

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



“Evaluación del proceso de sacarificación de malta de cebada por pulsos eléctricos para la elaboración de cerveza”

Por:

ALEV LEE DE LA CRUZ PIÑA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

POR:

Alev lee de la Cruz Piña

TESIS

“Evaluación del proceso de sacarificación de malta de cebada por pulsos eléctricos para la elaboración de cerveza”

Que se somete a consideración del H. jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Director


Dr. Armando Robledo Olivo

Asesor


Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor


Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Asesor


M.C. Sarahí del Carmen Rangel Ortega


Dr. José Dueñez Alanís

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



SALTILLO, COAHUILA

DICIEMBRE DEL 2019

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

Yo, Alev Lee de la Cruz Piña. Alumno de la carrera de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos con matrícula 41146705 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro declaro bajo juramento que el siguiente trabajo es de mi autoría.

Tengo el conocimiento que el plagio académico forma parte de un delito que está penado en el país.

La información contenida en este formato, fue debidamente utilizada para este trabajo y claramente citadas, reconociendo la autoría de las fuentes originales.

Durante el análisis e interpretación de la información de los autores fue redactada según su forma y juicio. Por tal forma no se recurrió al “copiado y pegado” de información útil para esta tesis.

Asumo la responsabilidad sobre los derechos de autor, de la información citada y moldeada, han sido utilizados de manera considerada y no se les ha dado mal uso.

Hago conciencia que las sugerencias y funciones brindadas por el comité de asesoría está determinado a la planeación de la metodología utilizada para la investigación de este proyecto. Por lo tanto absuelvo de toda la responsabilidad relacionada al plagio académico a mi comité de asesores y acepto que cualquier responsabilidad es solamente sobre mí.

Atentamente



ALEV LEE DE LA CRUZ PIÑA

DEDICATORIA

El amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban mis padres por mi formación en este proyecto de tesis, es único y se refleja en la vida de un hijo.

A ustedes mis padres, Alejandro de la Cruz López y Eva Piña Albarrán les dedico este proyecto. Gracias por ser los principales generadores de mis sueños.

Esta satisfacción con la que ahora me siento, no hay palabras que describan cuan agradecido estoy por siempre creer en mí. A mi madre, tu afecto y cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de salir adelante. Tu su siempre incondicional atención, no solo hacia mi sino a mis hermanos. A mi padre por siempre anhelar y desear lo mejor para mí. Su apoyo siempre fue inmenso y la motivación enorme para poder concluir con éxito este proyecto.

A mis hermanos, Cristina, Jeshua y Bair que siempre se preocuparon por mí y mi formación, por siempre estar presentes y atentos a lo que hacía. A ellos que siempre aportaron buenas cosas y que nunca me hicieron sentirme sólo en este transcurso de tiempo invertido en este proyecto.

A Brenda Martínez Mancilla, tu apoyo siempre ha sido fundamental desde que te conocí. Haz estado conmigo en momentos buenos e incluso en períodos turbulentos. Este proyecto no fue fácil, pero con tu ayuda y motivación siempre hasta donde tus alcances lo permitían me fue más fácil la formación de tesis. Siempre estarás en mente y alma.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.

Al forjador de mi camino, al ser celestial, al que me acompaña y el cual me levanta siempre de cada tropiezo, al creador, de mis padres y de las personas que más amo, con mi más sincero amor.

A MI ALMA TERRA MATER

La vida se encuentra repleta de retos, y uno de ellos es la universidad. Tras verme dentro de ella, que más allá de ser un reto, es una base para mi formación, no solo como estudiante, sino como componente de la sociedad y que concierne en mi vida a futuro.

Le agradezco a mi institución por acogerme entre sus brazos llenándome día tras día de diversos sentimientos, buenos y otros no tantos, pero que uno a uno fue forjando mi pasión por ella. Además de dotarme de conocimientos y valores que me llevo a transmitir a la gente que me rodee en adelante.

A MIS PROFESORES

Personas con gran sabiduría que se han esforzado por ayudarme a llegar en el punto en el cual me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso, pero con su alto aporte que brindan, no solo a los alumnos, también a la facultad, logran ser los cimientos de la formación de tantos estudiantes que llegan a la universidad para cumplir sus sueños.

A MI ASESOR PRINCIPAL

Al Dr. Armando Robledo Olivo, por ser el guía a lo largo de este proyecto. Por su paciencia, es cierto que esto se tornó algo difícil, pero con su aporte esto fue un tanto más fácil, gracias por ser pieza clave en el logro de un sueño fundamental para mí.

Que dios lo bendiga a usted y sus seres queridos para que le permita seguir apoyando a estudiantes de la UAAAN.

A MIS AMIGOS

A todos aquellos amigos con los que me hicieron esta estancia en Saltillo más fácil, a ustedes les deseo siempre lo mejor, sepan que los quiero y siempre los llevare a donde valla. A los compañeros de trabajo de investigación del laboratorio de fermentaciones, que aportaron conocimientos y me brindaron apoyo cuando lo necesite, a ellos que estimo y admiro.

CONTENIDO

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA.....	II
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
Resumen.....	XI
Abstract.....	XIII
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Importancia de la producción de cerveza en México.....	1
2. Justificación	2
3. Hipótesis	3
4. Objetivos	3
4.1. General.....	3
4.2. Específicos	3
5. ANTECEDENTES	4
5.1. Historia y definición de cerveza.....	4
5.2. Tipos de cervezas	5
5.3. CLASIFICACIÓN DE CERVEZAS Y COMO SE ELABORAN	5
5.3.1. Variedades tipo lager	5
5.3.2. Variedades de cerveza tipo Ale.....	8
5.4. MATERIAS PRIMAS PRINCIPALES EN LA ELAVORACION	12
5.4.1. Descripción del grano de cebada.....	12
5.4.2. Composición química.....	13
5.4.3. Composición de azúcares presentes en la malta.....	14
5.4.4. Lúpulo	15
5.4.5. Levadura	16
5.4.6. Agua	16
5.5. Proceso de malteado	16
5.6. Principales reacciones de la sacarificación en la industria cervecera	18
5.6.1. Reacción de Maillard.....	18
5.6.2. Caramelización	19

5.6.3.	Pérdida de antioxidantes provenientes de la malta y el lúpulo	19
5.6.4.	Productos indeseables del proceso de sacarificación (furfurales y toxinas).	20
5.6.5.	Biomasa lignocelulosica	21
5.7.	Principales técnicas de sacarificación en la industria cervecera	21
5.7.1.	Pre-tratamiento térmico	21
5.7.2.	Calentamiento óhmico o pulsos eléctricos	22
5.7.3.	Ventajas del calentamiento óhmico	22
5.7.4.	Factores que afectan el calentamiento óhmico	23
5.7.5.	Conductividad eléctrica.	24
5.8.	Fermentación alcohólica, describiendo la ruta metabólica	24
6.	MATERIALES Y METODOS	27
6.1.	Determinación de tamaños de partícula de la malta.....	27
6.2.	Extracción de compuestos antioxidantes del grano de malta puro	27
6.3.	Determinación de azúcares reductores	28
6.4.	Optimización del proceso de cocción de malta	28
6.5.	Proceso de optimización de cocción convencional de la malta para fermentación.....	29
6.6.	Validación de la optimización del proceso de cocción convencional de la malta para fermentación.....	30
6.7.	Proceso de cocción de la malta por método óhmico	31
6.8.	Proceso de fermentación de las muestras	31
6.9.	Cálculo de pH durante la fermentación.....	32
6.10.	Cuantificación de grados brix durante la fermentación	32
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
7.1.	Capacidad antioxidante	36
7.2.	Grados brix	37
7.3.	pH.....	38
7.4.	Porcentaje de alcohol	38
8.	CONCLUSIONES.....	40
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de la elaboración industrial de la cerveza..	12
Figura 2. Diagrama de flujo de las operaciones unitarias del malteado de cebada.	18
Figura 3. Reacción global de la fermentación alcohólica..	25
Figura 4. Ruta glucolítica de Embden Meyerhof Parnas para el metabolismo de la glucosa.....	26
Figura 5. Contenido de azúcares totales y azúcares reductores de los tratamientos experimentales de cocción convencional de la malta.....	34
Figura 6. Contenido de azúcares totales y azúcares reductores de los tratamientos experimentales de cocción por el método óhmico de la malta.	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición estructural de grano de cebada cervecera.....	13
Cuadro 2. Composición química de granos de cebada cervecera con un 14% de agua.....	14
Cuadro 3. Tratamientos generados a partir de un diseño experimental, para la cocción de malta de trigo.	29

RESUMEN

La elaboración de cerveza a nivel industrial es una de las principales actividades importantes de la producción a nivel nacional. La alta demanda lleva a tomar diversos factores para su elaboración, sin embargo, el principal problema radica al momento de la sacarificación.

Es importante dar profundidad al tema del malteado para así aportar conocimientos que logren obtener resultados favorables, disminuyendo los tiempos de sacarificación, e incrementando los valores de azúcares generados.

El calentamiento óhmico es un proceso en el que se usa energía eléctrica, por medio de pulsos eléctricos para calentar alimentos como método de preservación, esterilización, deshidratación y como tal, puede ser utilizado para inactivación microbiológica.

En este proyecto se llevó a cabo el estudio de proceso de sacarificación por medio de pulsos eléctricos para después hacer la cuantificación de azúcares reductores por medio de DNS. Aplicando esta metodología de investigación creemos que al llevar a cabo el proceso de calentamiento óhmico sobre la malta de cebada se incrementarán los azúcares fermentables disponibles para la fermentación alcohólica con mayor cantidad que con el método convencional.

Se llevó un proceso de fermentación por método convencional y por método óhmico, en donde se evaluarán la cuantificación de azúcares reductores, amilosa, glucosa y cuantificación de compuestos fenólicos por método DPPH.

Se realizó la estandarización y optimización de la sacarificación de malta de cebada por el método de calentamiento óhmico, utilizando un diseño de tipo Taguchi, en el cual nos arrojaba los niveles más altos con los que se podrían trabajar en la optimización de azúcares reductores.

Se llevó a cabo la fermentación para la elaboración de una cerveza empleando ambos procesos de sacarificación.

Se tomó en cuenta este método de sacarificación por pulsos eléctricos como una alternativa para sustituir el método convencional debido a las reacciones que se producen con el método convencional, como la reacción de Maillard y producción de furfurales.

Palabras clave:

Calentamiento óhmico, azúcares reductores, compuestos fenólicos, furfurales.

ABSTRACT

The brewing at industrial level is one of the main important activities of the production at national level in México. The high demand leads to take various factors for its preparation; however, the main problems lie at the time of saccharification.

It is important to give depth to the issue of malting in order to provide knowledge that achieves favorable results, reducing saccharification times, and increasing the values of sugars generated.

Ohmic heating is a process in which electrical energy is used, by means of electrical pulses to heat food as a method of preservation, sterilization, and dehydration and as such, it can be used for microbiological inactivation.

In this project the study of saccharification process was carried out by means of electric pulses and then quantification of reducing sugars by means of DNS. Applying this research methodology, we believe that when carrying out the ohmic heating process on barley malt, the fermentable sugars available for alcoholic fermentation will be increased in greater quantity than with the conventional method.

A fermentation process was carried out by conventional method and by ohmic method, where the quantification of reducing sugars, amylose, glucose and quantification of phenolic compounds by DPPH method were evaluated.

The standardization and optimization of the saccharification of barley malt was carried out by the ohmic heating method, using a Taguchi type design, in which we were shown the highest levels with which we could work on the optimization of reducing sugars.

Fermentation was carried out to make a beer using both saccharification processes.

This method of saccharification by electric pulses was taken into account as an alternative to replace the conventional method due to the reactions that occur with the conventional method, such as the Maillard reaction and furfural production.

Keywords:

Ohmic heating, reducing sugars, phenolic compounds, furfurals.

1. INTRODUCCION

1.1. Importancia de la producción de cerveza en México

La elaboración de cerveza a nivel industrial es una de las principales actividades más importantes de la producción manufacturera a nivel nacional en México. Es por ello por lo que las empresas cerveceras realizan alternativas mes con mes para tener mayor producción con mayor eficiencia, al menor costo y tiempo, para abastecer la demanda del consumidor no solo en el país, sino en todo el mundo.

Las fermentaciones son procesos metabólicos de las levaduras y de bacterias que transforman compuestos químicos orgánicos, principalmente azúcares, en otras sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico y ácido butírico.

Estos procesos de fermentación han sido utilizados por el hombre desde hace miles de años, con el fin de preservar los alimentos y para producir bebidas y comestibles con sabores, texturas y aromas específicos que no pueden producir el hombre por sí mismo, como el yogur, quesos, cerveza, vinos, panes y encurtidos.

Es por ello por lo que la elaboración de cerveza es un arte, ya que cada operación unitaria que se realiza debe ser con sumo cuidado. Por lo tanto, es un proceso complejo en el cual intervienen diferentes factores que se tienen que tomar en cuenta para poder obtener un producto deseado.

Tanto en México, como en el resto del planeta, la industria cervecerera ha incrementado la demanda de producción. Muchas veces llegan a tener problemas, principalmente al momento de sacarificación, como la caramelización de la malta, o la llamada reacción de Maillard que produce formaciones no deseadas al momento de obtener la malta.

Es importante conocer y dar profundidad al tema del malteado para así aportar conocimientos que logren el crecimiento de empresas pequeñas que quieran independizarse, al igual que obtener mayores ganancias, sin consumir a las grandes empresas malteadoras.

2. JUSTIFICACIÓN

Desde hace varios años se observa y manifiesta un incremento significativo en la producción de esta bebida, no solo en México, sino a nivel mundial. Principalmente la población que degusta de una cerveza, lo hace con el fin de pasar un momento agradable con amigos, de relajarse después de una jornada de trabajo, o simplemente durante una comida.

En un consumo apropiado puede dar aportes benéficos a la salud que poseen algunas materias primas como la cebada y el lúpulo. Es una bebida rica en azúcares que además tiene alto contenido de compuestos fenólicos además de algunas vitaminas presentes como la riovflavina y algunos minerales como fósforo y hierro.

Pero pocas son las personas que tienen el conocimiento del contenido de lo que consumen o las reacciones que puede llegar a producir algunas sustancias presentes en la bebida y lo perjudicial que puede llegar a ser durante su consumo, o simplemente no cuentan con las características esperadas del consumidor. Esto principalmente debido a la manufactura empleada en las empresas que se dedican a la producción de cerveza.

Es debido a esto que surge el interés de identificar las operaciones unitarias de la elaboración de este producto e identificar los principales problemas que se presentan en la producción.

El principal factor que impacta a los consumidores es que no se cuente con las características que esperan de una bebida de este tipo. De ahí se desencadenan inicialmente en la sacarificación del grano de cebada, esto debido a la los tratamientos de malteado que llevan y se pueden generar diversos problemas que afectan a la al grano, como que el tostado es mayor de lo normal y se pierden mayor cantidad de azúcares disponibles para fermentación.

De ahí surge el interés en alguna actividad del sector que pueda contar con la posibilidad de desarrollar otras formas rentables. El calentamiento óhmico siendo un método de tratamiento térmico surge como una alternativa que podría convertirse en una herramienta aplicable para desarrollo a nivel industrial generando resultados mejorables y mayor optimización de la producción.

3. HIPÓTESIS

Al llevar a cabo el proceso de calentamiento óhmico sobre la malta de cebada se incrementarán los azúcares fermentables disponibles para la fermentación alcohólica con mayor cantidad que con el método convencional.

4. OBJETIVOS

4.1. General

El objetivo general fue comparar el grado de sacarificación, en azúcares reductores y azúcares totales, utilizando los métodos de calentamiento térmico convencional por flama y calentamiento óhmico por pulsos eléctricos.

4.2. Específicos

- Evaluar la sacarificación de la malta por el método convencional.
- Cuantificar antes y después del proceso: Azúcares totales y reductores, amilosa, glucosa, capacidad antioxidante.
- Estandarizar y optimizar la sacarificación de malta de cebada por el método de calentamiento óhmico.
- Realizar la fermentación para la elaboración de una cerveza empleando ambos procesos de sacarificación.

5. ANTECEDENTES

5.1. Historia y definición de cerveza

La cerveza es una de las bebidas más antiguas en el planeta según (Krammer, 2017). Los pioneros en la elaboración de esta bebida fueron los sumerios hace aproximadamente 9,000 años en la región que hoy ocupa Irak.

Los interminables intercambios culturales y comerciales llevaron esta bebida a Egipto, donde comenzó a ser elaborada con cebada en lugar de trigo que era como se elaboraba originalmente. Fue tan grande la aceptación de esta bebida por el pueblo, que se decía que la divinidad de Osiris había enseñado al hombre a producir tan preciada bebida.

La cerveza es una bebida que deriva del producto de la fermentación alcohólica, aplicando una levadura seleccionada a partir de los granos de cebada malteados y sazonada con lúpulo, que contiene alto contenido de carbohidratos.

Los principales atributos y características que tiene son el nivel amargo, dependiendo de la variedad de cerveza. El color, que también varía la tonalidad de acuerdo con el tipo de cerveza. De igual forma el espumado es un factor importante.

Contiene un 95% de agua y una amplia variedad de especies químicas con distintas propiedades. Los componentes aromáticos que componen el amargor en la cerveza son los iso- α -ácidos, aceites esenciales del lúpulo, ésteres, ácidos, compuestos de azufre, dicetonas de la levadura, etc., mientras que el color se debe a productos de reacción Maillard durante el proceso de elaboración en el secado de la malta. La espuma de la cerveza depende de la presencia de dióxido de carbono, sustancias en superficie como polipéptidos anfipáticos de la malta y sustancias amargas del lúpulo. (Díaz, 2013).

Hoy en día el termino cerveza, hace una expresión a una bebida a la que se le añade lúpulo, fabricada con levaduras altas, estas quedan en el espumado de la cerveza. Como a aquellas otras bebidas de malta a las que se añada lúpulo y son

fermentadas con levaduras bajas. Las levaduras bajas son aquellas que al final de la fermentación se hunden y van al fondo. (Hough, 1990)

5.2. Tipos de cervezas

Según el tipo de fermentación, las cervezas se dividen en dos grandes grupos: Lager (de baja fermentación), y Ale (las de alta fermentación), en las que se incluyen también las de fermentación espontánea.

No obstante, se trata de una división demasiado genérica, por lo que normalmente se denominan lager, a las cervezas que no tienen ninguna otra característica especial.

Por lo general, las cervezas lager son ligeras, claras, con bastante gas y una graduación moderada. También suelen ser muy refrescantes. Las Ale, en cambio, son menos habituales, aunque en Reino Unido y el centro de Europa son las más populares. Se trata de cervezas más oscuras, espesas y con poco gas. Suelen tener mayor graduación y un sabor mucho más intenso, en el que se nota más el cereal.

5.3. CLASIFICACIÓN DE CERVEZAS Y COMO SE ELABORAN

5.3.1. Variedades tipo lager

Dentro de los dos principales tipos de cerveza que existen, son tantas las formas de preparación de las grandes empresas y los pequeños productores que tanto el tipo Lager y Ale existen muchas variedades. Según (González, 2017) da conocer principalmente las más reconocidas de la variedad Lager:

5.3.1.1. *Estilo Pilsner*

Con entre 3° y 5° grados de alcohol, un sabor ligero y fresco, pero al mismo tiempo intenso, la cerveza estilo Pilsner o también llamada pils o pilsener cuenta con características muy especiales.

Principalmente la apariencia; debe contar con un tono que vaya del *Pale* dorado al naranja oscuro, con una densa corona de color blanco cremoso que sea capaz de durar una buena cantidad de tiempo.

El aroma es limpio cuenta con una rica sensación a malta. Los lúpulos contribuyen a notas especiales, e incluso, puede haber ligeros tonos de diacetilo, pero sin ésteres frutales. Si el diacetilo está presente brindará una sensación más completa; de otro modo, será de cuerpo medio con carbonatación media.

Su sabor se caracteriza por ser complejo, con tonos a malta, acompañados por lo especiado del lúpulo, un amargor notable y un acabado limpio y sin ésteres afrutados destacados. (Kegeator, 2017).

5.3.1.2. *Estilo Bock*

Creada en Alemania, esta presenta todo el sabor de la malta, el cual inmediatamente se puede percibir como en ningún otro estilo. Estas tienen una baja fermentación, usualmente son de color ámbar o café oscuro y escasamente lupulosas, Estas llegan a presentar entre un 6° y 7.5° por ciento de alcohol.

Dentro de esta variedad existen algunas sub variedades pero no hay diferencias tan significativas entre ellas; existe la Deppelbock, estas son muy complejas ya que no cuentan con aroma y sabor a lúpulo, el estilo se puede atribuir a su malta Múnich y a su método de elaboración ya que las maltas Múnich son oscurecidas a partir de un horneado extra, lo que las hace menos fermentables, resultando en un mosto con mayor cuerpo, además de que su fermentación es lenta y puede tener entre 7° y 9.6° de alcohol.

Existe otra variedad de las Bock llamada Helles Bock y Maibock. Estas son elaboradas en invierno y abiertas en la primavera. Pueden ir de color dorado hasta un ámbar muy claro. Se utilizan maltas claras para su elaboración, lo que las hace relativamente nuevas. Este tipo de malta no estuvo disponible en Europa sino hasta finales del siglo XIX, cuando hubo más avances tecnológicos, estas tienen un aroma muy fresco y mayor balance debido a la cantidad de lúpulo que se le agrega. Las Helles Bock son de color dorado y las Maibock tienden a presentar una tonalidad ámbar.

Las Eisbock es una variedad más de las Bock. Es una cerveza fuerte que adquiere tal característica al enfriarse demasiado. Ya que solo la parte de agua se

congelará a una muy baja temperatura, la cerveza se concentra con la remoción de hielo. Es de color oscuro y un sabor maltoso, además de que tiene 10° de alcohol. (Beer, 2018).

5.3.1.3. *Estilo Draft*

Esta es una cerveza de tipo Lager, suave y fácil de beber. De contenido alcohólico moderado, solo 4.7° de alcohol y combinado con su punto amargo, hacen que esta cerveza sea una de las más refrescantes dentro de su segmento. Utiliza en su proceso de elaboración un tipo de cebada denominada Spring, que hace posible el proceso propio de filtrado a baja temperatura. Al utilizar burbujas de mayor densidad, la espuma se vuelve mucho más duradera y cremosa.

5.3.1.4. *Estilo Märzen*

Cerveza alemana tipo amber lager, maltosa y elegante, con un sabor pleno y limpio a pan y ligeramente tostado. De amargor moderado y con un final seco que anima a tomar otra, la impresión general a malta es suave, elegante y compleja, con un retrogusto rico que nunca resulta ni empalagoso ni intenso. Llega a tener entre 5.8° y 6.3° de alcohol.

Tiene un aroma de intensidad moderada a malta germana, usualmente con reminiscencias a pan y a torrefacto y unas notas de corteza de pan. El aroma a lúpulo es inexistente. Asimismo, los olores a maltas caramelo o con notas a galleta son inapropiados. Es cierto que puede percibirse ligeramente el alcohol, pero nunca debería ser un aroma demasiado marcado.

Su apariencia es ámbar anaranjado al cobre rojizo, una Märzen tiene una claridad brillante, con una capa de espuma persistente, blanquecina y esponjosa.

El sabor a malta inicial a menudo sugiere dulzura, pero el acabado es entre moderadamente seco. El complejo y único carácter maltoso a menudo incluye notas a pan y tostado. El amargor procedente del lúpulo es moderado, a pesar de que su sabor sea de bajo a imperceptible. Los lúpulos, sin embargo, otorgan a la cerveza el equilibrio suficiente para que no predomine el dulzor de la malta.

De cuerpo medio, esta cerveza tiene una textura cremosa que a menudo sugiere una sensación plena en boca. Su carbonatación es media, y puede transmitir una sensación ligeramente cálida. (Newsleteller, 2017).

5.3.1.5. *Estilo Rauchbier*

También conocida como Cerveza Ahumada es un estilo tradicional de cerveza alemana que tiene sus orígenes en el siglo. XV, en la región de Franconia y la ciudad de Bamberg.

Esta cerveza se distingue por que las maltas se secan en una fogata con leña de árboles, lo que le da una esencia ahumada única. Su sabor es robusto, asertivo, especiado y evoca a una carne asada al vapor. Su color por otro lado es café rojizo, mientras que su aroma es fuerte y recuerda a las carnes frías.

La cerveza no es para todos los gustos, de hecho, algunos ni siquiera la pueden probar debido a su fuerte sabor, pero para otros, se trata de un estilo intrigante y complejo que requiere de entrenamiento en las papilas gustativas.

5.3.2. Variedades de cerveza tipo Ale

Las cervezas tipo Ale son fermentadas con un tipo de levadura que trabaja a temperaturas más altas, usualmente cerca de los 21°C, la levadura del tipo Ale trae un rango de sabores complejos entre frutales o condimentados y a diferencia de muchas levaduras para Lagers, estas producen una mezcla de alto contenido de alcohol. Y ya que estas no requieren de refrigeración es un tipo de cerveza popular entre los que fabrican su cerveza en casa.

5.3.2.1. *Pale Ale*

Estas son elaboradas con una gran proporción de maltas pálidas o pale malt pero a pesar de ello pueden variar en el color desde el dorado profundo hasta el ámbar.

Las tres categorías de cervezas pale-ale's más conocidas de este estilo son: english pale ale, india pale ale (IPA), y american pale ale (APA).

English pale ale es una categoría que incluye todas las cervezas amargas de la nación inglesa. A pesar de ello, algunos fabricantes establecen una sutil diferencia

entre las cervezas english pale ale y las bitter asegurando que las primeras poseen un mayor nivel de ésteres, así como una carbonatación superior y una espuma de alta persistencia.

La IPA fue desarrollada por los cerveceros británicos en un intento de crear una cerveza que soportara el largo viaje hasta su colonia en India. Para ello concibieron una versión de sus cervezas brown ale, porter y stout caracterizada por un elevado contenido de amargor y alta graduación.

El color de la cerveza IPA puede variar de un dorado claro a un ámbar rojizo. Lo cierto es que resulta casi imposible sorber el primer trago de esta cerveza sin fruncir el ceño.

En 1980 la cervecería *Sierra Nevada Brewing Company*, de Estados Unidos, crea la categoría APA, la cual viene a ser una adaptación americana de las pale ale's inglesas, pero en ella se han sustituidos los ingredientes originales, como el lúpulo, la malta y la levadura, por componentes que proceden de Norteamérica.

Estas cervezas muestran con frecuencia un color más claro y un menor gusto a caramelo que la contraparte inglesa. Suelen ser reconocidas como las más representativas de las cervezas artesanales estadounidenses. (González, 2017).

5.3.2.2. *Lambic*

Es un estilo elaborado solo en Bélgica, específicamente en la ciudad de Leembek, de donde deriva su nombre. Cuatro características básicas definen este estilo:

- 1) Ser elaboradas mediante fermentación espontánea (sin añadir levadura).
- 2) El proceso de fabricación dura varios años.
- 3) En lugar de ser aromatizadas con lúpulos se emplean frutas.
- 4) Se utiliza hasta un 40% de trigo crudo (sin maltear) en su producción.

A partir de la cerveza lambic básica se elaboran ciertas variedades que son bastante conocidas y muy apreciadas en todo el mundo. Entre ellas cabe mencionar las cervezas gueuze, fano y kriek. (González, 2017).

5.3.2.3. *Barley*

También conocido como vino de cebada. Aunque tiene su origen en la Inglaterra del siglo XIX, es hasta 1903 cuando se le identifica con este nombre.

Su alta graduación (8-12%) y su conservación en barrica durante meses o años, es considerado por algunos más un vino que una cerveza, si bien hasta ahí llega la semejanza. Las cervezas de este estilo muestran una gran complejidad y mucho aroma, así como un dulce sabor. También pueden ser percibidas en ellas ciertas notas afrutadas provenientes de las levaduras particulares empleadas en su elaboración. El color puede pasar por el dorado, el ámbar y el marrón oscuro, frecuentemente con reflejos rojos. La corona suele ser poco densa y de baja retención. (González, 2017).

5.3.2.4. *Porter*

Este estilo se originó en Londres alrededor de 1722. Debido a sus cualidades nutritivas, llegó a convertirse rápidamente en la bebida preferida de los estibadores portuarios. De ahí proviene su nombre, que en inglés significa maletero o cargador.

En la era moderna, y con el predominio de las lager claras y brillantes, la cerveza porter tuvo una cierta decadencia, llegando casi a su desaparición. Afortunadamente a partir de década de 1980 el estilo resurgió y hoy goza de una gran popularidad entre los cerveceros artesanales, especialmente en los Estados Unidos.

El Beer Judge Certification Programa (*BJCP*) estima tres categorías para el estilo porter. Éstas son brown porter, robust porter y baltic porter.

La cerveza brown *porter* posee un color marrón casi negro. En boca muestra moderada cantidad de alcohol y notas torrefactas. Algunas versiones usan un alto porcentaje de malta brown, mientras que otros utilizan pequeñas cantidades de malta chocolate y otros granos oscuros.

Robust porter tiene características similares a la anterior, pero algo más corpulenta y con mayor presencia de aromas a granos tostados y chocolate. Espuma marrón claro con relativa buena retención. Los lúpulos y las levaduras empleadas suelen ser de origen inglés, pero en ocasiones pueden ser utilizadas las americanas.

La *Baltic porter* es una variante del estilo porter inglés que fue acogida por los cerveceros de la región báltica, con la gran diferencia que éstos la fermentan como una lager. Posee una relativa alta graduación (7.0-8.5 %), mostrando el carácter de las cervezas oscuras ricas en aromas de malta y chocolate, pero con una mínima presencia de notas torrefactas. (González, 2017).

5.3.2.5. *Stout*

La característica más resaltante de las cervezas stout reside en el grado de tostado extremo de las diversas maltas de cebada empleadas en su elaboración. La mayoría alcanza un color negro intenso, con una espuma densa y cremosa. El aroma muestra intensas notas de chocolate mientras que en boca se perciben robustas, complejas y aterciopeladas. La variabilidad de este estilo es tan amplia que ha dado origen a la serie de categorías más grande conocida dentro de la familia de las Ale (González, 2017).

5.4. MATERIAS PRIMAS PRINCIPALES EN LA ELAVORACION

En la (Figura 1). Muestra de manera general las operaciones unitarias que se realizan en la producción de cerveza a nivel industrial. (Enrique, 2013).

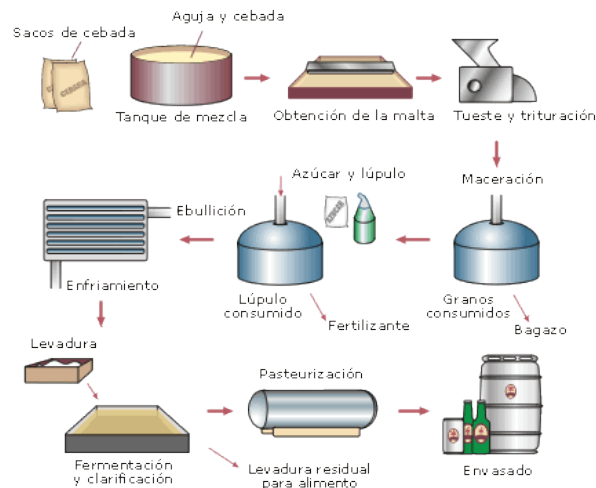


Figura 1 Diagrama de flujo de la elaboración industrial de la cerveza. (Enrique, 2013).

5.4.1. Descripción del grano de cebada

Navarro (2018) cita que el grano de cebada es parte de un fruto denominado cariósido, en el cual las paredes del ovario (pericarpio) y cubierta seminal (testa), están estrechamente unidas, siendo generalmente inseparables; el fruto, por lo tanto, es de carácter indehiscente.

El grano está compuesto por pericarpio, endospermo y embrión, el cual está localizado en la parte dorsal del mismo, su color puede ser crema, blanco, negro, rojo o azul; los últimos colores son resultados de pigmentos de antocianinas.

El grano de cebada está compuesto por la cascarilla y el fruto. El fruto está formado por el pericarpio y la semilla: El pericarpio es la envoltura de la semilla, la cual está formada por una capa de aleurona (integrada por enzimas y proteínas), el endospermo (el cual es una masa de almidón) y el embrión (una planta en potencia que se desarrolla al germinar).

La cascarilla adherida al pericarpio es lisa y de tamaño variable. La plega cubre el lado ventral del grano y tiene un pliegue que abre en forma de V en diversa proporción a partir de su base. La raquilla es una pequeña estructura, parecida a

un tallo con vellosidades, que está adherida a la base en el exterior del grano por el lado ventral (Ledezma, 1999).

Existen dos variedades de cebada; cebada cervecera o de dos carreras (*Hordeum distichum*) que presenta dos hileras de semillas, y la cebada de seis carreras (*Hordeum dextrastichum*) con seis hileras de semillas.

La variedad de dos carreras es más apta para la elaboración de la cerveza porque produce más azúcares fermentables y tiene menos proteína.

La ventaja de la variedad de seis carreras para grandes fabricantes cerveceros es que convierte más que su propio peso de grano sin maltear, como el maíz o el arroz, pero requiere maquinaria de filtración, ya que presenta problemas de clarificación por su contenido en proteína. (Díaz, 2013).

5.4.2. Composición química

Estructuralmente el grano de cebada está constituido por cascarilla, cubierta de semilla, capas aleurónicas, embrión y endospermo almidonoso en las proporciones que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición estructural de grano de cebada cervecera. (Ledezma, 1999).

Cascarilla	14%
Cubierta de la semilla	5.5 a 6.5%
Capas aleurónicas	11 a 13%
Embrión	2.5 a 4%
Endospermo Almidonoso	65 a 68%

La composición química es variable ya que depende principalmente de la variedad y del contenido de humedad del grano, en el cuadro 2 se hace referencia a una cebada tipo cervecera.

Cuadro 2. Composición química de granos de cebada cervecera con un 14% de agua. (Ledesma, 1999).

Proteínas	10.5%
Grasas	2.1%
Celulosa	4.5%
Cenizas	2.5%
Carbohidratos	66.4%

En los granos secos los carbohidratos (almidón) se encuentran en un 56 a 66%. El contenido de vitaminas no se ha determinado exactamente, ya que las investigaciones frecuentemente difieren ampliamente en sus resultados; estas diferencias pueden ser reales o debidas al uso de técnicas analíticas distintas (Ledesma, 1999).

5.4.3. Composición de azúcares presentes en la malta

Como se ha mencionado, la composición del grano de cebada, son varios los componentes con los que cuenta, pero dando un enfoque a los azúcares (carbohidratos), estos constan principalmente de un disacárido que consta de dos azúcares unidos por un enlace O-glucosídico, la sacarosa y la maltosa. La sacarosa, como ya se mencionó es un disacárido en el que se unen los carbonos anoméricos de la glucosa y la fructosa en donde la glucosa es un azúcar reductor y la fructosa es un azúcar no reductor (Berg, 2008).

En cuanto a la maltosa, es un disacárido. Se forma por la acción de la amilosa sobre el almidón. La maltosa es soluble en agua, ligeramente soluble en alcohol. Se forma por hidrólisis, con la unión de un enlace glucosídico α -1,4

dando la unión de dos moléculas de glucosa, siendo ambas azúcares reductores. (Berg, 2008).

5.4.4. Lúpulo

El lúpulo es una planta perenne de la familia de las cannabáceas, es una trepadora que llega a medir hasta 5 metros de altura o más. Lo que se utiliza de la planta es la florescencia o también llamado cono de las plantas femeninas sin fecundar. La florescencia o conos contienen glándulas de un tono amarillo, llenas de una resina llamada lupulina, que es el principio activo que los cerveceros buscan en el lúpulo.

Una vez cosechado el lúpulo, se llevan a un proceso de desecación hasta que lleguen a un 10% de humedad, se empaican y se llevan a almacenar en lugares confinados secos y con temperaturas bajas.

Tiene una serie de características favorables, entre las principales se encuentran aceites esenciales que brindan propiedades antibacterianas conservado la cerveza, contribuyen a la formación y retención de espuma, el contenido de polifenoles que tiene reacciona con las proteínas que puede tener la malta y las hace insolubles, lo que permite la filtración, al igual proporciona notas de olor y brinda ese amargor agradable que es compensado con el dulzor de la malta.

El amargor es una de las principales características utilizadas para la clasificación de cervezas. Este se mide en IBU (Internacional Bittering Units), unidades internacionales de amargor. Los IBU's son la medida de concentración que se expresa en miligramos de iso- α -ácidos en un litro de mosto o de cerveza en partes por millón (ppm). La fórmula para conocer el amargor se muestra de la siguiente manera:

$$IBU = H(a\% + b\%/9)0.3$$

Dónde:

- H= Peso del lúpulo en gramos por litro.
- a%= El porcentaje de α -ácidos.

- $b\%$ = El porcentaje β -ácidos
- 0.3= Constante que representa el nivel de eficiencia de extracción de las resinas de lúpulo.

5.4.5. Levadura

Díaz (2013) hace mención que existen dos principales tipos de levaduras cerveceras, la *Saccharomyces carlsbergensis*, utilizada principalmente para fermentaciones bajas y la *Saccharomyces cerevisiae* para fermentaciones altas.

El género *Saccharomyces* es un hongo microscópico unicelular de la rama de los eucariotas que realiza la transformación de los glúcidos y los aminoácidos en alcohol y dióxido de carbono (CO_2). La levadura utiliza como sustrato los hidratos de carbono, principalmente la glucosa que se encuentran en el mosto para transformarlos en etanol, dióxido de carbono y energía en forma de ATP.

Las cepas más utilizadas tanto para la elaboración de cerveza, como la de vino y pan son las correspondientes a *Saccharomyces cerevisiae*, ya que esta sigue un metabolismo fermentativo cuando tiene condiciones anaeróbicas, es decir para que la producción de etanol sea correcta, la cepa se debe desarrollarse en ausencia de oxígeno. (Díaz, 2013).

5.4.6. Agua

Díaz (2013) hace mención que el 95% del contenido de una cerveza es agua. Es por ello por lo que el agua que se utiliza para la producción de cerveza debe ser purificada y se le debe dar un manejo altamente inocuo ya que si va contaminada con algún microorganismo no se producirá lo que se desea y se darán otros resultados.

5.5. Proceso de malteado

Aunque son varios los granos de cereal que pueden ser satisfactoriamente malteados, los de cebada son los que generalmente presentan menos problemas técnicos. El maíz se maltea muy raras veces porque su grasa se enrancia. El trigo se maltea a escala comercial, especialmente para la elaboración de ciertos tipos

de pan, pero el desarrollo de microorganismos durante la germinación en la superficie del grano plantea ciertos problemas.

En el transcurso de los años, se ha ido imponiendo, prácticamente en todo el mundo, el aroma de las cervezas elaboradas a partir de cebada malteada. Además, la cebada utilizada para la elaboración de malta destinada a la producción de cerveza es más rica en almidón, que es la sustancia que da origen al extracto fermentativo.

También contiene proteínas, generalmente en cantidades más que suficientes para proporcionar los aminoácidos necesarios para el crecimiento de la levadura, y las sustancias nitrogenadas que desarrollan un papel importante en la formación de espuma (Hough, 1990).

Un enfoque más profundo sobre la investigación del malteado del grano de cebada radica en que el cereal es germinado y secado pudiendo tostarse en mayor o menor grado. Es un proceso por etapas que se aplica fundamentalmente a la cebada y en menor medida al trigo.

Se inicia con el acondicionamiento del grano, que debido a las condiciones de ensilaje permanece en estado de latencia. Se humedece y se deja germinar. Se detiene la germinación, cuando aparecen las radículas, mediante el secado. Luego se tuesta de acuerdo con los requisitos de su posterior utilización y se deja de nuevo enfriar y ya puede almacenarse tras separar las radículas del grano.

En las malterías modernas la modificación se lleva a cabo en una sala de germinación/horno durante cuatro y seis días hasta llegar al nivel de modificación deseado en función de la longitud del brote; mientras que en una maltería tradicional se pone la cebada en el suelo formado una capa de veinticinco centímetros de espesor y se remueve para mantener la temperatura a 15°C y airearla. (Díaz, 2013).

En la (Figura 2) se muestra el diagrama de flujo en el que se lleva a cabo el proceso del malteado a nivel industrial. (Hough, 1990).

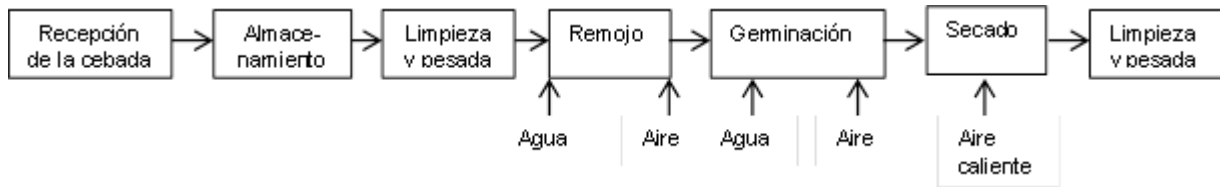


Figura 2. Diagrama de flujo de las operaciones unitarias del malteado de cebada. (Hough, 1990)

5.6. Principales reacciones de la sacarificación en la industria cervecera

Principalmente se dan algunos inconvenientes al momento de sacarificación de la cebada debido a las temperaturas que exceden los rangos en los que se establecen las empresas.

La caramelización se debe a que los azúcares contenidos en el grano son calentados y se produce en ausencia de oxígeno, actividad acuosa (a_w) baja, y a pH tanto ácido como básico.

En ella los monosacáridos forman fenoles como paso inicial de la reacción. Las pentosas generan 2-furaldehído como principal producto de degradación, mientras las hexosas producen 5-hidroximetil-2-furaldehído (HMF) y otros compuestos como 2-hidroxiacetilfurano e isomalinol. La fermentación de estos productos primarios da lugar a formación de compuestos como ácido fórmico, diacetilo, ácido acético, acetal, etc.

5.6.1. Reacción de Maillard

Cueva (2013) la describe como un conjunto de reacciones químicas en cadena que da lugar a la formación de pigmentos pardos con modificaciones de olor, color y sabores diversos en alimentos. Este se desarrolla a actividad acuosa (a_w) intermedia y diversas escalas de pH (Cueva, 2013).

Una de las principales reacciones que pueden encontrarse durante la reacción de Maillard es la producción de melanoidinas coloreadas, que van desde amarillo claro hasta café oscuro e incluso negro. También puede dar lugar a compuestos mutagénicos o potencialmente carcinogénicos, como la acrilamida, que es un compuesto orgánico del grupo amida. (Badui, 2006).

Para que tales reacciones se lleven a cabo se requiere un azúcar reductor y un grupo amino libre, proveniente de algún aminoácido o una proteína.

Otra característica de algunos compuestos generados por esta reacción es la habilidad antioxidante, principalmente de las melanoidinas, que actúan básicamente como quelantes y eliminadores de oxígeno radicales peróxidos e hidroxilos (Badui, 2006).

5.6.2. Caramelización

Esta es otra reacción de oscurecimiento que ocurre cuando los azúcares se calientan por arriba de su punto de fusión. La reacción se lleva tanto a pH ácidos como alcalinos y se acelera con la adición de ácidos carboxílicos y de algunas sales. Se presentan en la industria cervecera cuando la malta es tratada térmicamente de manera drástica, debido a los largos tiempos de sacarificación o a la variación de temperaturas.

Los mecanismos que producen este tipo de reacciones son muy complejos y no se conocen todas en su totalidad, pero dentro de las ya estudiadas se conoce la isomerización y la deshidratación de los hidratos de carbono.

La deshidratación genera furfural y sus derivados insaturados, que se polimerizan consigo mismos o con otras sustancias semejantes para formar las macromoléculas de pigmentos llamados melanoidinas. Otras reacciones que se pueden dar son la sintetización de una serie de compuestos de bajo peso molecular y muy oloroso, como furanos, furanonas, lactonas, pironas, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres (Badui, 2006).

5.6.3. Pérdida de antioxidantes provenientes de la malta y el lúpulo

Las sustancias con actividad antioxidante presentes en la cerveza provienen esencialmente de las materias primas como la malta y el lúpulo al ser empleadas en su elaboración, estando ya presentes en aquéllas u obteniéndose por modificación y transformación de sus constituyentes. Según estudios previos sobre la actividad antioxidante de los componentes de los alimentos, los

constituyentes de la cerveza poseen algunas características que influyen en factores distintos.

Determinados carbohidratos que actúan como azúcares reductores y ejercen una actividad antioxidante desde un punto de vista químico.

Los polifenoles son compuestos de especial interés en la cerveza, ya que son responsables de diversas propiedades funcionales. Estos compuestos son importantes para los cerveceros debido a su influencia en la estabilidad coloidal de la cerveza, siendo responsables del enturbiamiento originado por la interacción con las proteínas de la cerveza.

Algunas sustancias aromáticas que desempeñan un papel importante en características nutricionales, sensoriales como aroma, color y sabor, entre ellas se encuentran productos de la reacción de Maillard originados durante el malteado y posteriormente en los procesos de extracción y cocción, así como sustancias extraídas del lúpulo. (José, 2001).

En este sentido, los antioxidantes naturales presentes en cervezas ejercen: entre otras, una función protectora de la calidad sensorial de la cerveza, evitando deterioros oxidativos de su calidad. Así, se ha descrito su potencial protector ante la degradación oxidativa del ácido linoleico que da lugar a la generación de aldehídos volátiles responsables de un sabor a "cartón" en el producto final. (José, 2001).

5.6.4. Productos indeseables del proceso de sacarificación (furfurales y toxinas)

El 5-hidroximetilfurfural (5-HMF) es un compuesto indicador de sabor rancio de la cerveza. Existe una correlación entre el grado de sabor rancio, determinado organolépticamente, de una cerveza durante su almacenamiento y los niveles de 5-HMF. Este resultado sugiere que el control adecuado de la formación del 5-HMF durante el proceso de fabricación de la cerveza podría proporcionar indicios muy útiles en la mejora de su estabilidad de sabor.

El uso de técnicas de maceración anti-oxidativas y la selección de cepas de levadura con mayor volumen celular son procedimientos prácticos y eficaces para regular los mencionados niveles. El tamaño celular de las cepas de levadura resultó estar correlacionado con los valores de pH que dichas cepas originan en la cerveza. La inoculación con levadura de mayor tamaño celular dio lugar a cervezas con valores de pH más altos y niveles inferiores de 5-HMF (Shimizu, 2018).

5.6.5. Biomasa lignocelulosica

El material lignocelulósico consiste en tres tipos diferentes de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa está compuesta por sub-unidades de D-glucosa unidas por un enlace glucosídico β -1,4. En una planta se compone de piezas con una estructura cristalina. Las capas de celulosa se juntan y forman las llamadas fibrillas de celulosa o paquetes de celulosa, estas fibrillas de celulosa son en su mayoría independientes y débilmente unidos a través de enlaces de hidrógeno.

La hemicelulosa es una estructura compleja de carbohidratos que consiste en polímeros de diferentes azúcares como xilosa y arabinosa (pentosas), manosa, glucosa y galactosa (hexosas) y ácidos de azúcar. El componente dominante de la hemicelulosa de la madera y plantas agrícolas es el xilano (Ortiz, 2014).

5.7. Principales técnicas de sacarificación en la industria cervecera

5.7.1. Pre-tratamiento térmico

Durante este pretratamiento la biomasa lignocelulósica se calienta. Si la temperatura aumenta por encima de 150-180°C, en primera instancia, la hemicelulosa y poco después la lignina, comenzará a solubilizarse. Esta temperatura de 180°C es probablemente sólo una indicación, ya que la reactividad térmica de la biomasa lignocelulósica depende en gran medida de su composición. Durante los procesos térmicos una parte de la hemicelulosa se hidroliza y forma ácidos. Estos mismos ácidos se supone siguen catalizando la hidrólisis de la hemicelulosa (Ortiz, 2014).

5.7.2. Calentamiento óhmico o pulsos eléctricos

El calentamiento óhmico o también llamada de pulsos eléctricos es un procesamiento; que usa energía eléctrica para calentar alimentos como método de preservación, y como tal, puede ser utilizado para inactivación microbiológica y para reemplazar otros procesos como escaldado, pasteurización, esterilización, evaporación y deshidratación.

Este procesamiento actúa mediante el paso de corriente eléctrica a través de un cuerpo, como puede ser un alimento líquido/particulado, el cual sirve como una resistencia eléctrica en la cual el calor es generado.

Esta forma de utilizar la energía eléctrica en beneficio del procesamiento de alimentos es una de muchas que están tomando participación en la industria alimentaria. Son varios los factores que afectan el rango y efectividad del calentamiento óhmico, los cuales tienen relación con la conductividad eléctrica del fluido y las partículas, calor específico del alimento (y del líquido en caso de partículas suspendidas), tamaño de las partículas, forma y concentración; así como también la orientación de las partículas en el campo eléctrico (Bravo, 2015).

Otra de las características del calentamiento óhmico es el uso de los electrodos. El uso de múltiples electrodos da un mejor grado de control, esto diferencia esta tecnología de otras, junto a un campo eléctrico uniforme en la sección de la tubería. El material de los electrodos está especialmente desarrollado y es usado para eliminar la polarización y contaminación. (Bravo, 2015).

5.7.3. Ventajas del calentamiento óhmico

Existen diversas ventajas de tecnología comparada con otras convencionales, según estudios realizados por diversos científicos. (Bravo, 2015).

- Calentando material alimenticio por generación interna de calor sin la limitación de la transferencia de calor y algo de la no uniformidad comúnmente asociada con el calentamiento por microondas debido a penetración dieléctrica asociada.

- Una mayor temperatura en las partículas que en el líquido puede ser lograda, lo que es imposible para los sistemas de calentamiento convencionales.
- Reduce los riesgos de contaminación de la superficie de transferencia de calor y quemado del producto alimenticio, resultando en daños mecánicos mínimos y mejores nutrientes y retención de vitaminas.
- Alta eficiencia de energía, cerca del 90% de la energía eléctrica es convertida en calor.
- Almacenamiento por Ambiente/Temperatura favorable y distribución cuando es combinado con sistema de empaçado aséptico.
- Facilidad de controlar el proceso con switch para encender y apagar.
- Reducción en los costos de mantención (sin muchas partes móviles).
- Sistema amigable con el medio ambiente.
- Como no hay superficies calientes para transferencias de calor, hay poco riesgo de daño al producto debido a quemadura.
- Se pueden lograr altas temperaturas rápidamente, por ejemplo, temperaturas para procesamiento UHT.

5.7.4. Factores que afectan el calentamiento óhmico

Existen diversos factores propios del alimento, y de la tecnología, que producen variación en el procesamiento, así como en este método de procesamiento como en el procesamiento por pulsos eléctricos de alto voltaje (PEAV) y otras tecnologías. (Bravo, 2015).

- La conductividad eléctrica de los alimentos, y de mezclas de alimentos, podría depender de: componentes iónicos (sales), ácidos y la movilidad del contenido de agua aumenta la conductividad eléctrica, mientras que las grasas y alcohol la disminuyen.
- La viscosidad: fluidos de más alta viscosidad muestran un procesamiento por calentamiento óhmico más rápido que los de viscosidad más baja.
- Densidad y calor específico del producto.

- Factores del proceso como Intensidad del campo eléctrico, tiempo de tratamiento, temperatura y tiempo de residencia.
- Factores microbiológicos como: tipo de microorganismo, concentraciones y etapa de crecimiento.
- Factores del medio como: pH, compuestos iónicos, fuerza iónica del medio y conductividad.

5.7.5. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica es un parámetro que influye en el calentamiento. Es medida por la cantidad de electricidad transferida a través de una unidad de área, por unidad de gradiente de potencial, y por unidad de tiempo. Los materiales biológicos son parte de una gran clase de malos conductores de calor. Típicamente, la conductividad eléctrica de una solución es la suma de iones individuales, concentraciones molares equivalentes de iones individuales y conductividad molar equivalente. (Bravo, 2015).

5.8. Fermentación alcohólica, describiendo la ruta metabólica

La fermentación es una vía metabólica que utilizan los organismos anaerobios, tanto estrictos como facultativos, para degradar a la glucosa. Los anaerobios estrictos viven siempre en lugares en donde no hay oxígeno, porque esta molécula es tóxica. Los organismos facultativos se pueden adaptar a condiciones con oxígeno o sin él: es decir, cuando no hay oxígeno hacen fermentación y cuando está presente respiran.

Para que funcionen el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, se requiere la presencia del oxígeno que es el aceptor final de electrones, de tal manera que los organismos anaerobios carecen de esas rutas metabólicas. Sin embargo, la degradación de la glucosa en este grupo de organismos procede, hasta llegar a piruvato, de manera idéntica a como ocurre en los organismos aerobios o sea que usan las enzimas de la glucólisis que ya se analizaron.

En los organismos aerobios las moléculas de piruvato, producidas al degradar glucosa, se descarboxilan para producir aceti-S-CoA. Las células anaeróbicas conducen al piruvato por otras rutas diferentes, con lo que se obtienen los productos finales de la fermentación.

En la (Figura 3). La fermentación alcohólica convierte una molécula de glucosa en dos moléculas de etanol y dos de CO₂. Para ello, la hexosa es atacada por las enzimas de la glucólisis que la convierten en piruvato; éste es descarboxilado por la enzima piruvato descarboxilasa, para producir acetaldehído y CO₂ finalmente, la deshidrogenasa alcohólica convierte al acetaldehído en etanol, en una reacción que utiliza una molécula de NADH. Por lo tanto, en este tipo de fermentación el aceptor final de electrones es el acetaldehído. Hay varios microorganismos que efectúan esta vía metabólica. Por medio de estas reacciones se obtienen todos los tipos de bebidas alcohólicas. (Martínez Guerra, 2014).

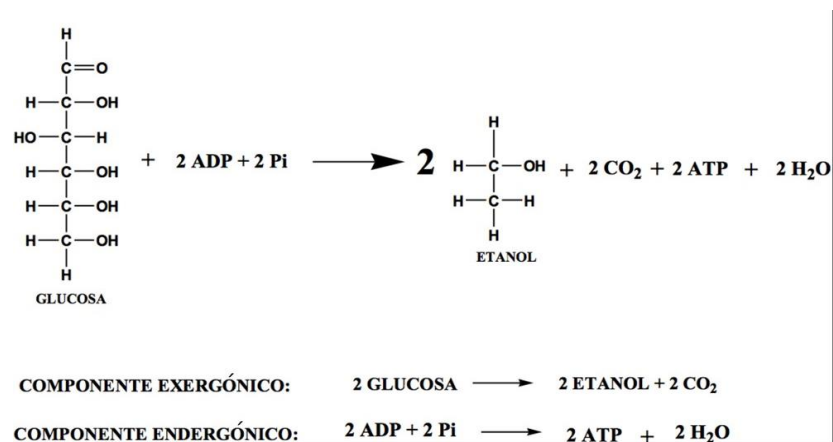


Figura 3. Reacción global de la fermentación alcohólica. (Martínez Guerra, 2014).

Una forma simple de explicar la ruta de Embden-Meyerhof como se muestra en la (Figura 4), es que comienza con la fosforilación de la glucosa y termina produciendo ácido láctico en condiciones anaerobias, mientras que en aerobiosis da lugar a ácido pirúvico, que da lugar a acetil coenzima A, compuesto que entra a formar parte del ciclo de Krebs (Martínez Guerra, 2014).

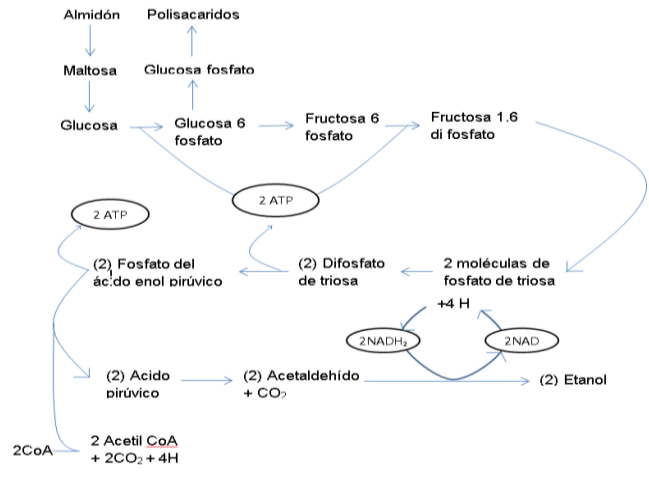


Figura 4. Ruta glucolítica de Embden Meyerhof Parnas para el metabolismo de la glucosa. (Martínez Guerra, 2014).

6. MATERIALES Y METODOS

6.1. Determinación de tamaños de partícula de la malta

Primeramente, se llevó a cabo el pesado de la malta en la balanza, se pesó 500 g de malta y se almacenaron en una bolsa de plástico. Con el uso de la licuadora se trituró en 3 tiempos el grano de malta durante 30 s, con el fin de tener un grano de menor tamaño. Después se apilaron los tamices de pruebas físicas marca MONT-IOX en orden ascendente con los tamices #8 arriba, en medio #12 y abajo #20, dosificando el grano ya triturado y se fue moviendo bruscamente para que las partículas de cebada fueran cayendo en el orden de tamaño de los tamices.

Posteriormente se almacenaron cada una en bolsas diferentes, etiquetando cada una el número de partícula respectivamente.

6.2. Extracción de compuestos antioxidantes del grano de malta puro

La extracción de compuestos antioxidantes se realizó por el método DPPH. (Rivas, 2002). Se pesó 100 mg de muestra de cebada de partícula #8, 100 mg muestra de partícula #12 y 100 mg de partícula #20, y se colocaron cada una en un tubo eppendorf de 2 ml. Se le adicionaron 2 ml de hexano a cada uno de los tres tubos. Después fueron llevados a agitación en Vórtex durante 20 s cada tubo.

El siguiente paso fue someter las muestras en los tubos al equipo de zonificación marca BRANSON modelo CPX Series Operation durante 5 min. Posteriormente las muestras fueron llevadas a centrifuga a 12,000 rpm durante 10 min. Las muestras fueron filtradas a través de pirinolas de 0.22 μm y con ayuda de la jeringa se aspiró la muestra y se fue vaciando en los filtros pirinola, el extracto filtrado se volvió a guardar en otros tubos y fue lo que se utilizó para la cuantificación.

Para hacer la cuantificación de antioxidantes se colocaron 50 μl de la extracción y 50 μl del DPPH marca CAYMAN CHEMICAL COMPANY, que se aforó a 25 ml. Se taparon con papel aluminio y se dejaron reaccionar por 30 min. Al final se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro a 520 nm.

6.3. Determinación de azúcares reductores

Se adicionaron 1000 μl de cada una de las muestras a su respectivo tubo etiquetado. El siguiente paso fue agregar 1000 μl de DNS a todas las muestras. Luego las muestras se metieron en ebullición por baño María durante 5 min. Posteriormente se detuvo la reacción metiendo las muestras a una tina de agua con hielo por 5 min.

Después de haber dejado el tiempo transcurrir se les adicionaron a todas las muestras 5 ml de agua destilada. Se dejaron reposar 5 min a temperatura ambiente. Para hacer la cuantificación, se tomaron 250 μl de cada una de las muestras y se colocaron en el orden ya mencionado en la microplaca. Se llevaron al espectrofotómetro marca BIOBASE modelo EL10A Elisa Reader, se metieron las muestras, se ajustó a 540 nm y se leyó la absorbancia de las 9 muestras.

6.4. Optimización del proceso de cocción de malta

El proceso de optimización se realizó mediante un diseño factorial fraccionado con arreglos ortogonales. Se seleccionaron tres factores (tamaño de partícula, temperatura y tiempo de cocción) que tienen una influencia significativa en la generación de azúcares derivados de la cocción de la malta. Se estableció una matriz ortogonal L-9 para los parámetros de control anteriores con tres niveles de variación de factor (tabla 3). Para el proceso óhmico se mantuvo un voltaje fijo de 80 volts y se corrieron experimentos bajo los mismos parámetros del cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos generados a partir de un diseño experimental, para la cocción de malta de trigo.

Nombre de la muestra	Tamaño de partícula	Minutos	°C
A-1	#8	60	60
A-2	#8	75	70
A-3	#8	90	80
B-1	#12	60	70
B-2	#12	75	80
B-3	#12	90	60
C-1	#20	60	80
C-2	#20	75	60
C-3	#20	90	70

Una vez que se realizaron los diferentes tipos de tratamientos, se obtuvieron las muestras y se realizó la cuantificación de azúcares reductores por el método del DNS (Miller G. L, 1989) La curva patrón se realizó con glucosa al 0.1%.

Después de haber obtenido los resultados de cada una de las muestras se compararon y se hizo un análisis del diseño factorial, mediante el software estadístico Minitab (versión 17.1.0) para poder tomar tres de los mejores resultados para utilizarlos en la fermentación alcohólica.

Mediante el análisis estadístico se determinó que el mejor valor obtenido de sacarificación era considerando la partícula #20, sometida a 60 min de cocción, a una temperatura de 70°C. Estas dos muestras se elaboraron por triplicado y se llevaron a fermentación.

6.5. Proceso de optimización de cocción convencional de la malta para fermentación

El primer tratamiento que se llevó a cabo en el Laboratorio de Fermentaciones en el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UAAAN fue la sacarificación de azúcares totales y reductores de nueve muestras por el método convencional o también llamado por flama.

Como primer punto se llevó a cabo el peso de la malta por muestra. Se pesaron en la balanza analítica marca BIOBASE modelo BP3003B 9 muestras, cada una,

con una cantidad de 11.1 g de malta y se guardaron en charolas diferentes. Después para cada una de las 9 muestras se midieron 100 ml de agua purificada y se agregaron a cada matraz. En la parrilla eléctrica se puso un matraz con el agua purificada y se llevó a la temperatura requerida para cada tratamiento.

Una vez alcanzada la temperatura requerida del agua se adicionó una muestra de malta y se puso en agitación. Se monitoreó la temperatura con termómetro desde al inicio hasta el final, y el tiempo se midió con ayuda de un temporizador. Al final las muestras en los matraces se sometieron en agua con hielo para bajar la temperatura.

Ya que las muestras estuvieron atemperadas cada una se sometió a filtrado con la bomba de vacío, en donde se colocó el embudo de porcelana en el matraz Kitasato y se selló con parafilm. Se colocó papel filtro sobre el embudo y se encendió la bomba de vacío. Se añadió muestra por muestra separando los sólidos sobre el papel y el líquido en el matraz Kitasato.

Las muestras se almacenaron en tubos cónicos y se refrigeraron durante 12 hrs para su posterior análisis.

6.6. Validación de la optimización del proceso de cocción convencional de la malta para fermentación

Primeramente, se llevó a cabo el peso de la malta. Se pesaron tres muestras de partícula #20, cada una, con una cantidad de 22.2 g de malta y se guardaron en charolas diferentes. Para cada una de las muestras se midieron 200 ml de agua purificada y se agregaron a cada matraz.

En la parrilla eléctrica se colocó un matraz con el agua purificada y se llevó a la temperatura requerida para cada tratamiento. Una vez alcanzada la temperatura requerida del agua se adicionó una muestra de malta y se puso en agitación. Se monitoreó la temperatura con el termómetro desde al inicio hasta el final y el tiempo se media con ayuda de un temporizador. Ya que cada muestra fue sometida a diferentes tratamientos. Aproximadamente cada 15 min antes de que

acabara la cocción de cada muestra fue cuando se le agregaron 0.6 g del lúpulo, esto para resaltar un sabor más astringente y brindar otros componentes.

6.7. Proceso de cocción de la malta por método óhmico

En este proceso de trabajo de tratamiento óhmico se llevó a cabo en el laboratorio de bioprocesos, que se encuentra en el departamento de ciencia y tecnología de alimentos de la UAAAN.

Se acondicionó el equipo óhmico colocando un polímero plástico encima de la mesa del área de trabajo para evitar que un electrodo caiga a la mesa y esta transmita corriente. Posteriormente se colocaron los electrodos en cada una de las terminales de corriente del equipo óhmico. Se adicionaron 100 ml de agua purificada a cada vaso de precipitado, junto con 11.1 g de muestra de malta.

Se introdujeron los electrodos al vaso de precipitado de tal manera que no choquen entre ellos ya que podría generar un corto circuito. Una vez verificado que los electrodos están fijos se estableció el voltaje de 80v en el equipo óhmico y se enciende para que puedan transmitir corriente a las muestras.

Cuando la temperatura empieza a llegar a su requerimiento necesario se apaga el equipo para dejar de producir calor. Cuando la temperatura comienza a descender por debajo de 3 grados del requerido se comienza a dar otro choque térmico para volver a llegar a la temperatura necesaria, y así se van repitiendo los choques térmicos cada vez que bajaba levemente la temperatura requerida hasta cumplir por el tiempo determinado.

Una vez obteniendo los valores de sacarificación de todas las muestras se hace un análisis en donde se establece la mejor muestra que proporcionó azúcares reductores.

6.8. Proceso de fermentación de las muestras

Al finalizar la cocción por ambos métodos, las muestras fueron colocadas en agua con hielo para bajar la temperatura hasta llegar a los 25°C. Es en ese momento en el que se le agrega cuidadosamente la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), de la marca Lallemand^{MR}) en cantidades de 0.2 g.

Cuidadosamente y utilizando guantes de látex se realizaron tapones de algodón para cubrir las bocas de los matraces sin hacer presión con ellas debido a que la liberación del CO₂ derivado de la fermentación pudiera botar el tapón de algodón y se contaminarían las muestras. Una vez puesto el tapón a cada matraz, se forra con aluminio para cubrir las muestras de la luz y evitar que se pierdan características del lúpulo. Posteriormente ya que las muestras estuvieron tapadas con el aluminio y con su respectivo tapón, se guardaron en un lugar confinado y se dejaron a temperatura de 28°C, durante 144 hrs. Al final del proceso las muestras fueron atemperadas y filtradas a vacío recuperando la fracción líquida para su posterior análisis.

Para la cuantificación de azúcares reductores derivada de la fermentación con el método convencional, se realizó una dilución de la muestra con el fin de mantenerse dentro de los valores de la curva de calibración. Inicialmente se extrajo 1 ml de muestra de cada matraz que fue puesto a fermentar y se colocó en un respectivo matraz. Posteriormente se le adicionaron 9 ml de agua destilada de igual forma a cada matraz, para proceder a determinar los azúcares reductores.

6.9. Cálculo de pH durante la fermentación

Para obtener los valores del pH se utilizó un potenciómetro pHep^R de la marca HANNA instruments. Se colocó en cada vaso de precipitado una cantidad de aproximadamente 30 ml de muestra fermentada. Inicialmente el potenciómetro se sumergió en agua destilada para evitar valores erróneos.

Se sumergió en la primera muestra y se obtuvo el primer valor. Una vez obtenido el primer valor se registró y se limpió el sensor del potenciómetro con agua destilada. Así se repitieron los pasos para cada una de las muestras puestas a fermentación y se obtuvieron los datos de pH.

6.10. Cuantificación de grados brix durante la fermentación

Se agregaron 3 gotas de cada respectiva muestra en el refractómetro PAL-1 de la marca ATAGO U.S.A., Inc. Al terminar de hacer la cuantificación se limpió el refractómetro cuidadosamente con agua destilada y con papel secante. Así se

realizó la cuantificación de cada una de las 6 muestras fermentadas y se registraron los datos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalmente cuando se lleva a cabo la sacarificación de la malta en la industria cervecera no se toma en cuenta el factor de tamaño de partícula. Pero en este proyecto el tamaño de partícula tiene que ver con la optimización de extracción de azúcares. Es por eso por lo que se usaron tres tipos de partícula. Dependiendo del tamaño de partícula se dieron diferentes valores y se utilizó el más alto para cuantificación de azúcares reductores por método óhmico y por método convencional.

La (figura 5) muestra la comparación de azúcares totales y reductores, derivados de los tratamientos generados del diseño experimental para la cocción convencional. De la tabla de resultados experimentales, los tratamientos 5 y 9 mostraron los valores más elevados. El análisis estadístico del diseño experimental arrojó el valor óptimo que fue la partícula #20 con un tiempo de 60 minutos y a una temperatura de 60°C.

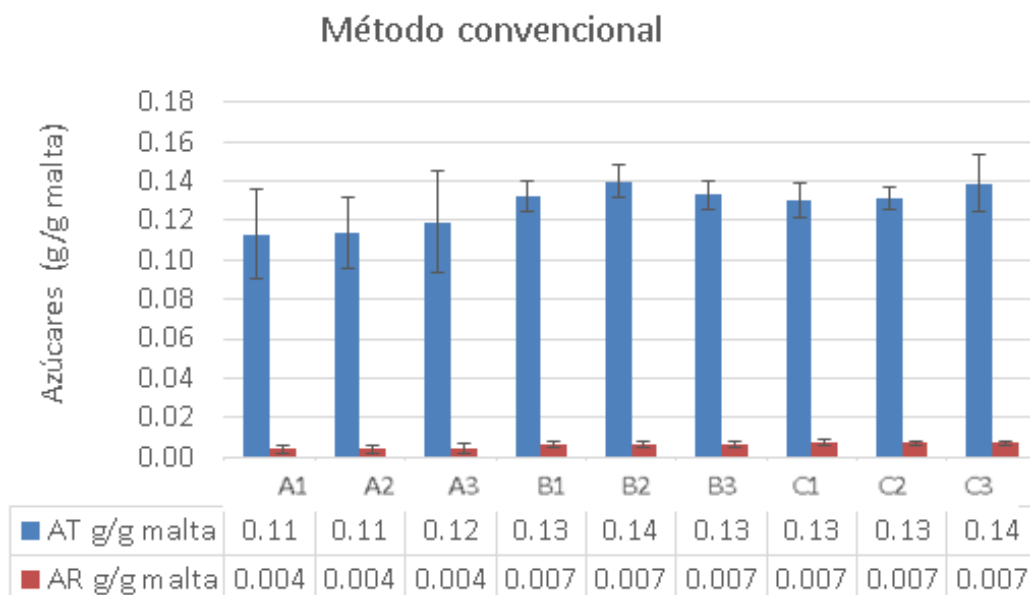


Figura 5. Contenido de azúcares totales (cuadros azules) y azúcares reductores (cuadros rojos) de los tratamientos experimentales de cocción de la malta.

Durante los análisis de azúcares reductores que nos mostraban por esta metodología nos arrojó en el análisis experimental 0.3185 en absorbancia y 8.13

mg/ml de azúcares reductores. Mientras que el diseño nos arrojó el valor de 0.315506 de absorbancia y con la cantidad de 8.03 mg/ml de azúcares reductores finales.

Analizando y comparando los resultados con proyectos anteriores (José, 2001) que realizó un proyecto similar en el que cuantificó azúcares de algunas variedades de cervezas comerciales obtuvo como resultados finales 8,63 mg/ml y 8,23 mg/ml. Esto es muy parecido a los valores obtenidos por este método.

Para el caso de sacarificación por método óhmico se adicionó solamente el valor de cantidad de voltaje aplicado a los tratamientos que fue de 80V a cada muestra sometida. Se utilizó un voltaje considerablemente bajo debido a que la mayoría de las veces que se le aplica calor a algún alimento este reacciona y afecta a los azúcares reductores tales como la caramelización y la reacción de Maillard, y se produce obscurecimiento enzimático; debido a un grupo complejo de transformaciones que traen consigo la producción de múltiples compuestos, como las melanoidinas coloreadas que van desde el amarillo claro hasta un tono café oscuro e incluso negro, estas pueden afectar al sabor, el olor y el valor nutritivo de los alimentos.

La (figura 6) muestra la comparación de azúcares totales y reductores, derivados de los tratamientos generados del diseño experimental para la cocción con el método óhmico. De la tabla de resultados experimentales, los tratamientos 2 y 7 mostraron los valores más elevados. De los tamaños de partícula que se utilizaron, el óptimo que se mostró para la extracción de azúcares por el método óhmico fue la partícula #8, con un tiempo de 15 minutos y una temperatura de 80°C.

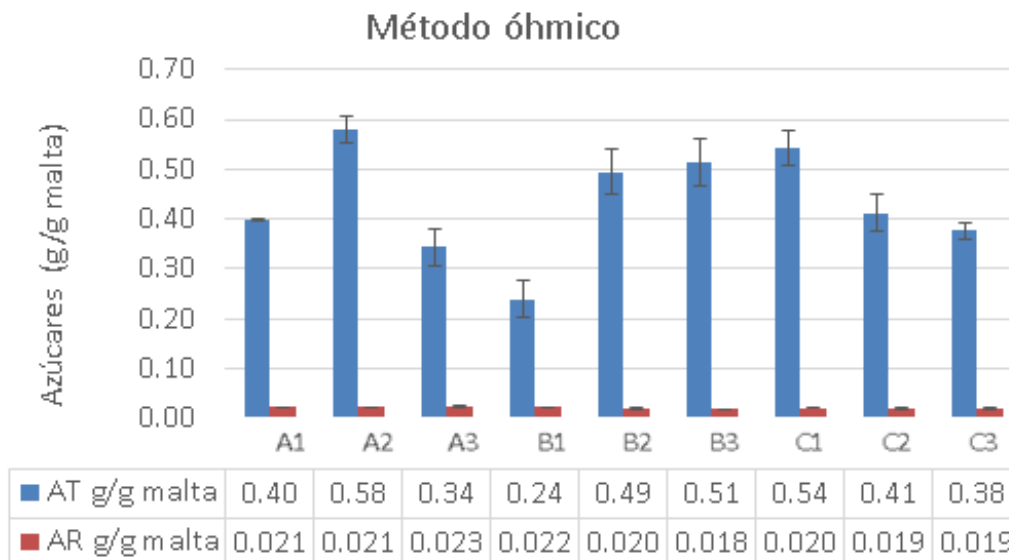


Figura 6. Contenido de azúcares totales (cuadros azules) y azúcares reductores (cuadros rojos) de los tratamientos experimentales de cocción por el método óhmico de la malta.

Cuando se llevó a cabo la cuantificación de azúcares reductores con el método de pulsos eléctricos, en el experimento se obtuvo la cantidad de 0.3853 por absorbancia y con un 10.10 mg/ml de azúcares reductores. El valor esperado según la predicción del diseño experimental fue 25.8 mg/ml de azúcares reductores. Por lo tanto, la aproximación no fue la esperada y varió considerablemente, pero aun así fue más alta la cantidad de azúcares reductores que la malta sola, la cual resultó ser de 7.93 mg/ml.

Siendo un método innovador para la sacarificación de malta, no se encuentran resultados para realizar comparaciones en este aspecto, los usos más comunes en la industria alimentaria que se le dan al calentamiento es para inactivación de microorganismos, para pasteurización.

7.1. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante del grano de malta poseía una cantidad de 0.43%. Este valor es considerablemente bajo, comparándolo con la cantidad que se produjo por el método convencional que fue de 0.80%.

Para el método por pulsos eléctricos se produjo un 0.77 % de antioxidantes, es relativamente más bajo que por el método convencional pero más alto que el grano de malta solo.

Un factor lógico del por qué incrementa el % de antioxidantes es debido a que el lúpulo tiene altos niveles de compuestos fenólicos, además de los contenidos en la malta. Las proantocianidinas parecen ser la familia fenólica más correlacionada con la capacidad antioxidante de las cervezas.

Los antioxidantes tienen la capacidad de 'capturar' los radicales libres cuando se precipitan.

Estas moléculas pueden originarse dentro de las células, principalmente a consecuencia de la conversión de las moléculas de oxígeno que respiramos en agua, o por causas externas como la exposición a temperaturas (Franch, 2001).

En general, la dotación fenólica en cerveza es un producto con una capacidad antioxidante global significativa, con valores similares a otras bebidas alcohólicas como los vinos, néctares o zumos.

7.2. Grados brix

Los grados brix sirven para determinar el cociente total de sacarosa en un líquido. Es la concentración de sólidos - solubles presentes en algunos compuestos alimenticios. Estos sirven como sustrato al microorganismo y pueden contener características no asimilables para el mismo. En el momento de cuantificar grados brix para el método óhmico nos arrojó un valor de 3.43°brix. Para el método convencional de igual manera se realizó la cuantificación y arrojó un valor de 4.60°brix, siendo más alto que el método óhmico.

Comparando con la cuantificación en otro proyecto trabajando con cebada muestra que los grados varían dependiendo del tiempo sometido a temperaturas, a menor tiempo de exposición a temperaturas es mayor el valor de grados brix, y a mayor tiempo sometiendo los azúcares a temperatura son menores los grados brix.

7.3. pH

Este es un elemento clave a la hora de procesos como la actividad enzimática, que la adición de lúpulo o la fermentación de la levadura cumpla con las características. Para obtener una cerveza con las características convenientes, el rango aceptable es de 5.2 a 5.5. En el caso de la cebada sin tratamiento mostró un valor de 5.0.

Para el método óhmico el valor bajo considerablemente en cantidad de 3.70. Para el método convencional mostro un valor de 4.69, por este proceso se acidificó menos que por el método óhmico.

El factor principal que interviene en la acidificación de una cerveza es debido a que las amilasas son las principales responsables de la transformación de los almidones de la malta en azúcares fermentables, el nivel de amilasas contenidas permite la fermentación y obtener alcohol y el CO².

(Freccia, 2017) Menciona que aunque las amilasas funcionan a diferentes niveles de pH, la media ideal para que las enzimas realicen el proceso de maceración correctamente ronda entre los 5.2 y los 5.5. Además, mantener el nivel de pH cerca de 5.5 también es ideal para la extracción y transformación del lúpulo durante la cocción, la precipitación de proteínas, la clarificación del mosto e incluso el proceso de fermentación.

7.4. Porcentaje de alcohol

Para realizar la cuantificación de etanol en la cerveza obtenida por ambos métodos se utilizó un hidrómetro. Para el método óhmico arrojó un 0.93% de grados de alcohol utilizando los valores óptimos.

Cuando se llevó acabo la medición de etanol por método convencional nos arrojó el 1.33% de grados de alcohol, eso utilizando los valores óptimos para el método por flama.

Esto sucedió debido a que solo las dejamos 6 días fermentando a ambos métodos, y hay recetas cerveceras en las cuales mencionan de 15 a 30 días de reposo para fermentación e incluso algunas suelen ser meses.

En general, las cervezas tipo pale Ale, son menos amargas y un poco más densas comparando con otras de tipo Ale y concentración alcohólica suele ser entre un 4 y un 5%.

8. CONCLUSIONES

Analizando los resultados, el proceso de calentamiento óhmico sobre la malta de cebada incrementó los azúcares disponibles para la fermentación alcohólica en comparación con el método convencional.

En tanto que en la fermentación se obtuvieron valores bajos de alcohol utilizando los azúcares derivados por el método óhmico que por el método convencional.

El proyecto fue aceptable, ya que cumple con la hipótesis planteada, pero se requiere de una investigación más profunda y con mayor efectividad, tomando en cuenta una mayor cantidad de días para la fermentación e ir llevando un monitoreo semanal de las muestras, para verificar que el contenido de etanol vaya incrementando. Este método es innovador en la producción de cerveza, e implementarlo a nivel comercial podría ahorrar tiempos y evitar la producción de reacciones no deseadas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badui, D. S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Pearson.
- Beer, A. A. (2 de Enero de 2018). MALTOSA.COM.MX. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://maltosaa.com.mx/>
- Berg, J. M. (2008). *Bioquímica*. España: Reverté, S. A.
- Bravo, J. A. (2015). *Efecto del Calentamiento Óhmico sobre el contenido de metales (Ca, Fe y Zn) y el recuento bacteriano en Navajuelas (Tagelus dombeii)*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2015/fao.45e/doc/fao.45e.pdf>
- Cueva, S. P. (2013). *Efecto de la ingesta de compuestos avanzados de la reacción de Maillard sobre el metabolismo gastrointestinal*. España: Editorial de la Universidad de Granada.
- DÍAZ, M. S. (Julio de 2013). "CERVEZA: COMPONENTES Y PROPIEDADES". Recuperado el septiembre de 2019, de <http://www.unioviedo.es/MBTA>
- Enrique, C. (22 de Julio de 2013). *Química organica*. Recuperado el Noviembre de 2019, de <http://carlosenriqueorganica.blogspot.com/2013/07/cerveza.html>
- Franch, P. C. (2001). *Simposio internacional sobre cerveza y salud*. Bruselas, Bélgica.
- Freccia, N. (2017). *The power of pH*. *The How to homebrew beer magazine*.
- González, M. (2017). *Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales*. Morrisville, North Carolina: Lulu Enterprises.
- Hough, J. S. (1990). *Biotecnología de la cerveza y de la malta*. España: ACRIBIA, S. A.
- José, M. G. (2001). *Actividad antioxidante de la cerveza: estudios in vitro e in vivo*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Jose, M. G. (Noviembre de 2014). *Libro electrónico de Bioquímica*. Recuperado el 05 de Marzo de 2019, de <http://libroelectronico.uaa.mx/index.html>
- Kegerator. (22 de Agosto de 2017). MALTOSAA.COM.MX. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://maltosaa.com.mx/>
- Krammer, M. d.-P. (2017). *Apuntes para la historia de la cerveza en México*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Ledesma, J. C. (1999). *El cultivo de la cebada y sus principales plagas y enfermedades*. Saltillo : Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.
- Martínez Guerra, J. J. (2014). *LIBRO ELECTRÓNICO DE BIOQUÍMICA*. Aguascalientes: Universidad Autonoma de Aguascalientes.

- Miller G. L. (1989). *Use of Dinitrosalicylic Acid Regent for Determination of Reducing Sugar.*
- Navarro, I. P. (2018). *Comparación de cereales de grano pequeño a través de sensores infrarrojos, altura y estudio estomático de la planta. Saltillo: Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.*
- Newsleteller. (2017). *Cerveza artesana . Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://www.cervezartesana.es/>*
- Ortiz, W. G. (2014). *Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para la Obtención de Etanol y Productos Químicos. Journal of Technology.*
- Rivas, S. (2002). *Metodología para cuantificación de capacidad antioxidante .*
- Shimizu, C. (2018). *Factores que influyen en la formación en la cerveza tanto del 5-hidroximetilfurfural como del sabor rancio. Journal og the american society of brewing chemists.*