

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



“Elaboración De Cerveza Artesanal Tipo Lager”

Por:

Ricardo Alvarez Barriga

Proyecto de grado modalidad investigación aplicada presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Abril de 2018

Tarija – Bolivia

Resumen

El presente trabajo se realiza para ofrecer una alternativa al consumidor, proporcionando un producto de calidad y de producción nacional.

De la misma manera se pretende aumentar la demanda interna de los insumos mínimos necesarios para elaboración de esta bebida y fomentar la producción de los mismos para con ello mejorar los costos de producción y generar fuentes de empleo.

De implementarse esta iniciativa la actividad generará desarrollo económico, ofrecerá una alternativa con producto nacional bajo estándares de calidad, lo que potenciara la productividad del sector de producción de bebidas en Tarija.

La cerveza es una bebida alcohólica no destilada elaborada a base de granos de cereales, como la cebada , seguidamente malteados, donde el almidón es modificado para ser luego convertido en azúcares fermentables. Este producto es saborizado y aromatizado con lúpulo y posteriormente fermentado de forma anaerobia.

El proceso de elaboración de cerveza artesanal contempla las etapas de macerado (producción de azúcares fermentables), filtrado (separación del mosto), cocimiento (adición del lúpulo), enfriamiento, fermentación (transformación de azúcares en alcoholes), carbonatación (generación de CO₂), envasado y maduración (estabilización de características organolépticas).

Las variables tomadas en cuenta en el proceso de macerado fueron las relación malta-agua y el número de extracciones tomando como variable respuesta los °Brix.

En el proceso de fermentación se tomó en cuenta la cantidad de levadura y la temperatura tomando como variable respuesta el ADF (grado de fermentación aparente. Siglas en inglés).

Las variables tomadas en cuenta en el proceso se evaluaron con el programa estadístico “SPSS ESTATITICS V17” para determinar las significancia de las mismas en cada proceso.

Los análisis fisicoquímicos del producto final se realizaron en instalaciones de la C.B.N. planta Tarija laboratorio de fisicoquímica, obteniendo resultados similares a otras cervezas en el mercado.

Se realizó el análisis sensorial del producto con un panel de jueces entrenados obteniendo buenos resultados de aceptación.

Tras finalizar esta investigación aplicada se fijaron los parámetros óptimos para elaboración de cerveza artesanal obteniendo un producto agradable en el ámbito sensorial y cumpliendo con los parámetros fisicoquímicos deseados.

1.1. ANTECEDENTES

Debido al incremento de la demanda de cerveza en el mundo y al constante crecimiento de esta industria, se realiza este proyecto para ofrecer una alternativa al consumidor y así también fomentar al estudio de nuevos productos, para aumentar la producción y ayudar a la creación de microindustrias o plantas artesanales, para mejorar las ventas y los ingresos económicos del país, y al mismo tiempo proporcionar al consumidor un producto de buena calidad.

La cerveza es una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo, que se fabrica con granos de cebada germinados u otros cereales cuyo almidón se fermenta en agua con levadura (básicamente *Saccharomyces cerevisiae* o *Saccharomyces carlsbergensis*) y se aromatiza a menudo con lúpulo, entre otras plantas.

De ella se conocen múltiples variantes con una amplia gama de matices debidos a las diferentes formas de elaboración y a los ingredientes utilizados. Generalmente presenta un color ambarino con tonos que van del amarillo oro al negro, pasando por los marrones rojizos. Se la considera «gaseosa» (contiene CO₂ disuelto en saturación que se manifiesta en forma de burbujas a la presión ambiente) y suele estar coronada de una espuma más o menos persistente. Su aspecto puede ser cristalino o turbio. Su graduación alcohólica se encuentra entre los 3 % y los 9 % vol.

Historia

La primera evidencia del uso de la fermentación del trigo y la cebada en el Antiguo Egipto corresponde a la época pre-dinástica (5500-3100 ac). El investigador Petrie encontró sedimentos de esta fermentación en jarras de Abadiyeh (un cementerio cercano al Nilo en el Alto Egipto), así como en Naqada. Existen evidencias documentales en el periodo arcaico de Egipto. Los historiadores griegos dan referencias constantes a los egipcios como los inventores de la cerveza y el pan. Algunas de las técnicas arqueológicas para el análisis cualitativo de restos fermentados en vasijas se fundamentan en los resultados obtenidos en el microscopio electrónico de barrido y en la datación por radiocarbono. El estado de los restos

arqueológicos encontrados con trazas de almidón han resultado ser clave para investigar los procesos de elaboración de la cerveza egipcia. No obstante el periodo de esta cultura se expande a lo largo de 3000 años, los métodos, las tecnologías fueron cambiando. Un proceso de cambio en la elaboración de la cerveza ocurrió en el periodo del Imperio Nuevo de Egipto. Algunos procesos específicos en la producción de la cerveza son objeto de gran debate, tal y como el malteado de los cereales, de cuya realización no se poseen evidencias. Se desconoce asimismo si la cerveza se consumía en formato de masa pastosa, o simplemente el líquido decantado y convenientemente filtrado.

El malteado del cereal fue un proceso voluntario que fue introducido por los egipcios, y que distinguía su bebida claramente de la sumeria.

La cerveza era parte integrante de la cultura del Antiguo Egipto, alcanzando el rango de bebida-alimento asociada a su identidad. El pan y la cerveza eran un alimento básico de la mayoría de la población. Es precisamente una de las primeras culturas en ofrecer evidencias arqueológicas documentadas acerca de la producción agrícola controlada de cereales. Comprobándose que además la producción cervecera a gran escala era una importante actividad artesanal, realizada a diario en varias poblaciones. Siendo además una parte integrante no sólo de la alimentación: participando como un alimento básico, sino que también así de las actividades religiosas.

La cerveza era considerada como un alimento en el antiguo Egipto, es decir una fuente de calorías (el etanol aporta unos 7,1 Kcal/gramo, el doble que cualquier carbohidrato).

A parte de las consideraciones que puedan existir de cerveza como alimento, se empleó también como una medicina, existiendo un papiro egipcio con una lista de casi una veintena de recetas de diferentes cervezas aplicables a diferentes enfermedades. Las implicaciones religiosas de la cerveza alcanzan a ser elaborada como alimento para ultratumba. En algunas tumbas se incluyeron factorías a pequeña escala de cervecerías y panaderías egipcias, con el objeto de abastecerse en el más allá.

El consumo de cerveza y su elaboración florece en el periodo de la Edad Media en el norte de Europa. La cerveza es más barata que el vino, y se adquiere mejor en los mercados. La aparición de las grandes ciudades hace que la cerveza comience a recibir impuestos. Sobre las técnicas existentes para la elaboración, se sabe que la primera receta de cerveza Ale escrita en Europa proviene de la ciudad neerlandesa de Gante (desde 1830 belga) y data del siglo XIV. El primer tratado sobre cerveza se escribirá en el siglo XVI. La cerveza durante este periodo de su historia evoluciona en calidad, y la que se consume durante este periodo en Europa tiene poco en común con la que ya se consumía en el siglo III.

La cerveza ha sido uno de los primeros alimentos industrializados de la humanidad. Esta característica ha favorecido su dispersión globalizadora por el mundo. La cerveza se comenzaba a industrializar a finales del siglo XIX, y en Europa tenía tres centros, cada uno de ellos con su estilo propio de elaborar cerveza: Burton-on-Trent (Inglaterra), München (Alemania), Pilsen (Bohemia). De las tres, sólo la "pilsener" acapara todos los avances técnicos, científicos, publicitarios que iban surgiendo. La cerveza ganó popularidad debido a la escasez de vino en 1850, debido a la asolación de los viñedos causada por la plaga de la filoxera (*Dactylospira vitifoliae*), este fenómeno hizo que por algunos años los mercados vitivinícolas se vieran afectados hasta el punto de cesar su producción.

1.1.OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Elaborar cerveza artesanal de fermentación baja tipo lager en la ciudad de Tarija, a partir de malta tipo Pilsen

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización Física y Química de la Materia prima.
- Seleccionar la calidad de los insumos para estandarizar el proceso.

- Diseñar el proceso experimental para la elaboración de cerveza artesanal tipo lager.
- Realizar la selección de las principales variables del proceso de forma eficiente.
- Realizar los balances de materia y energía para la elaboración de cerveza artesanal tipo lager.
- Realizar la caracterización Física y Química del producto obtenido.

1.2.JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 Justificación económica

De implementarse esta iniciativa la actividad generará desarrollo económico, ofrecerá una alternativa con producto nacional bajo estándares de calidad, lo que potenciara la productividad del sector de producción de bebidas en Tarija.

1.3.2. Justificación técnica

El proceso de elaboración de cerveza ya es conocido en el país e implementado por grandes y pequeñas industrias.

La tecnología se puede adquirir o fabricar en Bolivia, los insumos necesarios no se producen en el país y son adquiridos por todas las cervecerías de Bolivia del extranjero.

1.3.3. Justificación social

Se realiza este proyecto para ofrecer una alternativa al consumidor, proporcionando un producto de calidad y de producción nacional.

De la misma manera se pretende hacer crecer la demanda interna de los insumos mínimos necesarios para elaboración de esta bebida y fomentar la producción de los mismos para con ello mejorar los costos de producción y generar fuentes de empleo.

1.3.4. Justificación ambiental

El proyecto es amigable con el medio ambiente por el hecho de que no se usarán productos químicos que puedan dañar al medio ambiente en la elaboración de cerveza y es posible tratar los efluentes producidos en el proyecto.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Materia Prima

2.1.1. La cebada

Originario de Asia occidental y África nororiental, este cereal es el más antiguo en cuanto a empleo alimentario. Muchos consideran a la cebada como un cereal más, sin embargo posee algunas particularidades que la diferencian del resto. Tiene más proteína que el trigo, pero tiene mucho menos gluten. Por esta razón los panes de cebada son más compactos y menos esponjosos. La mezcla que se hace en muchas regiones con harina de trigo, resulta muy benéfica: la cebada aporta su mayor riqueza en lisina (aminoácido limitante en el trigo), con lo cual el pan gana en valor proteico y la textura se hace más liviana.

La cebada es muy buena fuente de inositol, sustancia considerada durante mucho tiempo como vitamina del grupo B. El inositol evita la rigidez de los capilares, es tónico cardíaco, regula el colesterol, evita la acumulación de grasa en el hígado, protege el sistema nervioso y combate ansiedad y depresión. La cebada también posee vitaminas del grupo B, ácido fólico, colina y vitamina K.

En materia de minerales, la cebada es buena fuente de potasio, magnesio y fósforo, pero su mayor virtud es la riqueza en oligoelementos: hierro, azufre, cobre, cinc, manganeso, cromo, selenio, yodo y molibdeno. Esto la convierte en alimento ideal para estados carenciales y para el proceso de crecimiento.

Malta de cebada

La malta es la germinación controlada de un cereal, seguida por la interrupción de este proceso natural, secando el grano por medio de calor.

Durante la producción de malta son muchos los parámetros que deben ser controlados por el malteador. La calidad de la cebada que llega a la planta, los tiempos de remojo, germinación, secado y tostado, temperaturas y humedad, son algunos de ellos. Con diferentes variaciones de estos parámetros se logran las llamadas maltas especiales, necesarias para la elaboración de los distintos tipos de cervezas, impartiendo sus colores y sabores característicos, además de cuerpo, palatabilidad, estabilidad de

espuma, entre otras cualidades.

En cuanto a la cebada se busca que germine fácilmente y que sea uniforme, es decir que sus granos sean de igual tamaño. Si sus granos son disparejos se humedecerán a ritmos distintos y la germinación no será pareja. También se busca que el cereal no haya germinado antes de la recolección y que en más del 98% de los granos se observe tras el remojo la emergencia de la raíz.

2.1.2. Lúpulo

Actualmente, en la elaboración occidental de la cerveza, el aditivo principal que se utiliza para hacer de contrapeso (de equilibrante si se prefiere) al dulzor de la malta es el lúpulo (*Humulus lupulus*). De esta planta se utiliza sin fecundar la flor hembra, llamada “cono”, salvo en Inglaterra. Flores masculinas y femeninas crecen en plantas distintas, por lo que es usual suprimir las masculinas, con lo que se obtienen inflorescencias femeninas sin semillas. En Inglaterra, sin embargo, es costumbre tener un lúpulo masculino por cada doscientos femeninos, con lo que los “conos” tienen semillas. Ello parece proporcionar mayor resistencia a las plantas.

En la base de sus bractéolas, hay unas glándulas que contienen la lupulina, que es el ingrediente que aportará a la cerveza su sabor amargo y los aromas propios. Del amargor son responsables los ácidos amargos y los aromas proceden de aceites elementales constituidos en especial por compuestos bastante volátiles y delicados a base de ésteres, y de resinas. Existen numerosas variedades botánicas del lúpulo que son objeto de investigaciones intensas. El lúpulo es la causa de la estimulación del apetito que produce la cerveza.

Tipos de lúpulo

- Lúpulos amargos

Estos lúpulos son los que aportan más ácidos amargos que aromas. Los representantes más conocidos de esta categoría son el *brewer's gold* y el *northern brewer* o *nordbrauer*.

- Lúpulos aromáticos

Lógicamente, éstos aportan más elementos aromáticos que amargos. En este apartado se conocen especialmente el *saaz/zatec* que definen el estilo *pilsner* de cerveza, el *spalt* y el *tett nang* en el área alemana, y los *golding* y *fuggler* en el área anglófona.

- Lúpulos mixtos, que aportan ambas características juntas aunque menos acentuadas. Esta categoría es muy variable y mal definida. Deberíamos también citar el *hallertau* y sobre todo sus derivados botánicos, así como el *hersbrucker* y sus derivados.

2.1.3. El agua

Entre el 85 y 92 % de la cerveza es agua.

Aparte de las características bacteriológicas y minerales de potabilidad, cada tipo o estilo de cerveza requerirá una calidad diferente de agua. Algunas requieren de agua de baja mineralización, otras necesitan aguas duras con mucha cal. Actualmente, prácticamente ya no se hacen cervezas tal y como fluyen. Casi todas las cervecerías tratan las aguas de manera que siempre tenga las mismas características para una misma receta de cerveza.

Entre los minerales del agua que más interesan a los cerveceros están el calcio, los sulfatos y los cloruros. El calcio aumenta la extracción tanto de la malta como del lúpulo en la maceración y en la cocción y rebaja el color y la opacidad (o turbidez) de la cerveza. El cobre, el manganeso y el zinc, inhiben la floculación de las levaduras. Los sulfatos refuerzan el amargor y la sequedad del lúpulo. Los cloruros dan una textura más llena y refuerzan la dulzura.

Tabla II-1 LÍMITES DEL AGUA

Componente	Máximo
Nitritos	0
Nitratos	Menor a 20 mg/l
Cloruros	Lo más bajo posible
Sulfatos	Menor a 100 mg/l
Hierro	Menor a 0.1 mg/l
Manganeso	Menor a 0.05 mg/l
Dureza total	Menor a 180 mg/l
Bicarbonatos	Lo más bajo posible
Calcio	Lo más alto posible de la dureza
Magnesio	Lo más bajo posible de la dureza
PH	Menor a 8
Silicatos	Menor a 50 mg/l

Fuente: www.cervezadeargentina.com.ar

2.1.4. La levadura

La mayoría de los estilos de cerveza se hacen usando una de las dos especies unicelulares de microorganismos del tipo *Saccharomyces* comúnmente llamados

levaduras, hongos que (como indica su nombre) consumen azúcar y producen alcohol y anhídrido carbónico. Existen dos tipos básicos diferentes de levadura que definen los dos grandes grupos estilísticos de cervezas:

- La levadura de alta fermentación es la que se encuentra normalmente en la naturaleza. Taxonómicamente recibe el nombre de *Saccharomyces cerevisiae*. Se encuentra en los tallos de los cereales y en la boca de los mamíferos. Fue descubierta por Louis Pasteur en 1852 en sus investigaciones sobre la cerveza. Esta variedad actúa a temperaturas de entre 12 y 24 °C y se sitúa en la superficie del mosto. A las cervezas que se consiguen con este tipo de fermentación se les llama de alta fermentación o Ale. Existen muchas variantes de esta levadura adaptadas a cada estilo de cerveza. En especial existe una que se suele llamar «levadura Weizen» y que aporta a las cervezas del sur de Alemania su gusto especial.
- La levadura de baja fermentación es una variedad descubierta involuntariamente por los cerveceros del sur de Alemania que sometían sus cervezas a una maduración a bajas temperaturas en las cuevas de los Alpes. Estos hongos, de la especie *Saccharomyces uvarum* (también denominada *S. carlsbergensis*) actúan a temperaturas de entre 7 y 13 °C y se suele situar en el fondo del fermentador. Las cervezas que se elaboran con esta variedad son las llamadas de baja fermentación o lager.

2.2. La cerveza

La cerveza es una bebida alcohólica no destilada elaborada a base de granos de cereales, como la cebada por ejemplo, cuyo componente de almidón será modificado para ser luego fermentado en agua y aromatizado con lúpulo.

La cerveza al igual que el vino, ostenta una multiplicidad de variantes de presentación que dependerán de la forma a través de la cual fue elaborada y de los ingredientes que se hayan utilizado en la misma, aunque el color ámbar es el más característico y frecuente también uno puede encontrarse con cervezas negras y rojas, que si bien no son tan comercializadas como la tradicional, también cuentan con un amplio público consumidor alrededor del mundo.

Una abundante espuma blanca, el gas y una graduación alcohólica que puede oscilar entre el 3 y el 9 % son las características y las marcas registradas de esta bebida alcohólica que comparte popularidad y fuerte demanda con el vino.

2.2.1. Características de la cerveza

2.2.1.1. Color

Es determinado por la materia prima puesto que el color del mosto determina el color de la cerveza. Hay maltas claras y maltas oscuras dependiendo del tiempo de tostado de la cebada germinada. La cepa de levadura también influye en color final de la cerveza.

2.2.1.2. Turbidez

La turbidez en una cerveza puede deberse a diferencias en la filtración, contaminación microbiológica, por bacterias o levaduras salvajes, presencia de proteínas pesadas que no fueron retiradas durante el proceso, desgasificación o contaminación con oxígeno por fisuras en el tapado, reacciones fotoquímicas por sobre exposición a la luz solar.

2.2.1.3. Espuma

Toda cerveza debe tener una espuma estable. La formación de la espuma depende del contenido de gas carbónico y de las proteínas que al final contiene en suspensión la cerveza.

La espuma es la que protege a las cervezas de la oxidación, lo que pasa cuando queda en contacto con el aire por mucho tiempo va cambiando el sabor de la cerveza. Al haber siempre presente una capa de espuma, por más fina que esta sea, se evita el contacto del líquido con el aire, para que la bebida no se oxigene y no pierda el gas tan rápido ni su sabor original.

La densidad y duración de la espuma estará determinada por el tipo de malta y de los granos que se usaron en su elaboración. Particularmente, la malta tostada la cebada y el trigo en hojuelas aumentan el nivel de espuma en una cerveza.

2.2.1.4. Aroma

Las características del aroma dependen del estilo. Antes que nada, cualquier cerveza independiente al estilo que pertenezca tiene que estar libre de aromas extraños o defectos (acidez elevada, avinagrada, sulfuros, fenoles medicinales, entre otros). El aroma depende principalmente de la malta utilizada, el lúpulo y las características de la levadura. Las notas aportadas por la malta pueden ser a grano, pan, galletita, caramelo, toffe, chocolate, café, humo. Los aromas aportados por el lúpulo pueden ser florales, frutales, herbales, a especias, a madera, entre otros, siempre dependiendo de la variedad utilizada. La levadura tiene un gran impacto en el perfil aromático de la cerveza. Los defectos generalmente se deben a las malas prácticas de elaboración y manipuleo de producto.

2.2.1.5. Contenido alcohólico

El grado alcohólico, ya lo hemos mencionado, se fija en la Sala de Cocimientos y depende de la relación de azúcares fermentables y carbohidratos no fermentables conocidos como dextrinas. Algunos países tienen regulaciones gubernamentales del contenido máximo de alcohol en las cervezas, si bien esto ha ido desapareciendo o cayendo en desuso a causa de la globalización comercial que ha permitido la coexistencia de cervezas de diferentes países y es entonces muy común encontrar en el mercado desde cervezas con bajo contenido alcohólico (3% - 4%) hasta cervezas europeas de 7% - 12% de alcohol. Pero los productores si deben definir su grado alcohólico, dependiendo del público al cual va dirigido su producto y mantenerlo uniforme para garantía de una producción estable y siempre de iguales características y contenido.

2.2.2. Propiedades de la cerveza

A continuación se muestra una tabla con el resumen de los principales nutrientes de la cerveza. En ellas se incluyen sus principales nutrientes así como como la proporción de cada uno.

La siguiente tabla muestra una lista de la cantidad de los principales nutrientes de la cerveza:

Tabla II-2 INFORMACIÓN NUTRICIONAL

Nutriente	Cantidad	Nutriente	Cantidad
Ácido fitico	0 g.	Fosfocolina	9,90 mg.
Grasas saturadas	0 g.	Grasas mono insaturadas	0 g.
Adenina	2,30 mg.	Grasas poliinsaturadas	0 g.
Agua	92,40 g.	Guanina	5,80 mg.
Alcohol	3,96 g.	Licopeno	0 ug.
Cafeína	0 mg.	Grasa	0 g.
Calorías	42,40 Kcal.	Luteína	0 ug.
Carbohidratos	3,12 g.	Proteínas	0,50 g.

Colesterol	0 mg.	Purinas	13 mg.
------------	-------	---------	--------

Fuente: www.cervezadeargentina.com.ar

La cantidad de los nutrientes que se muestran en las tablas anteriores, corresponde a 100 gramos de esta bebida.

2.3. Tipos de cerveza

Las cervezas se clasifican en dos familias:

2.3.1. De fermentación alta

Familia de las Ale

Ale es la palabra inglesa que describe al grupo de cervezas que utilizan levaduras de fermentación alta. Esta característica, frente a las que utilizan levaduras de fermentación baja, es la que marca la distinción entre las dos grandes familias de cervezas: ale y lager.

En la forma más sencilla de elaboración, durante la fermentación en caliente que dura unos tres o cuatro días, se alcanza una temperatura de unos 25° C. Sin embargo, muchos productores dejan fermentar la cerveza hasta dos semanas. Después, la mayoría de las cervezas de fermentación alta tienen algún tipo de maduración posterior, que puede ir desde unos pocos días de acondicionamiento en caliente entre 13 y 16° C, a una maduración en frío o incluso una segunda fermentación en la barrica o botella.

2.3.2. De fermentación baja

Familia de las Lager

En el mundo de la cerveza, se conoce como lagers a la categoría de cervezas elaboradas por fermentación baja. Hoy en día es la forma más común de hacer cerveza en todo el mundo, siendo el estilo Pilsen el más conocido y más seguido dentro del grupo de las lager. Sin embargo, existen otros estilos dentro de la categoría

lager menos conocidos, pero no menos apreciados en sus países o regiones de origen, como son el estilo Múnich, Viena, dortmunder, bock y doppelbock.

Las lager son unas cervezas relativamente nuevas. Datan de mediados del siglo XIX. Empezaron a elaborarse gracias al desarrollo de la refrigeración artificial, a la investigación de Pasteur para aislar un cultivo de levadura que fermentaba en la parte baja de los tanques y al trabajo de varios cerveceros centroeuropeos.

Una lager es, por tanto, una cerveza fermentada con una levadura que trabaja a baja temperatura en la parte baja del tanque, a la que luego se le deja madurar en frío, alrededor de 0° C. Las auténticas lager suelen madurar por un periodo de 2 a 6 meses, dependiendo del carácter que se quiera dar a la cerveza, siendo tres o cuatro semanas el tiempo mínimo, ya que si lo hacen por menos tiempo carecerán del acabado de una auténtica lager. Las más fuertes pueden madurar durante muchos meses.

2.4. Cerveza Lager

Lager es un tipo de cerveza con sabor acentuado que se sirve fría, caracterizada por fermentar en condiciones más lentas empleando levaduras especiales, conocidas como levaduras de fermentación baja, y que en las últimas partes del proceso son almacenadas en bodegas o lagered (de allí su nombre) durante un período en condiciones de baja temperatura con el objeto de limpiar las partículas residuales y estabilizar los sabores. Los ejemplos más populares de cerveza de tipo lager son los pale lagers o pilsners, conocidas también como largers.

2.5. Características de la cerveza ale vs lager

Características de la cerveza Ale

- Cervezas de un sabor más robusto.
- Tienden a ser afrutadas y aromáticas.
- De sabor y aroma complejos.
- Deben beberse entre los 7 y 12 °C.

- Contienen más sustancias amargas.

Características de cervezas Lager

- Cervezas de sabor más ligero
- Son altamente carbonadas o crujientes
- De aroma y sabor más sutil, equilibrado y limpio.
- Se sirve más fría, entre los 3 y 7 °C.
- Son cervezas más suaves.

2.6. Proceso de elaboración de la cerveza

2.6.1. Malteado

El malteado es el primer paso en la elaboración de cerveza y es el proceso por el cual se obtiene la materia prima principal, la malta. Básicamente es la germinación controlada de un cereal, seguida por la interrupción de este proceso natural, secando el grano por medio de calor.

Durante la producción de malta son muchos los parámetros que deben ser controlados por el malteador. La calidad de la cebada que llega a la planta, los tiempos de remojo, germinación, secado y tostado, temperaturas y humedad, son algunos de ellos. Con diferentes variaciones de estos parámetros se logran las llamadas maltas especiales, necesarias para la elaboración de los distintos tipos de cervezas, impartiendo sus colores y sabores característicos además de cuerpo, palatabilidad, estabilidad de espuma, entre otras cualidades.

En cuanto a la cebada se busca que germine fácilmente y que sea uniforme, es decir que sus granos sean de igual tamaño. Si sus granos son desparejos se humedecerán a ritmos distintos y la germinación no será pareja. También se busca que el cereal no haya germinado antes de la recolección y que en más del 98% de los granos se observe tras el remojo la emergencia de la raíz.

Es muy probable que el malteado, como parte del proceso de elaboración de la cerveza, sea el primer uso de la biotecnología por el hombre.

Enzimas.- las amilasas son las enzimas más importantes en la malta con su ayuda debe ocurrir la degradación de almidón más tarde en la maceración.

Alfa amilasa.- la alfa amilasa no es detectable en la cebada sin germinar. Su desarrollo está ligado a la existencia de oxígeno. La cantidad principal de la alfa amilasa se forma al tercer y cuarto día de germinación también durante el ulterior desarrollo de la germinación crece su contenido siendo luego fuertemente reducido en el tostado.

Beta amilasa.- la beta amilasa ya se encuentra en la cebada sin germinar en mayor cantidad, luego de pequeñas pérdidas, la cantidad de beta amilasa se incrementa considerablemente en el segundo y tercer día de germinación, en los últimos días de la germinación el contenido de beta amilasa ya casi no se modifica con el tostado se reduce encontrándose posteriormente solo mínimamente por encima del nivel previo a la germinación.

2.6.2. Macerado

Es durante el proceso de maceración donde se obtiene lo que llamamos “mosto”, una solución dulce formada, entre otras cosas, por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros elementos, disueltos en agua.

La maceración consiste básicamente en someter una mezcla de agua y granos a una serie de descansos a diferentes temperaturas, que deberán ser sostenidos durante un tiempo específico.

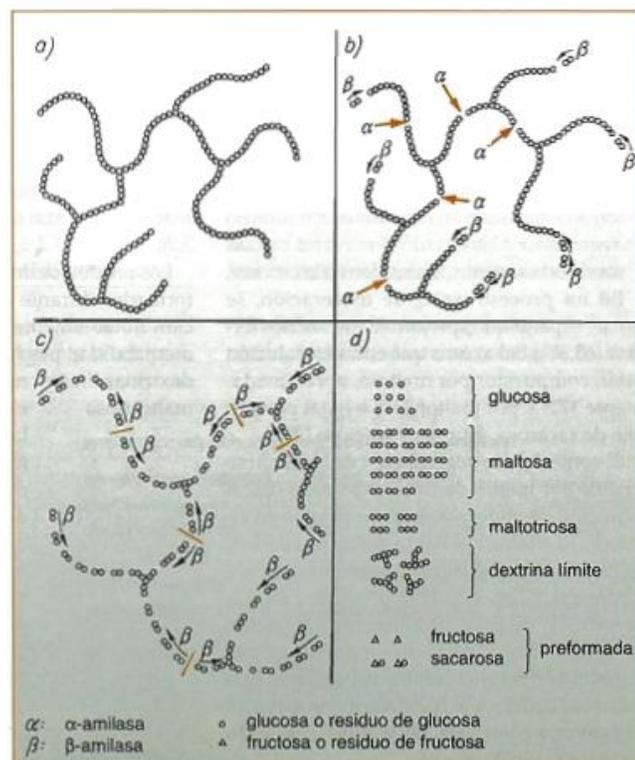
Podemos decir que, en la maceración, son las enzimas, las que cargan con casi todo el trabajo.

Una enzima es una proteína catalizadora (catalizador biológico) que tiene la función de acelerar una reacción química energéticamente posible, logrando acortar un proceso que se produciría, de todos modos, sin su presencia pero muchísimo más lento.

En nuestro caso, por ejemplo, el almidón disuelto en el mosto se convertiría de todas formas en azúcares más simples aún sin la acción de las enzimas, pero esta degradación llevaría un tiempo demasiado prolongado para que resulte útil en la práctica cervecera.

Tanto la temperatura como el pH son factores importantes para el accionar de las enzimas. Cada una, logra su máxima acción a una temperatura y a un pH determinado, valores que llamamos óptimos.

Figura II-1 TRABAJO DE LAS ENZIMAS



Fuente: Tecnología para cerveceros y malteros (Wolfgang kunze)

Las enzimas que se activan o se generan durante el malteo se encargarán luego de la acidificación del mosto, de la degradación de proteínas y fundamentalmente de la conversión del almidón en azúcares más simples para que puedan ser procesados luego por las levaduras.

A continuación podemos ver una tabla con los rangos óptimos de temperatura que activan las diferentes enzimas.

Es importante comprender que las enzimas funcionan desde temperaturas por debajo y por encima del rango descrito, y que su destrucción toma tiempo, por lo que es posible activar varias enzimas en diferentes puntos de temperatura.

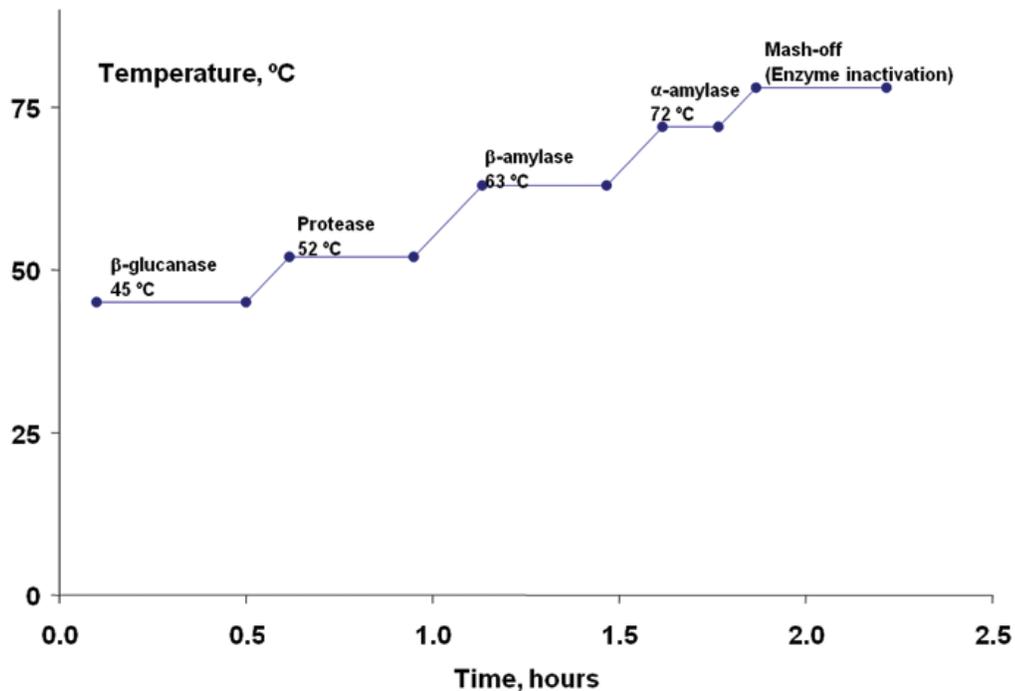
Tabla II-3 CONDICIONES ÓPTIMAS PARA LAS ENZIMAS

Enzima	Rango Optimo de Temperatura	Rango Optimo de PH	Función
Fitasa	30 – 52°C	4.4 – 5.5	Baja el PH del Mosto. Actualmente no es utilizado.
Beta Glucanasa	36 – 45°C	4.5 – 5.0	Reduce la viscosidad del mosto, y mejora la clarificación, convierte beta glucanos en carbohidratos fermentables.
Peptidasa	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Produce Amino Nitrógeno Libre (FAN), que es esencial para la levadura y la fermentación.
Proteasa	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Rompe proteínas grandes

			y reduce la turbiedad.
Beta Amilasa	54 – 65°C	5.0 – 5.6	Produce azúcares cortos, altamente fermentables.
Alpha Amilasa	68 – 75°C	5.3 – 5.8	Produce azucares de larga cadena, poco fermentables, que agregan cuerpo a la cerveza.

Fuente: Tecnología para cerveceros y malteros (Wolfgang kunze)

Figura II-2 CURVA DE MACERADO



Fuente: Tecnología para cerveceros y malteros (Wolfgang kunze)

Si deseamos cervezas, más alcohólicas y secas, debemos de macerar entre 60 y 65°C. O para cervezas de menor contenido de alcohol, más dulces y de mayor cuerpo, debemos usar temperaturas entre 68,5 y 70°C

Factores que Afectan las Condiciones de Maceración

- **Temperatura**

La temperatura influencia la cantidad de extracto producida (rendimiento) y la fermentabilidad del mosto durante la maceración. Dentro del rango normal de maceración, con temperaturas más bajas (62-63°C) hay mayor producción de maltosa y una alta atenuación del mosto los que se traducirá en una cerveza más alcohólica y con menos cuerpo.

En el extremo superior de ese rango (72-75°C), el contenido del mosto resultante será rico en dextrinas, la atenuación será menor (menor contenido de alcohol) y la cerveza tendrá más cuerpo.

La inestabilidad de las temperaturas en la maceración comúnmente produce mostos con un alto contenido de dextrinas.

- **Tiempo**

La duración de la maceración estará dada por la suma de los tiempos de trabajo, determinados por el cervecero, para cada enzima afectada en este proceso.

La máxima actividad enzimática se obtiene entre los 10-25 min. Y después de 40-60 min. Esta actividad decrece rápidamente.

En regla general se puede decir que maceraciones prolongadas aumentan la producción de extracto en el mosto y si estas maceraciones se realizan a las temperaturas más bajas (62 a 63 °C) habrá mayor fermentabilidad.

- **El pH**

La actividad de las enzimas depende en gran medida del valor pH. Macerando en un rango de pH de 5.2 a 5.5 se favorece el trabajo de las amilasas y se incrementa la producción de extracto, con más azúcares fermentables y una mayor atenuación. El valor pH del empaste, dependerá del tipo de maltas empleadas, del pH del agua, y del método usado.

- **Densidad del Empaste.**

Una relación agua-grano menor a 3 Ltr/Kg producirá empastes de una densidad excesiva que dificulta el mezclado y el filtrado (lautering) de los mismos.

La escasez de agua en la mezcla inhibe la acción de las enzimas debido a éstas necesita de un medio líquido para poder realizar su trabajo. Por eso, en empastes densos, la mayor cantidad de agua es absorbida por el grano. aumentando la concentración de almidón en el agua restante, reduciendo así el campo de acción para las enzimas. Esto hace que se consiga un bajo nivel de sacarificación del almidón, un aumento de FAN que pueden provocar turbidez y una disminución de la producción de enzimas responsables de la espuma.

- **Agua de Maceración**

Se sabe que la mayor parte del mosto está formada por agua, por lo que la calidad de la misma tiene una influencia importante en todo el proceso. En primer lugar el agua transmitirá sabores al mosto que deben ser tenidos en cuenta a la hora de elegir la fuente.

Muchos de los elementos disueltos en la misma son importantes para la actividad de las enzimas durante la maceración. Por ejemplo una concentración adecuada de iones de calcio (Ca^{2+}) favorecerá la acción de las proteasas y estabilizará las alfa amilasas.

Por último, varios de sus componentes reaccionan con los de la malta, variando el pH de la mezcla.

Antiguamente encontrar una buena fuente de agua era indispensable para obtener un buen producto. Hoy en día, con el desarrollo de distintas tecnologías, se hace posible tener un agua de calidad en casi cualquier parte. Lo que normalmente se busca obtener es un agua base que contenga pocos minerales para luego adaptarla al estilo de cerveza que se desee elaborar.

- **Modificación de la Malta**

De la modificación de la malta dependerá la solubilidad de almidón, por lo que el cervecero deberá adaptar su plan de maceración en función de esta característica del grano.

En una maceración simple, con temperaturas favorables para las amilasas, una malta poco modificada producirá mostos menos fermentables, además de formar empastes más densos, difíciles de filtrar y propensos a enturbiarse.

2.6.3. Filtración

En este proceso se transfiere el mosto producido en maceración a un tanque filtro el cual cuenta con una rejilla que impide el paso de los sólidos residuales de la malta (borra) y permite tener un mosto limpio para realizar el cocimiento y reducir la turbidez del mosto.

Al momento de realizar la filtración es importante el lavado del mosto para poder extraer todos los azúcares fermentables que pueden quedar adheridos al grano de malta

2.6.4. Cocción

Una vez limpio y filtrado, el mosto se lleva a una caldera, donde se hierve junto con el lúpulo, que le dará el amargor y aroma típico de la cerveza.

Dependiendo de la cantidad y de la variedad de lúpulo que se utilice, la cerveza tendrá un mayor o menor amargor y aroma. Normalmente no se echa todo el lúpulo al principio, sino que se añaden distintas variedades de lúpulo en diferentes momentos de la ebullición.

El mosto debe ser hervido durante una hora. Durante el hervor es necesario ir agregando el lúpulo, destinado a brindar el aroma y el toque amargo que caracterizan a la cerveza. Gracias a este proceso el producto se esteriliza, evitando la proliferación de bacterias. Luego de concluido el hervor, será necesario revolver con fuerza la

preparación, con el propósito de depositar en lo más profundo de la olla todos los residuos que puedan haber quedado, intentando siempre obtener una cerveza límpida.

Si se realiza la cocción en un tanque presurizado la temperatura de ebullición aumenta entonces el cocimiento dura menos tiempo y esto produce una reducción del gasto energético, de igual manera ayuda a que la precipitación de las proteínas sea mejor y beneficia a la estabilidad coloidal.

2.6.5. Enfriado

En el proceso de elaboración de cerveza artesanal y después de la cocción del mosto y una vez colado el lúpulo, el mosto tiene siempre una temperatura de 80° o 90°C. A partir de este momento entramos en la fase de enfriamiento, ya que el mosto debe ponerse con la mayor rapidez posible la temperatura de fermentación en el método de fermentación baja es de 7-15°C y de 15-25°C con el método de fermentación alta.

Se necesita enfriar lo más rápidamente posible porque la cerveza contiene siempre componentes que más tarde puede manifestarse produciendo turbidez. Un enfriamiento rápido precipita tales componentes, que después son eliminados definitivamente de la cerveza.

Para el cervecero aficionado, el enfriamiento, aunque se trata de un momento clave, no supone ningún problema de consideración siempre que no elabore grandes cantidades de cerveza artesanal. No es necesario disponer de una instalación de enfriamiento como las que disponen en las fábricas.

Después de colar el lúpulo, traspasamos éste hacia un cubo de plástico introducido a su vez en una tina con agua fría. El agua se irá renovando a medida que se vaya calentando, es decir, cuando se haya aproximado hasta casi la temperatura del mosto. Para ello conviene utilizar siempre dos termómetros, uno para el mosto de cerveza y otro para el agua fría.

Aireación del mosto

Para poder propagarse con éxito las levaduras necesitan tener a su disposición buenas cantidades de oxígeno y por ello es fundamental ver la manera de incorporar este gas al mosto justo antes de empezar la fermentación. Para ser más precisos, necesitamos que nuestro mosto tenga una concentración de oxígeno de 8 a 9 ppm (partes por millón) algo que afortunadamente se puede conseguir por métodos realmente sencillos aprovechando el hecho de que el aire que nos rodea contiene oxígeno. En procesos artesanales la aireación del mosto se dificulta por la falta de equipos específicos para este proceso por lo que se corre el riesgo de contaminar el mosto.

2.6.6. Fermentación

Podemos decir que la fermentación es un fenómeno químico-biológico que se produce por la acción anaeróbica (sin oxígeno) de ciertos organismos microscópicos sobre los azúcares contenidos en un medio determinado. Por lo general, estos microorganismos, son levaduras pero también existen otros, como algunas bacterias, que son capaces de actuar del mismo modo.

Hay distintos tipos de fermentaciones que varían dependiendo de cómo y que produce cada una. Por ejemplo, la fermentación alcohólica genera etanol; la láctica, ácido láctico; la butírica, ácido butírico y la acética, ácido acético; entre otras.

La fermentación es el segundo proceso que más tiempo requiere en la elaboración de una cerveza y en este caso, se busca obtener una fermentación del tipo alcohólica. Normalmente identificamos este tipo de fermentación con la conversión de azúcar (glucosa, maltosa, etc.) en alcohol y CO₂, pero remitirnos sólo a eso sería simplificar un proceso que en la realidad es algo más complejo y delicado.

2.6.7. Maduración

La maduración (conocida también como fermentación secundaria, lagering, guarda, acondicionamiento o almacenamiento) es el período posterior a la fermentación primaria, durante el cual mantenemos la cerveza en reposo, a temperaturas determinadas, con el fin de mejorar las condiciones organolépticas de la misma antes

de ser finalmente consumida. Básicamente, el propósito de la maduración es convertir una bebida rústica en una que sea agradable para todos nuestros sentidos. Transformar la cerveza verde en una cerveza atractiva, gentil y equilibrada, que se pueda disfrutar desde el mismo momento en que cae en el vaso.

Para lograr esto, la maduración debe cumplir tres objetivos principales: Desarrollo del sabor, Clarificación y Carbonatación.

El desarrollo del sabor es el proceso en el que evolucionan los sabores deseados y se reducen aquellos indeseables que corresponden a la cerveza verde - como diacetilo, acetaldehído y sulfuro de hidrógeno (H_2S).

La clarificación es la eliminación de la levadura y las partículas que causan turbidez.

La carbonatación es el proceso de disolución del dióxido de carbono (CO_2) en la cerveza.

Tradicionalmente, lo que se hace, es trasvasar la cerveza a otro recipiente, intentando separarla de todos los sólidos decantados en la fermentación, para luego dar comienzo a la maduración. Si bien las grandes cervecerías y una parte importante de cerveceros caseros siguen haciéndolo de esta manera, las micro cervecería y los brewpub tienden a utilizar fermentadores cilindro-cónicos o Unitanque en los que la fermentación y maduración son casi un proceso continuo y donde, la levadura depositada se va extrayendo, a medida que se acumula, por una válvula en la parte inferior del cono del recipiente.

Acondicionamiento en botella

La práctica de utilizar los azúcares de cebado para el acondicionamiento en botella ha sido refinada por los cerveceros británicos y todavía se sigue usando por algunos cerveceros artesanales, así como un pequeño número de grandes empresas cerveceras británicas. Cerveceros belgas son conocidos también por el uso de este método para agregar sabores únicos. El acondicionamiento en botella por lo general implica un corto tiempo en un tanque de acondicionamiento para mejorar la estabilidad global y el sabor, antes de añadir los azúcares de cebado para el embotellado final.

2.6.8. Carbonatación

El nivel de CO₂ disuelto en la cerveza después de una fermentación normal es de entre 2.21 y 3.128 gramos por litro de cerveza, dependiendo de la temperatura. Esta cantidad de gas, es la que la cerveza puede mantener en solución, sin que se le aplique una presión superior y sin que se varíe la temperatura de fermentación.

Es conveniente saber que un volumen de gas disuelto en un líquido se refiere a que el gas y el líquido ocupan, por separado, el mismo volumen, es decir que cuando decimos que una cerveza está carbonatada con un volumen de CO₂, estamos diciendo que un litro de esa cerveza contiene disuelto un litro de CO₂.

La ley que regula la cantidad de gas que entrará en solución es la ley de Henry, que establece que la concentración de un gas ligeramente soluble en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial del gas. (Si un recipiente contiene más de un tipo de gas, cada uno ejerce su propia presión en el envase.)

En nuestro caso, el gas es CO₂, el líquido es la cerveza y la presión parcial es igual a la presión total en el interior del recipiente de maduración. Cuanto mayor es la presión a la que se guarda la cerveza, más CO₂ permanecerá en solución.

Solubilidad en dióxido de carbono también está influenciada por la temperatura. Una cerveza más fría permitirá que más CO₂ permanezca en solución, por lo tanto, una Lager retendrá más CO₂ (más carbonatación natural) que una Ale británica debido a la diferencia, que ya conocemos, en las temperaturas que fermentan y maduran cada una.

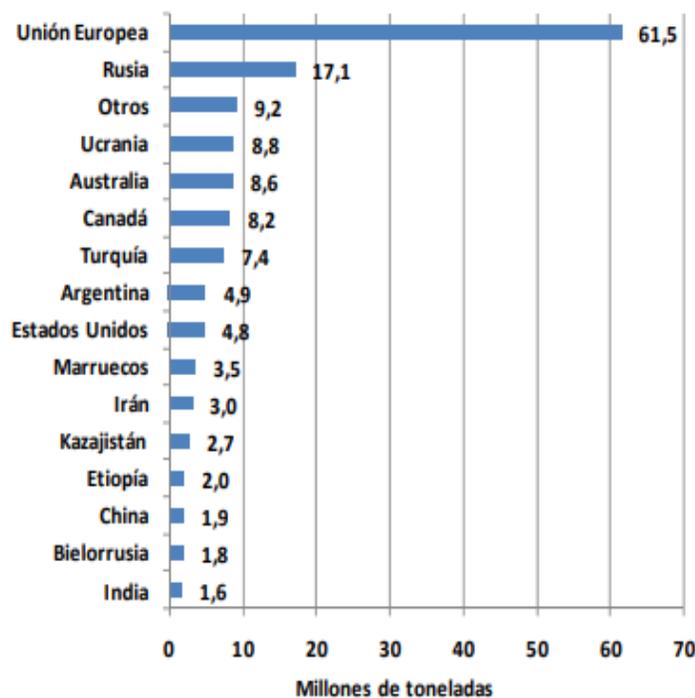
Carbonatación Natural

Esta es la forma clásica, y se consigue cerrando herméticamente el recipiente en donde la cerveza madura para que el CO₂ generado en una segunda fermentación no escape y se disuelva en el líquido, saturándolo. Para eso se transfiere la cerveza del fermentador al tanque de almacenamiento (barril, Cornelius, una lata o botella) con 1,0 a 1,5 ° Plato de extracto aparente fermentable residual. La fermentación que se produce genera suficiente CO₂ para carbonatarla a 5.1gr/lit sin elevar la presión del

tanque por encima de 15 psi (1 Bar). Esto sólo funciona alrededor de los 4,4 °C y sólo la levadura lager fermenta a esa temperatura. Si esta técnica se utiliza en Ales, la temperaturas de fermentación será mayor (10-16 °C), por lo tanto será necesario un recipiente que soporte una presión de cercana a los 30 psi (2 Bar). La cerveza, a esa presión, no puede servirse bien, por lo que necesitará ser refrigerada antes de servirla. Esta técnica es mucho más fácil de controlar en un barril donde el exceso de presión, si se desarrolla, puede ventilarse. En la botella, en cambio, es más complicado, ya sea que sólo una vez abierta se sabe si el nivel de CO₂ es correcto o no.

2.7. Producción mundial de materias primas para la producción de cerveza

2.7.1. Producción mundial de cebada



Fuente: http://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia_regional/cebada.pdf

2.7.2. Producción mundial de lúpulo

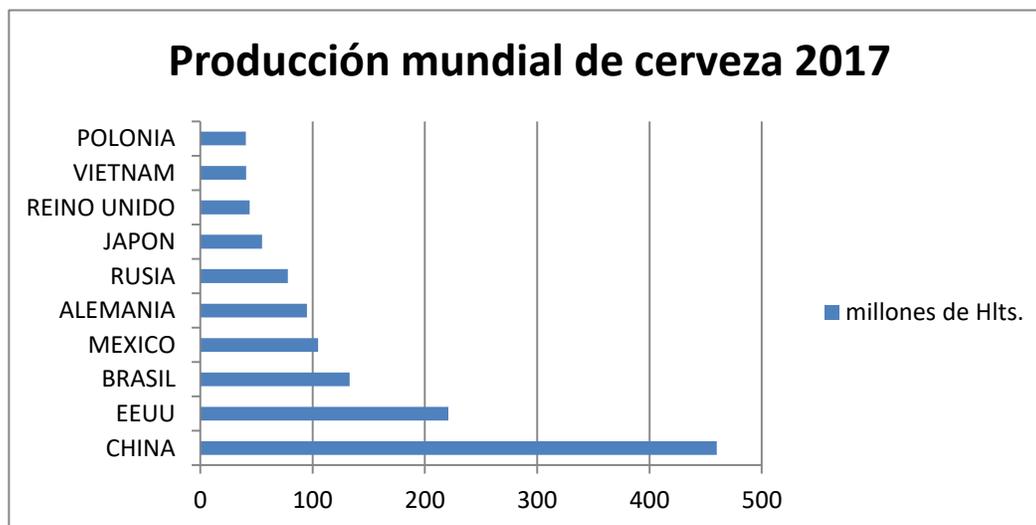
Actualmente se producen en el mundo aproximadamente 100.000 toneladas anuales de lúpulo para la producción de cerveza, de los cuales más de 30.000 toneladas se producen en la región de Hallertau, comprendida entre las ciudades de Múnich y

Núremberg. Es en esta región, debido a su latitud, condiciones de temperatura, humedad y la profundidad de sus suelos, donde se albergan más de 19.000 hectáreas dedicadas al cultivo de esta famosa planta trepadora familia de las Cannabináceas.

Estados unidos se encuentra en el segundo lugar de los países mayores productores de lúpulo en el mundo alcanzando las 18.478 hectáreas esto debido al auge de la producción de cervezas artesanales en el mundo.

2.8. Producción y consumo mundial de cerveza

Figura II-3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CERVEZA



Fuente.- <https://www.huffingtonpost.com.mx/2018/01/26/estos-son-los-10-paises-con-mayor-consumo-de-cerveza-en-el-mundo-a-23344831/>

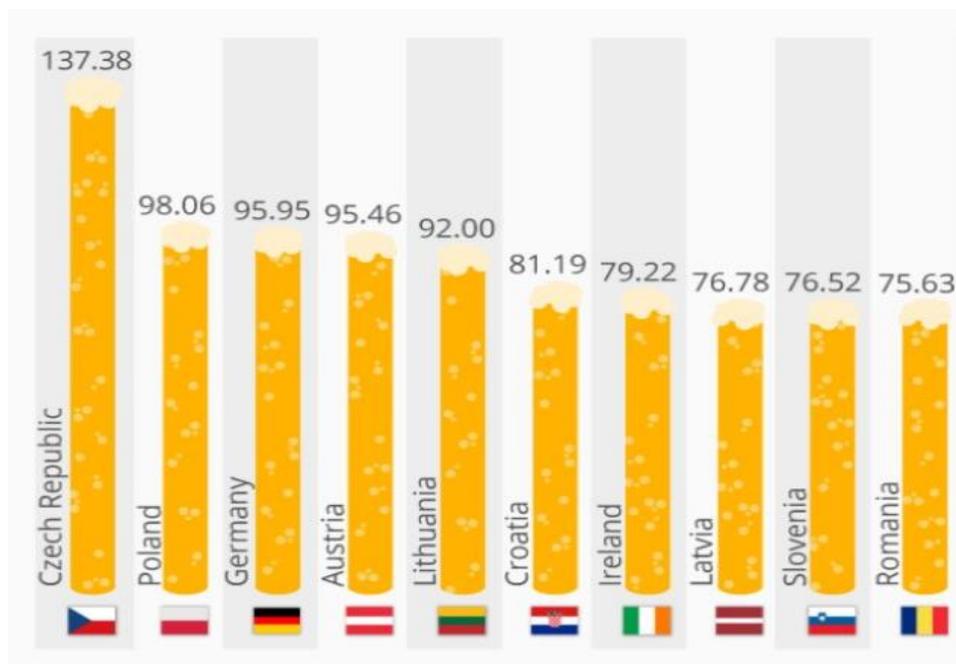
2.8.1. Consumo mundial de cerveza

Solo dos de los diez países con mayor producción de cerveza están entre los 10 mayores consumidores del mundo.

Alemania y Polonia, en los puestos 5 y 10 de los mayores productores de cerveza, están entre los diez países con más consumo interno de esta bebida, con 95.95 y 98.06 litros per cápita respectivamente.

El lugar con el mayor cantidad de ventas de cerveza per cápita es la República Checa, con 137.38 litros. Le siguen: Polonia (98.06), Alemania (95.95), Austria (95.46), Lituania (92), Croacia (81.19) Irlanda (79.22), Letonia (76.78), Eslovenia (76.52) y Rumania (75.63).

Figura II-2 CONSUMO DE CERVEZA EN LITROS PER CÁPITA 2017



Fuente: https://www.huffingtonpost.com.mx/2018/01/26/estos-son-los-10-paises-con-mayor-consumo-de-cerveza-en-el-mundo_a_23344831/

Producción de cerveza en Bolivia

La Cervecería Boliviana Nacional (CBN), considerada una de las empresas más importantes del sector, destina el 99 por ciento de su producción al consumo interno, mientras que sólo el uno por ciento se exporta a países como Estados Unidos, España, Japón, entre otros.

CBN se mantiene líder en el mercado cervecero boliviano con una participación en el mercado cervecero superior al 90%, el departamento de Santa Cruz concentra un 31% de toda la producción de la compañía.

En cuanto a las exportaciones, CBN envía cerveza Paceaña a los mercados de Estados Unidos, Chile y España llegando a exportar durante 2014 más de $30,6 \cdot 10^3$ hectólitros. Según datos de la CBN, la empresa opera con seis plantas en todo el país. Sus principales productos de cerveza son Huari, Ducal, Bock y Paceaña, esta última es su marca líder y se vende en Estados Unidos, España, Chile, Inglaterra, Japón, Australia y Suiza.

El mercado cervecero en Bolivia sigue en expansión, prueba de ello es que las compañías están incrementando su producción anual para asegurar la demanda nacional, ya que durante fiestas como el carnaval, las ventas aumentan hasta en un 25% más que en otros meses del año.

En el año 2016 la CBN incremento su producción anual pasando de 3,3 millones de hectolitros a 3,4 millones de hectolitros, es decir, que se alcanzará una producción de 340 millones de litros de cerveza.

Consumo de cerveza en Bolivia

Un estudio realizado por Captura, por encargo de Fautapo y el BID, señala que se consumen 339 millones de litros de bebidas al año; la cerveza representa 69%.

En Bolivia, el consumo por persona de cerveza llega a 32.6 litros por año, uno de los más bajos de la región y el mundo, pero suficiente para convertir a la industria de la cerveza en una de las pocas consolidadas en el país.

Los datos corresponden a un estudio de la Cámara Boliviana de Fabricantes de Cerveza (CABOFACE), realizado por la firma Ernst & Young en la gestión 2010.

Tomando aleatoriamente como ejemplo a nueve países, los números dicen que Alemania es el mayor consumidor mundial de cerveza, con 113 litros anuales por persona.

En Venezuela se toman 95 litros por persona al año, 11 litros más que en Estados Unidos, donde el promedio es de 84 litros. En España se toman 82 litros, en México

61 y en Argentina 41.4. Bolivia, con sus 32,6 litros de consumo anual por persona, apenas supera a Uruguay, donde cada habitante bebe 27,4 litros al año.

Cerveza artesanal en Bolivia

Las cervezas artesanales de Bolivia, que están vigentes, tienen poco tiempo sorprendiendo al paladar del que toma cerveza.

Entre las distintas cervecerías artesanales de Bolivia podemos nombrar las siguientes:

Cervecera Sabores Bolivianos Alemanes SRL asentada en Warnes es una de las cervecerías con mayor crecimiento en el país con su marca Prost.

En la actualidad producen 20000 litros por mes contando con tres tipos de cerveza: cervezas Prost Premium Lager, Prost Dunkel (cerveza oscura) y Prost Weissbier (cerveza de trigo)

Cervecería niebla boliviana, ubicada en la ciudad de La Paz.

Actualmente cuentan con 6 estilos:

1.- PALE ALE Cerveza de color cobrizo, refrescante con un suave sabor a frutas, 100% artesanal, con un 5.0° de grado alcohólico. Conocida como la cerveza de verano está a base de 3 maltas, ideal para compartir con los amigos

2.- BARLEY WINE Cerveza denominada Vino de Cebada, con tonos licorosos y vinosos, 100% artesanal, con 9.0° de graduación alcohólica.

Potente equilibrio de amargor y dulzor, ideal como bajativo después de las comidas.

3.- RED ALE Cerveza de color ámbar intenso, de equilibrado dulzor y suave sabor a cítricos, 100% artesanal, con un grado

alcohólico de 5.6°. Ideal para festejos importantes, a base de 4 maltas.

4.- GERMAN PILSEN Cerveza ligera de color claro, refrescante con un refinado aroma y sabor a lúpulo, 100% artesanal, con un grado alcohólico de 4.5°. Ideal para tomarlo en días calurosos, para acompañar almuerzos o para disfrutar después de la oficina.

5.- STOUT Cerveza de estilo irlandés de color oscuro y de gran caracter, distintivo aroma a café y chocolate. 100% artesanal, 6.0° grado alcohólico. Llamada la cerveza de invierno, ideal para momentos especiales.

6.- QUINOA GOLD Cerveza híbrida de color cobrizo claro, ligera pero con fuertes notas frutales y un potente retrogusto a quinua. En cuerpo medianamente ligera, hace que ésta sea ideal para compartir en momentos especiales. Cuenta con un grado alcohólico de 9.0°..

Cervecería Leclere, ubicada en Cochabamba, nació por la inquietud de dos jóvenes hermanos que decidieron abrir esta fábrica como alternativa a la disminuida oferta de trabajo que hay en nuestro país.

El objetivo principal de la producción es rescatar los sabores rústicos para el paladar boliviano y extranjero. Ofrecen diez variedades de cerveza que se producen en diferentes meses del año, las cuales son:

1.- Lager Premium. Es una cerveza clara elaborada con levadura tipo lager y es Premium. Contiene 5% de alcohol.

2.- Lager con miel. En el proceso de producción se le agrega miel para que tenga un suave sabor, aunque no es dulce. Tiene 5% de alcohol.

3.- Le Premium. Es una cerveza elaborada con levadura tipo Ale. Tiene 5% de alcohol.

4.- Brown Ale. Se elabora con malta de cebada caramelo a medio tostar, por lo que es una cerveza de color café. 5% de alcohol por volumen.

5.- IPA (Indian Pale Ale). Es más amarga de lo normal porque tiene bastante lúpulo. 5% de alcohol.

6.- Witbier. En el proceso de elaboración se coloca cilantro y cáscara de naranja. 4% de alcohol.

7.- Stout. Es una cerveza elaborada con malta tostada, pero no es dulce. 4,5% de grado alcohólico.

8.- Bock. Tiene un grado alcohólico elevado (7%) y es tipo lager.

9.- Kölsch. Es una cerveza de trigo que tiene un grado alcohólico de 4%.

10.- La cerveza de quinua. 5% de grado alcohólico.

Cervecería de Ted

La cervecería Ted tiene una producción anual de 3600 litros.

Las cuatro cervezas que produce Teds Cervecería son:

1.- Ámbar, una cerveza tipo la cerveza “Pale Ale” de Bélgica, tiene color ámbar, bastante lúpulo, es amarga, con mucho cuerpo, y posee 5% de alcohol.

2.- Chala, es como la cerveza blanca de Bélgica, elaborada con trigo, cilantro y piel de naranja. Muy refrescante, de color blanco turbio, también posee 5% de alcohol.

3.- Reina, la más fuerte de Bolivia con 8,5% de alcohol, tiene mucha malta y miel, lo que le da un toque muy especial.

4.- Mango, una cerveza elaborada con mango, combinación hecha para satisfacer el gusto de Ted, aunque sólo hay mangos en diciembre, por lo que no se produce todo el año.

Saya Beer

Hace 13 años nació Saya Beer como una cerveza artesanal de calidad Premium, tipo europea situada en la ciudad de La Paz.

Esta empresa elabora los siguientes tipos de cerveza:

1.-Saya Ale. Tipo “bitter”, de color ámbar, con sabor amargo, con una mediana y burbujeante espuma y un aroma fuerte a malta. 5% de alcohol.

2.-Saya Colonial. Tipo “kolsh”, rubia, de color dorado, con espuma blanca y burbujeante, con sabor seco balanceado. Tiene 5% de alcohol.

3.- Saya Negra. Tipo “bock”, es lager negra de pura malta y color negro rojizo, de suave sabor al inicio y un dejo final a malta, de mucho cuerpo, contiene 7% de alcohol.

4.- Saza de temporada. Varía, como su nombre lo dice, según la temporada entre Saza Colonial no filtrada, Saza Helles, Saza Doblebock y Saza Stout.

CAPÍTULO 3
PARTE EXPERIMENTAL

3.1.- Descripción y análisis de materias prima

Las materias primas utilizadas fueron seleccionadas de acuerdo al estilo que se quería producir, en este caso el estilo fue una american lager para esta cerveza se utilizó malta Pilsen para lograr un perfil de color y de alcohol deseado, también se utilizó dos tipos de lúpulo con porcentajes bajos de alfa ácidos para lograr un amargo moderado y por último se usó una levadura saflager s-23.

Malta.- Para la elaboración del proyecto se utilizó malta del tipo Pilsen esta es la malta base standard para cervezas claras. Elaborada a partir de cebada cervecera de dos hileras, produce mostos de fácil filtrabilidad, color ámbar claro y buen contenido enzimático, la cual tiene las siguientes características:

El grano de esta malta es de forma ovalada, tiene un color café claro, sus dimensiones son 0,9 cm de largo y 0,35 cm de circunferencia.

Fotografía III-1 GRANOS DE MALTA PILSEN



Fuente: Más malta

Los análisis físico-químicos se realizan en el Instituto nacional de laboratorios de salud – laboratorio de control de alimentos (INLASA) La Paz – Bolivia.

Tabla III-1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MALTA

Análisis	Resultado	Unidad	Método
Humedad	6.58	g/100g	NB 074-2000
Cenizas	1.90	g/100g	NB 075-2000
Proteína	9.48	g/100g	ISO 20483-2013
Fibra cruda	5.61	g/100g	ISO 5498-1981
Materia grasa	1.48	g/100g	NB 103-1997
Carbohidratos	80.56	g/100g	NB 312031-2010
Valor energético	381	Kcal/100g	NB 312032-2006

Fuente: Instituto nacional de laboratorios de salud – laboratorio de control de alimentos (INLASA) La Paz – Bolivia. Ver ANEXO 1

Fotografía III-2 MALTA TIPO PILSEN

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Lúpulo.- para la elaboración del proyecto se utilizaron dos tipos de lúpulo, uno para dar sabor y amargor a la cerveza y otro para el aroma

Para el sabor y amargo se utilizó lúpulo tipo Cascade. Esta es una de las variedades de lúpulo más populares para la elaboración de la cerveza.

Es un lúpulo con características cítricas y algo florales. Es moderado en alfa-ácidos: puede estar entre el 4% y el 7% de AA.

Puede utilizarse como doble propósito o mezclado con lúpulos amargos. Aroma cítrico, afrutado a pomelo y ligeramente floral (té verde y menta).

Esta variedad es originaria de EE.UU.

Es fácil de cultivar. Se adapta a climas cálidos y secos.

Tabla III-2 CARACTERÍSTICAS LÚPULO CASCADE (pellets)

Análisis	Resultados
Alfa Ácidos	4-7% (peso/peso)
Cohumulonas	33-40%
Beta Ácidos	4,5-7% (peso/peso)
Aceites Esenciales	Aprox. 0,8-1,5 ml/100g
Beta-Cariofileno (Humulen)	0,32
Farneseno	<0,4-0,8%
Linalool %	0,4-0,6%
Linalool alfa-acido	0,09-0,10

Fuente: vendolupulo.es

Fotografía III-3 LÚPULO CASCADE (pellets)



Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Para el aroma se utilizó lúpulo tipo Saaz. Esta es una variedad noble de lúpulo originaria de la República Checa (Bohemia).

Es muy demandada por los cerveceros por sus excelentes características aromáticas. Se usa mucho en estilos Pilsen y Lagers.

No es fácil de cultivar porque es susceptible a enfermedades (sobre todo mildiu). Las necesidades en el cultivo son:

Suelo: baja

Agua: media

Abono: alta

Tabla III-4 CARACTERÍSTICAS LÚPULO SAAZ (pellets)

Análisis	Resultados
Alfa Ácidos	2-6% (peso/peso)
Cohumulonas	24-28%
Beta Ácidos	3-8% (peso/peso)
Aceites Esenciales	Aprox. 0.4-0.7 ml/100g
Beta-Cariofileno (Humulen)	6-12 %
Farneseno	11-15%

Fuente: vendolupulo.es

Fotografía III-4 LÚPULO SAAZ (pellets)



Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Agua.- Para la elaboración del proyecto se utiliza agua potable de pozo suministrada por cossalt sin ningún tratamiento previo debido a que se necesitan ciertas sales que contiene la misma para obtener mejores resultados en la elaboración de la cerveza

Levadura.- para la elaboración del proyecto se utilizó levadura *Saccharomyces cerevisiae* de fermentación baja del tipo saflager S-23 esta es una cepa de origen alemán que da lugar a cervezas afrutadas y aromáticas con un sabor que se prolonga en boca con las siguientes características:

Tabla III-5 CARACTERÍSTICAS LEVADURA SAFLAGER S-23

Análisis	Resultados
% peso seco	94.0 – 96.5
Células viables al envasado	$> 6 \times 10^9$ /g
Bacterias totales*	< 5 / ml
Bacterias ácido acéticas*	< 1 / ml
Lactobacilos*	< 1 / ml
Pediococcus*	< 1 / ml
Levaduras salvajes no <i>Saccharomyces</i> *	< 1 / ml

Fuente: fermentis lesaftfre for beverages

Fotografía III- 5 LEVADURA SAFLAGER S-23



Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

3.2.- Descripción del método de investigación.-

Para elaborar el proyecto se utilizó la metodología de investigación prueba y error y la metodología de investigación de datos históricos.

Método de investigación prueba y error

Es un método heurístico para la obtención de conocimiento, tanto proposicional como procedimental. Consiste en probar una alternativa y verificar si funciona. Si es así, se tiene una solución. En caso contrario (resultado erróneo) se intenta una alternativa diferente. No se intenta descubrir por qué funciona una solución. Solo se aspira a lograrla y se enfoca a encontrar solo una solución: no todas, ni la mejor.

Se identificaron las principales variables, luego se realizó el diseño factorial para encontrar cual es la mejor alternativa.

Método De Investigación de datos históricos

Comprenden todos los documentos, testimonios u objetos que nos transmiten una información significativa referente a los hechos que han tenido lugar, especialmente en el pasado. “Por lo tanto el método de investigación histórica debe ir de lo general a lo particular, pero debe ser completado de lo particular a lo general”

Para el proyecto se recopiló información de fuentes secundarias para poder identificar las variables que se tomaron en cuenta en el proceso.

También se utilizó esta metodología para poder escoger los análisis a realizar tanto en la materia prima como en el producto final.

3.3.- Diseño factorial

Para el presente proyecto se realizó el diseño factorial en dos procesos: cocimiento y fermentación.

3.3.1. Diseño factorial en cocimiento

El diseño factorial en el proceso de cocimiento es un diseño 2^2 donde 2 son los niveles y 2 factores. Se repite la experiencia tres veces para tener resultados significativos y validados.

El número de réplicas obedece la siguiente desigualdad:

$$GI = N^{\circ} \text{ factores } (N^{\circ} \text{replicas}-1) \geq 4$$

Por lo tanto el N° de réplicas es igual a 3

Factores

Los factores manipulables serán:

- **Relación malta – agua.-** La relación entre malta – agua, es una variable que permite conocer la cantidad de azúcares fermentables extraídas a diferentes cantidades de agua con el fin de utilizar la cantidad óptima.
- **Numero de extracciones.-** el número de extracciones nos permite conocer si es posible extraer mayor cantidad de azúcares con una segunda extracción.

Niveles

Para determinar los niveles de los factores se toma en cuenta referencias bibliográficas del proceso.

Niveles de los Factores

Nivel	Relación malta-agua (Kg/L)	N° de Extracciones
1	1:5	1
2	1:7	2

Fuente: Elaboración Propia

Codificación de las Variables

Nivel	Relación malta- agua (R)	Nº de extracciones (T)
1	-1	-1
2	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Variable Respuesta

La variable respuesta es la cantidad de azúcares fermentables extraídos en el proceso expresados en °Brix.

Número de Combinaciones

Al ser el diseño factorial:

$$2^k$$

El número de experiencias es: $2^2 = 4$

Considerando tres réplicas:

Número de experimentos: $2^2 * 4 = 16$ *experimentos*

La combinación de las variables o interacción se muestra en la siguiente tabla:

Diseño Factorial para el proceso de cocimiento

Relación Mal/Agua	Extracciones	Variable de respuesta VR
+	-	Y1
+	+	Y2
-	-	Y3
-	+	Y4
+	-	Y5
+	+	Y6
-	-	Y7
-	+	Y8
+	-	Y9
+	+	Y10
-	-	Y11
-	+	Y12
+	-	Y13
+	+	Y14
-	-	Y15

-	+	Y16
---	---	-----

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Diseño factorial en fermentación.-

El diseño factorial en el proceso de fermentación es un diseño 2^2 donde 2 son los niveles y 2 factores. Se repite la experiencia tres veces para tener resultados significativos y validados.

El número de réplicas obedece la siguiente igualdad:

$$GI = N^{\circ} \text{ factores} (N^{\circ} \text{ réplicas} - 1) \geq 4$$

Por lo tanto el N° de réplicas es igual a 3

Factores

Los factores manipulables serán:

- **Temperatura de fermentación.-** La temperatura de fermentación tiene un efecto directo en la cinética de la fermentación. De acuerdo a la temperatura, las levaduras pueden trabajar de manera correcta o deficiente.
- **Cantidad de levadura.-** La cantidad de levadura se calcula en base a la cantidad de mosto que se tiene y de esto depende que los azúcares fermentables del mosto sean consumidos en su totalidad y transformados en cerveza. El cálculo del nivel 1 se realizó en base a las indicaciones del ANEXO 5, en el nivel 2 se incrementó la cantidad para observar el cambio del ADF.

Niveles de los Factores

Nivel	Temperatura (°C)	Cantidad de levadura (gr./lt.)
1	10	0,45
2	14	0.55

Fuente: Elaboración Propia

Codificación de las Variables

Nivel	Temperatura (R)	Cantidad de levadura (T)
1	-1	-1
2	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Variable Respuesta

La variable respuesta es el grado de fermentación aparente (ADF) expresado en % w/w.

Número de Combinaciones

Al ser el diseño factorial:

$$2^k$$

El número de experiencias es: $2^2 = 4$

Considerando tres réplicas:

Número de experimentos: $2^2 * 4 = 16$ *experimentos*

La combinación de las variables o interacción se muestra en la siguiente tabla:

Diseño Factorial para el proceso de fermentación

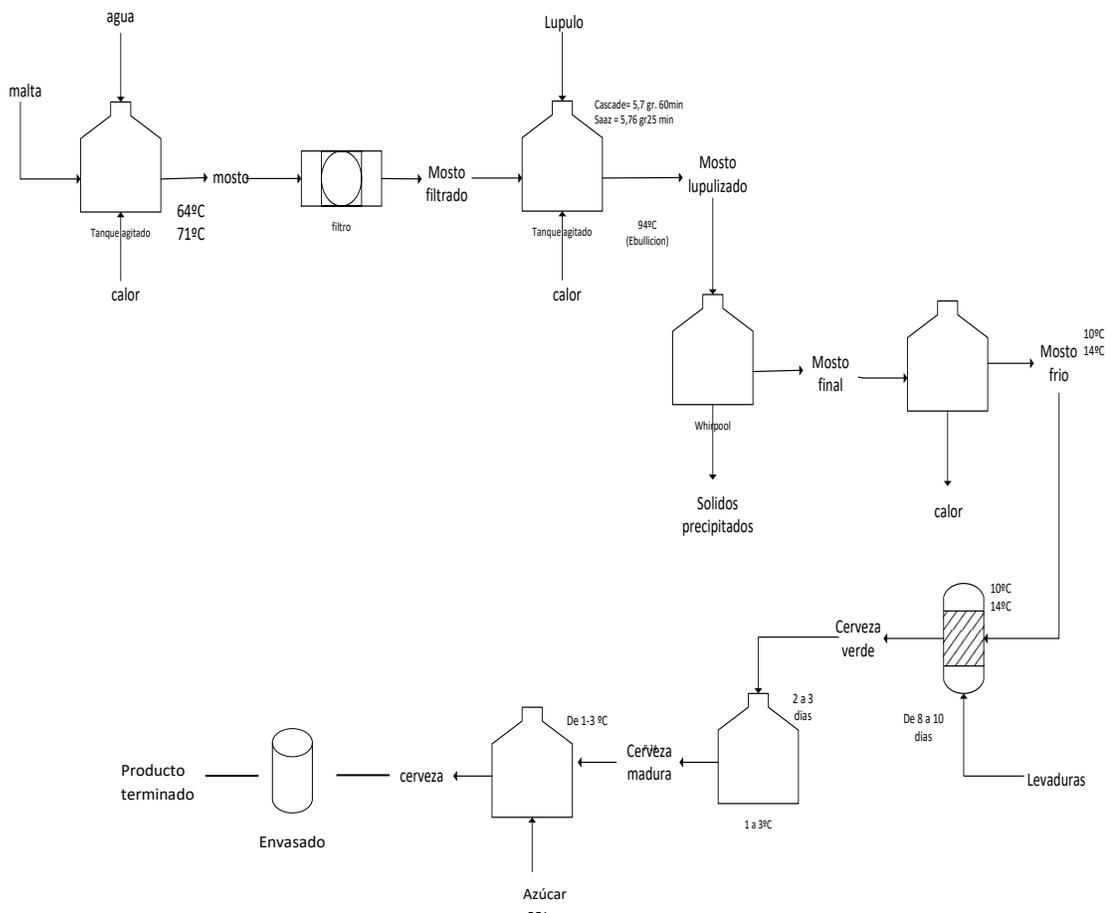
Temperatura	Cantidad de levadura	Variable de respuesta VR
+	-	Y1
+	+	Y2
-	-	Y3
-	+	Y4
+	-	Y5
+	+	Y6
-	-	Y7
-	+	Y8
+	-	Y9
+	+	Y10
-	-	Y11
-	+	Y12
+	-	Y13

+	+	Y14
-	-	Y15
-	+	Y16

Fuente: Elaboración Propia

3.4.-Procedimientos y técnicas empleadas

Figura III-1 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO



Fuente: Elaboración propia

Macerado.- El macerado es el proceso en el cual se convierte el almidón en azúcares fermentables por acción de las enzimas contenidas en la malta, para que las enzimas trabajen de forma óptima se debe darles las condiciones necesarias.

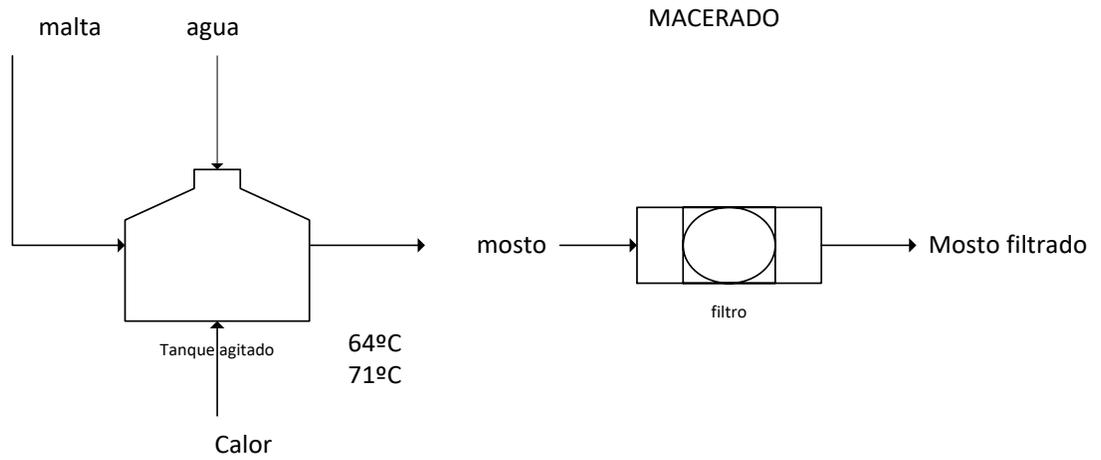
En este punto se describe paso a paso el proceso de macerado.

Primeramente se mezcló el agua con la malta en un tanque de acero inoxidable en las proporciones que indica el diseño factorial, esta mezcla se comenzó a calentar hasta 64°C, a esta temperatura comienzan a trabajar las beta amilasas y se mantuvo esta temperatura por 25 minutos, que es el tiempo óptimo para tener una mayor acción enzimática; luego se aumentó la temperatura a 71°C para que trabajen las alfa amilasas y se volvió a mantener la temperatura por 25 minutos. Cuando pasó el tiempo indicado se realizó la prueba del yodo, la cual indica si todavía existe presencia de almidones en la mezcla, para esto se retiró unas gotas de mosto en un vidrio reloj y se añadió dos gotas de yodo, si el mosto no presenta una coloración diferente a la del yodo (amarillo) se logró la conversión de los almidones, caso contrario, da una coloración azul y se debe continuar manteniendo el mosto a la temperatura de 71°C. Luego de convertir todos los almidones en azúcares fermentables se aumentó la temperatura hasta 78°C para inactivar las enzimas y se prosiguió a filtrar la mezcla.

Se debe recalcar que en todo el proceso de macerado se agitó la mezcla con una paleta para mejorar la extracción de los almidones contenidos en la malta.

Se separó el mosto de la malta y se conservó en otro recipiente para posteriormente mezclarlo con el producto de la segunda extracción si es que se realizó.

Para la segunda extracción se repite el mismo procedimiento con la malta remanente de la primera maceración. En los casos en los que se realizó la segunda extracción se dividió la cantidad de agua en las siguientes proporciones 70% en la primera extracción y 30% en la segunda extracción.

Figura III-2 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE MACERADO**Figura III-3 ADICIÓN DE LA MALTA**

Fuente: elaboración propia

Fotografía III-6 PRUEBA DE YODO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-7 FILTRACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Cocimiento.- el proceso de cocimiento consiste en llevar el mosto a ebullición y añadir el lúpulo.

Primeramente se llevó a ebullición el mosto resultante del macerado. En el momento que comienza la ebullición se añade el primer lúpulo, el cual es el encargado de aportar el sabor y gran parte del amargor final (cascade).

Cuando pasaron 40 minutos de la primera adición del lúpulo (cascade) se añadió el segundo lúpulo (saaz) encargado principalmente de aportar un aroma característico y de aportar amargor en pequeñas proporciones.

Al completar 60 minutos de cocción se apagó el suministro de calor y se finalizó el proceso de cocimiento.

La cantidad de lúpulos a agregar se calcularon con un objetivo de 15 IBUs con la siguiente formula:

$$IBU = \frac{Glu * \%AA * \%U}{Lm * D * 10}$$

Dónde: IBU = international bitterness unit (unidad internacional de amargo)

Glu = Gramos de lúpulo

%AA = porcentaje de alfa ácidos

%U = porcentaje de utilización

Lm = litros de mosto

D = densidad del mosto

Tabla III-6 PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DEL LÚPULO

Tiempo de hervor	Porcentaje de utilización (pellets)
0 a 9	6
10 a 19	15
20 a 29	19
30 a 44	24
45 a 59	27
60 a 74	30
Más de 75	34

Fuente: Revista mash

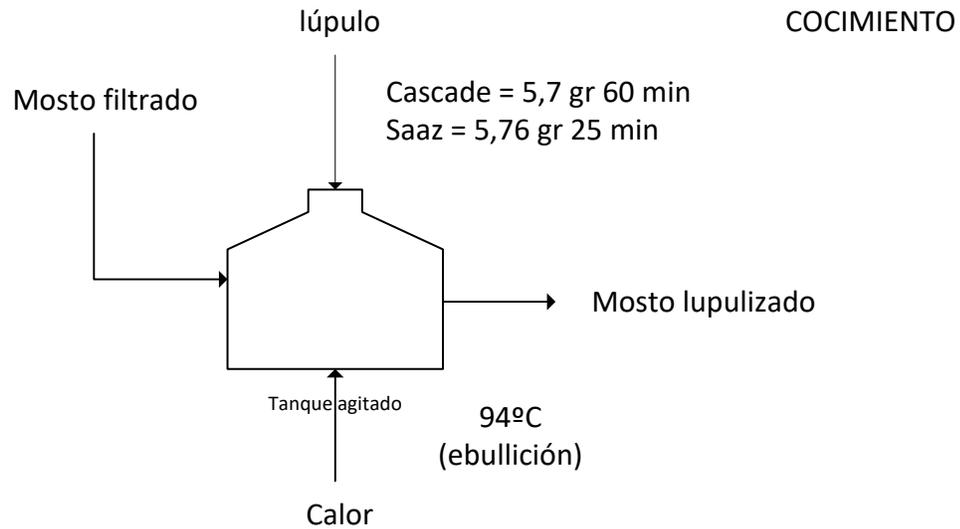
Y se obtuvo los siguientes resultados:

Lúpulo cascade para 10 litros de mosto se necesitan 5.7 gramos y se generan 11.43 IBUs.

Lúpulo saaz para 10 litros de mosto se necesitan 5.76 gramos y se generan 3,66 IBUs.

La densidad del mosto es $1,047 \text{ Kg/m}^3$

Figura III-4 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE COCIMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-8 COCCIÓN DEL MOSTO (EBULLICIÓN)



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-9ADICIÓN DEL LÚPULO



Fuente: Elaboración propia

Fermentación.- luego del proceso de cocimiento se procedió a realizar el whirlpool este proceso se realiza para precipitar sólidos en suspensión. Consiste en agitar el mosto hasta generar un remolino lo cual produce que los sólidos se precipiten en el fondo del tanque por acción de la gravedad.

Luego de realizar el whirlpool se enfrió el mosto hasta una temperatura óptima para fermentar de acuerdo al experimento que se haga (10°C o 14°C) con una baño de hielo y agua.

Mientras se realizaba el enfriamiento del mosto se realizó también la activación de las levaduras el procedimiento que se siguió es el siguiente:

- Primero se hirvió 300 ml de agua para esterilizarla, luego se enfrió el agua hasta una temperatura de 23°C y se la llevo a un vaso de precipitado previamente esterilizado y se agregó azúcar hasta 8°Brix aproximadamente y se agregó también 100 ml de mosto previamente enfriado a 23°C.

- Se tapó el vaso de precipitado con una tela esterilizada para que no entren microorganismos al medio.
- Luego de tener el medio óptimo para el crecimiento de las levaduras se esparció poco a poco las mismas sobre la capa superficial del medio cuidando que no se generen grumos y se dejó reposar por 20 minutos hasta que todas las levaduras de la capa superficial se hidrataron y se precipitaron en el fondo del vaso. En ese momento las levaduras ya estaban listas para agregar al mosto para iniciar la fermentación.

En este caso no se pudo preparar un cultivo de levadura debido a que no se contó con los equipos necesarios que requiere este proceso, el nivel de inocuidad que necesita este procedimiento no se puede lograr de forma artesanal debido a que es necesaria una cámara de flujo laminar.

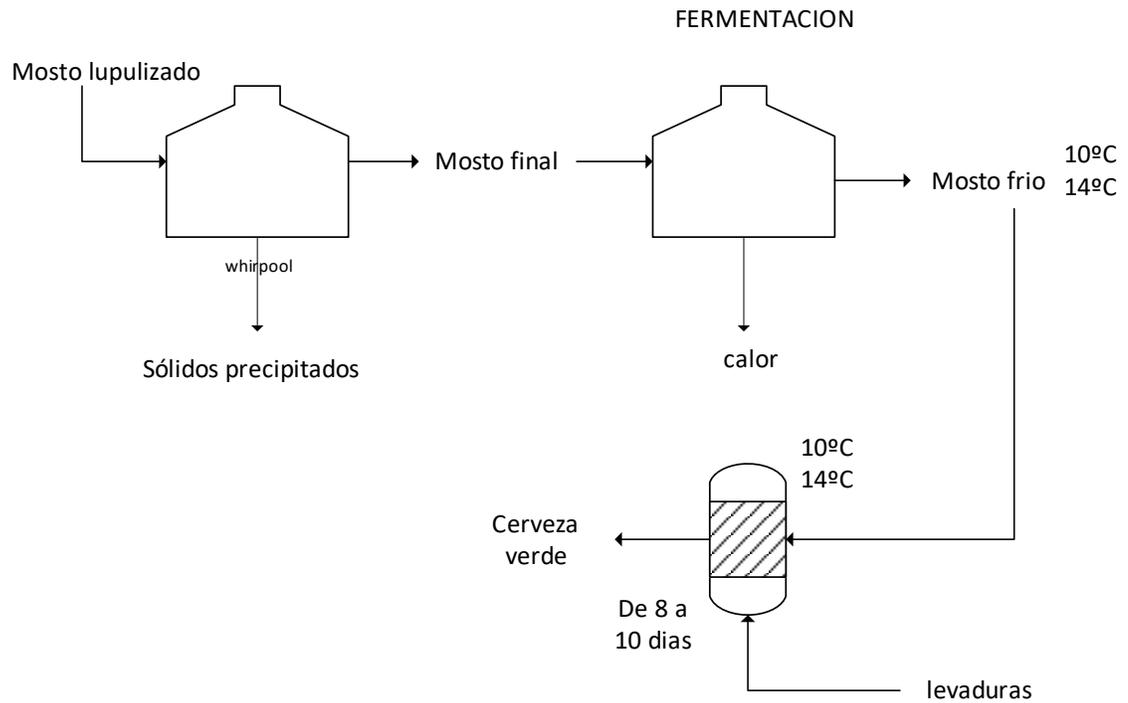
Cuando el mosto se enfrió hasta las temperaturas deseadas se llevó al tanque de fermentación previamente esterilizado y hermético y se mezcló con las levaduras.

Ese fue el inicio de la fermentación.

Para poder mantener la temperatura del tanque de fermentación se guardó este en una conservadora que contenía un baño de agua a una temperatura óptima de transferencia (8°C o 12°C) y se procedió a controlar que la temperatura del baño no variara a lo largo del proceso de fermentación añadiendo hielo cada 6 horas.

Se realizó la medición de grados Brix con un refractómetro de campo cada 24 horas para conocer la cinética de la fermentación.

Figura III-5 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE FERMENTACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-10 ACTIVACIÓN DE LA LEVADURA





Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-11 WHIRPOOL



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-12 TRASVASE PARA ELIMINAR IMPUREZAS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-13 RESIDUOS DE LÚPULO EN EL TANQUE



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-14 ENFRIADO DEL MOSTO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-15 TANQUES DE FERMENTACIÓN EN EL SISTEMA DE FRIO



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía III-16 TOMA DE MUESTRA PARA CALCULAR LA
REDUCCIÓN DE °BRIX**

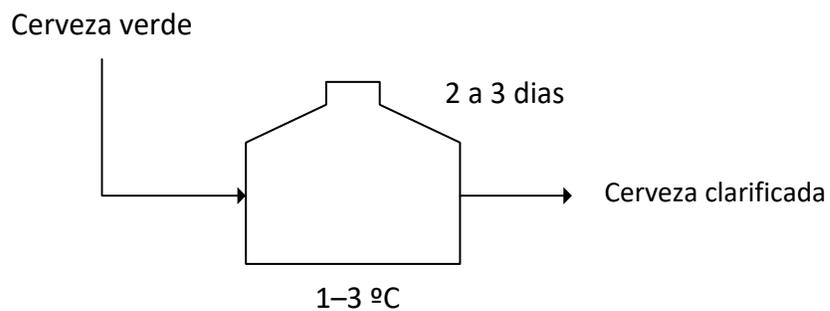


Fuente: Elaboración propia

Clarificación.- Al completarse la fermentación se procedió a separar la cerveza verde de la levadura y llevarla a otro tanque, previamente esterilizado y este tanque se dejó reposar por 2-3 días en un refrigerador a una temperatura de 1 - 3°C. En este proceso se clarificó la cerveza al precipitarse algunos sólidos que todavía permanecían en suspensión.

Figura III-6 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE CLARIFICACIÓN

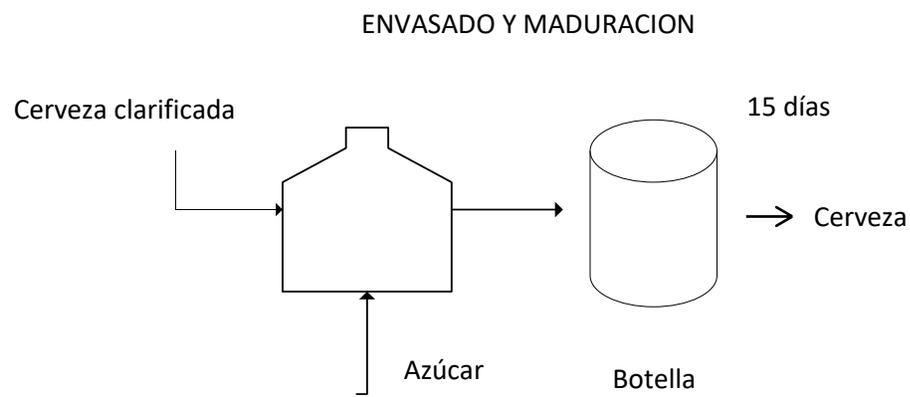
CLARIFICACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Carbonatación y maduración.- luego del proceso de clarificación se añadió azúcar común a la cerveza para que esta se transforme en anhídrido carbónico por fermentación en botella de manera natural en el proceso de maduración que dura 15 días.

Figura III-7 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE ENVASADO Y MADURACION



Fuente: Elaboración propia

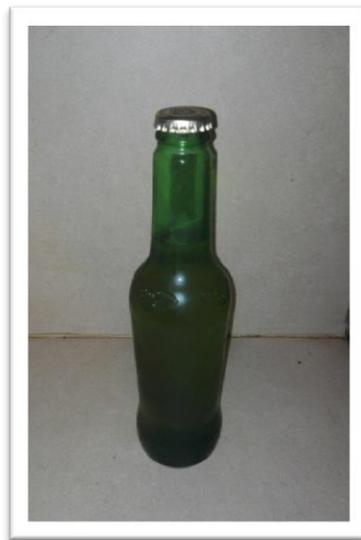
Envasado.- El producto final se envasó en botellas de color verde de 330ml previamente esterilizadas y se colocó las tapas corona de forma manual.

Fotografía III-18 TAPADO DE LA BOTELLA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía III-19 CERVEZA ENVASADA



Fuente: Elaboración propia

Equipos y materiales.-

Fotografía III-20 BALANZA ANALÍTICA



Fuente: Elaboración propia

Tabla III-7 CARACTERÍSTICAS BALANZA ANALÍTICA

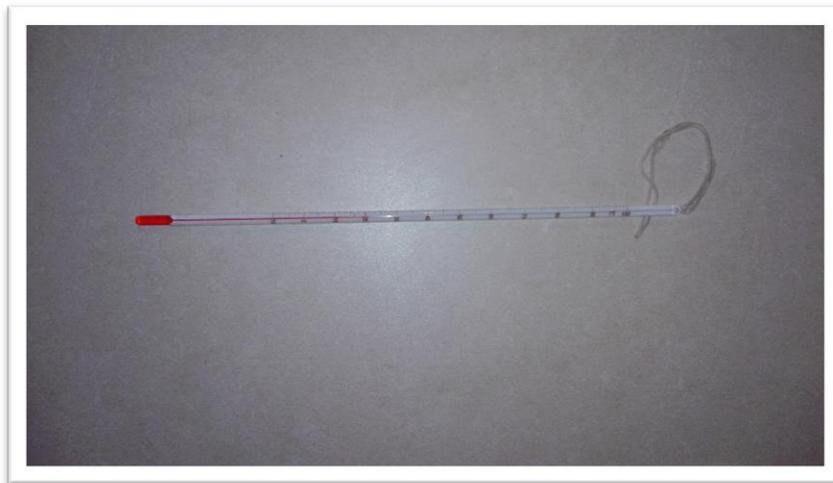
Características	Descripción
Marca	Giberniti
Modelo	Europe 500
Industria	Italiana
Rango mínimo	0,001gr.
Rango máximo	510gr.

Fotografía III-21 OLLA DE MACERADO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-8 CARACTERÍSTICAS OLLA DE MACERADO

Características	Descripción
Material	Acero inoxidable
Capacidad	16,25 litros
Altura	23cm.
Diámetro	30cm.
Espesor de pared	0,4cm.
Peso	2,4 Kg.

Fotografía III-22 TERMÓMETRO

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-9 CARACTERÍSTICAS TERMÓMETRO

Características	Descripción
Líquido indicador	Alcohol
Escala	0 – 100°C
Largo	30cm.
Diámetro	0,6cm.

Fotografía III-23 FUENTE DE CALOR

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-10 CARACTERÍSTICAS FUENTE DE CALOR

Características	Descripción
Tipo	Cocina
Marca	Orbis
Combustible	Gas domiciliario
Material	Acero inoxidable
Hornallas	4
Industria	Argentina

Fotografía III-24 MANGUERAS

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-11 CARACTERÍSTICAS MANGUERA

Características	Descripción
Material	Polímero siliconado
Largo	150cm.
Diámetro	1cm.

Fotografía III-25 RECIPIENTES PARA ACTIVACIÓN DE LEVADURAS



Fuente: Elaboración propia

Tabla III-12 CARACTERÍSTICAS RECIPIENTES DE ACTIVACIÓN

Características	Descripción
Tipo	Vaso de precipitado
Material	Vidrio
Capacidad	600cc.
Accesorio	Tela filtrante

Fotografía III-26 TANQUE DE FERMENTACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Tabla III-13 CARACTERÍSTICAS TANQUE DE FERMENTACIÓN

Características	Descripción
Tipo	Olla a presión
Material	Acero inoxidable
Capacidad	4,7 litros
Alto	15 cm.
Diámetro	20 cm.
Espesor de pared	0,5cm.
Válvula para toma de muestra (grifo)	Acero inoxidable
Válvula de alivio (manguera y envase)	Plástico

Para adaptar una olla a presión y volverla un tanque de fermentación se realizó ciertos arreglos.

Se agregó un grifo de acero inoxidable para realizar las tomas de muestras, también se instaló un sistema de alivio compuesto por una manguera conectada en una salida en la parte superior del tanque y con salida en un recipiente con agua, esto para que no exista ingreso de aire del exterior.

Fotografía III-27 EQUIPO DE REFRIGERACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Tabla III-14 CARACTERÍSTICAS EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

Características	Descripción
Tipo	Conservadora
Material	Termopor
Capacidad	80 litros
Largo	100 cm.
Ancho	40 cm.
Alto	35 cm.
Espesor de pared	4 cm.
Líquido refrigerante	Agua con hielo

Fotografía III-28 REFRACTÓMETRO DE CAMPO

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-15 REFRACTÓMETRO DE CAMPO

Características	Descripción
Tipo	De campo
Marca	Kikuchi
Industria	Japonesa
Escala	0 – 16 °Brix

Fotografía III-29 REFRIGERADOR

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-16 REFRIGERADOR

Características	Descripción
Marca	Cónsul
Industria	Brasileira
Voltaje	220 Voltios
Potencia	226 Watts

Fotografía III-30 BOTELLA DE VIDRIO

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-17 CARACTERÍSTICAS BOTELLA DE VIDRIO

Características	Descripción
Material	Vidrio
Color	Verde
Capacidad	330 CC.

Fotografía III-31 TAPAS CORONA Y CORONADOR MANUAL

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-18 CARACTERÍSTICAS TAPAS CORONA Y CORONADOR

Características	Descripción
Tipo	Coronador manual
Material	Madera y acero
Tipo	Tapa corona
Material	Hojalata

3.5.-Análisis del producto obtenido.-

Tabla III-19 ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL

Muestra	Temperatura de fermentación (°C)	Cantidad De levadura gr/lt	extracto original %p/p	extracto aparente %p/p	alcohol % v/v	ADF (grado de fermentación aparente)	pH	Color EBC	Amargo IBU
1	14	0.55	10.30	2.4	4.14	76.31	4.6	6.23	18.85
2	10	0.55	10.84	2.49	4.46	77.03	4.8	8.7	19.04
3	14	0.45	11.89	3.22	4.62	72.91	4.5	7.21	20.47
4	10	0.45	11.48	2.91	4.55	74.65	4.5 5	7.65	20.38

Fuente: Elaboración propia en laboratorio de control de calidad CBN (Cervecería Boliviana Nacional) planta Tarija. Ver ANEXO 2

Datos fisicoquímicos de cerveza similar filtrada

Temperatura de fermentación (°C)	extracto original %p/p	extracto aparente %p/p	alcohol % v/v	pH	Color EBC	Amargo IBU
12	10.80	1.75	4.6	4.2	4.5	17

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

4.1.-Análisis de resultados

4.1.1. Producción de azúcares fermentables

La siguiente tabla muestra la cantidad de azúcares fermentables en °Brix basado en la relación malta-agua y N° de extracciones para los diferentes niveles de las variables.

Tabla IV-1 RESULTADOS PRODUCCIÓN DE AZUCARES FERMENTABLES

Experimento	Factores		Respuesta
	Relación	Extracciones	°Brix
Y1	1:5	1	15.2
Y2	1:7	1	9.2
Y3	1:5	2	13.5
Y4	1:7	2	11.5
Y5	1:5	1	13.8
Y6	1:7	1	9.3
Y7	1:5	2	14.6
Y8	1:7	2	11.6
Y9	1:5	1	14.1

Y10	1:7	1	9.3
Y11	1:5	2	15.3
Y12	1:7	2	10.9
Y13	1:5	1	14.7
Y14	1:7	1	9.0
Y15	1:5	2	14.5
Y16	1:7	2	11.2

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de azúcares deseada se tomó bibliográficamente como 11°Brix.

Realizando el análisis de resultados tenemos que el valor más cercano al deseado es el valor marcado con color amarillo.

Se marcó con color azul el valor más alto y con color verde el valor más bajo los cuales son datos que no se acercan al valor deseado.

Tabla IV-2 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LOS DATOS EXPERIMENTALES DE °BRIX

variable

dependiente: °Brix

origen	suma de cuadrados	df	media cuadrática	F	significancia
modelo corregido	79.802a	3	26.601	100.459	0
intersección	2442.831	1	2442.831	9225.482	0
extracción	4.516	1	4.516	17.054	0.001
relación	70.981	1	70.981	268.062	0
extracción*relación	4.306	1	4.306	16.26	0.002
error	3.177	12	0.265		
total	2525.81	16			
total corregido	82.979	15			

Fuente: Elaboración propia SPSS statistics v17

En la tabla IV-2 se puede observar que las variables significativas del proceso son la relación malta – agua, el número de extracciones y la interacción relación – extracción para un nivel de confianza del 95%.

En la tabla IV-2 podremos observar que el modelo en su conjunto para la variable °Brix es significativo para un nivel de confianza del 95%, la cual por su significancia aprueba el modelo general estadísticamente.

Tabla IV-3 ANOVA^B PARA °BRIX

ANOVA^b

modelo	suma de cuadrados	df	media cuadrática	F	significancia
regresión	79.802	3	26.601	100.459	0
residual	3.177	12	0.265		
total	82.979	15			

Fuente: Elaboración propia SPSS statistics v17

Tabla IV-4 COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL
coeficientes

modelo	coeficientes no estandarizados		coeficientes tipificados	t	significancia
	B	error tipico	Beta		
constante	12.356	0.129		96.049	0
relacion	2.106	0.129	0.925	16.373	0
extracion	-0.531	0.129	-0.233	-4.13	0.001
RelExt	0.519	0.129	0.228	4.032	0.002

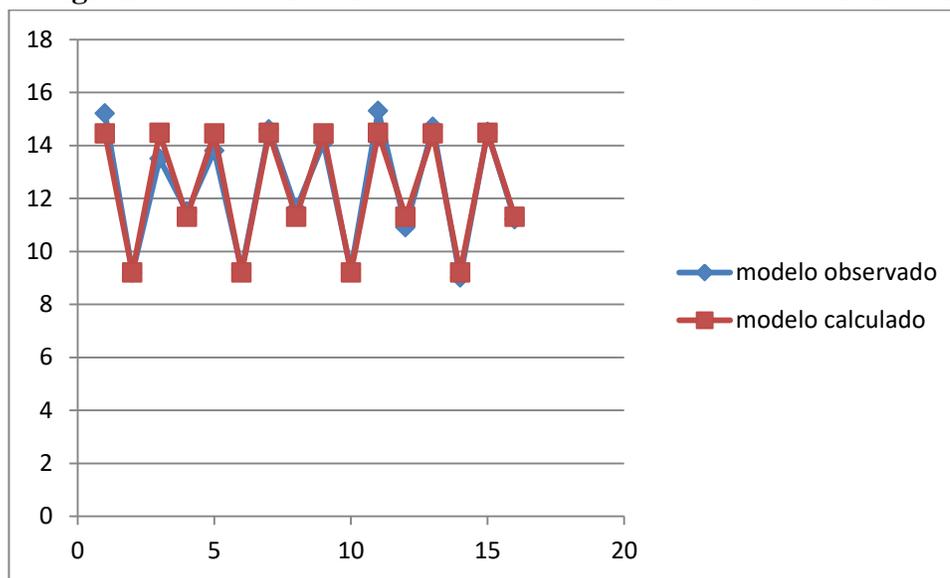
Fuente: Elaboración propia SPSS statistics v17

De la tabla IV-4 se determinó que el modelo matemático para el proceso que correlaciona los °Brix con la relación malta – agua, el número de extracciones y la interacción relación – extracción es el siguiente:

$$^{\circ}\text{Brix} = 12.356 + 2.106 \text{ relación M/A} - 0.531 \text{ extracciones} + 0.519 \text{ RelExt}$$

Para observar la influencia de una variable o factor sobre otro se presenta el siguiente análisis:

Figura IV-1 VALORES EXPERIMENTALES Y MODELO CALCULADO



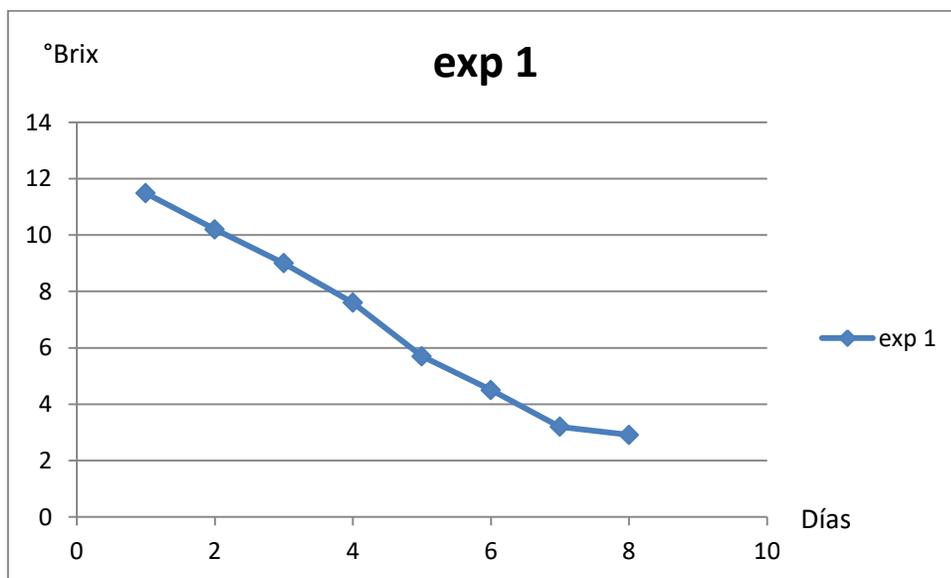
Como se puede observar el modelo representa los datos experimentales obtenidos, lo cual demuestra que la ecuación es válida para un grado de exactitud del 95%.

4.1.2. Producción de cerveza

Tabla IV-5 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 1 A 10°C Y 0,45gr/lt

día	exp 1
1	11.48
2	10.2
3	9
4	7.6
5	5.7
6	4.5
7	3.2
8	2.91
ADF	76.65

Fuente: Elaboración propia

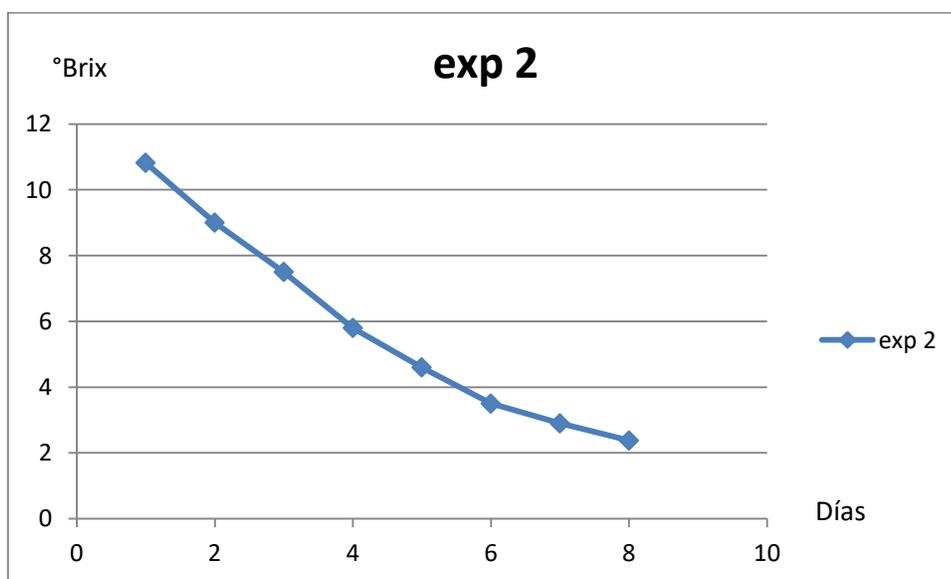


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-6 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 2 A 10°C Y 0,55gr/lt

día	exp 2
1	10.82
2	9
3	7.5
4	5.8
5	4.6
6	3.5
7	2.9
8	2.38
ADF	78.00

Fuente: Elaboración propia

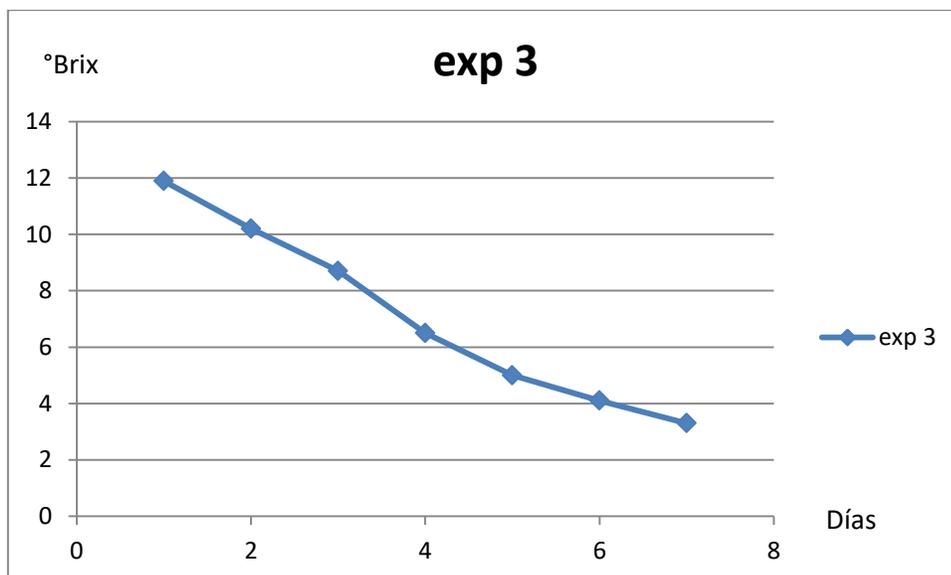


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-7 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 3 A 14°C Y 0,45gr/lt

día	exp 3
1	11.89
2	10.2
3	8.7
4	6.5
5	5
6	4.1
7	3.3
ADF	72.25

Fuente: Elaboración propia

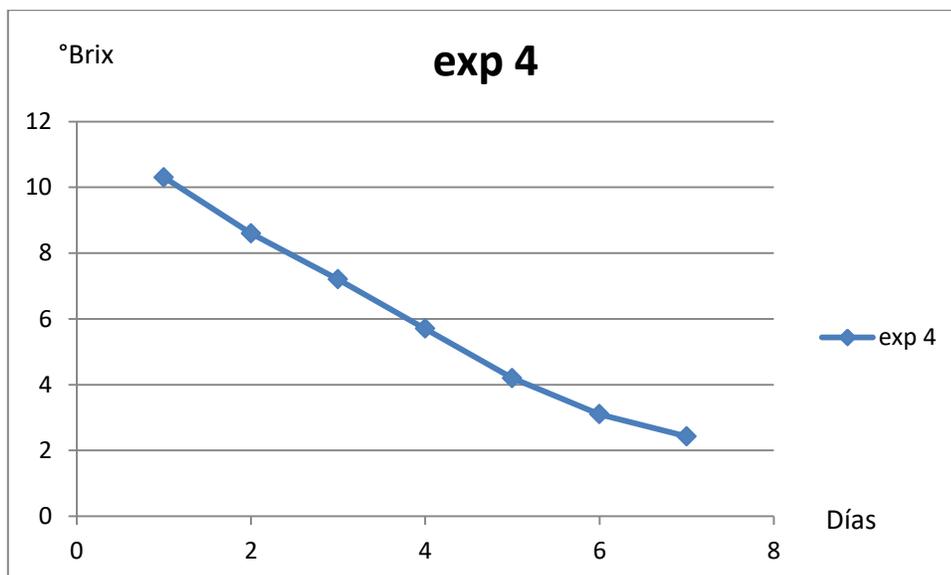


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-8 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 4 A 14°C Y 0,55gr/lt

día	exp 4
1	10.3
2	8.6
3	7.2
4	5.7
5	4.2
6	3.1
7	2.43
ADF	76.41

Fuente: Elaboración propia

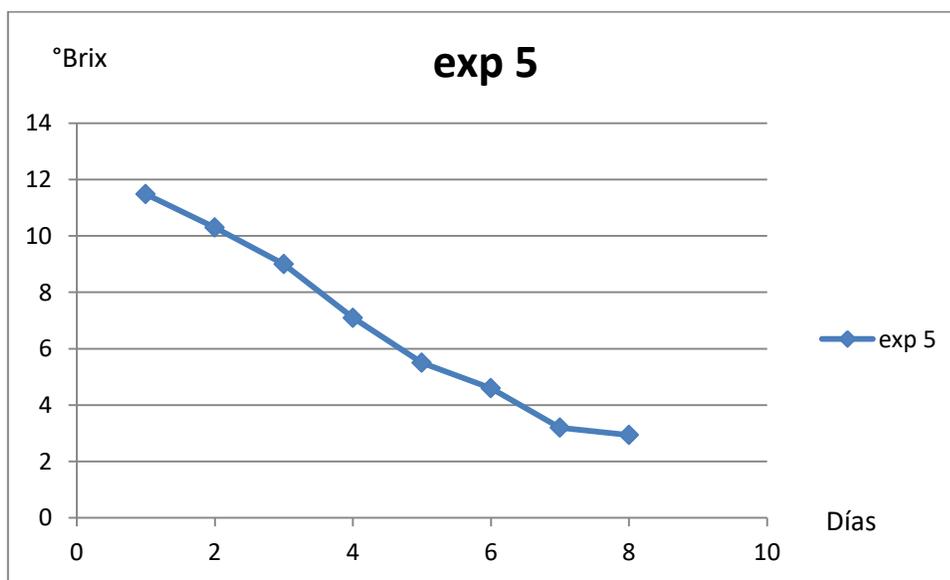


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-9 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 5 A 10°C Y 0,45gr/lt

día	exp 5
1	11.48
2	10.3
3	9
4	7.1
5	5.5
6	4.6
7	3.2
8	2.94
ADF	74.39

Fuente: Elaboración propia

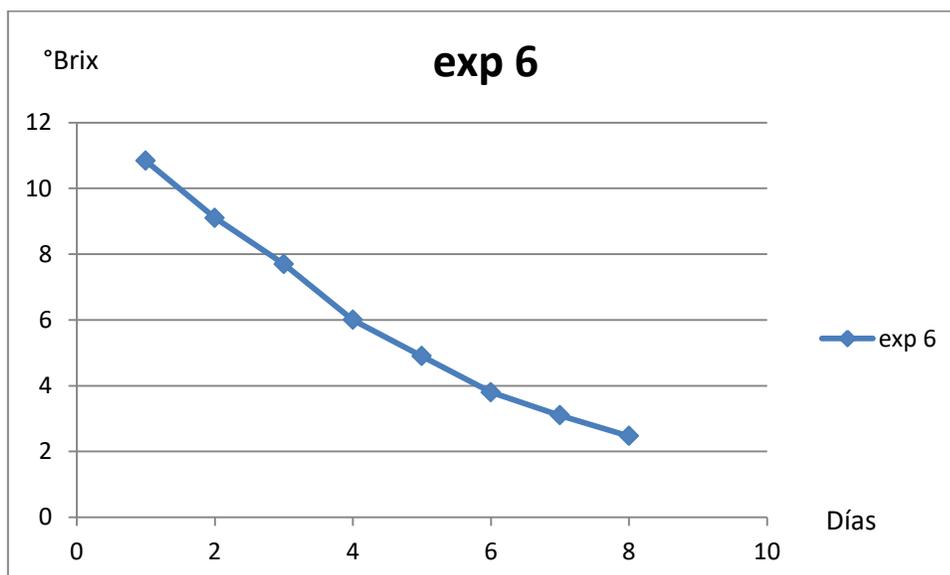


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-10 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 6 A 10°C Y 0,55gr/lt

día	exp 6
1	10.84
2	9.1
3	7.7
4	6
5	4.9
6	3.8
7	3.1
8	2.47
ADF	77.21

Fuente: Elaboración propia

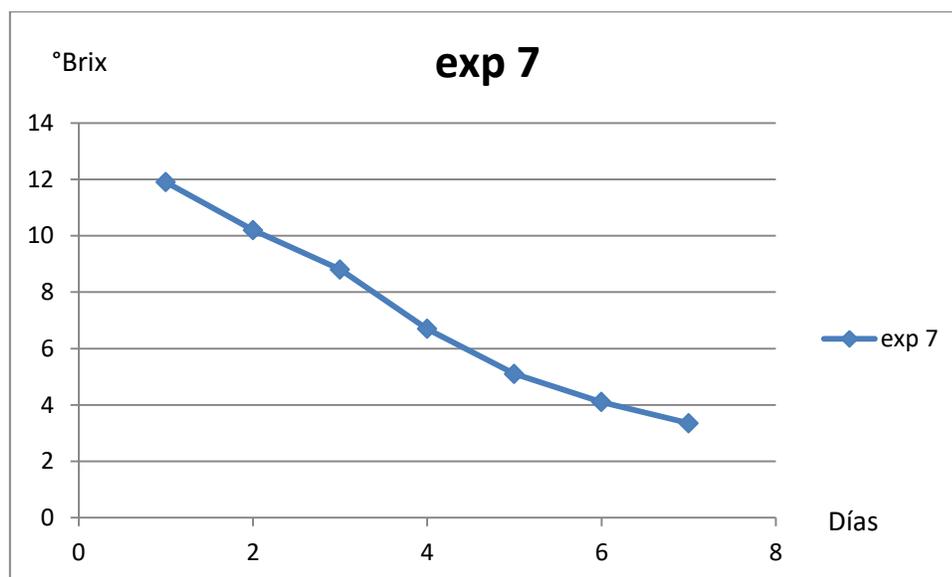


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-11 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 7 A 14°C Y 0,45gr/lt

día	exp 7
1	11.9
2	10.2
3	8.8
4	6.7
5	5.1
6	4.1
7	3.35
ADF	71.85

Fuente: Elaboración propia

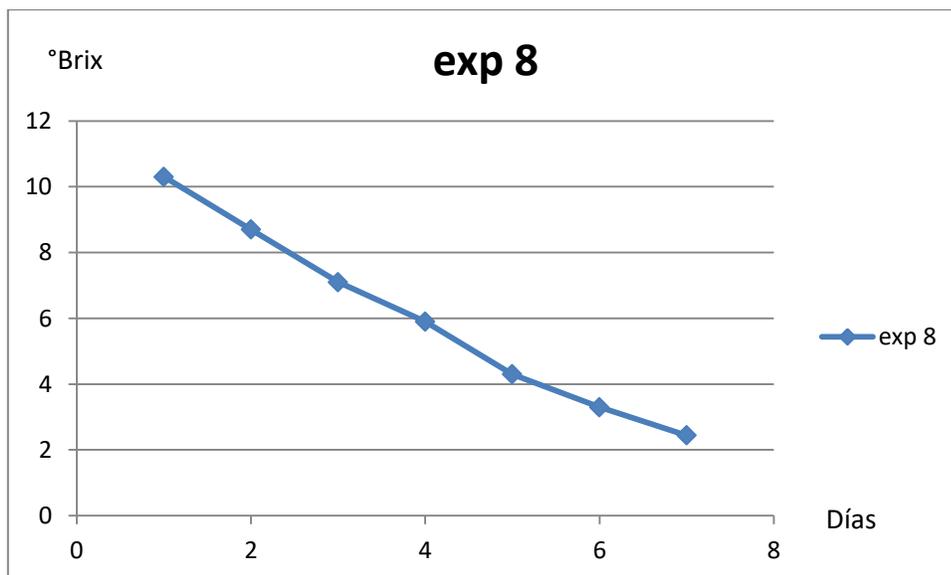


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-12 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 8 A 14°C Y 0,55gr/lt

día	exp 8
1	10.3
2	8.7
3	7.1
4	5.9
5	4.3
6	3.3
7	2.44
ADF	76.31

Fuente: Elaboración propia

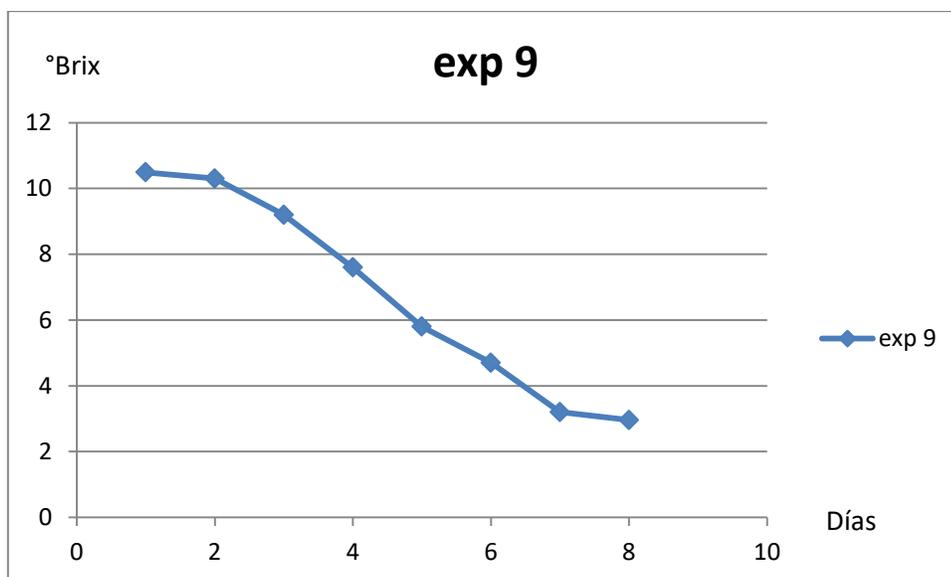


Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-13 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 9 A 10°C Y 0,45gr/lt

día	exp 9
1	10.49
2	10.3
3	9.2
4	7.6
5	5.8
6	4.7
7	3.2
8	2.96
ADF	71.78

Fuente: Elaboración propia

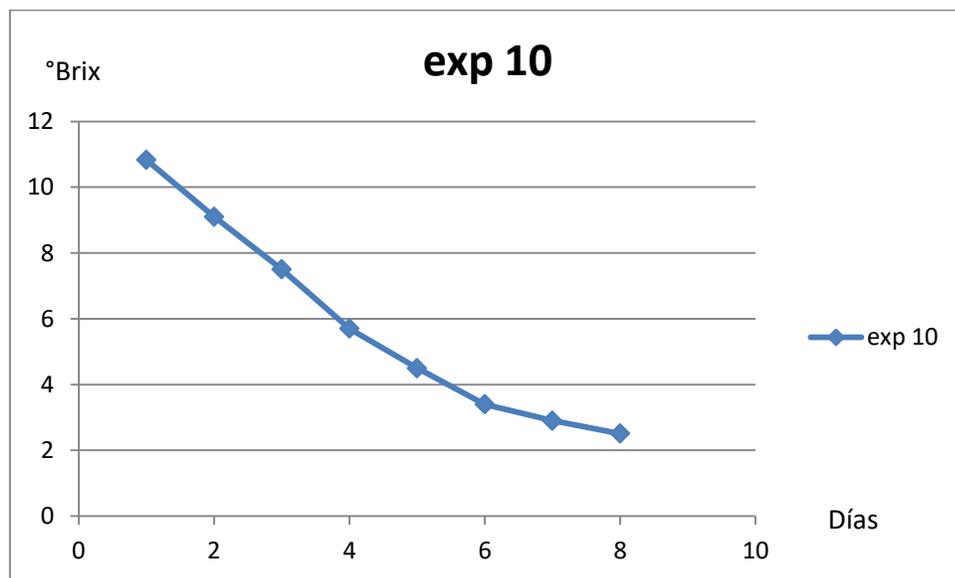


Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV-14 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 10 A 10°C Y
0,55gr/lt**

día	exp 10
1	10.83
2	9.1
3	7.5
4	5.7
5	4.5
6	3.4
7	2.9
8	2.51
ADF	76.82

Fuente: Elaboración propia

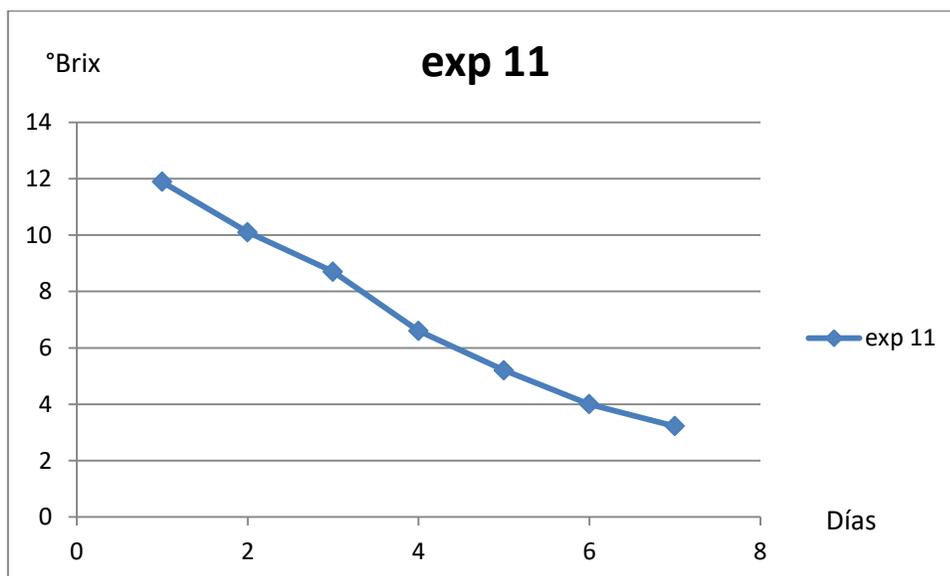


Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV-15 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 11 A 14°C Y
0,45gr/lt**

día	exp 11
1	11.89
2	10.1
3	8.7
4	6.6
5	5.2
6	4
7	3.22
ADF	72.91

Fuente: Elaboración propia

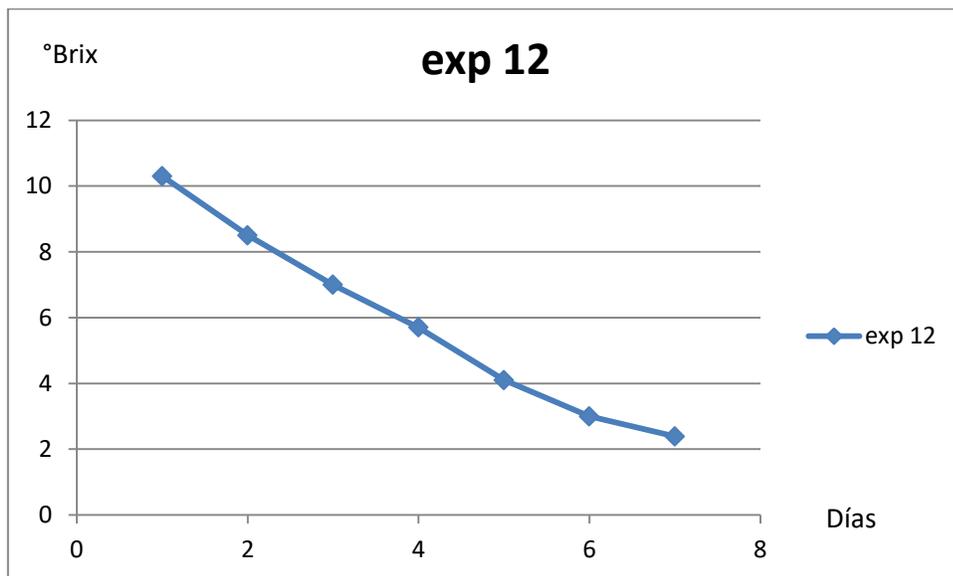


Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV-16 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 12 A 14°C Y
0,55gr/lt**

día	exp 12
1	10.3
2	8.5
3	7
4	5.7
5	4.1
6	3
7	2.39
ADF	76.80

Fuente: Elaboración propia

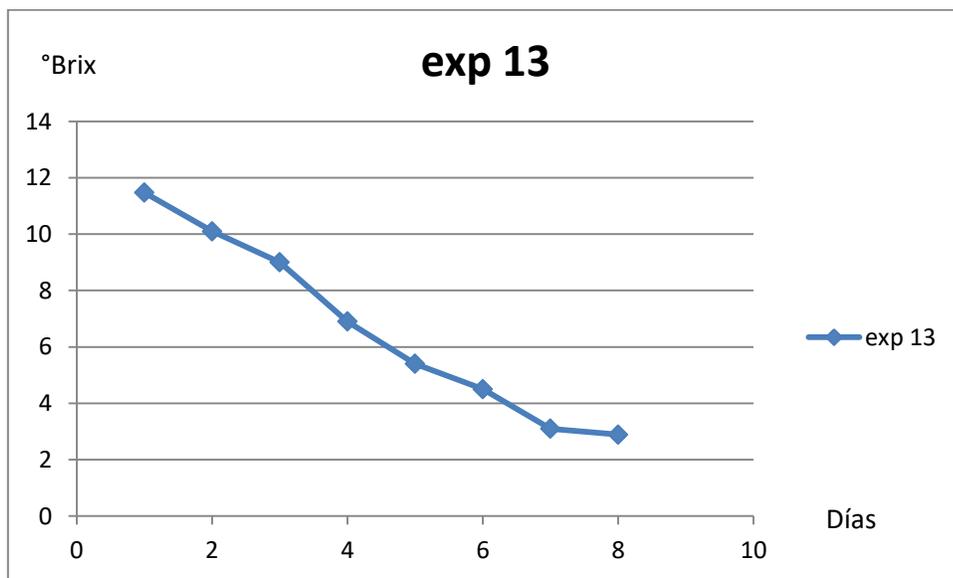


Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV-17 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 13 A 10°C Y
0,45gr/lt**

día	exp 13
1	11.47
2	10.1
3	9
4	6.9
5	5.4
6	4.5
7	3.1
8	2.89
ADF	74.80

Fuente: Elaboración propia

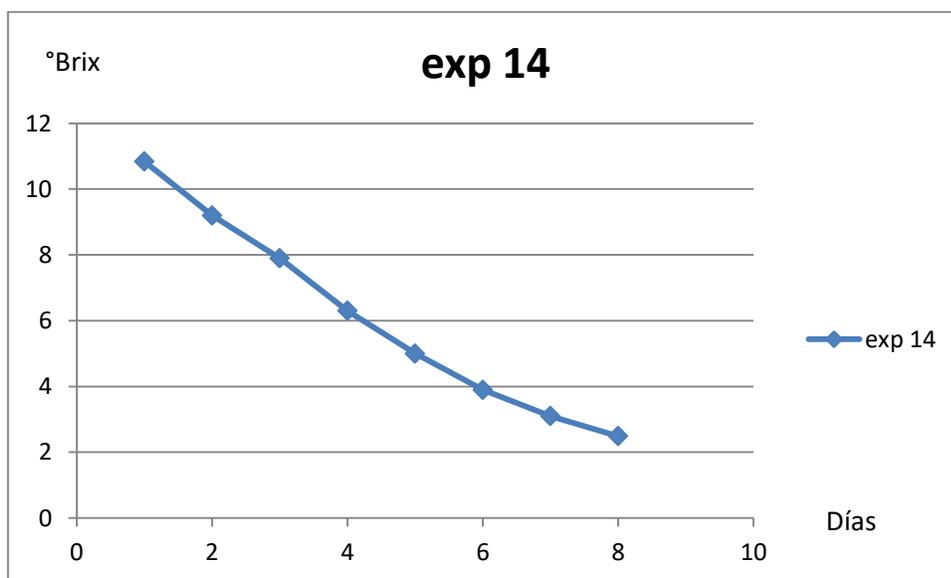


Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV-18 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 14 A 10°C Y
0,55gr/lt**

día	exp 14
1	10.84
2	9.2
3	7.9
4	6.3
5	5
6	3.9
7	3.1
8	2.49
ADF	77.03

Fuente: Elaboración propia

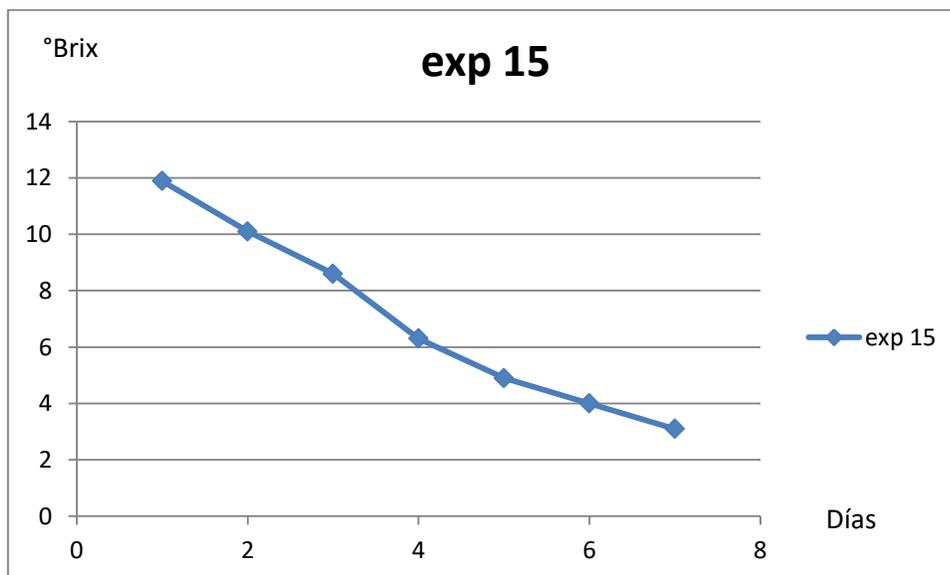


Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV-19 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 15 A 14°C Y
0,45gr/lt**

día	exp 15
1	11.89
2	10.1
3	8.6
4	6.3
5	4.9
6	4
7	3.1
ADF	73.93

Fuente: Elaboración propia

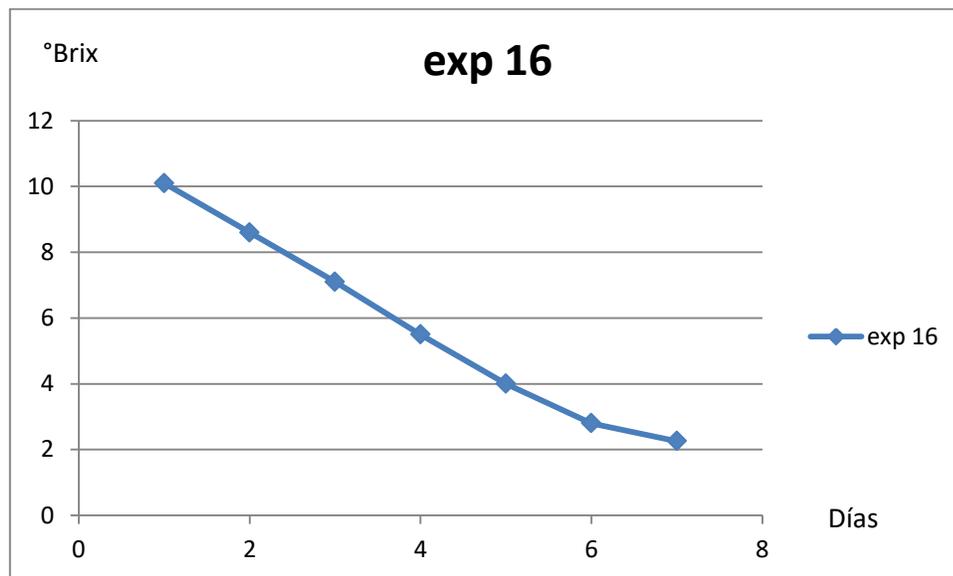


Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV-20 DATOS FERMENTACIÓN EXPERIMENTO 16 A 14°C Y
0,55gr/lit**

día	exp 16
1	10.1
2	8.6
3	7.1
4	5.5
5	4
6	2.8
7	2.26
ADF	77.62

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el grado de fermentación aparente (ADF) el mejor experimento es el numero 2 (10°C y 0.55gr/lit) por tener un mayor porcentaje de fermentación sin embargo se puede observar que las muestras realizadas a 14°C muestran una cinética de fermentación mayor al reducir en un día el tiempo de fermentación.

Tabla IV-21 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LOS DATOS EXPERIMENTALES DE °BRIX

variable dependiente: ADF

origen	suma de cuadrados	df	media cuadrática	F	significancia
modelo corregido	53.787	3	17.929	13.099	0
intersección	90715.416	1	90715.416	66279.331	0
levadura	47.748	1	47.748	34.886	0
temperatura	4.622	1	4.622	3.377	0.091
Levadura*temperatura	1.416	1	1.416	1.035	0.329
error	16.424	12	1.369		
total	90785.627	16			
total corregido	70.211	15			

Fuente: Elaboración propia SPSS statistics v17

En la tabla IV-21 se puede observar que las variables significativas del proceso son la concentración de levadura y la temperatura para un nivel de confianza del 90% mientras que la interacción levadura*temperatura no es significativa en el proceso.

En la tabla IV-21 podremos observar que el modelo en su conjunto para la variable ADF es significativo para un nivel de confianza del 90%, la cual por su significancia aprueba el modelo general estadísticamente.

Tabla IV-22 ANOVA^B PARA ADF

ANOVA^b

modelo	suma de cuadrados	df	media cuadrática	F	significancia
regresión	52.371	2	26.185	19.081	0
residual	17.840	13	1.372		
total	70.211	15			

Fuente: Elaboración propia SPSS statistics v17

Tabla IV-23 COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL

Coeficientes

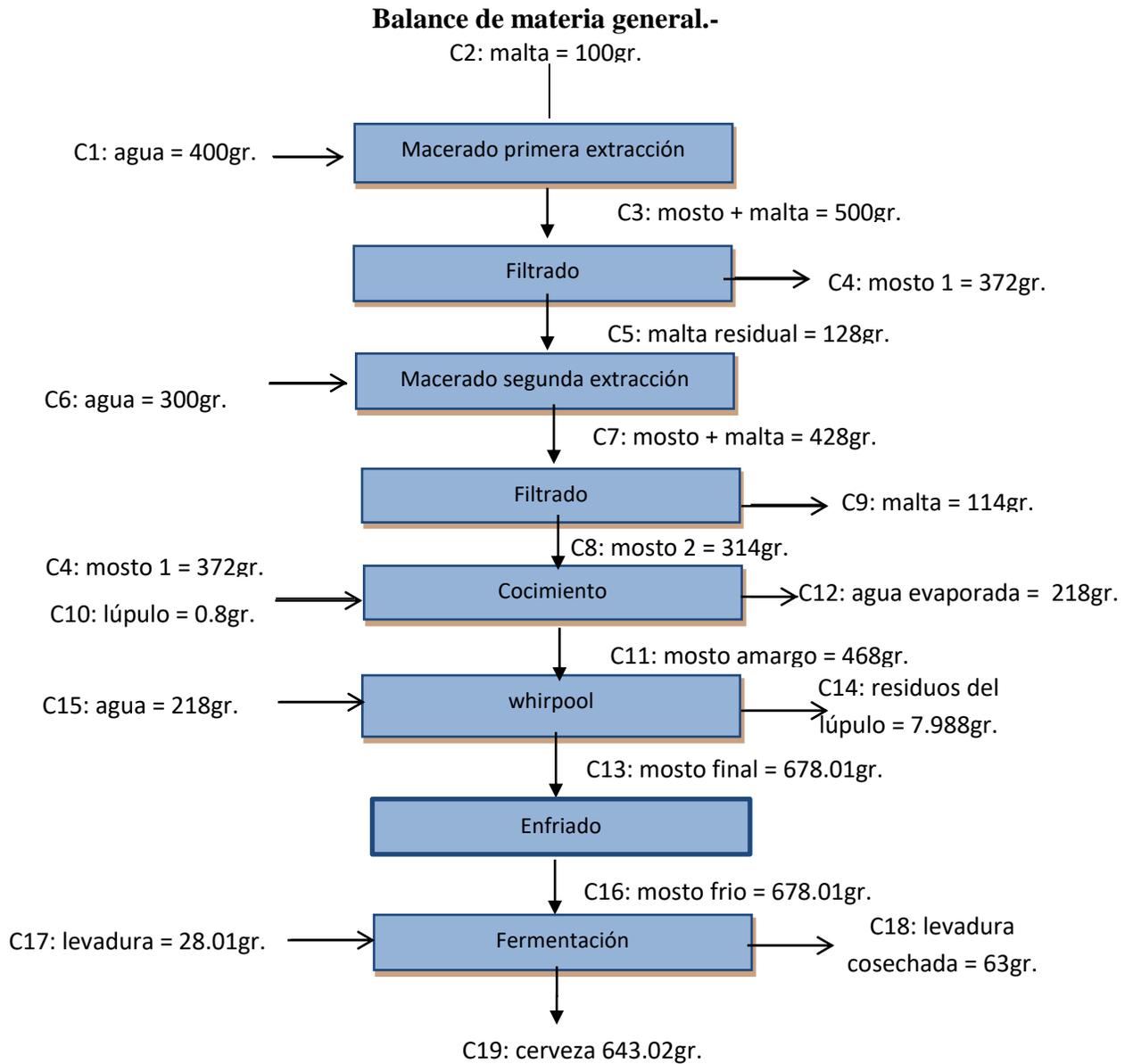
modelo	coeficientes no estandarizados		coeficientes tipificados	t	significancia
	B	error típico	Beta		
constante	61.247	3.428		17.867	0
levadura	34.550	5.857	0.825	5.899	0
temperatura	-0.269	0.146	-0.257	-1.835	0.089

Fuente: Elaboración propia SPSS statistics v17

De la tabla IV-23 se determinó que el modelo matemático para el proceso que correlaciona el ADF con la concentración de levadura es el siguiente:

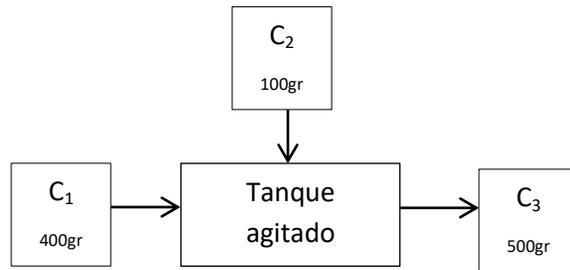
$$ADF = 61.247 + 34.550 \text{ concentración de levadura} - 0.269 \text{ temperatura}$$

- 4.2.- Balance de materia.-



Fuente: Elaboración propia

Balance en el macerado 1ra extracción



C1: Agua C1 = 400 gr

C2: Malta C2 = 100 gr

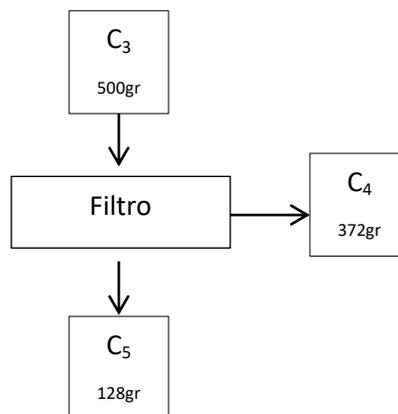
Eo : Carbohidratos iniciales de la malta Eo = 80.56gr.

C3: Mosto + malta C3 = 500gr

$$C1 + C2 = C3$$

$$100 + 400 = 500$$

Balance en el filtro



C3: Mosto + malta C3 = 500gr

C4: Mosto C4 = 372gr

C5: Malta residual	C5 = 128gr
E1: carbohidratos sin convertir 1° extracción	E1 = 21.04 gr
Ac4: Agua	Ac4 = 312.48 gr
Fc4: Azúcares fermentables	Fc4 = 59.52gr. (16°Brix)

$$C3 = C4 + C5$$

$$C4 = C3 - C5$$

$$C4 = 500 - 128 = 372$$

$$C4 = Ac4 + Fc4$$

$$Fc4 = 16 \text{ °Brix} * \frac{372 \text{ gr}}{100 \text{ gr}} = 59.52 \text{ gr.}$$

$$Ac4 = C4 - Fc4$$

$$Ac4 = 372 - 59.52 = 312.48 \text{ gr}$$

Balance de extracto 1° extracción

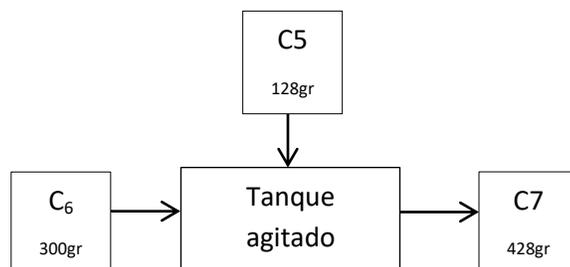
$$Eo = Fc4 + E1$$

$$E1 = Eo - Fc4$$

$$E1 = 80.56 - 59.52$$

$$E1 = 21.04 \text{ gr.}$$

Balance en macerado 2da extracción



C5: Malta $C5 = 128 \text{ gr}$

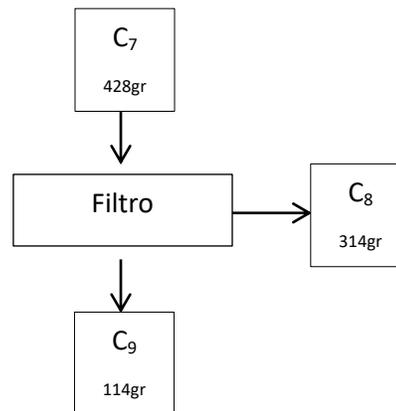
C6: Agua $C6 = 300 \text{ gr}$

C7: Mosto + malta $C7 = 428\text{gr}$

$$C5 + C6 = C7$$

$$128 + 300 = 428$$

Balance en el filtro



C7: Mosto + malta $C7 = 428\text{gr}$

C8: Mosto $C8 = 314 \text{ gr}$

C9: Malta $C9 = 114\text{gr}$

E2: carbohidratos sin convertir 2° extracción $E2 = 8.17 \text{ gr.}$

Ac8: Agua $Ac8 = 301.13 \text{ gr}$

Fc8: Azúcares fermentables $Fc8 = 12.87\text{gr. (4.09° Brix)}$

$$C7 = C8 + C9$$

$$C8 = C7 - C9$$

$$C8 = 428 - 114 = 314$$

$$C8 = Ac8 + Fc8$$

$$Fc8 = 4.1 \text{ } ^\circ\text{Brix} * \frac{314 \text{ gr}}{100\text{gr}} = 12.87\text{gr.}$$

$$Ac8 = C8 - Fc8$$

$$Ac8 = 314 - 12.87 = 301.13 \text{ gr}$$

Balance de extracto 2° extracción

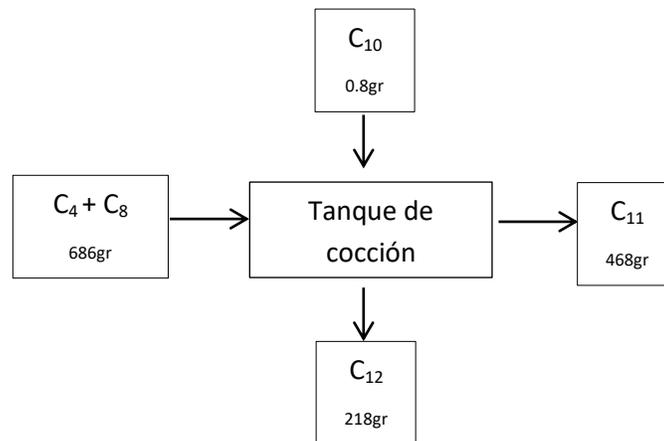
$$E1 = Fc8 + E2$$

$$E2 = E1 - Fc8$$

$$E2 = 21.04 - 12.87$$

$$E1 = 8.17 \text{ gr.}$$

Balance en cocimiento



C₄ = mosto primera extracción

C₄ = 372 gr (16° Brix)

C₈ = mosto segunda extracción

C₈ = 314 gr (4.09° Brix)

$$C10 = \text{lúpulo (cascade- saaz)} \quad C10 = 0.8\text{gr (0.4 - 0.4)}$$

$$C11 = \text{mosto amargo} \quad C11 = 468 \text{ gr (15.44}^\circ \text{ Brix)}$$

$$C12 = \text{agua evaporada} \quad C12 = 218 \text{ gr}$$

$$AAc = \text{alfa ácidos (cascade)} \quad AAc = 0.0084 \text{ gr}$$

$$AAs = \text{alfa ácidos (saaz)} \quad AAs = 0.00266\text{gr}$$

$$AEc = \text{aceites esenciales (cascade)} \quad AEc = 0.006\text{ml.}$$

$$AEs = \text{aceites esenciales (saaz)} \quad AEs = 0.0028\text{ml}$$

$$C4 + C8 + C10 = C11 + C12$$

$$C12 = C4 + C8 + C10 - C11$$

$$C12 = 372 + 314 + 0.8 - 468 = 218 \text{ gr}$$

$$AAc (\text{totales}) = \frac{0.4\text{gr} \cdot 7\%}{100\text{gr}} = 0.028\text{gr} \quad (\text{Datos tabla III-2})$$

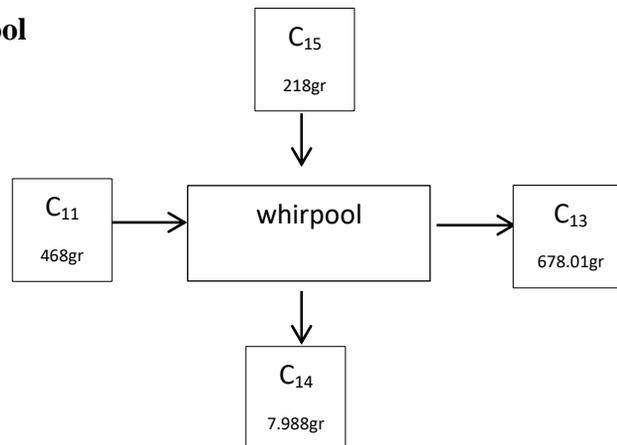
$$AAc (\text{extraídos}) = \frac{0.028\text{gr} \cdot 30\%}{100\%} = 0.0084 \text{ gr} \quad (\text{Datos tabla III-6})$$

$$AAs (\text{totales}) = \frac{0.4\text{gr} \cdot 3.5\%}{100\text{gr}} = 0.014\text{gr} \quad (\text{Datos tabla III-4})$$

$$AAs (\text{extraídos}) = \frac{0.014\text{gr} \cdot 19\%}{100\%} = 0.00266 \text{ gr} \quad (\text{Datos tabla III-6})$$

$$AEc = \frac{1.5\text{ml} \cdot 0.4\text{gr}}{100\text{gr}} = 0.006\text{ml.} \quad (\text{Datos tabla III-2})$$

$$AEs = \frac{0.7\text{ml} \cdot 0.4\text{gr}}{100\text{gr}} = 0.0028\text{ml.} \quad (\text{Datos tabla III-4})$$

Balance en whirlpool

C11= mosto amargo

C11= 468gr (15.44° Brix)

C13 = mosto

C13= 678.01gr (10.56° Brix)

C14 = residuos del lúpulo

C14= 7.988gr

C15 = agua

C15 = 218 gr

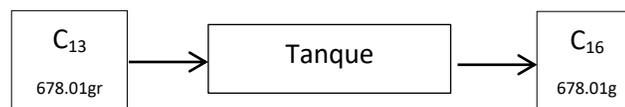
$$C14 = C10 - AAc - AAs$$

$$C14 = 8\text{gr} - 0.0084\text{gr} - 0.00266\text{gr} = 7.988\text{gr}$$

$$C11 + C15 = C13 + C14$$

$$C13 = C11 + C15 - C14$$

$$C13 = 468\text{gr} + 218\text{gr} - 7.988\text{gr} = 678.01\text{gr}$$

Balance en enfriado

C13 = mosto

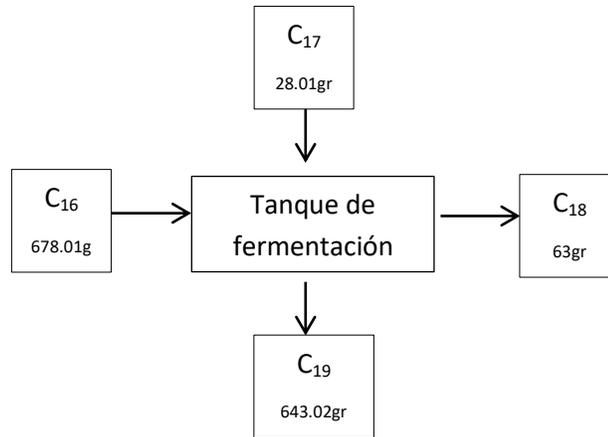
C13 = 678.01gr

C16 = mosto frio

C16 = 678.01gr (10.56° Brix)

$$C_{13} = C_{16}$$

Balance en fermentación



C16 = mosto frio

$$C_{16} = 678.01 \text{ gr } (10.56^\circ \text{ Brix})$$

Fc16 = azúcares fermentables

$$F_{c16} = 72.39 \text{ gr. } (10.56^\circ \text{ Brix}) + 2.24 (8^\circ \text{ Brix})$$

C17 = levadura

$$C_{17} = 27.63 \text{ gr.} + 0.38 \text{ gr. } (\text{Calculando que se necesita } 0,55 \text{ gr/lt. de levadura y } 400 \text{ gr de solución para activar } 5.5 \text{ gr de levadura }) (8^\circ \text{ Brix})$$

C18 = levadura cosechada

$$C_{18} = 63 \text{ gr}$$

C19 = cerveza

$$C_{19} = 643.02 \text{ gr}$$

Fc19 = azúcares residuales

$$F_{c19} = 15.43 \text{ gr}$$

Gc19 = alcohol

$$G_{c19} = 4.14 \% \text{ w/w} = 26.62$$

Ac19 = agua

$$A_{c19} = 600.97 \text{ gr.}$$

$$C_{16} + C_{17} = C_{18} + C_{19}$$

$$C_{19} = C_{16} + C_{17} - C_{18}$$

$$C19 = 678.01\text{gr} + 28.01\text{ gr} - 63\text{gr} = 643.02\text{gr}$$

$$C19 = Fc19 + Gc19 + Ac19$$

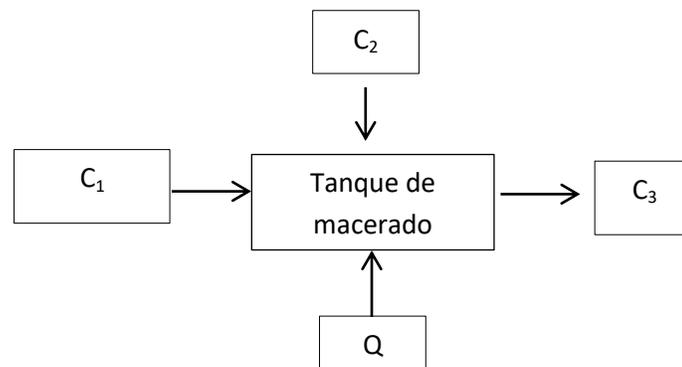
$$Fc19 = 2.4^\circ\text{Brix} * \frac{643.02\text{gr}}{100\text{gr}} = 15.43\text{ gr}$$

$$Ac19 = C19 - Fc19 - Gc19$$

$$Ac19 = 643.02\text{gr} - 15.43 - 26.62$$

$$Ac19 = 600.97\text{gr.}$$

4.3.- Balance de energía.- Balance en la etapa de macerado



Calor necesario para aumentar la temperatura de la mezcla malta – agua hasta 64°C

$$Tm1 = \text{temperatura de macerado 1} \quad Tm1 = 64^\circ\text{C}$$

$$C1 = \text{agua} \quad Mc1 = 400\text{gr} \quad Tc1 = 25^\circ\text{C}$$

$$C2 = \text{malta} \quad Mc2 = 100\text{gr} \quad Tc2 = 25^\circ\text{C}$$

Datos

$$Cp_{\text{malta}} = 0,8 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$Cp_{\text{agua}} = 1 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{olla}} = 0,12 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$M_{\text{olla}} = 2.4 \text{ Kg.}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = (M_{c1} * C_{p\text{agua}} * (T_{c1} - T_m)) + (M_{c2} * C_{p\text{malta}} * (T_{c2} - T_m)) + (M_{\text{olla}} * C_{p\text{olla}} * (T_f - T_o))$$

$$Q_{\text{cedido}} = (0,4\text{Kg} * 1 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} * (64^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})) + (0,1\text{Kg} * 0,8 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} * (64^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})) + (2.4 \text{ Kg} * 0,12 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} * (64^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{cedido}} = 15,6 + 3,12 + 11.232$$

$$Q_{\text{cedido}} = 29.95 \text{ Kcal}$$

Calor necesario para mantener la temperatura de la mezcla malta – agua en 64°C por 25 min.

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{ganado}}$$

Calor perdido por el mosto en 25 min. A 64°C

$$Q_{\text{perdido}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

h = calor perdido por convección

A = área del tanque

Para seleccionar una ecuación que calcule “h” debemos analizar primero el número de grashof y el número de prandtl.

$$Gr = \frac{\beta * g * L^3 * \Delta T}{\mu^2}$$

β = coeficiente de expansión térmica

g = aceleración de la gravedad

L = altura del cilindro vertical

$$C2 = \text{malta} \quad Mc2 = 100\text{gr} \quad Tc2 = 64^{\circ}\text{C}$$

Datos

$$Cp_{\text{malta}} = 0,8 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$Cp_{\text{agua}} = 1 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$Cp_{\text{olla}} = 0,12 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$Molla = 2.4 \text{ Kg.}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = (Mc1 * Cp_{\text{agua}} * (Tc1 - Tm)) + (Mc2 * Cp_{\text{malta}} * (Tc2 - Tm)) + (Molla * Cp_{\text{olla}} * (Tf - To))$$

$$Q_{\text{cedido}} = (0,4\text{Kg} * 1 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C} * (71^{\circ}\text{C} - 64^{\circ}\text{C})) + (0,1\text{Kg} * 0,8 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C} * (71^{\circ}\text{C} - 64^{\circ}\text{C})) + (2.4 \text{ Kg} * 0,12 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C} * (71^{\circ}\text{C} - 64^{\circ}\text{C}))$$

$$Q_{\text{cedido}} = 2.8 + 0.56 + 2.016$$

$$Q_{\text{cedido}} = 5.376 \text{ Kcal}$$

Calor necesario para mantener la temperatura de la mezcla malta – agua en 71°C por 25 min.

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{ganado}}$$

Calor perdido por el mosto en 25 min. A 71°C

$$Q_{\text{perdido}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

h = calor perdido por convección

A = área del tanque

Para seleccionar una ecuación que calcule “h” debemos analizar primero el número de grashof y el número de prandtl.

$$Gr = \frac{\beta * g * L^3 * \Delta T}{\mu^2}$$

β = coeficiente de expansión térmica

g = aceleración de la gravedad

L = altura del cilindro vertical

μ = viscosidad del aire (dato obtenido interpolando en tabla 5.9a pág. 295 manual del ingeniero químico, Antonio Valiente Barderas)

$$\text{Gr} = \frac{\frac{1}{273.15} * 9.8 * 0.23^3 * (71-25)}{(15.53 * 10^{-6})^2}$$

$$\text{Gr} = 8.33 * 10^7$$

$\text{Pr} = 0.702$ (dato obtenido interpolando en tabla 5.9a pág. 295 manual del ingeniero químico, Antonio Valiente Barderas)

$$\text{Pr} * \text{Gr} = 7.05 * 10^7 * 0.702$$

$$\text{Pr} * \text{Gr} = 4.95 * 10^7$$

De acuerdo al manual de ingeniero químico, Antonio Valiente Barderas, pag.291

Para $\text{Pr} * \text{Gr}$ de 10^9 a 10^4

$$h = 1.217 * \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{0.25}$$

$$h = 1.217 * \left(\frac{71-25}{0.23}\right)^{0.25}$$

$$h = 4.5766 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{perdido}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{perdido}} = h * \pi * d * l * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

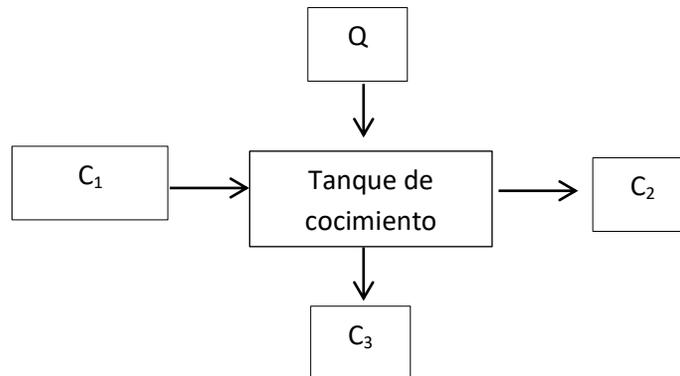
$$Q_{\text{perdido}} = 4.5766 * \pi * 0.3 * 0.23 * (71 - 25)$$

$$Q_{\text{perdido}} = 45.63 \text{ Kcal/hr}$$

$$Q_{\text{perdido}} \text{ en } 25 \text{ min.}$$

$$4.5766 \text{ Kcal} * \frac{25 \text{ min}}{60 \text{ min}} = \mathbf{11.408 \text{ Kcal}}$$

Balance en la etapa de cocimiento



C1 = mosto Tc1 = 71°C Mc1 = 686gr.

C2 = mosto amargo Tc2 = 94°C Mc2 = 468gr.

C3 = agua Tc3 = 94°C Mc3 = 218 gr.

Q = calor

Datos

$C_{p_{\text{mosto}}} = 0.9 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$

$C_{p_{\text{olla}}} = 0,12 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$

$\lambda_{\text{agua}} = 536,79 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = (Mc1 * Cp_{\text{mosto}} * (Tc2 - Tc1)) + (M_{\text{olla}} * Cp_{\text{olla}} * (Tf - To)) + (Mc3 * \lambda_{\text{agua}})$$

$$Q_{\text{cedido}} = (0,686\text{Kg} * 0.9 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} * (94^\circ\text{C} - 71^\circ\text{C})) + (2,4\text{Kg} * 0,12 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} * (99^\circ\text{C} - 76^\circ\text{C})) + (0.218 \text{ Kg} * 536,79 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{cedido}} = 14.2 + 6,624 + 117.02$$

$$Q_{\text{cedido}} = \mathbf{137.84 \text{ Kcal}}$$

Calor necesario para mantener la temperatura del mosto en ebullición por 60 min.

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{ganado}}$$

Calor perdido por el mosto en 60 min. A 94°C

$$Q_{\text{perdido}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

h = calor perdido por convección

A = área del tanque

Para seleccionar una ecuación que calcule “ h ” debemos analizar primero el número de grashof y el número de prandtl.

$$Gr = \frac{\beta * g * L^3 * \Delta T}{\mu^2}$$

β = coeficiente de expansión térmica

g = aceleración de la gravedad

L = altura del cilindro vertical

μ = viscosidad del aire (dato obtenido interpolando en tabla 5.9a pág. 295 manual del ingeniero químico, Antonio Valiente Barderas)

$$Gr = \frac{\frac{1}{273.15} * 9.8 * 0.23^3 * (94 - 25)}{(15.53 * 10^{-6})^2}$$

$$Gr = 1.25 * 10^8$$

$Pr = 0.702$ (dato obtenido interpolando en tabla 5.9a pág. 295 manual del ingeniero químico, Antonio Valiente Barderas)

$$Pr * Gr = 1.25 * 10^8 * 0.702$$

$$Pr * Gr = 8.8 * 10^7$$

De acuerdo al manual de ingeniero químico, Antonio Valiente Barderas, pag.291

Para $Pr * Gr$ de 10^9 a 10^4

$$h = 1.217 * \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{0.25}$$

$$h = 1.217 * \left(\frac{94 - 25}{0.23}\right)^{0.25}$$

$$h = 5.064 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

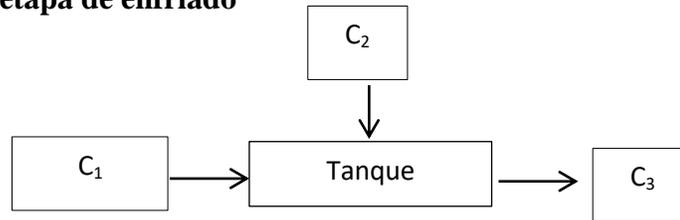
$$Q_{\text{perdido}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{perdido}} = h * \pi * d * l * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{perdido}} = 5.064 * \pi * 0.3 * 0.23 * (94 - 25)$$

$$Q_{\text{perdido}} = 75.75 \text{ Kcal/hr}$$

Balance en la etapa de enfriado



$$C1 = \text{mosto} \quad T_{c1} = 73^\circ\text{C} \quad M_{c1} = 686\text{gr.}$$

$$C2 = \text{hielo} \quad T_{c2} = -3^\circ\text{C} \quad M_{c2} = 566\text{gr.}$$

$$C3 = \text{mosto frio} \quad T_{c3} = 14^\circ\text{C} \quad M_{c3} = 686 \text{ gr.}$$

Datos

$$C_{p_{\text{mosto}}} = 0.9 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{hielo}}} = 0.499 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{olla}}} = 0,12 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

$$M_{\text{olla}} = 2.4 \text{ Kg.}$$

$$\lambda_{\text{agua}} = 79.774 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$(M_{c2} * C_{p_{\text{hielo}}} * (0^\circ\text{C} - T_{c2})) + (M_{c2} * \lambda_{\text{agua}}) + (M_{c2} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{c3} - 0^\circ\text{C})) = (M_{c1} * C_{p_{\text{mosto}}} * (T_{c3} - T_{c1})) + (M_{\text{olla}} * C_{p_{\text{olla}}} * (T_{c3} - T_{c1}))$$

$$(M_{c2} * 0.499 * (0^\circ\text{C} - (-3))) + (M_{c2} * 79.774) + (M_{c2} * 1 * (14 - 0^\circ\text{C})) = 0.686 * 0.9 * (14 - 73) + (2.4 * 0.12 * (14 - 73))$$

$$M_{c2} = 0,56\text{Kg}$$

4.4.- Evaluación sensorial.-

Se utilizó la prueba sensorial basada en la escala hedónica de 9 puntos con 8 jueces entrenados, los cuales evaluaron cada una de las muestras de cerveza.

Ver ANEXO 4.

Para esta evaluación se dio a cada uno de los atributos un porcentaje según la importancia de los mismos, el atributo sabor tuvo un porcentaje de 50%, el atributo color un porcentaje de 25% y el atributo olor un porcentaje 25%.

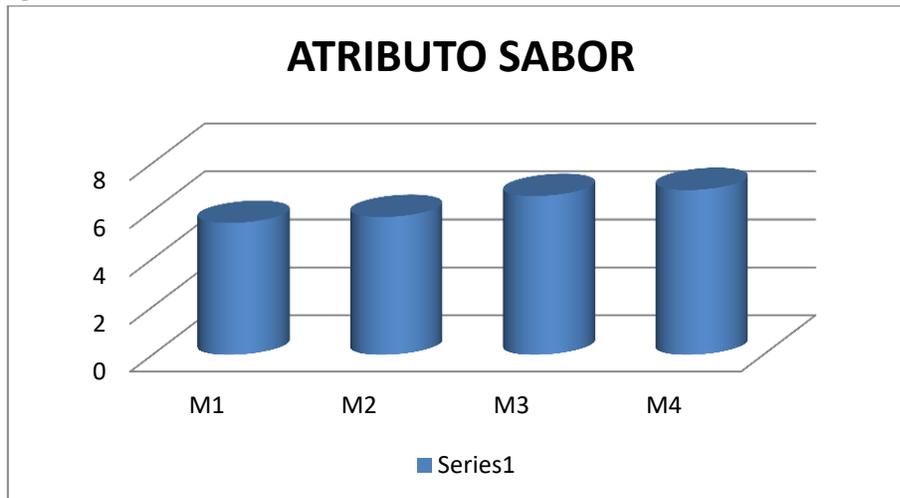
Evaluación sensorial del atributo sabor de la cerveza artesanal.-

En la tabla IV-24 se muestran los resultados de la evaluación sensorial de las muestras de cerveza artesanal obtenida.

Tabla IV-24 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO SABOR

ATRIBUTO SABOR				
JUEZ	M1	M2	M3	M4
1	5	6	8	8
2	6	7	6	7
3	6	7	7	7
4	6	5	6	6
5	5	5	6	7
6	5	6	7	7
7	6	5	6	6
8	5	5	7	7
$\sum x_i$	44	46	53	55
\bar{X}_{xi}	5.5	5.75	6.625	6.875

Fuente: Elaboración propia

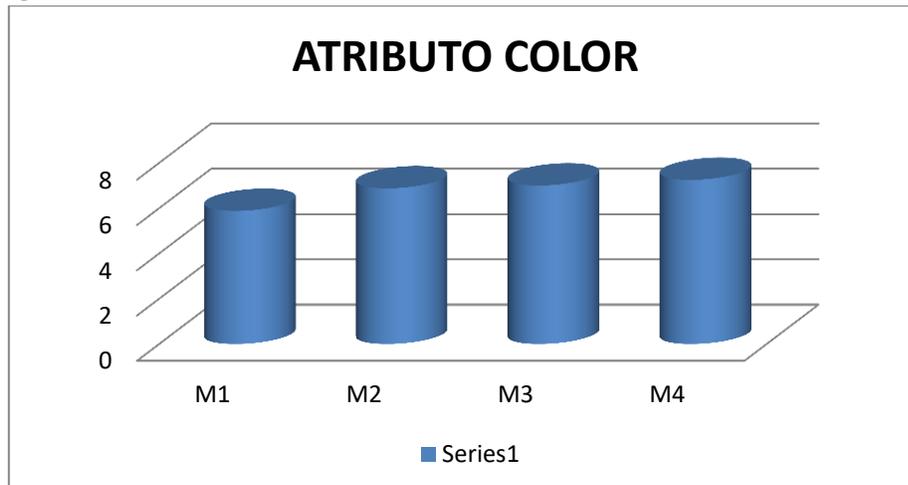
Figura IV-2 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO SABOR

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-25 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO COLOR

ATRIBUTO COLOR				
JUEZ	M1	M2	M3	M4
1	5	6	8	8
2	6	7	6	7
3	6	8	8	7
4	6	7	8	7
5	6	7	7	7
6	7	7	7	8
7	6	7	6	7
8	5	6	6	7
$\sum x_i$	47	55	56	58
\bar{X}_{x_i}	5.875	6.875	7	7.25

Fuente: Elaboración propia

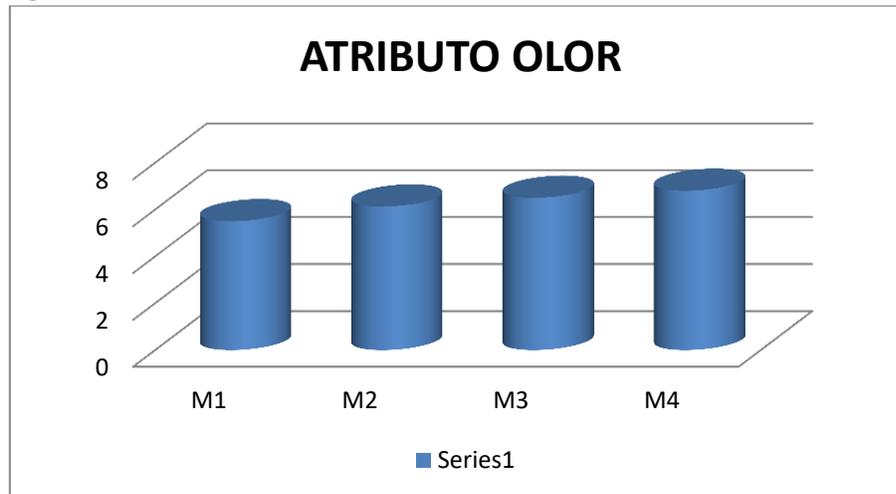
Figura IV-3 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO COLOR

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV-26 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO OLOR

ATRIBUTO OLOR				
JUEZ	M1	M2	M3	M4
1	4	6	7	8
2	6	6	6	6
3	6	7	6	6
4	6	6	7	8
5	5	6	6	7
6	6	6	7	7
7	5	6	6	7
8	6	6	7	6
$\sum x_i$	44	49	52	55
\bar{X}_{x_i}	5.5	6.125	6.5	6.875

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-4 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO OLOR

Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que la muestra con mayor aceptación en los tres atributos es la muestra 4 (10°C, 0.45gr/lit), sin embargo se puede observar que la aceptación es similar en las muestras 1, 2 y 3 sin mostrar grandes diferencias.

4.5.-Costos de elaboración del proyecto.-

Tabla IV-27 COSTOS DE MATERIA PRIMA

Materia prima	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo
Malta	7 Kg	7,6	53,2
Lúpulo	40gr.	0,38	15,2
Levadura	20gr	2,85	57
Agua	150lt.		13,2
		Total	138,6

Tabla IV-28 COSTO DE EQUIPOS Y MATERIALES

Equipos y materiales	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo
Tanque de fermentación	4	283	1132
Termómetro	1	45	45
Mangueras	2 metros	3	6
Refractómetro	1	314	314
Conservadora	2	170	340

Olla de macerado	1	700	350
Material de vidrio	5	110	110
Heladera	1	2100	2100
Cocina	1	950	950
Tela filtrante	2 metros	8	16
		Total	5363

Tabla IV-29 COSTOS EXTRAS

Extras	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo
Papel	50 hojas	0.1	5
Internet	100 horas	3	300
Impresiones	500	0,3	150
Transporte	300	1	300
Mano de obra	300 horas	20	6000
Empastados	3	60	180
análisis de laboratorio	1	100	100
		Total	7035

Tabla IV-30 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

Descripción	Cantidad	Costo (Bs)
Materias primas	4	138,6
Materiales y equipos	10	5363
Extras	7	7035
	Total	12536,6

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La caracterización de materias primas se realizó en base a los protocolos proporcionados por los fabricantes y análisis de INLASA.
- La selección de la calidad de los insumos se realiza basándose en los protocolos provistos por fabricantes e importadores.
- Se realizó el diseño de la serie de experimentos realizados, de acuerdo a plan factorial.
- Al procesar la información experimental, se identificaron y seleccionaron las variables más importantes del proceso.
- Se realizaron los balances de materia y energía en todas las etapas del proceso.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica del producto obtenido, así como también el análisis sensorial (ver ANEXO 2 y pág. 133 a 136)
- De acuerdo a los datos experimentales se puede concluir que en temas de rendimiento el mejor experimento en la etapa de macerado fue el Y12 (relación 1:7 y 2 extracciones) dando resultados más cercanos al objetivo (11°Brix).

El mejor experimento en la etapa de fermentación tomando en cuenta rendimientos fue el realizado a 14°C. De igual manera el mismo resultado ganador en el análisis sensorial.

- Los análisis realizados al producto final resultaron cumpliendo con los rangos esperados al comienzo del proyecto (Alcohol= 4,85v/v, Color = 4,3 EBC, Amargo = 14,1 IBU) y dando resultados aceptables en el análisis sensorial.
- El principal problema en el desarrollo del proyecto fue el tema del frío en la etapa de fermentación debido a que no se pudo contar con equipos automatizados que generen frío por lo tanto se tuvo que adaptar el proceso usando una conservadora con baño de hielo y controlar manualmente la temperatura.
- No se pudo realizar el análisis de la cantidad óptima de CO₂ en botella debido a que no se contó con el equipo necesario para realizarlo. La carbonatación se realizó de forma natural con una cantidad de azúcar basada en datos bibliográficos.

- No se pudo realizar un análisis del tiempo óptimo de maduración del producto final por que no fue posible contar con un panel de degustadores disponibles en distintas oportunidades para las diferentes pruebas sensoriales que requiere el análisis, siendo este el método más accesible, y sin poder contar con otros métodos de análisis de maduración. El tiempo de maduración fue de 15 días conociendo que el tiempo mínimo es de 7 días. Se decidió madurar por 15 ya que es el tiempo necesario para que la cerveza se carbonate naturalmente. Además la cantidad de cerveza producida por muestra era pequeña por lo que no fue posible realizar pruebas sensoriales cada 2-3 días para determinar la madures suficiente según panel.
- Se puede concluir que la muestra con mayor aceptación en los tres atributos es la muestra 4(10°C, 0.45gr/lit), sin embargo se puede observar que la aceptación es similar en las muestras 1, 2 y 3 sin mostrar grandes diferencias.
- se puede observar que las variables significativas del proceso de cocimiento son la relación malta – agua, el número de extracciones y la interacción relación – extracción para un nivel de confianza del 95%.
- Se puede observar que las variables significativas del proceso de fermentación son la concentración de levadura y la temperatura para un nivel de confianza del 90% mientras que la interacción levadura*temperatura no es significativa en el proceso.

Recomendaciones

- Para mejorar la calidad del producto es necesario diseñar una microplanta la cual cuente con un sistema de ductos y bombas y así evitar la contaminación del producto por levaduras salvajes, también mejoraría el tema de fermentación al poder controlar la presión generada en el proceso alcanzando mejores rendimientos
- Es necesario un sistema de frío que cuente con control automatizado para poder mantener la temperatura del tanque de fermentación constante y así mejorar los rendimientos de producción.
- Finalizando este proyecto es posible realizar un estudio de pre factibilidad para conocer si el montaje de una planta de cerveza artesanal en el departamento de Tarija puede generar ganancias económicas.
- Diseñar un sistema de inocuidad implementando BPM (buenas prácticas de manufactura) y así evitar la contaminación microbiana del producto mejorando los estándares de calidad del mismo.
- Incluir un sistema de aireación higiénica para mejorar el proceso de propagación de levaduras al inicio de la fermentación.
- Estudiar si la alternativa de carbonatación artificial por borboteo con CO₂ de grado alimenticio en lugar de la adición de azúcar cambia el sabor de la cerveza.
- Estudiar como varía el sabor de la cerveza de acuerdo al tiempo de maduración en botella.
- Realizar cultivo de levadura esterilizando con vapor de agua en una olla a presión recipientes de diferentes volúmenes donde se realizará la propagación y esterilizando el ambiente de trabajo con un mechero bunsen para evitar contaminación de la levadura por el aire.

Bibliografía

- **Sanchez A.(2011).** *Fermentación de la malta empleando un sistema semicontinuo en el proceso de elaboración de cerveza.* Tesis (ingeniero en alimentos)
Universidad Tecnológica De La Mixteca, Facultad De Ciencias Tecnológicas
Químico – Biológicas. Oaxaca (México)
- **Carvajal L. Insuasti M. (2010).** *Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*hordeum vulgare*) y yuca (*manihot esculenta crantz*). Tesis (ingeniero agroindustrial)*
Universidad Técnica Del Norte, Facultad De Ingeniería En Ciencias Agropecuarias Y Agroindustriales Y Ambientales. Ibarra (Ecuador)
- **Fernández M. Romero J. (2010).** *Estudio de factibilidad para instalar una planta elaboradora de cerveza.* Tesis (Ingeniero Industrial)
Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria De Ingeniería Y Ciencias Sociales Y Administrativas. Distrito Federal (México)
- **Kunze W. (2006).** *Tecnología Para Cerveceros Y Malteros.*
Editorial: VLB Berlin. Berlin (Alemania).
- **Palmer J. ().** *How To Brew*
Editorial: Brewers Publications. Colorado (USA)
- **Valiente A. (1993).** *Manual del ingeniero químico*
Editorial: Limusa (Mexico).
- **Club de cervezas del mundo (2014).** *Tipos de cerveza.* [Artículo en línea]. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Disponible en: <http://www.cervezasdelmundo.com/pages/index/tipos-de-cerveza>
- **Luisa de la Borda (2012).** *Cerveza ale o cerveza lager.* [Artículo en línea]. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Disponible en: <http://www.imujer.com/gourmet/3332/cerveza-ale-o-cerveza-lager>
- **Pablo Gigliarelli (2004).** *Malteado.* [Artículo en línea]. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Disponible en: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=335>

- **Pablo Gigliarelli (2004).** *Teoría del macerado.* [Artículo en línea]. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Disponible en: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=335>
- **Cervezomicon (2017).** *Carbonatación, teoría de la recarbonatacion en botella* [Artículo en línea]. Fecha de consulta : septiembre 2017

Disponible en: <https://cervezomicon.com/2017/03/13/carbonatacion-teoria-de-la-refermentacion-en-botella/>
- **La carta de cervezas (2016).** *Enfriamiento del mosto.* [Artículo en línea]. Fecha de consulta: junio de 2016.

Disponible en: <http://lacartadecervezas.com/enfriamiento-del-mosto-de-nuestra-cerveza-artesanal/>
- **Birrocracia (2015).** *Fermentación primaria, secundaria, choque frio, priming, carbonatación y maduración* [Artículo en línea]. Fecha de consulta: agosto 2017

Disponible en: <https://birrocracia.wordpress.com/2015/03/28/fermentacion-primaria-secundaria-choque-frio-clarificado-priming-carbonatacion-y-madurado-que-lio/>