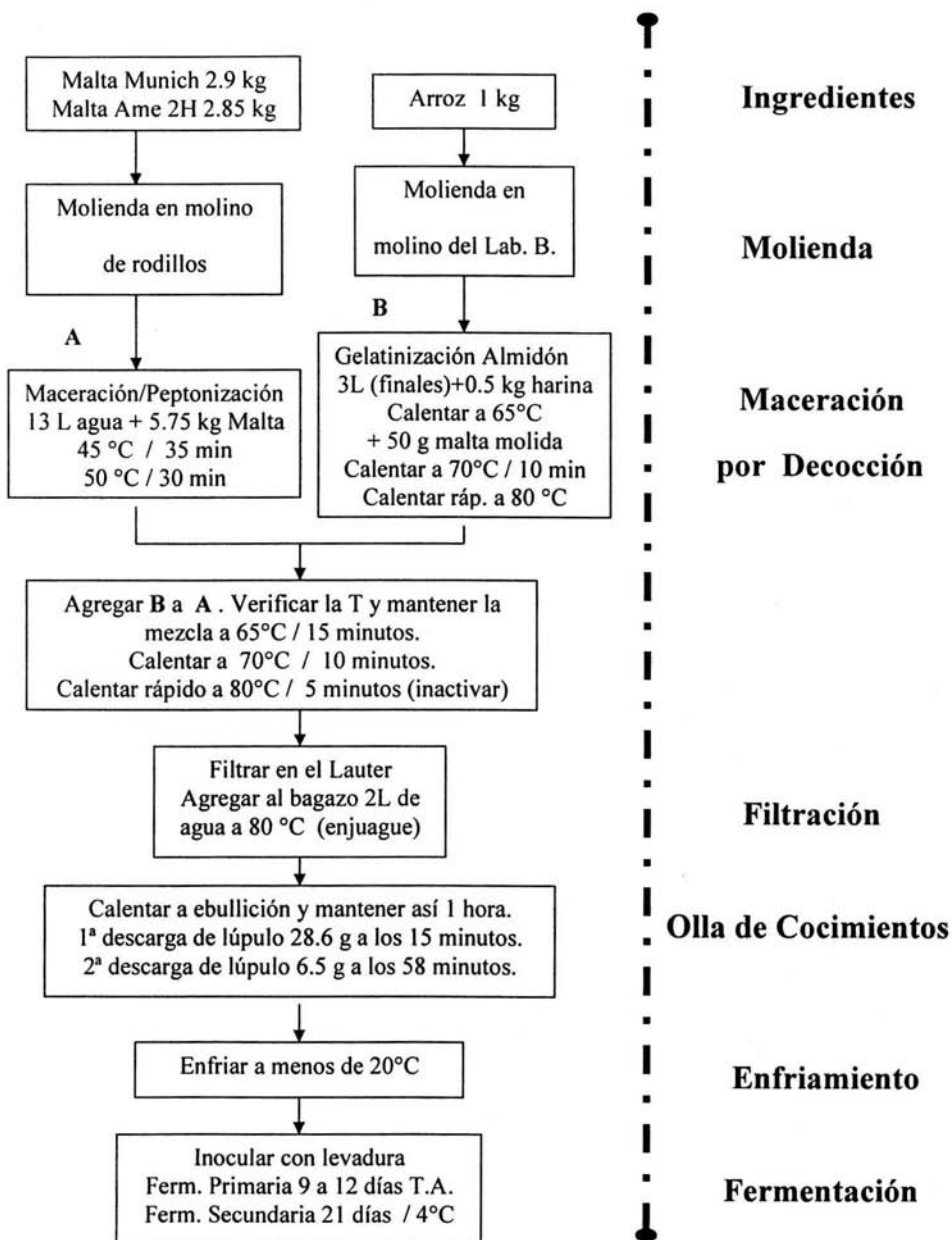
La medición de las unidades relativas de amargor ó IBU's no se llevó a cabo para este lote, el motivo es que no se contaba, en ese momento, con la metodología necesaria, además de la falta de iso-octano, reactivo necesario para la extracción de la iso-humulona. Por estos motivos en la Tabla 9 no aparecen las determinaciones correspondientes de IBU's del primer lote.

El equipo desarrollado para la obtención de la cerveza *Ale* presentó un funcionamiento óptimo y demostró ser viable para el protocolo. Aunque se espera que en ocasiones posteriores, ya con el conocimiento de la técnica y su repetición, se aumente la eficiencia del mismo, logrando mejores resultados.

Las modificaciones realizadas a la metodología inicial se muestran en el siguiente diagrama, que es el definitivo y con el cual se elaboraron los dos lotes restantes en la experimentación.



**Diagrama 3. Metodología para Elaborar Cerveza Ale a Nivel Laboratorio**



Esta metodología final (**Diagrama 3**) dio mejores resultados: una mayor extracción de azúcares, una mayor actividad de las enzimas en la etapa de maceración, un mosto de mayor calidad y sobre todo mejores cualidades físicas y organolépticas en la cerveza final.

### **7.1 Contenido de azúcares reductores en el mosto**

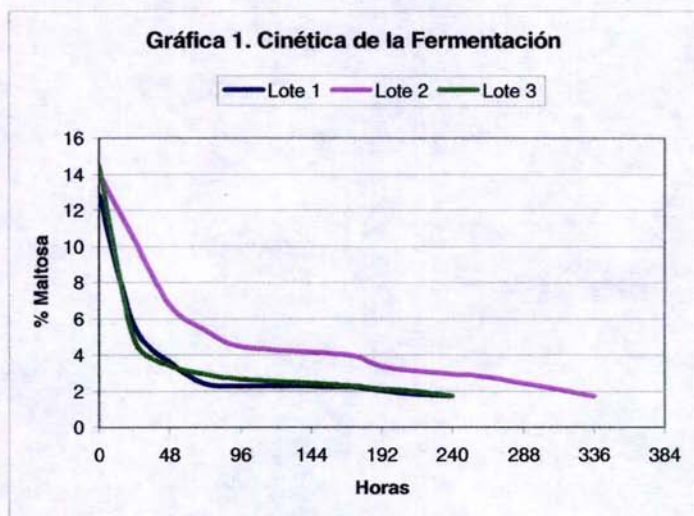
El seguimiento de los azúcares fermentables es de bastante utilidad para determinar principalmente tres aspectos:

El primero es la cantidad inicial de azúcares contenidos en el mosto como % de Maltosa, que nos indica la calidad con que fueron realizadas las etapas de molienda, maceración (macerador y cocedor de cereales) y filtración, pues al final de estas, se obtienen los azúcares fermentables que componen el mosto.

El segundo la cinética de la fermentación, si tenemos un mosto rico en azúcares fermentables al que se agregan levaduras, la disminución sustancial de los azúcares contenidos en el mosto es más que natural si las condiciones en que se desarrolla la fermentación son las correctas.

El tercero es la calidad de levadura, pues si el curso de la fermentación no tiene mayores contratiempos este es indicativo de que las condiciones para el trabajo de la levadura son idóneas y que su calidad es buena.

A continuación la Gráfica 1 nos muestra el seguimiento realizado a los tres lotes de cerveza elaborados:



Del Lote 1 solo realizaré un breve comentario, la cantidad de azúcares expresados en porcentaje de maltosa fue el más bajo de los tres lotes, obteniéndose tan solo un 12.84 %, por lo que se tuvieron que realizar modificaciones al diagrama inicial para poder obtener un porcentaje de azúcares más elevado y así lograr la cantidad necesaria de azúcares para la cerveza propuesta. El desempeño de la levadura en este lote fue bueno, al finalizar la fermentación en un periodo de 10 días a temperatura ambiente, cumpliendo con los tiempos propuestos (9 – 12 días) para la primera fase de la fermentación.

Cabe destacar que una parte de la levadura rescatada de este lote fue liofilizada tal cual se recogió al salir del proceso y la otra parte fue reactivada en caldo extracto de malta y recubierta con glicerol para su posterior liofilización (Anexo 3).

En el segundo lote, las cosas fueron distintas, ya que las modificaciones realizadas al diagrama inicial facilitaron las condiciones con las cuales se logró el incremento de los azúcares reductores expresados en por ciento de maltosa, al pasar de un 12.84% a un 14.05%. Es decir, los cambios realizados funcionaron. Pero la fermentación de los azúcares presentes en el mosto inició bastante lenta, para citar un ejemplo: mientras al segundo día de fermentación el lote 1 ya tenía un porcentaje de maltosa de 3.62%, el lote 2 logró un valor similar (3.36%) hasta el octavo día de iniciada la fermentación. Este parámetro fue indicativo de la mala actuación que tenía la levadura dentro de la fermentación, la explicación a este detalle es que la levadura utilizada para este lote fue la recuperada del lote 1 por liofilización. La cantidad de levadura agregada fue la misma a la agregada para el primer lote (7 gramos), por lo tanto fue la calidad de ésta la que evitó que la fermentación se desarrollara por buenos términos. Se decidió agregar una cantidad extra de levadura al mosto para continuar el proceso y evitar la pérdida del lote, la levadura utilizada en esta adición extra fue la tratada con caldo extracto de malta, adicionada con glicerol y finalmente liofilizada. El funcionamiento de la levadura adicionada fue satisfactorio, colaboró para que el tiempo en el que se desarrolló la fermentación no fuera excesivo y por lo tanto, evitó la formación de olores indeseables en la cerveza tales como el sabor a mantequilla, debido a una concentración mayor a 0.5 ppm de diacetilo ó a manzanas verdes o hierbas recién cortadas debido a una contenido excesivo de acetaldehído.

Los resultados del Lote 3 fueron los mejores de toda la experimentación en cuanto a extracción de azúcares reductores a partir de la materias primas, el porcentaje obtenido de azúcares fermentables fue de 14.49%. Lo que indica un buen trabajo en la etapas anteriores, además de un mejor dominio de la técnica logrando incrementar la eficiencia en la etapa de

macerado. El comportamiento de la curva de fermentación de este lote es característico y muy parecido al del lote 1. Aunque en esta ocasión la fermentación inició con un mayor porcentaje de azúcares reductores. El trabajo de la levadura en este tercer lote fue bueno, tomando en cuenta que la levadura utilizada en este lote fue la levadura tratada y liofilizada a partir del lote 1. Por su adición al proceso de fermentación y, basándose en los buenos resultados obtenidos en esta etapa en especial, se puede establecer la viabilidad de la utilización de la levadura recuperada en lotes posteriores, siempre y cuando se siga el protocolo de recuperación propuesto en el Anexo 3. En esta ocasión la levadura también realizó su trabajo en un tiempo adecuado, duró un periodo de 10 días y cumplió el promedio establecido (9 – 12 días) para la primera fase de la fermentación.

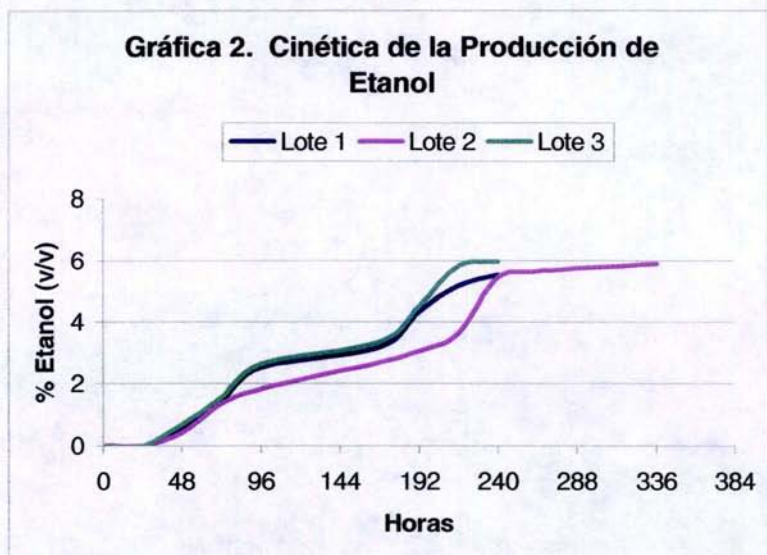
En general, la tendencia de la cinética de fermentación de los tres lotes realizados fue la esperada, ya que inician con un porcentaje de maltosa superior al 12% y este disminuyó al mismo tiempo que la levadura actuó sobre los azúcares fermentables presentes en el mosto. La duración de la fermentación primaria, que es básicamente de 9 a 12 días fue respetada por los lotes 1 y 3, mientras el 2 no cumplió con este parámetro por las razones antes expuestas en relación con la actividad de la levadura. Finalmente, las condiciones en las que se realizó la fermentación fueron adecuadas para el funcionamiento de la levadura.

## **7.2 Contenido de alcohol en volumen en la cerveza terminada**

Esta evaluación es un parámetro que se relaciona estrechamente con la anterior determinación, como es sabido la función primaria de la levadura es el consumo de los azúcares fermentables en el mosto, para su posterior transformación en alcohol y CO<sub>2</sub>.

La fermentación primaria es precisamente la etapa en la cual se generará el contenido o volumen alcohólico de la cerveza y  $\text{CO}_2$ . Esta cifra de etanol es la que se muestra en la etiqueta del producto en %v/v y establece la cantidad de alcohol con la que el producto cuenta.

Lo ideal, es que en un inicio el mosto contenga una cantidad elevada de azúcares fermentables, posteriormente al agregar la levadura da inicio la primera etapa de fermentación, la cantidad de azúcares presentes en el mosto disminuirá conforme pase el tiempo y la levadura realice su trabajo, aumentando constantemente el por ciento de etanol producido por la levadura. A continuación en la Gráfica 2 se muestran los resultados obtenidos en el seguimiento de este parámetro:



Los resultados obtenidos en el Lote 1 muestran una constante formación de etanol durante la fermentación, solo que el porcentaje de etanol alcanzado al final de esta etapa apenas superó el 5.5% de etanol. Esta cifra se puede relacionar directamente con el valor de azúcares reductores presentes en el mosto para el mismo lote, confirmando la necesidad de contar con una mayor cantidad de azúcares en el mosto inicial, es decir, se tuvo que analizar el protocolo para realizar ajustes en la metodología, que permitieran la obtención de los parámetros necesarios para la obtención de la cerveza tipo *Ale*.

Fue entonces como se realizaron los cambios pertinentes en la metodología propuesta inicialmente con el fin de subsanar las deficiencias mostradas, la metodología final se puso en práctica a partir de la realización del segundo lote.

La duración de la fermentación primaria indicó que la levadura utilizada era de buena calidad, la cepa era la adecuada y que el funcionamiento fue óptimo, aunado a las buenas condiciones que se presentaron durante la fermentación. La fermentación se desarrolló en esta primera etapa a temperatura ambiente (20 – 25 °C), la cual es idónea para el funcionamiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

En el Lote 2 podemos observar un paulatino incremento del por ciento de Etanol, tal como se observa en el Anexo 5, se obtuvo en un lapso de 14 días el valor de 5.9 % de Etanol para este segundo lote. La explicación de ello es que en un inicio se utilizó solamente la levadura liofilizada recuperada del primer lote, lo que indica que la técnica de liofilización no es la más apta para mantener la cepa, pues las levaduras quedan demasiado dañadas.

Al pasar el tiempo y observar resultados, al 9º día se optó por agregar una cantidad extra de levadura, la levadura seleccionada fue la que se reactivó y trató con caldo extracto de malta y glicerol. De inmediato con tan solo un día de actividad se observó un incremento del 3.62 % a un 5.46 % de Etanol, indicando que la decisión fue adecuada y que la actuación de la levadura tratada fue benéfica.

En cambio el Lote 3 presentó el mejor desempeño, obteniendo en él un porcentaje de etanol del 5.98%, porcentaje que prácticamente cumplió con lo propuesto para la cerveza *Ale* en este trabajo. Además este parámetro indica que la cantidad de azúcares extraídos durante la etapa de maceración (14.49 %M) fue la adecuada para obtener el porcentaje requerido de etanol en el producto.

La duración de la primera etapa de la fermentación cumplió las expectativas al realizarse en un periodo de 10 días, caso muy similar al que se presentó en el lote número 1. A diferencia del primer lote, en esta ocasión la levadura adicionada fue la que se obtuvo y se trató a partir del Lote 1 y no la comprada inicialmente (Safale). Los resultados obtenidos en este tercer lote, además de la experiencia del lote anterior permiten asegurar que la calidad de la levadura tratada es buena, por lo tanto, se recomienda el método mencionado en el Anexo 3 para conservar la cepa.

En general, los valores de etanol alcanzados en los tres lotes cumplen con la clasificación que tiene la cerveza a escala nacional, que al ser considerada una bebida fermentada de bajo contenido alcohólico puede contener un máximo de 6% de etanol en volumen, según el Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios, Título Vigésimo.



El alcohol que contiene la cerveza es una característica bastante importante para el producto, pues la distingue de muchos otros tipos de cerveza, le otorga un sabor específico e influye en las cualidades organolépticas del producto; que a final de cuentas son las que hacen que las personas lo consuman o no frecuentemente.

### 7.3 Contenido de amargor en el producto terminado

El tenor amargo de la cerveza se mide en Unidades Internacionales de Amargor (IBU, del inglés International Bittering Units) y no es más que una medida de concentración de los iso- $\alpha$ -ácidos en partes por millón (ppm). Este parámetro nos indica la cantidad de sustancias que imparten el amargor a la cerveza, es una cualidad única en cada cerveza y le proporciona características especiales a cada una de las variedades según la variedad agregada.

El seguimiento que se realizó de las Unidades Internacionales de Amargor en cada uno de los lotes realizados se muestra a continuación:

**Tabla 9. Contenido de IBU's en el producto terminado**

Tiempo (horas)	Lote 1	Lote 2	Lote 3
1ª Determinación	--	17	16.5
2ª Determinación	--	18	16.5
3ª Determinación	--	17	17
Promedio	--	17.33	16.66

En el primer lote no se realizó ninguna determinación de IBU's, el motivo es que no se contaba con la metodología para medir el contenido de amargor en el producto, además de

la falta de iso-octano, reactivo necesario para la extracción de iso-humulona. Por estos motivos en la Tabla 9 no aparecen las determinaciones correspondientes al primer lote.

El valor de IBU's esperado para la cerveza *Ale*, era de 20 unidades, pero en el segundo lote después de la determinación se obtuvo un promedio de 17.33 unidades. Respecto a las fórmulas y coeficientes utilizados en la obtención de las cantidades necesarias para aportar 20 IBU's, ninguno de ellos tiene error. Los datos fueron tomados de la bibliografía, por lo que no se puede culpar a ellos de los resultados obtenidos.

Inclusive los resultados obtenidos en el Lote 3 fueron inferiores a los del segundo y para reafirmarlo, en la cuestión organoléptica el amargor también era poco perceptible.

Por estos motivos, la disminución del valor de amargor se atribuye al almacenaje del lúpulo, debido a que el envase y la temperatura utilizados no fueron los adecuados. Las necesidades del almacenaje del lúpulo son: temperaturas cercanas a cero grados centígrados y mantenerlo en un envase sellado al vacío, de lo contrario, los compuestos del lúpulo se oxidan y los beneficios que aportan a la cerveza se ven disminuidos al utilizarlo en lotes posteriores.

#### **7.4 Perfil Organoléptico**

La descripción del producto es una prueba bastante importante de los resultados obtenidos en cuanto al gusto de la cerveza elaborada. Debió haberse realizado con un panel de catadores experimentados, pero la falta de estos y de un programa que permitiera una

adecuada evaluación de la cerveza tuvo como consecuencia que la prueba solo se realizara con la ayuda de personas experimentadas en el ramo cervecero.

El seguimiento de las características de calidad de la cerveza aunadas a las cualidades organolépticas que presenta, me permiten establecer una comparación con las variedades de cerveza descritas en los antecedentes.

En la Tabla 10 se realiza esta comparación y cabe destacar que solo aparecerá en la tabla la variedad *Strong Ale*, debido a que es la cerveza que más se asemeja a la cerveza que se obtuvo en este trabajo de tesis.

**Tabla 10. Perfil Organoléptico de la Cerveza Elaborada**

<b>Característica</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>	<b>Strong Ale</b>
Cuerpo	Medio	Grueso	Grueso	Grueso
Sabor	Ligeramente alcohólico, nota alta a melaza	Alcohólico, seco y poco astringente, ligeramente a melaza	Ligeramente alcohólico, seco y astringente, nota de ésteres	Malteado, dulce
Olor	Afrutado, dulce, a melaza	Afrutado, dulce, a melaza	Afrutado, dulce, ligeramente a melaza	Afrutado
Color	Ámbar oscuro	Ámbar oscuro	Ámbar oscuro	Ámbar oscuro
Espuma	Poca espuma	Poca espuma	Poca espuma	Poca espuma
Amargor (IBU)	Ligero	Ligero 17.33	Ligero 16.66	Ligero
EMO (%)	13.76	15.18	15.18	--
Alcohol vol. (%)	5.52	5.90	5.98	6
Litros obtenidos	11.9	14.2	14.6	--

El rendimiento en litros obtenido en cada uno de los lotes elaborados es otro aspecto importante que debe mencionarse. El lote 1 fue el que obtuvo un rendimiento más bajo, la razón es que la cantidad de agua utilizada para elaborar el lote no era la adecuada, en realidad no existe una fórmula que indique la cantidad correcta, se hicieron las modificaciones necesarias de tal forma, que la metodología establecida en este trabajo indica las cantidades necesarias en cada etapa de la elaboración. Revisando los resultados del Lote 2, se observa que el volumen final de cerveza se incrementó, obteniendo 14.2 litros de cerveza, esto indica un mejor manejo de la técnica y corrobora que la cantidad de agua propuesta en el protocolo es la adecuada.

Por último en el tercer lote, la cantidad final de cerveza superó los volúmenes obtenidos en los lotes anteriores, logrando la cifra de 14.6 litros de cerveza. En esta ocasión, debido al previo conocimiento de la técnica y en parte a su dominio, se pudo obtener un valor más cercano al propuesto. Pero aún así, el volumen propuesto no se obtuvo en ninguno de los lotes elaborados. Se propone tener cuidado en la etapa de maceración y en la olla de cocimientos, para evitar una evaporación exagerada de agua que afecte el volumen. Igualmente debe procurarse que durante la etapa de filtración el bagazo restante no contenga un exceso de humedad y que el fabricante no olvide enjuagar el bagazo, ya que esta cantidad extra de agua previene en cierta medida la pérdida de agua durante la cocción del mosto.

## VIII . CONCLUSIONES

---

Se establecieron las condiciones metodológicas para elaborar cerveza *Ale* a nivel laboratorio, lo que permitirá disponer de un protocolo para la elaboración del producto.

Se adaptó una gran parte del equipo cervecero, el cuál, no existe en el Departamento de Alimentos. Esto se complementó con el uso de las instalaciones presentes en el laboratorio y que en conjunto permitieron el desarrollo de las condiciones de elaboración de cerveza *Ale*.

Se realizó el seguimiento del contenido de azúcares fermentables, alcohol en volumen y amargor que permitieron establecer la calidad y las características particulares de la cerveza *Ale* elaborada.

La cerveza *Ale* elaborada tiene una gran similitud con la variedad *Strong Ale*, cumple con el límite máximo de alcohol permisible para bebidas fermentadas en México, que es de 6%.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

---

- 1) Agrosíntesis. La Cebada Maltera en México: Apoyos, Perspectivas, Retos y Superficie, pp. 9-13, 1998.
- 2) Arnold, J.P. Origin and History of Beer and Brewing. Wahl-Henius Institute of Fermentology, Chicago, Illinois. 1911.
- 3) BANCOMEXT. Banco Nacional de Comercio Exterior. Producción Mundial de Cebada. 2003
- 4) Barnforth, C.W. pH in Brewing: An Overview, MBAA Technical Quarterly, 38 (1), 2001.
- 5) Briggs, J.S. Malting und Brewing Science, Vol. 1, Chapman and Hall, 1981.
- 6) Canadian Grain Comisión, Malting Barley, Grains from Canada, pp. 22 – 23, 2001.
- 7) Christiansen, K. Lautering – Back Basics, MBAA Technical Quarterly, 30 (3), 1993.
- 8) Clerk, J. A Text Book of Brewing, Chapman and Hall, Volumen 1, England, 1957.
- 9) Daniels, Ray. Designing Great Beers. Editorial Brewer Publications. Colorado, E.U.A., 2001.
- 10) Depretere, S.A. Evaluation of the Oxygen Requeriment of Lager and Ale Yeast Strains, MBAA Technical Quarterly, 40 (4), 2003.
- 11) Edelen, C.L. Effects of Yeast Pitch Rates on Fermentation Performance and Beer Quality, MBAA Technical Quarterly, 33 (1), 1996.

- 12) Evans, E., et Al., Pilot Scale Investigation of the Importance of the Barley Husk for Mash Filtration, MBAA Technical Quarterly, 36 (4), 1999.
- 13) Fahy, A. et Al., The Practical Brewer (Wort Production), MBAA, 3a Edition, E.U.A. , 1999.
- 14) Figueroa, C.J. Métodos para Evaluar la Calidad Maltera en Cebada, SARH, D.F., México, pp. 13-17, 1985.
- 15) Forster, R.T. The Contribution of Post-Fermentation Bittering to Beer, MBAA Technical Quarterly, 37 (1), 2000.
- 16) Glover, B. The Encyclopedia of Beer. Editorial Lorenz Books. London, England, pp. 41-84, 1995.
- 17) Graham, G. et Al., Yeast Management –The Balance Between Fermentation Efficiency and Beer Quality, MBAA Technical Quarterly, 38 (1), 2001.
- 18) Hammond, J.R.M. Brewers Yeasts. In: The Yeasts, Vol. 5, 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press, San Diego California, 1993.
- 19) Hardwick, W. Handbook of Brewing. Editorial Marcell Decker, New York, U.S.A., pp. 147 – 149, 1995.
- 20) Held, R. Hop Products: Extracts, Pellets and Modified Alpha and Beta Acids, MBAA Technical Quarterly, 35 (3), 1998.
- 21) Herrmann, H. Flavor Stability with Respect Milling and Mashing Procedures, MBAA Technical Quarterly, 36 (1), 1999.

- 22) Holle, S. A Handbook of Basic Brewing Calculations, Master Brewers Association of the Americas.USA 2003.
- 23) Hop Union. Hop Variety Characteristics, Hop Union U.S.A. Yakima, Washington, U.S.A. pp. 7 – 15, 1999.
- 24) Hosenev, R.C. An Overview of Malting and Brewing, Cereal Foods World, September, Vol. 39, No. 9, 1994.
- 25) Hough, J.S. 1994. Malting and Brewing Science. Editorial Champman and May, 2a Edition, London, G.B.
- 26) Hsu, W.P. Yeast Nutrients and Beer Quality, MBAA Technical Quarterly, 17 (2), 1980.
- 27) Jackson, M. El Libro de la Cerveza. Editorial Blume, Barcelona, España, pp 36-38, 1994.
- 28) Kirsop, B.E. Maintenance of Yeasts. Manual of Laboratory Methods, 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press, Sn. Diego, pp. 161 – 182, 1991.
- 29) Knudsen, F. The Practical Brewer (Fermentation, Principles and Practices), MBAA, 3a Edition, E.U.A. , 1999.
- 30) Knudsen, F. Fermentation Variables and Their Control. MBAA Technical Quarterly, Volumen 22, pp. 149 – 153, 1985.
- 31) Lemmens, G. The Breeding and Parentage of Hop Varieties. Brewers Digest, pp. 16-26, 1998.
- 32) Mallowan, M.E.L. The Birth of Written History. Mc Graw Hill, New York, 1961.



- 33) Manning, Martin. Recipe Formulation Calculations for Brewers, Brewing Techniques, 1994.
- 34) Master Brewers Association of the Americas. Methods of Analysis, 11th Edition. USA 2002.
- 35) Narziss, L. MBAA, Technical Quarterly, 30 (3), 1993.
- 36) Norma Mexicana NMX-FF-043-1982 Productos Alimenticios no Industrializados para uso Humano - Cereal - Cebada Maltera - (*Hordeum vulgare* y *H. distichum*) – Especificaciones.
- 37) Norma Oficial Mexicana NOM-120-SSA1-1994 Bienes y Servicios – Prácticas de Higiene y Sanidad para el proceso de Alimentos, Bebidas no Alcohólicas y Alcohólicas.
- 38) Padilla, L. Apuntes Sobre Cervecería, México, D.F. 2000.
- 39) Pfisterer, E. Measurement and Calculations of Brewing Material Efficiency, MBAA Technical Quarterly, 21 (3), 1984.
- 40) Pollock, J.R. Brewing Science. Academic Press. Volumen 1. Cambridge, G.B., 1979.
- 41) Pollock, J.R. Brewing Science. Academic Press. Volumen 2. Cambridge, G.B., 1981
- 42) Pollock, J.R. Brewing Science. Academic Press. Volumen 3. Cambridge, G.B., 1987.
- 43) Reglamento de Control sanitario de Productos y Servicios, Título Vigésimo, Bebidas Alcohólicas.
- 44) Rose, A.H. Alcoholic Beverages. Academic Press, London, England. pp. 44 – 57, 1989.

- 45) Serna,S. Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales, AGT Editor, México, D.F. , 2001.
- 46) Stoscheck,W. Malt Conditioning and Milling with Modern Equipment, MBAA Technical Quarterly, 25 (3), 1988.
- 47) Strauss, K. The Practical Brewer (Wort Cooling), MBAA, 3a Edition, E.U.A. , 1999.
- 48) Tenney, R.I. Rationale of the Brewery Fermentation, MBAA Technical Quarterly, Volumen 22, pp. 115 – 118, 1985.
- 49) Thomas, M., et Al., Improvements in Brewhouse Efficiency, MBAA Technical Quarterly, 40 (4), 2003.
- 50) Varnam, A., Bebidas Alcohólicas, Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp. 307-365, 1997.

#### Fuentes en Línea

- 51) Cervecería Grupo Modelo S.A. de C.V. [www.gmodelo.com](http://www.gmodelo.com)

## ANEXO 1

---

### Variedades de Lúpulo

#### *Variedades Alemanas*

Variedad	Alfa ácidos (%)
Hallertau	3.5 - 7
Hersbrucker	3 - 6
Perle	7 - 9.5
Spalt	3.5 - 6.5
Tettnanger	4 - 5.5

#### *Variedades Americanas*

Variedad	Alfa ácidos (%)
Cascade	4.5 - 7
Chinook	12 - 14
Cluster	5.5 - 9
Crystal	2 - 4.5
Eroica	11 - 13
Galeana	12 - 14
Liberty	7 - 10
Mt. Hood	12 - 14
Nugget	12 - 14
Willamette	4 - 6

#### *Variedades Inglesas*

Variedad	Alfa ácidos (%)
Brewers Gold	7 - 10
Centenal	9.5 - 11.5
Funggles	4 - 6
Golding	3.5 - 5
Kent Golding	4 - 6
Northern Brewer	7 - 9
Wye Challenger	6.5 - 8.5
Wye Target	9.5 - 13

#### *Otras Variedades*

Variedad	País	Alfa ácidos (%)
Pride of Ringwood	Australia	7 - 10
Lublin Lubesky	Polonia	3 - 5
Saaz	República Checa	3.5 - 6
Styrian Golding	Yugoslavia	4.5 - 7.5

## ANEXO 2

---

### Adaptación del Equipo



**Macerador, Cocedor de cereales y Olla de cocción:** fueron sustituidos por ollas de acero inoxidable de 5 y 20 litros respectivamente. Se eligió el acero inoxidable debido a que es el material del cual están hechos los equipos en la industria cervecera. Además, evita el riesgo de contaminación para el producto, ya que no desprende iones que pudieran mezclarse en la cerveza.



**Fermentador:** se sustituyó con un Garrafón de Plástico (20 L). Se recomienda sanitizarlo con una solución de cloro al 10 %, posteriormente se lavará hasta eliminar el olor a cloro. Para evitar la contaminación se utilizó una trampa, ésta se realizó con la tapa del garrafón, una varilla de vidrio, maskin tape y un trozo de manguera. Debes hacer un orificio pequeño en la tapa e introducir la varilla de vidrio, ésta debe entrar forzada. A su vez, la manguera de plástico se introducirá a presión en la varilla. El diámetro de la manguera dependerá del diámetro de la varilla que elijas. La manguera se sumergirá en un recipiente con una solución de cloro al 10 %. El maskin tape te servirá para asegurar la tapa al garrafón.





**Filtro Lauter:** se adaptó perforando un vitrolero de plástico (18 L) en el fondo, las perforaciones se realizaron con un clavo caliente. Todo el fondo del vitrolero fue perforado con una distancia de aproximadamente 5 milímetros entre cada

orificio. Para esta misma etapa de filtración se utilizó un recipiente de plástico (18 L), éste facilitó la recolección del filtrado y el manejo del producto, ya que contaba con una llave de paso en el fondo. Se

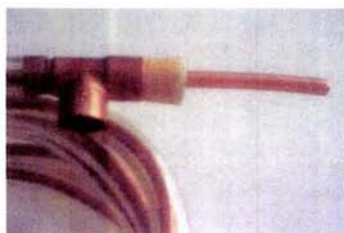


recomienda utilizar el filtro de la forma en que se encuentra en la fotografía del equipo.



**Intercambiador de Calor:** se realizó con la finalidad de enfriar el producto rápidamente, se utilizaron 6 metros de varilla de cobre, 6 metros de manguera (debe tener mayor diámetro de la varilla), 2 “ T ” de cobre, 2 tapones

horadados, 2 pedazos de varilla de vidrio y 4 mangueras. Se realizó el serpentín introduciendo la varilla de cobre en la manguera, posteriormente, se cortaron 10 cm. de manguera de cada lado y se



introdujo la “ T “ de cobre. La manguera debe ajustarse a la “ T “ en un lado, la varilla de cobre debe salir por el otro, dejando el tercer espacio para la salida del agua que correrá dentro de la manguera de plástico enfriando la varilla de cobre. La salida de la varilla de cobre se sellará con los tapones horadados. Por último, debes colocar las mangueras que permitirán la salida del agua hacia el lavabo o coladera. Para darte una idea revisa la fotografía.

## ANEXO 3

---

### Mantenimiento de la Cepa de Levadura

#### Resiembra de la levadura obtenida en Caldo Extracto de Malta.

##### Equipo

3 Matraces de 250 mL	Autoclave	Agua Destilada
Varilla de Vidrio	Refrigerador	Caldo Extracto de Malta
Probeta de 100 mL	Ultracongelador	Glicerol
Mechero	Liofilizadora	
Vasos para Liofilizadora		

##### Preparación del Cultivo

Pesar 5 gr de Caldo Extracto de Malta, mismos que deberás mezclar en 200 mL de agua destilada. Esterilizar la mezcla a 115 ° C por un tiempo de 10 minutos.

##### Solución de Glicerol

En una probeta de 100 mL agrega 10 mL de glicerol y lleva a 100 mL con agua destilada, debes agitar con una varilla de vidrio para facilitar la homogenización de la solución.

##### Procedimiento

Suspende tu levadura en 200 mL de caldo extracto de malta en condiciones estériles (a una distancia no mayor de 20 cm de un mechero prendido). Deja crecer la levadura durante 24 horas a temperatura ambiente. Pasadas las 24 horas quita el sobrenadante en condiciones estériles. Lava la levadura con agua destilada, espera a que sedimente (puedes colocarle un tapón de algodón mientras esperas). Prepara 100 mL extras de Caldo Extracto de Malta y esterilízalo. A este medio de cultivo debes agregar la solución de glicerol. Vuelve a

suspender tu levadura en este medio, tápalo y espera a que tome la temperatura ambiente. Enfríalo en el congelador y después llévalo a una temperatura de  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un refrigerador. Finalmente liofilízalo. Debes obtener unas pajillas color café claro. Guárdalas en un lugar fresco y evita cualquier contacto de tu levadura con la humedad.

ANEXO 4. Diagrama 1. ELABORACIÓN DE CERVEZA ALE





**Decremento de Maltosa en la Fermentación**

Tiempo (horas)	Lote 1	Lote 2	Lote 3
0	12.84	14.05	14.49
24	5.60	10.42	4.86
48	3.62	6.77	3.39
72	2.39	5.40	2.96
96	2.27	4.47	2.66
168	2.23	4.02	2.31
192	2.01	3.36	2.09
216	1.82	3.13	1.98
240	1.74	2.96	1.72
264		2.76	
336		1.74	

**Incremento del % Etanol (v/v)**

Tiempo (horas)	Lote 1	Lote 2	Lote 3
0	0	0	0
24	0	0	0
48	0.54	0.42	0.68
72	1.48	1.38	1.56
96	2.52	1.84	2.64
168	3.18	2.68	3.34
192	4.34	3.06	4.50
216	5.16	3.62	5.82
240	5.52	5.46	5.98
264		5.66	
336		5.90	

## ANEXO 6

---

Los costos de las materias primas, equipo desarrollado y utensilios se establecen a continuación:

<b>Materias Primas</b>		
Ingrediente	Cantidad	Costo
Malta	5.1 kg	\$30
Arroz	500 g	\$3
Lúpulo	35 g	\$15
Agua	30 L	\$30
Levadura*	11.5 g	\$10
TOTAL		\$78

<b>Equipo</b>		
Utensilio	Piezas	Costo
Ollas Acero Inoxidable	3	\$250
Vitrolero	1	\$30
Serpentín	1	\$100
Garrafón Vidrio	2	\$30
Pala de Madera	1	\$10
TOTAL		\$420

\* Puede mantenerse la cepa.