



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

TÍTULO DE TESIS

***Caracterización, validación y determinación de la
calidad cervecera a partir de Hordeum vulgare***

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGO**

PRESENTADO POR:

Q.F.B. JOSÉ FRANCISCO LÁZARO LUNA

ASESOR DE TESIS:

M. C. ROSA MARÍA GARCÍA MARTÍNEZ

MÉXICO, MORELIA MICHOACÁN SEPTIEMBRE 2019

Dedicatoria.

A mis padres Carmen Luna Peláez, mi padre Aurelio Lázaro Fernández, les agradezco su paciencia y cariño me han ayudado en los buenos y malos momentos, gracias a ellos eh podido terminar esta etapa de mi vida.

A mi herma Adriana Lázaro aun siendo mi pequeña hermana he aprendido mucho de ella. A mi abuela Felipa y a mi tío José que con su cariño y aprecio me han demostrado que la familia de verdad no necesita llevar la misma sangre, su apoyo su motivación y su cariño me han sabido guiar en mi vida.

A mi asesora M.C. Rosa María García Martínez por su paciencia y apoyo en el inicio al fin de este proyecto no pude elegir mejor apoyo que ella.

Por último, a todos aquellos amigos y compañeros que conocí dentro y fuera de las aulas

Agradecimientos.

Agradezco a mis padres por su enseñanza y su apoyo, son un ejemplo a seguir y una inspiración sus virtudes y sus defectos me han impulsado a ser la persona que soy ahora. A mi pequeña hermana que es un orgullo para mí. A mi abuela y mi tío por haber formado ese lazo familiar del que estoy tan orgulloso de presumir, esa familia que complementa a la mía.

A mis profesores a lo largo de toda la carrera mostraron ese cariño y respeto a todas las materias y poderlo proyectar hacia mí.

A mi asesora su apoyo, compromisos y orientación lograron darle forma a esta idea y culminarlo en este trabajo. A la química Glo que con su apoyo y orientación me ayudo en los momentos en que más lo necesitaba.

A los sinodales que tomaron su tiempo para poder limar y pulir éste trabajo su apoyo fue de gran importancia para poder llevar a término esta tesis.

Por ultimo a mis amigos y compañeros que me ayudaron a lo largo de mi carrera, Celeste, Nancy, Grecia, Kenia, Jaime, Anahí, Yuri y Johana pude tener el honor de conocerlos en distintos momentos de la carrera con los cuales tuve momentos muy buenos y aunque nuestros caminos se alejen siempre los recordare.

Índice general

Resumen	1
Summary	1
I MARCO TEORICO.....	2
1. Introducción	2
2. Cebada	3
2.1. Morfología de la cebada	3
2.2. Crecimiento de la planta	6
2.3. Composición química del grano de cebada	7
2.4. Bioquímica en el proceso de malteo	11
3. Otros insumos	13
3.1. Lúpulo	13
3.2. Agua	14
3.3 Levadura.....	15
4. Producción	18
4.1 Elaboración de malta	18
4.2. Elaboración de cerveza	28
4.3. Fermentación	34
4.4. Maduración	37
II JUSTIFICACIÓN	38
III Hipótesis.....	39
1. Objetivo general	39
2. Objetivos específicos	39
IV MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
1. Material y reactivos	40
1.1. Reactivos	40
1.2. Equipo.....	40
2. Materia prima	41
3. Metodología	41
3.1. Potencial germinativo (Método NMX-FF-043-SCFI-2003)	41
3.2. Determinación de humedad (Método 934.01, AACC 2000)	41
3.3. Proteína total (Método 46-10, AACC, 2000)	42

3.4. Proteína soluble (Sánchez, 2006).....	42
3.5. Índice de kolbach (Sánchez, 2006).....	42
3.6. Poder diastásico de la malta (Analytica EBC, 2003).....	42
3.7. pH en el mosto (E-βlinger; 2006).....	43
3.8. Viscosidad relativa (E-βlinger; 2006).....	43
4. Metodología usada para cada malteo.....	43
4.1. Primer malteo.....	43
4.2. Segundo malteo.....	44
4.3. Tercer malteo.....	45
5. Diagrama de proceso general.....	46
V RESULTADOS.....	47
1. Análisis de cebada previo al malteo.....	47
1.1 Análisis organoléptico.....	47
1.2. Análisis bromatológico.....	48
2. Malteado de cebada.....	49
2.1. Primer intento de malteo.....	49
2.2. Segundo malteo de cebada.....	52
2.3. Tercer malteo de cebada.....	54
VI. Conclusión.....	57
VII Bibliografía.....	59

Índice de imágenes

Figura 1 Morfología de cebada.....	4
Figura 2 Estructura del grano de cebada.....	5
Figura 3 Acción enzimática sobre almidón.....	5
Figura 4. polisacaridos amiláceos.....	9
Figura 5 Lúpulo.....	14
Figura 6 Microscopia de levadura.....	17
Figura 7 Maceración controlada de la cebada.....	22
Figura 8 Progreso de germinación y tiempo.	24
Figura 9 Diagrama de una tolva de secado industrial.	27
Figura 10 Diagrama de molino de malta.....	29
Figura 11 Esquema de una olla de maceración equipada con aspas de agitación y fondo de filtrado.....	32
Figura 12 Cocción industrial del mosto.....	33

Figura 13 Identificación de cebada.....	47
Figura 14 Maceración de cebada primer malteo.....	50
Figura 15 Germinación del primer malteo	50
Figura 16 Maceración del segundo malteo.	52
Figura 17 Germinado del segundo malteo	53
Figura 18 Germinación del tercer malteo.	55
Figura 19 Secado del tercer malteo.	55

Índice de tablas

Tabla 1 Producción de cerveza en los estados, en 1877.	3
Tabla 2 Principales iones presentes en el agua, concentración y función.....	15
Tabla 3 Parámetros de calidad e malta cervecera.....	19
Tabla 4 Características de la calidad materia de cebada	20
Tabla 5 Análisis físico y organoléptico de la cebada.	48
Tabla 6 Análisis bromatológico de la cebada	49
Tabla 7 Patrón de pruebas de calidad en primer lote de malta.	51
Tabla 8 Patrón de pruebas de calidad en segundo lote de malta.	54
Tabla 9 Patrón de pruebas de calidad en tercer lote de malta.	56

Resumen

La malta es un cereal que proviene de la cebada, ya que se obtiene a partir de ésta por un proceso de germinación dando lugar a un cereal con mejor digestibilidad, posee propiedades de un gran valor nutritivo y medicinal, el cual es empleado para la producción de bebidas alcohólicas principalmente la cerveza. El proceso de elaboración de cerveza consta de tres fases principalmente, el macerado, la germinación y el secado. Estos tres pasos ayudan a que el grano pueda germinar de manera controlada haciendo que ocurran los cambios bioquímicos, en donde el almidón es transformado a azúcares fermentables. Actualmente con el auge de las cervecerías artesanales su consumo ha sido cada vez más requerido no solo para empresas grandes sino también para pequeños empresarios que también incursionan en esta rama de producción y cuyas materias primas se suministran por empresas extranjeras. Este proyecto se centra en el uso de la cebada *Hordeum vulgare* sembrada en el área circundante del estado de Michoacán, para someterla a un proceso de malteado y producir malta nacional de características óptimas para su uso industrial. Para esto se usó un modelo de práctica ya establecido por Analytica EBC, 2003, tomando las bases como lo son las bases de un buen malteo para la cebada *Hordeum distichum*, el cual se modificó y optimizó para *Hordeum vulgare* con la finalidad de producir una malta de óptima calidad. Se logró determinar que el método ideal para el malteado de esta especie en particular se logró con un tiempo de macerado de 24 horas con agua a 45°C. La germinación se mantuvo a temperaturas de 20 a 25°C por un periodo de 96 horas. El secado se realizó por un periodo de 24 horas en estufa a una temperatura de 65°C. Al obtener la malta se realizó un análisis para identificar sus cualidades físicas y químicas, en las cuales se determinó el poder diastásico con un valor de 350 UWK, valor muy aceptable en las maltas de importación, así como índices de: proteína total de 9.74%, proteína soluble de 4.40% e índice de kolbach de 42.5%, viscosidad de 1.37 cp y densidad de 1.52 g/ml, parámetros indicativos de que el mosto producido con esta malta es de calidad óptima para ser empleado en la producción de cerveza y que demuestran la calidad óptima del mosto.

Palabras clave: cebada, malta, germinación, malteo, cerveza.

Summary

Malt is a cereal that comes from barley, since it is obtained from it by a process of germination giving rise to a cereal with better digestibility, has properties of great nutritional and medicinal value, which is used for production of alcoholic beverages mainly beer. The brewing process consists of three main phases, maceration, germination and drying. These three steps help the grain to germinate in a controlled manner making the biochemical changes occur, where the starch is transformed into fermentable sugars. Currently, with the rise of craft breweries, its consumption has been increasingly required not only for large companies but also for small entrepreneurs who also venture into this branch of production and whose raw materials are supplied by foreign companies. This project focuses on the use of the barley *Hordeum vulgare* planted in the surrounding area of the state of Michoacán, to subject it to a malting process and produce domestic malt and optimum characteristics for industrial use. For this, an already established practice model was used, as is the basis of a good malting for the barley *Hordeum distichum*, which was modified and optimized for *Hordeum vulgare* with the purpose of producing a malt of optimum quality. It was determined that the ideal method for malting this particular species was achieved with a 24-hour maceration time with water at 45 ° C. Germination was maintained at temperatures of 20 to 25 ° C for a period of 96 hours. The drying consisted of 24 hours in an oven at a temperature of 65 ° C. When the malt was obtained an analysis was carried out to determine its physical and chemical qualities, in which the diastatic power was determined with a value of 350 UWK, very acceptable value in the import malts, as well as total protein indices of 9.74%, soluble protein of 4.40% and kolbach index of 42.5%, viscosity of 1.37 cp and density of 1.52 g / ml, parameters that indicate that the must produced with this malt is of optimum quality to be used in the production of beer and that they demonstrate the optimum quality of the must.

I MARCO TEORICO

1. Introducción

El arte de la fabricación de cerveza y vino se ha ido desarrollando a lo largo de 5000 a 8000 años. Debieron producirse varios descubrimientos independientes de que exponiendo al aire libre jugo de frutas o el extracto de cereales se obtienen bebidas fermentadas. Explicar como ocurre la fermentación no fue posible sino hasta el siglo XIX, lo que no impidió que se fueran introduciendo sucesivas mejoras en la técnica de elaboración. Existen ilustraciones de la elaboración de la cerveza que pertenecen al apogeo de las civilizaciones egipcia y babilónica, de unos 4300 años de antigüedad; durante la civilización griega y más tarde durante la civilización griega y más tarde durante la romana, el dominio del vino se convirtió en una cuestión de importancia para el mercado internacional. Las bebidas alcohólicas resultaban particularmente atractivas para aquellos individuos de vida poco placentera en cuanto a que producía euforia alcohólica. En la edad media la elaboración de cerveza fue considerada un arte o un misterio, porque se desconocía razones, cuyos detalles eran celosamente guardados por los maestros cerveceros y su gremio (Hough;1990).

El inicio de la industria cervecera mexicana se dio aparejada con el nacimiento de la industria moderna porfiriana (1880-1910). Fue una época en donde comenzaron a establecerse empresas de gran tamaño que requería de capitales cuantiosos y que por lo general utilizaron la forma de sociedad anónima para organizarse legalmente. Así, este periodo fue testigo del nacimiento de fábricas que comenzaron a producir bienes de consumo: cervezas, cigarros, jabón, etc.

En la década de los ochenta del siglo XIX la cerveza ya se producía y consumía en México. Esta bebida era producida de manera artesanal y no se comercializaba a gran escala. Otras bebidas como el pulque o el mezcal eran mucho más importantes en las preferencias de los consumidores.

La fabricación de cerveza en México tiene una larga tradición, sin embargo, fue recién a finales del siglo XIX que la industria cervecera “moderna” finco raíces en nuestro país. Si

bien existieron talleres artesanales que elaboraban dicha bebida con anterioridad, el establecimiento de la mayoría de las grandes fábricas con tecnología importada solo se dio a lo largo de la década de 1890. Para el año de 1877 se producía cerveza en distintos estados del país, Tabla 1 (Recio, 2004).

Tabla 1 Producción de cerveza en los estados, en 1877.

Estados	Producción en barriles
Aguascalientes	3995
Colima	1236
Distrito federal	46890
Estado de México	1126
Guanajuato	12356
Jalisco	16276
Michoacán	4175
Puebla	7390
San Luis potosí	6815
Veracruz	7320
Producción total	10933

Recio. G., (2004)

2. Cebada

2.1. Morfología de la cebada

La planta de cebada pertenece a la familia de las gramíneas, todas las cebadas se integran en el género *Hordeum* dentro del cual se encuentran las especies *Hordeum distichum* o dísticas (plantas que producen 2 granos en los nudos de la cabeza; es decir produce cabeza de dos hileras) y *Hordeum vulgare* o hexísticas (son cebadas que producen cabezas de 6 hileras) (Figura 1). Estas dos especies incluyen a numerosas variedades de cebada.

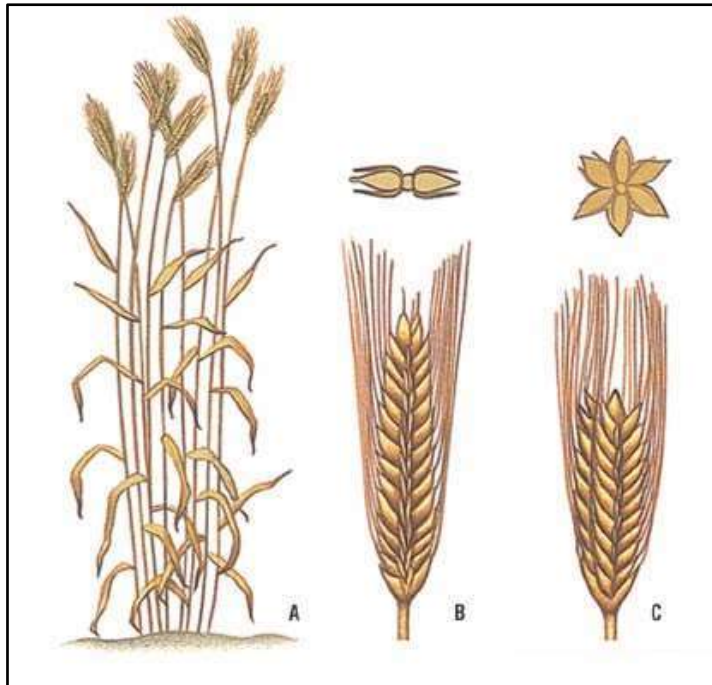


Figura 1 Morfología de cebada

A) planta de cebada, B) cebada 2 H, *H. distichum* C) cebada 6 H, *H. vulgare*

Ambas especies de cebada se emplean para la elaboración de malta cervecera; las variedades *H. distichum* producen granos más gruesos y uniformes, y por ello se utilizan para la elaboración de maltas primordialmente en los países de Europa, en tanto que las variedades *H. vulgare* poseen alto potencial enzimático y son preferidas principalmente en cervecería de México, Canadá y Estados Unidos (Sánchez; 2006).

La semilla de cebada está rodeada de una capa protectora que recubre la verdadera cubierta de semilla o testa, por lo tanto, posee tres capas (cascara, pericarpio y testa) que le confiere una protección al grano destinado al malteado, sobre todo durante el almacenamiento (Figura 2).

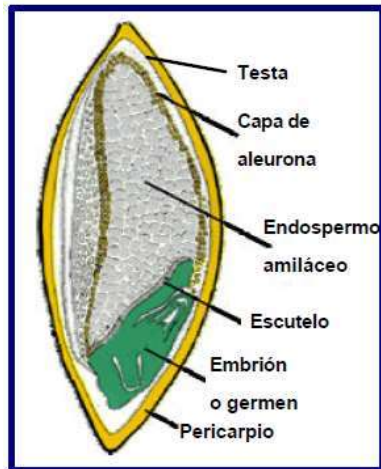


Figura 2 Estructura del grano de cebada
(Sánchez, 2006)

El endospermo de los granos de cebada posee hasta un 90% de los carbohidratos totales, de los cuales un 80% se encuentra en forma de gránulos de almidón que sirve de reserva nutritiva del grano. El almidón es solubilizado e hidrolizado durante el malteado hasta monosacáridos (principalmente glucosa y maltosa) gracias a la capacidad enzimática de las alfa y beta amilasa que se desarrolla en la cebada durante la germinación (Sánchez; 2006) (Figura 3).

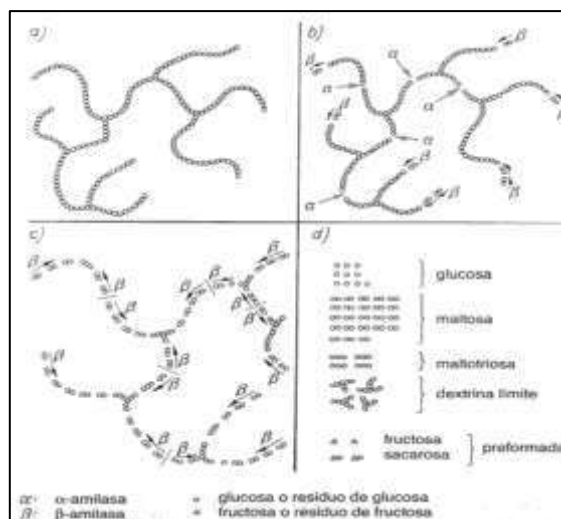


Figura 3 Acción enzimática sobre almidón

A) estructura del almidón B y C) degradación de la cadena de almidón por las enzimas D) azúcares degradados

2.2. Crecimiento de la planta

Bajo condiciones ideales de humedad y oxigenación, el grano de cebada puede germinar a 5°C. El primer signo de germinación es la producción de una gémula blanca. En realidad, se trata de una vaina que protege las raicillas seminales. Cuando la vaina se abre, las raicillas se ramifican entre las partículas del suelo desarrollan pelos radiculares que toman agua y minerales, poco después, a partir de otro extremo del grano, surge la vaina de la hoja (coleóptilo) que se extiende rápidamente hacia la superficie, luego se abre el coleóptilo revelando las primeras hojas verdaderas y van apareciendo nuevas hojas en sucesivas uniones (nudos) del tallo.

2.2.1. Clima

Las exigencias en cuanto al clima son muy pocas, por lo que su cultivo se encuentra muy extendido, aunque crece mejor en los climas frescos y moderadamente secos. La cebada requiere menos unidades de calor para alcanzar la madurez fisiológica, por ello alcanza altas latitudes y altitudes.

2.2.2. Temperatura

Para germinar necesita una temperatura mínima de 6°C. Florece a los 16°C y madura a los 20°C. Tolera muy bien las bajas temperaturas, ya que puede llegar a soportar hasta -10°C. En climas donde las heladas invernales son muy fuertes, se recomienda sembrar variedades de primavera, pues éstas comienzan a desarrollarse cuando ya han pasado los fríos más intensos.

2.2.3. Suelo

La cebada prefiere tierras fértiles, pero puede tener buenas producciones en suelos poco profundos y pedregosos, con tal de que no falte el agua al comienzo de su desarrollo. No

le van bien los terrenos demasiado arcillosos y tolera bien el exceso de salinidad en el suelo. Los terrenos compactos no le van bien, pues se dificulta la germinación y las primeras etapas del crecimiento de la planta.

Los suelos arcillosos, húmedos y encharcados, son desfavorables para la cebada, aunque en ellos se pueden obtener altos rendimientos si se realiza un buen laboreo y se conserva la humedad del suelo. Los suelos con excesivo nitrógeno inducen el encamado e incrementan el porcentaje de nitrógeno en el grano hasta niveles inapropiados, cuando se destina a la fabricación de malta para cerveza.

En cuanto al calcio, la cebada es muy tolerante, vegetando bien incluso en suelos muy calizos, por lo que muchas veces a este tipo de suelos es corriente llamarlos “cebaderos”, si bien tiene un amplio margen en cuanto a tolerancia de diferentes valores de pH. A las cebadas cerveceras les van bien las tierras francas, que no sean pobres en materia orgánica, pero que su contenido en potasa y cal sea elevado. La cebada es el cereal de mayor tolerancia a la salinidad, estimándose que puede soportar niveles de hasta 8 mmhos/cm, en el extracto de saturación del suelo, sin que sea afectado el rendimiento.

2.3. Composición química del grano de cebada

El grano de cebada presenta forma oval y alargada, posee 2 compartimientos especiales: endospermo y embrión, ambas zonas se encuentran rodeadas por dos capas externas testa y pericarpio que le confieren una protección vital durante el almacenamiento (Callejo, 2002).

El endospermo es el lugar en donde se almacena el almidón y está cubierto por la capa aleurona; tanto las paredes celulares del endospermo amiláceo como las que conforman la aleurona se encuentran cubiertas por polisacáridos no amiláceos tales como arabinoxilanos, beta-glucanos y menor cantidad de celulosa (MacGregor y Batty, 1996). El endospermo del grano de cebada también es rico en nitrógeno, el cual se encuentra en forma de proteína enzimática y proteína de reserva (Hornsey, 1999).

El embrión es la parte de la semilla de la cebada que se desarrolla durante la germinación ya que requiere de nutrientes como almidón y proteínas para su crecimiento; en el embrión se promueve la formación de enzimas que potencian la degradación de dichos componentes. La producción de enzimas durante la germinación del escualeno (Sánchez, 2006).

2.3.1. Polisacáridos amiláceos

Almidón

La cantidad de almidón contenido en el grano de cereal varia, generalmente oscila entre el 60 al 75% del peso total del grano. El almidón presente en los granos es el más importante de los carbohidratos para fines industriales resultando preciso degradarlo enzimáticamente con gelatinización previa por acción de calor o sometiéndolo a intenso trabajo mecánico. El almidón de cebada gelatiniza a 58 a 90°C, pero durante la germinación la temperatura alcanzada es de solo 15°C, por lo tanto, las enzimas que degradan el almidón, las amilasas, operan en el malteado sin gelatinizarlo previa (Hoseney, 1991). El almidón consta de dos fracciones: amilosa que es soluble en agua y amilopectina que es insoluble en agua con un alto peso molecular (Navarro y Sossa, 2003).

Amilosa

Es un polímero de glucosa que contiene mil a cuatro mil unidades de este monómero, tiene por tanto un peso molecular de 200 mil o 800 mil daltons, valor que varía no solo según la especie de planta, sino también dentro de la misma especie y depende del estado de maduración (Hoseney, 1991). Cada unidad de glucosa está unida a la siguiente por un enlace glucosídico α -1,4 (Figura 4). Este enlace determina que el grupo reductor de la glucosa, situado en la posición uno, pierda la funcionalidad, una molécula de amilosa no tiene más poder reductor que el correspondiente a una molécula de glucosa, porque solo tiene un grupo reductor funcional, situado en un extremo (Hough, 1990).

Generalmente es un polímero lineal, aunque se cree que solamente para una parte de la amilosa, siendo ligeramente ramificado el resto. Cuando se lixivia el almidón para separar la amilosa siendo ligeramente por encima de la temperatura de gelificación del almidón, la amilosa solubilizada es esencialmente lineal. La naturaleza lineal y de gran longitud, confiere a la amilosa algunas propiedades únicas (Hoseney, 1991).

Amilopectina

Es un polisacárido cuyas cadenas principales son restos unidos en un enlace α -1,4, como en la amilosa, y que presentan esporádicamente ramificaciones α -1,6, localizadas en 15 a 20 unidades de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar 200 millones de daltons. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. La consecuencia de los enlaces α -1,6, es la formación de una molécula ramificada que al igual que la amilosa, tiene un solo grupo funcional (Hough, 1990).

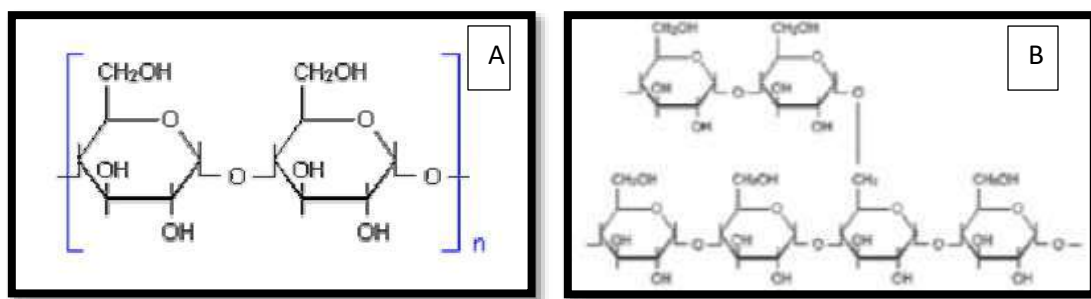


Figura 4. polisacáridos amiláceos

Amilosa (A) y la amilopectina (B). (Sánchez, 2006)

2.3.2. Polisacáridos no amiláceos

A. Celulosa Se localiza exclusivamente en la cubierta de las paredes celulares, actuando como sustancia estructural, este polisacárido es insoluble y no hidrolizable por las enzimas generadas durante el malteo, sin embargo, carece de influencia en la calidad de la malta.

- B. Azúcares** La sacarosa y la rafinosa son azúcares principales que se encuentran en el grano de cebada, se ubican en la capa aleurona y en el embrión, el contenido de azúcares en el grano de cebada incrementa considerablemente después del malteo generándose maltosa como principal producto.
- C. Gomas** Se trata de los β -glucanos y pentosas o arabinosilanos que son solubles en agua caliente.
- D. Hemicelulosas** esta fracción se refiere al porcentaje de β -glucanos (80-90%) y pentosanos (10-20%) que son insolubles en agua caliente.
- E. Pentosas o arabinosilanos** Son polímeros de xilosa unidos por enlaces β (1 $\rightarrow$ 3) que suele ser parcialmente hidrolizados durante la germinación; estos componentes carecen de importancia en la calidad de la malta cervecera en comparación con los β -glucanos.
- F. β -glucanos** Son polímeros lineales de glucosa, unido mediante enlaces β -(1 $\rightarrow$ 3) (70%) y (1 $\rightarrow$ 4) (30%) que se encuentran en las paredes celulares del endospermo hasta 70-95% junto con las pentosas, otra pequeña cantidad procede de la cascarilla (Horsey, 1999).

2.3.3. Importancia de los β -glucanos en cebada

En la industria de la malta y la cerveza altas cantidades de β -glucanos se asocian directamente con problemas, principalmente de "haze" (precipitados insolubles de β -glucanos en producto terminado) (Bamforth, 1997).

Altas concentraciones de β -glucanos afecta el extracto, debido a que las cebadas con cantidades elevadas de estos componentes suelen mostrar producciones pobres de β -glucanasa; enzima encargada de la despolimerización de los β -glucanos. La degradación

del almidón de cebada está determinada principalmente del contenido de β -glucanos en la pared celular y en especial en la capacidad de la cebada para desarrollar altos niveles de β -glucanos (Henry, 1998), debido a que la deficiencia de β -glucanasa en la muestra trae como consecuencia una degradación más lenta de β -glucanos.

Finalmente, los β -glucanos incrementan la viscosidad del mosto, por lo que deben de estar en presentes en mínimas cantidades en el grano de cebada (generalmente se reportan cantidades de 3-6% como límite máximo en variedades de cebada europeas).

2.4. Bioquímica en el proceso de malteo

El endospermo amiláceo de la cebada se encuentra formado por células incapaces de sintetizar enzimas. Tales células consisten en una pared de proteínas que envuelven los gránulos de almidón. Durante el proceso de malteo, en el embrión se desencadena un potente sistema enzimático que se transporta al endospermo y es capaz de hidrolizar el almidón se ve facilitada por la solubilización parcial de las proteínas, así como la degradación de los β -glucanos.

Los procesos bioquímicos durante el malteo incluyen reacciones que implican citólisis, proteólisis, y amilosis; tales reacciones se describen brevemente a continuación.

1. Durante el remojo comienza la entrada de agua hacia el interior del grano.
2. El grano de cebada contiene cantidades de β -amilasa latente en formas solubles e insolubles; durante el malteo, la β -amilasa se solubiliza por completo.
3. En el embrión ocurre una producción de ácido giberico (AG) y giberelinas que se difunden al endospermo. Una vez el endospermo, el AG se propaga hacia el escualeno y la capa aleurona; la producción de enzimas inicia en el escualeno y posteriormente continua en el resto de la capa de aleurona; posterior a la a activación enzimática se forman enzimas α -amilasa, endo β -glucanasa, pentonasas, endoproteasas y dextrinasas.

Después de dos días de germinación, finaliza la producción de gilberelinas, la capacidad de la cebada para producir enzimas hidrolíticas depende de la cantidad y viabilidad de las gilberelinas. Los granos que presenta daño en el embrión son incapaces de producir gilberelinas, por lo que se debe omitir su uso para la elaboración de maltas

4. A continuación, se hidroliza aproximadamente un 10% de almidón y el contenido de amilosa se eleva desde un 22% (cebada) hasta un 26% (malta) aproximadamente.
5. Después se comienza a degradar los β -glucanos y arabinosilanos que se encuentran en la 'pared celular del endospermo, con ellos se consigue la exposición de las partes proteicas que protegen a los gránulos de almidón.
6. Las proteínas son degradadas parcialmente por las proteasas y peptidasas, liberando nitrógeno amino libre (FAN). La proteólisis de los granos es de gran importancia debido al FAN liberado, pues no solo es necesario para el crecimiento del embrión, sino que asegura la producción eficiente de enzimas durante el proceso de germinación. Los péptidos del FAN obtenidos con la proteólisis también son requeridos para el crecimiento de las levaduras durante la fermentación, por ello una insuficiente degradación de proteínas provoca extractos pobres de malta.
7. Finalmente, el resto de almidón es degradado hasta obtención de azúcares principalmente maltosa y glucosa, nutriendo el embrión para posterior formación de raicillas.
8. Después de la hidrólisis del almidón ocurre un metabolismo denominado extracto de agua fría, el cual consiste en formación de aminoácidos y azúcares durante la respiración, los cuales se manifiestan con la formación de raicillas y acrospira.

3. Otros insumos

3.1. Lúpulo

Los conos del lúpulo son las flores femeninas de *Humulus lupulus* sin fecundar. El cono tiene en la base de sus pequeñas brácteas (bractéolas), una glándula dorada que segrega una resina denominada lupulina. La lupulina contiene humulonas que son compuestos orgánicos unidos a un anillo de seis átomos de carbono. Las humulonas tienen carácter ácido y dan origen a los α -ácidos que proporcionan amargor a la cerveza, los β -ácidos también proporcionan amargor en menor medida en comparación con los α -ácidos (Fálder; 2006).

Estos ácidos amargos se oxidan y polimerizan fácilmente perdiendo su poder amargo, estos fenómenos son acelerados por el oxígeno, temperatura y humedad, siendo importante que para su conservación deba ser colocado en lugares adecuados a 0°C donde el grado hidrométrico no pase de 70 a 75%.

Los α -ácidos o humulonas que son mezclas homologas como son las humulonas, comulonas, adhumulonas, pre humulonas, y post humulonas. Los α -ácidos, tal cual no son amargos y su presencia en la cerveza es ínfima, por ebullición los α -ácidos se transforman en iso, α -ácidos que son más amargos y solubles en el mosto (Carvajal; 2010).

En el lúpulo también existen aceites esenciales (humuleno, farneseno, mirceno) que dan sabor y aroma a la cerveza. El lúpulo se comercializa directamente en conos; desecado, molido y en grumos (pellets envasados al vacío) (Fálder; 2006).

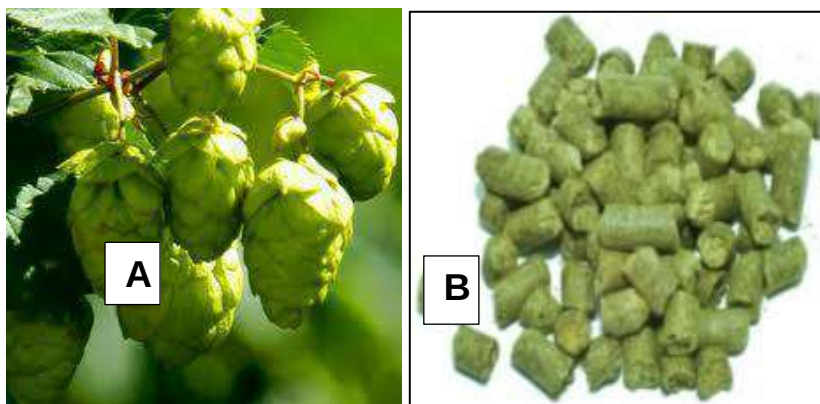


Figura 5 Lúpulo

A) lúpulo en forma de flor B) pellets de lúpulo triturado (Sáez M., 2012)

3.2. Agua

La naturaleza del agua empleada en la fabricación de cerveza es de mucha atención y se llega a decir que el éxito de la cerveza depende del empleo adecuado del agua ya que constituye cerca del 95% del contenido de la cerveza por lo que es un ingrediente fundamental y del cual interesa esencialmente su contenido de sales y especialmente de dureza. Como norma general se recomienda utilizar aguas blandas con poco contenido en sales (Carvajal; 2010).

Hay varios iones importantes que considerar cuando se evalúa el agua para fabricación. Los principales iones son Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Bicarbonato (HCO_3^{-1}) y Sulfato (SO_4^{-2}). El Sodio (Na^{+1}), Cloro (Cl^{-1}) y Sulfato (SO_4^{-2}) pueden influir sobre el gusto del agua y de la cerveza, pero no afectan el pH del macerado como los otros. La concentración de iones en el agua generalmente es mencionada como partes por millón (ppm), lo cual es equivalente a un miligramo de una sustancia por litro de agua (mg/l) ver tabla 2, (Palmer; 199).

Tabla 2 Principales iones presentes en el agua, concentración y función.

Ion	Rango de elaboración (ppm)	Función
Calcio	50- 150	Detección de dureza del agua. Indispensable en los procesos bioquímicos del macerado y la fermentación.
Magnesio	10-30	Fundamental en la dureza del agua. Nutriente para la función de la levadura.
Bicarbonato	0-50	Son grandes determinantes en la química del agua. Es un ion alcalino que eleva el pH del agua y neutraliza la acides de la malta oscura.
Sulfato	50-150	Combinados con el calcio y el magnesio contribuyen a la dureza del agua. Acentúa el amargor del lúpulo pero en concentración mayor a 400 ppm genera sabores astringente y desagradable.
Sodio	0-150	Se necesita regular su concentración en el uso de ablandadores de agua a basa de sales.
Cloro	0-250	Acentúa el aroma de la cerveza

(E-βlinger, 2006).

3.3 Levadura

La levadura de fabricación de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), es un tipo de hongo. Se reproduce asexualmente por división celular. La levadura es un microorganismo que se nutre de los azúcares fermentables contenidos en el mosto produciendo como subproducto alcohol etílico y dióxido de carbono (que mezclado con el agua se convierte en anhídrido carbónico) bajo condiciones de ausencia de oxígeno. Si existe oxígeno en el mismo mosto, la levadura lo consume para multiplicarse produciendo pequeñas cantidades de agua.

Además de convertir azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono, la levadura produce muchos otros componentes, incluyendo esteres, fusel alcoholes, ketones, varios fenoles y ácidos grasos. Los esteres son los componentes moleculares responsables por las

notas frutales en la cerveza, los fenoles dan notas especiadas. El diacetilo es un componente ketone que puede ser beneficiosos en pequeñas cantidades. Los alcoholes fusel son alcoholes de mayor peso molecular y son considerados los responsables por los malestares que causa la ingesta excesiva de alcohol. Estos alcoholes también tienen bajo umbral de sabor y a menudo aparentan ser notas fuertes de sabor. Aunque toman parte en las reacciones químicas que producen los componentes buscados, los ácidos grasos también tienden a oxidarse cuando la cerveza envejece, y produce sabores indeseables (Palmer; 1999).

Existen dos tipos de levaduras que se utilizan en la elaboración de cerveza levadura Ale y levadura Lager.

LEVADURA ALE. La principal característica de las levaduras Ale son el rango de temperatura de fermentación el cual oscila entre los 6 a 25 °C la cual es una temperatura de trabajo más estable entre los cerveceros artesanales además de que este tipo de levadura proporciona sabores más afrutados y dulces.

Las celdas las levaduras de fermentación superior se mantienen pegadas cuando brotan nuevamente, como resultado de en ciernes multilaterales, se forma un pequeño grupo de células complejas. Las ramas laterales se rompen de distancia y construir nuevos clusters. Se puede hacer una diferenciación bajo el microscopio, Figura 6.

LEVADURA LAGER. La levadura de tipo Lager principalmente caracterizada por su baja fermentación a temperaturas que rondan entre los 6 a 10°C. La fermentación lager proporciona a las cervezas un aroma más puro y parcialmente sulfuroso.

Esta fermenta y luego es almacenada en frío durante un período de semanas o meses a temperaturas que rondan en los 5°C. Esta fermentación baja y lenta desarrolla cervezas que saben más “limpias” y que carecen de los ésteres frutados característicos de las cervezas Ale.

Normalmente las cervezas industriales se elaboran con levaduras LAGER, y las artesanales utilizan en su gran mayoría levaduras ALE, debido a que es fácil mantener

un fermentador a temperatura de 14 a 25 grados centígrados, que mantenerlo de 6 a 10º grados (Carbajal; 2010).

Las diferencias morfológicas entre la levadura y la levadura lager son pequeñas. La forma y el tamaño de las células no se puede utilizar para la diferenciación bajo el microscopio. Tanto los tipos de levadura solo pueden distinguirse por sus características de brotación. Las levaduras Lager se separan muy poco después de la brotación, y luego las células madre e hija brotan otra vez. Esto resulta en una sola o pares de células en la imagen del microscopio.

Al final de la fermentación la desintegración de los racimos conduce a las complicaciones en la diferenciación.

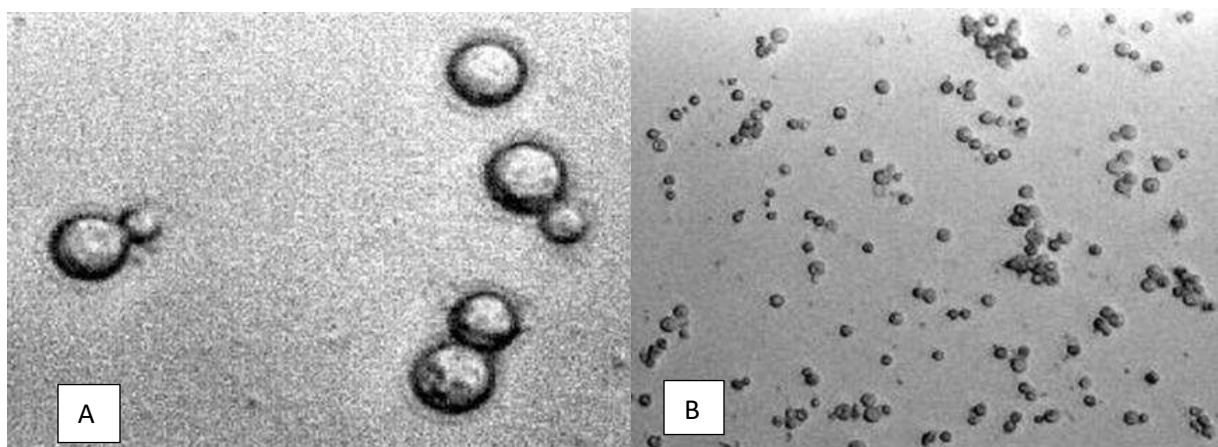


Figura 6 Microscopia de levadura

(A) Levadura de fermentación superior (B) Lager bajo el microscopio (× 640 aumentos) (Palmer, 2009)

4. Producción

4.1 Elaboración de malta

4.1.1 Selección de la cebada

Es una actividad cualitativa que se realiza en base a propiedades organolépticas de la cebada y consiste en comprobar si el grano posee un tamaño uniforme, si se encuentra libre de materias extrañas tales como otras semillas, si contiene granos rotos, piedras o algún otro material extraño.

La limpieza de la cebada consiste en eliminar cualquier sustancia ajena a la misma, así como los granos dañados, vanos, inmaduros chupados o verdes que se pudiesen existir (NMX-FF-043-SCFI-2003). Otros parámetros de gran importancia son el tamaño, el olor y el color del grano; la cebada con carga microbiana muy alta emite un olor característico que se detecta con facilidad:

Posteriormente se efectúa pruebas de laboratorio entre ellas la determinación de humedad, la viabilidad de la germinación y el contenido proximal de la cebada (Callejo, 2002).

4.1.2. Parámetros de calidad en la malta cervecera

En México los parámetros de calidad para la cebada maltera se encuentran establecidos en a NMX-FF-043-SCFI-2003, en dicha norma se hace referencia a propiedades fisicoquímicas de la cebada, Tabla 3.

Tabla 3. *NMX-FF-043-SCFI-2003* Parámetros de calidad de malta cervecera.

Parámetro	Especificaciones
Humedad	Entre 11.5 y 13.5%
Grano de tamaño para uso maltero	Contenido mínimo de 85% del total de la muestra
Granos quebrados	Máximo 5.0%
Impurezas	Máximo 2.0%
Granos dañados	Máximo 10%
Geminación mínima	Mínimo 85%
Mezcla de otras variedades	Máximo 10%
Peso hectolítrico	56 Kg/L (cebadas de dos hileras) 58 Kg/L (cebadas de seis hileras)
Olor	Característico del grano, sin olores extraños
Residuos tóxicos	Sin residuos
Contaminantes o toxinas	Sin contaminación evidente

Anderson et al, 2000; Callejo, 2002; Hornsey, 1999 indican que el uso de granos de calidad adecuada es de gran importancia durante el malteado, ver Tabla 4.

Además de las propiedades fisicoquímicas, la cebada considerada como maltera debe cumplir con otros parámetros específicos de calidad; tales como nitrógeno (1.5 a 2.1%), proteínas (8.3 a 12.3%) y β -glucanos (31%) establecidos en métodos de Analytica EBC, 2003.

Se requiere además que las cebadas destinadas al malteo no poseen altas cantidades de lípidos, (normalmente el contenido de grasa en cebada es de 3-4% del peso seco del total del grano) debido a consecuencias como la oxidación de grasa y turbidez en cerveza y mosto. Finalmente, la cantidad de carbohidratos (principalmente azúcares de almidón) debe ser alta para asegurar la fermentación eficiente durante la elaboración de cerveza (Hornsey, 1999); cabe resaltar que no existe valores específicos en cuanto al contenido de lípidos y carbohidratos en cebadas y maltas.

Tabla 4 Características de la calidad maltera de cebada

Característica	Beneficios a la malta
1. Granos gordos, de superficie lisa y sin partir, con cascarilla fina y de color amarillo claro.	1. Asegura un malteado homogéneo.
2. Granos sanos (sin daños físicos, con contaminaciones mínimas causadas por mohos, ausencia de cebadas pre-germinadas y libres de material extraño como insectos y piedras).	2. Evita problemas durante la elaboración de la malta y maximiza el rendimiento del grano de cebada.
3. El endospermo del grano debe ser blanco y harinoso con un aspecto brillante.	3. Habrá un mayor rendimiento de la malta.
4. Granos de cebada con adecuada capacidad de hidratación.	4. Acelera el proceso de malteado.
5. Capacidad de desarrollar los complejos enzimáticos requeridos.	5. Las enzimas son necesarias para el malteado.

Anderson et al, 2000; Callejo, 2002; Hornsey, 1999

4.1.2. Remojo

Es una fase crítica del malteado debido a que del remojo depende gran medida la capacidad de germinación del grano, el cual consiste en suministrar agua a interior del grano con el objetivo primordial de incrementar hasta en un 40-45% (Analytica EBC, 2003).

Entre las funciones principales del remojo se encuentran:

- Aumentar el contenido de humedad de un 12% (humedad media general para este tipo de grano) a un 40.45% de humedad ideal para la germinación.
- Lavar el grano para eliminar los inhibidores de la germinación, así como toda la materia flotante por desnatar.

El aumento de humedad al ser de más del 30% dará a la germinación. La absorción de agua tiene que hacerse bajo condiciones controladas de:

- Temperatura.
- Tipo de vegetación.
- Alternando entre periodos secos y húmedos.
- Suministro de oxígeno.

La calidad del agua debe de ser al menos tan alta como la potable.

La absorción del agua depende principalmente de la temperatura del agua y de la duración de los periodos húmedos. Aumentar el nivel del agua y los periodos de humedad puede aumentar el riesgo de ahogar el grano y aumenta el riesgo de crecimiento microbiano. Las temperaturas más comunes de remojo son entre los 12-18°C (E-βlinger; 2006).

Durante el remojo, la absorción de agua al interior del grano es rápida, aunque después desciende gradualmente; el embrión toma rápidamente agua, en cambio el endospermo sufre una hidratación más lenta. En cuanto a los gránulos de almidón, los pequeños tienen mayor capacidad de absorción de agua (alrededor de un 33%) mientras que la penetración de agua en granos de mayor tamaño es más lenta. La capacidad de hidratación de la cebada depende de la variedad, del tamaño, de la cantidad de muestra a remojar, la temperatura y el tiempo de remojo, entre otros factores.

Conforme avanza el tiempo de remojo, la semilla de cebada incrementa su tamaño hasta un 25% y ocurre un ablandamiento de las células, así como la activación de enzimas presentes en la cebada para iniciar el proceso de germinación (Sánchez, 2006).

El remojo consta de dos fases: el periodo de inmersión (suministro constante de agua) y los periodos de oxigenación (suministro de oxígeno). El oxígeno es necesario porque la respiración del embrión aumenta significativamente lo que crea una demanda importante de este gas en el agua de remojo (French y McRuer, 1990), además es promotor de la formación de la amilasa; en ausencia de oxígeno el embrión puede metabolizar

anaeróbicamente las reservas, pero de un modo energéticamente ineficaz, convirtiéndolas en dióxido de carbono y alcohol y a medida que el alcohol incrementa su concentración, se vuelve toxico para el grano, mientras que un exceso de dióxido de carbono inhibe la formación de enzimas (Wheith et Klaushofer, 1993).

La absorción del agua y el rendimiento de la germinación están fuertemente ligadas a la calidad del grano de cebada. La cebada puede mostrar gran capacidad de germinación, pero aún no la plena energía germinativa en el momento de la inmersión a este fenómeno se le llama latencia, que naturalmente evita que el grano germine en un estado demasiado temprano y es causada por inhibidores del grano. Por lo tanto, la energía germinativa tiene que ser revisado antes de ser sometido a la maceración (E-βlinger, 2006).



Figura 7 Maceración controlada de la cebada (Gisbert, 2002)

4.1.3. Germinación

La germinación es un proceso controlado cuyo objetivo es generar nutrientes, principalmente azúcares y aminoácidos mediante la modificación del endospermo, la cual ocurre por el desarrollo, distribución y acción enzimática (α y β -amilasas, proteasas arabinosilasas y β -glucanasa). Los compuestos obtenidos en la germinación serán utilizados por la levadura durante la elaboración de la cerveza.

La transformación de cebada depende de factores como la cantidad y forma de distribución del agua dentro del endospermo amiláceo, la cantidad y capacidad de las enzimas hidrolíticas y las características estructurales del almidón a la degradación debido a la protección que le confieren β -glucanos y proteínas (Sánchez, 2006).

Los objetivos de la germinación son:

- Desglose controlado de las paredes celulares y proteínas de la matriz
- Produce un nivel óptimo de enzimas hidrolíticas
- Hidrolizar componente de la cebada como proteínas para crear nitrógeno amino libre FAN
- Minimice la pérdida de extracto potencial del crecimiento y la respiración mientras logra la modificación óptima
- Produce malta verde equilibrada y bien modificada para el secado

Estos objetivos pueden ser logrados mediante el control de los siguientes parámetros:

- Control de los tiempos de germinación
- Máximo grado de remojo (para ello se debió tener el monitoreo previo del remojo y a medición de la humedad final del grano de cebada)
- Temperatura
- Oxigenación y producción de dióxido de carbono (E-βlinger, 2006)

La germinación de la cebada es controlada mediante la estabilización de la humedad de la muestra (la cual debe estar alrededor del 42%), con suministro de oxígeno, la eliminación del dióxido de carbono y la eliminación del exceso de calor generado por la respiración de la semilla.

La actividad enzimática se manifiesta por la aparición de raicillas en un extremo y el avance por debajo de la cascara del acrospira o cotiledón, la acrospira crece a lo largo del lado dorsal del grano, el crecimiento del cotiledón y de raicillas de la cebada es conocido como desagregación, de acuerdo con el grado alcanzado en el proceso de transformación, se dice que las maltas son más o menos desagregadas indica heterogeneidad del crecimiento y, por lo tanto, una calidad de la malta no homogénea (Casteñe y Damm, 1997).

La inducción de enzimática es causada por las hormonas gilberelinas. El ácido gilberico induce la producción de enzimas hidrolizantes en la aleurona, capa que cubre todo el endospermo. Los productos de descomposición del endospermo (azúcares, aminoácidos, etc.) junto con materiales de la capa aleurona (fosfato, vitaminas, minerales, etc.) son necesarios para el germen en crecimiento (E-βlinger, 2006).

La duración del crecimiento la acrospira en relación con la longitud del grano se puede usar para evaluar la homogeneidad del lote. Diferentes longitudes de acrospira y acrospira muy largos.

Una vez finalizada la germinación, el producto obtenido, conocido como malta verde, se puede someter a una corriente de aire estéril a 25°C para disminuir la humedad de la muestra y con ello reducir el riesgo de desarrollo de microorganismos (Galán y al 2004) debido a que un inadecuado control durante la germinación puede reducir la calidad de la malta, sobre todo cuando se desarrolla contaminación por mohos o insectos (HGCA, 2002).

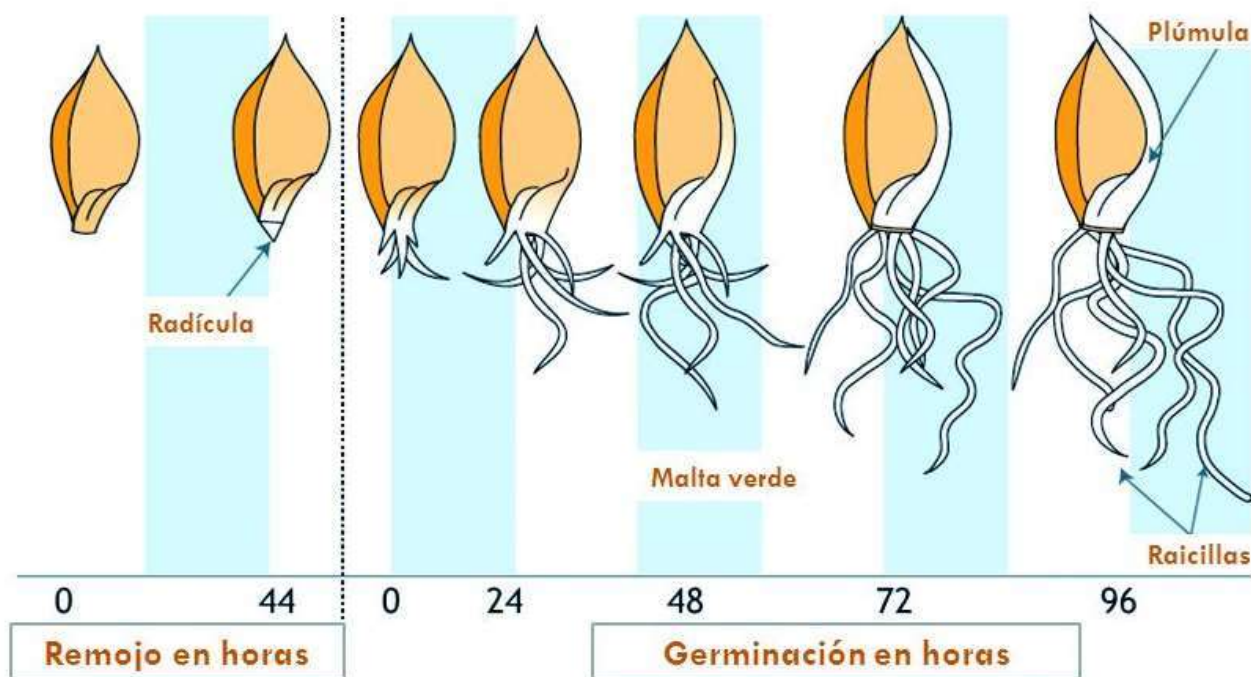


Figura 8 Progreso de germinación y tiempo.

4.1.4. Secado

El secado consiste en la aplicación de calor a la cebada después de que ha culminado la fase de germinación con el objetivo de tener la degradación del almidón y reducir la humedad hasta 2-5%, con ello se logra mantener la estabilidad de la malta durante el periodo de almacenamiento. Con el secado de la malta también se pretende detener la actividad enzimática desencadenada durante la germinación sin destruir las enzimas e introducir las características finales de color y sabor (MacGregor y Batty, 1996).

Los objetivos del secado son:

- Terminar el proceso de modificación y el crecimiento de la planta.
- Reduce la humedad a niveles adecuados para el almacenamiento de los granos.
- Conserva los procesos enzimáticos desarrollados durante el malteo.
- Desarrollar características de color, sabor y aroma, característica importante para el cervecero.

El calentamiento debe ser realizado con cuidado al inicio debido a que las enzimas pueden ser destruidas por el calor húmedo, y la malata endurecida si el almidón mojado se gelatiniza y se vuelve vidrioso después de secarse a altas temperaturas. La elección de la temperatura inicial depende de la calidad deseada para la malta (E-βlinger, 2006).

El secado se caracteriza por manejar temperaturas que no implique la destrucción de enzimas desarrolladas durante la germinación (α y β -amilasas, β -glucanasas, proteasas, y dextrinasas), debido a que estas enzimas son muy sensibles a altas temperaturas.

El secado es un proceso que requiere un riguroso control y comúnmente, se inicia a bajas temperaturas (35-50°C), las cuales se van incrementando hasta llegar a temperaturas aproximadas a 75°C para la elaboración de maltas claras y temperaturas próximas a 100°C.

Las condiciones de secado son muy variadas y estas dependen de las características finales que se le quiere dar a la malta, el uso de temperaturas aproximadas a 100°C se conoce como curado y se aplica a maltas oscuras destinadas para las cervezas de tipo Ale. Al final de la fase del secado las enzimas termolábiles como proteasas y β -

glucanasas se encuentran desnaturalizadas y el resto de las enzimas remanentes se encuentran coaguladas. La coagulación de las enzimas es de gran importancia para obtener cervezas no turbias. El secado puede durar entre 16 y 60 horas, dependiendo del tipo de malta a producir (Horsey, 1999).

El principal cambio que se manifiesta durante el secado es el oscurecimiento de la malta debido a la reacción de Maillard. La reacción entre los aminoácidos y azúcares puede seguir otras rutas químicas originando compuestos como las pirazinas, tifenoles, pirroles y furanos que confieren características especiales a las maltas, como sabores típicos a tostado, café o caramelo. Las reacciones de Maillard se favorecen a temperaturas por encima de 80°C. En maltas oscuras se debe inducir la formación de compuestos, mientras que las maltas claras las condiciones de tostado han de ser más suaves para evitar la síntesis.

Durante el secado, también se debe evitar que las maltas se sometan a muy altas temperaturas, debido a la producción de N-nitrosaminas, las cuales pueden resultar carcinogénicas, por lo cual debe disminuirse y/o evitarse su formación (Sánchez, 2006).

Los productos más importantes de Maillard son las melanoidinas. Él tiene un gran impacto en el color y el aroma, así como el pH y la estabilidad del sabor de la cerveza.

La s-metilmetionina es el precursor de dimetilsulfuro (DMS) y es expulsado, a medida que aumenta la temperatura, el precursor de DMS se reduce, pero a temperaturas más altas también aumenta el color y el ácido tiobruturico (TBN) (E-βlinger, 2006).

El secado de la malta se divide en tres etapas principales:

- **Eliminación del agua libre.** La humedad de la muestra disminuye aproximadamente desde el 42% hasta el 23%, el agua se elimina con facilidad.
- **Estado intermedio.** La humedad se reduce hasta un 12%. Después de esta etapa, se ha minimizado la actividad enzimática; la temperatura de secado hasta la fase intermedia no debe superar los 50°C y normalmente ocurre entre 12 y 24 horas de tratamiento.

- **Eliminación de agua ligada.** Ocurre la disminución de humedad desde 12 hasta 6%.

Curado de malta o golpe de fuego. Reduciendo la humedad hasta 2-5%, con el curado se eliminan sabores a malta verde. Después de estas dos últimas etapas, la temperatura del aire se encuentra 50 a 90°C (Sánchez, 2006).

Al finalizar el secado, la malta debe ser almacenada a temperaturas bajas (4-5°C) para mantener constante la humedad obtenida, además de evitar contaminación de la misma, sobretodo de tipo microbiológica (Callejo, 2002).

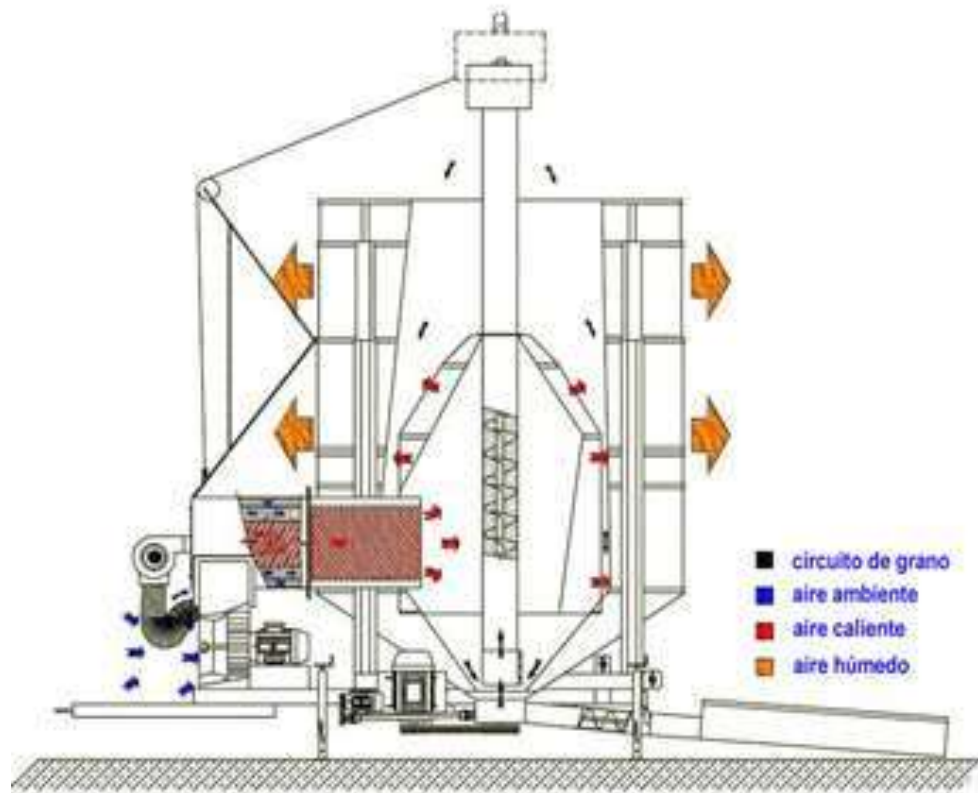


Figura 9 Diagrama de una tolva de secado industrial.

4.2. Elaboración de cerveza

4.2.1. Molienda de malta

La descomposición mecánica el grano de malta ocurre mediante la molienda. Ya que la composición de la molienda influye en las propiedades de laxitud de los granos gastados y el tipo de molido.

La clasificación de la molienda depende del sistema y puede variar dependiendo en la solución de malta, incluso en la misma clasificación del molido. Por un lado, la molienda es importante para extraer el interior de la malta o grano de cereal tanto como sea posible fuera del endospermo para facilitar el siguiente paso de la extracción y dilución.

La molienda tiene como objetivo triturar la malta. Es necesario que la cascarilla permanezca tan entera como sea posible y que, en cambio, el endospermo se muele hasta un tamaño de partícula que permita la fácil liberación del extracto al filtrar. Se desintegra mucho, la cascarilla no puede formar un filtro suficientemente capaz y permeable durante la recuperación del mosto a partir de la masa. Por otra parte, la cascarilla rota libera más sustancias tánicas de las deseables. En cuanto a la trituración del endospermo, es preciso que las partículas del mismo se hidraten bien y liberar fácil sus enzimas y otros constituyentes celulares para que puedan degradarse rápidamente. Desde este punto de vista, serian ideales partículas de tamaño muy reducido, pero estas tienden a empaquetarse demasiado apretadamente y formar un lecho impermeable, que libera muy lentamente e incompletamente en el mosto (Hough; 1990).

Los molinos de rodillo producen partículas de endospermo de diferentes tamaños, desde sémolas gruesas de 0.3-0.6mm de diámetro y finas de 0.15 a 0.3 mm hasta harinas como partículas de 0.15 mm. Es posible ajustarla distancia entre los cilindros para asegurar una proporción determinada de sémolas, o para obtener más o menos harina.

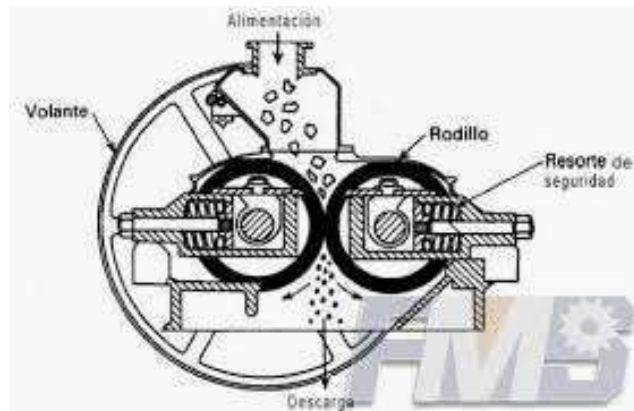


Figura 10 Diagrama de molino de malta Palmer, 1989.

4.2.2 Maceración y obtención de mosto

Teniendo en cuenta la calidad de la malta, el equipo técnico de la cervecería y la elección de la maceración, se debe lograr la composición de mosto que garantice una alta calidad de la cerveza.

La maceración consiste en mezclar la malta molturada con agua a una temperatura determinada, para que se disuelva en ella los almidones y demás componentes solubles de la malta. Una vez disueltos, según la temperatura del agua, actuarán diferentes enzimas sobre los almidones produciendo diferentes azúcares fermentables y azúcares no fermentables, así como otros componentes secundarios de mayor o menor importancia para el proceso de elaboración.

Al conjunto de los componentes de la malta disueltos en el agua se le denomina extracto.

En la maceración, los cereales, se introducen en una cuba, a los cuales se les añade agua previamente acidificada hasta un pH de 5.5. la cantidad de agua se basa en una relación de tres litros de agua por kilo de cereales. Esta mezcla remueve hasta que se forma una pasta consistente.

4.2.2.1. Maceración simple

La maceración simple a una sola temperatura o maceración simple es el proceso más simple para extraer los azúcares y las enzimas de la malta molida. Se mezcla la totalidad de la malta molida con agua caliente para lograr una temperatura de macerado de 65.5 – 70°C, dependiendo del estilo de cerveza que se vaya a realizar. La temperatura del agua de infusión varía dependiendo de la relación del agua/grano usada para el macerado generalmente se encuentra entre los 5 a 8°C por encima del objetivo de temperatura del macerado. El macerado debe de mantenerse a temperatura de sacarificación por espacio de al menos de una hora.

4.2.2.2 Maceración escalonada

Un esquema popular de maceración escalonada es: el macerado a 40 – 60°C usando un descanso de media hora para cada temperatura. Este esquema resulta en alta producción y buena fermentabilidad. El tiempo a 40°C mejora la licuefacción del macerado y promueve la actividad enzimática.

La variación de los tiempos de los descansos en los descansos de 60 y 70°C permite ajustar los perfiles de azúcares fermentables. Por ejemplo, un descanso de 20 minutos a 60°C; combinado con uno de 40 minutos a 70°C produce una cerveza dulce, pesada y dextrinosa; mientras que intercambiando los tiempos a esa misma temperatura se obtendría una cerveza más seca, con menos cuerpo y más alcohólica, usando en los dos casos la misma cantidad de grano (Palmer; 1999).

4.2.2.3. Potencial enzimático

Las enzimas son responsables de la hidrólisis de los azúcares contenidos en el grano, se trata de biocatalizadores que encuentran su actividad favorecida a determinadas temperaturas en estas, y para las enzimas de interés los rangos están comprendidos entre los 55 y 68°C de modo que, para la realización de la mejor maceración, es decir,

aquella que asegure la máxima conversión de glúcidos fermentables, se trabaja en estos márgenes de temperaturas.

Los perfiles térmicos del macerado deben escogerse en función al material a utilizar, así como, de las propiedades de la cerveza a producir o en función de la actividad enzimática que se desee priorizar.

Industrialmente, los procesos de malteado son largos y su único fin es la generación de enzimas, por esta razón muchas empresas emplean enzimas ajenas al grano que son incluidas al inicio de la maceración con el tiempo total del proceso se ve reducido lo cual se traduce en mayores producciones y menores tiempos, lo cual supone mayores beneficios.

La alfa amilasa, la amilo glucosidasa y la pululanasa son enzimas cuya función es transformar los azúcares pesados (almidón) en glucosa y otros azúcares fermentables. Los efectos de la glucanasa y de la xilanasa se aprecia en las propiedades físicas del producto final, ya que hidrolizan los coloides que se encuentran en el fluido reduciendo así su viscosidad.

Las proteasas afectan directamente al proceso y se emplean para controlar la captación del nitrógeno de los aminoácidos por parte de la levadura, es decir que controlan el crecimiento de la biomasa.

Los parámetros cinéticos de las enzimas es una información muy valiosa para la industria bioquímica, pero pueden conocerse de forma muy aproximada si se plantea una serie de ensayos en los que, fijando una cantidad de sustrato y de enzima, con lo cual, midiendo el tiempo de reacción y analizando los productos con espectrofotómetro o con un HPLC se determinaría dichos parámetros.

Las enzimas como la mayoría de las proteínas, son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura y a los pH, condiciones que pueden llegar a desnaturalizarlas haciendo que pierdan sus propiedades conformacionales y por lo tanto que dejen de participar en las actividades metabólicas pertinentes (Hough; 1990).

4.2.3. Filtrado del mosto

Concluida la maceración los componentes insolubles de la malta, el bagazo, deben separarse del líquido que se considera la futura cerveza, en las fábricas de cerveza se realiza esta operación en una cuba filtro. Estas son grandes tinas con un dispositivo de filtración, que es un fondo de sedimentación compuesto por laminas. Estas ranuras tienen medidas de 0.7 mm de ancho y 20 a 30 mm de largo. Figura 10.

Una vez que ha fluido buena parte el mosto filtrado, este se lava, es decir se vuelve a verter agua sobre el bagazo para disolver todo el azúcar que pudiera quedarse en él, en este proceso se utiliza agua caliente para disolver los azúcares más fácilmente.

Pero la temperatura del lavado no debe exceder los 80°C, pues en tal caso se arrastra también con el bagazo almidón sin desdoblar, que más tarde provoca enturbiamiento en la cerveza. (E-βlinger, 2006).

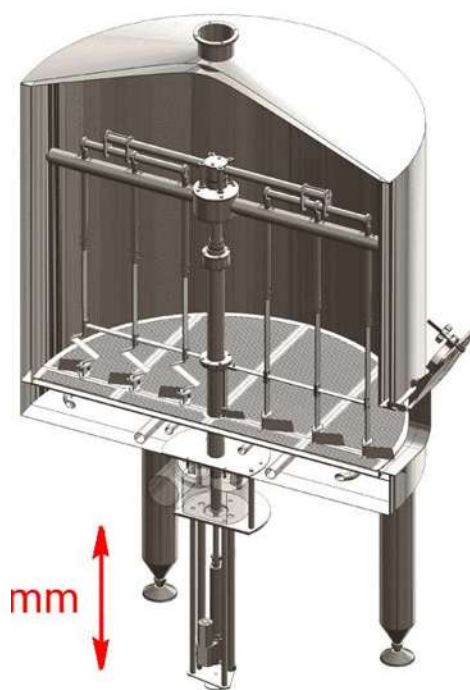


Figura 11 Esquema de una olla de maceración equipada con espas de agitación y fondo de filtrado.

4.2.4. Cocción

Una vez filtrado el mosto del resto del bagazo se le añade el lúpulo y se somete a cocción Figura 12.



Figura 12. Cocción industrial del mosto.

Este proceso persigue los siguientes fines:

- Coagular por la acción del calor las sustancias proteicas disueltas en el mosto, que sedimentan al final de la cocción.
- Destruir enzimas y microorganismos esterilizando el líquido
- Evaporar el agua necesaria para obtener la concentración deseada de extracto seco primitivo.
- Por último reconocer el lúpulo para que ceda a la cerveza componentes valiosos.

La adición del lúpulo resulta de la mayor importancia para el buen éxito de la cocción del mosto y por ello para el resultado final. La dosis del lúpulo viene determinada por la clase de cerveza; las variedades de cerveza resultan influidas así mismo por la cantidad de lúpulo añadido (E-βlinger, 2006).

En la caldera se puede añadir varios productos, además del lúpulo y entre ellos cabe citar los azúcares o jarabes de cereales.

Estos aditivos secundarios pueden servir para alargar el mosto, como una fuente barata de extractos, para diluir el nitrógeno del mismo para mejorar el aroma o para obtener elaborados de alta densidad. Estos líquidos suelen obtener una densidad de 1.150 g/cm³.

También puede añadirse al mosto extracto de algas marinas rojas o pardas (E-ßliger; 2006). Estos alginatos son moléculas de poligalactosa altamente sulfatadas y, por tanto, muy negativamente cargadas, por lo tanto, coagulan las moléculas positivamente cargadas y así aumentar el peso de turbios calientes producidos durante la cocción. Otra consecuencia lógica de su empleo es, la aparición de menor cantidad de turbio en frío que, en virtud de su menor tamaño de partícula, resulta más difíciles de eliminar que los turbios calientes. Es probable que sea menor la tendencia de turbidez tras el envasado.

La coagulación de las proteínas durante la ebullición se ve fuertemente influida por presencia de taninos y por el efecto combinado de la temperatura, el pH y los iones multivalentes, como el calcio y los metales pesados. Cuando coagulan frecuentemente formando complejos con los polifenoles de la malta y el lúpulo, de hecho, es frecuente que en el mosto solo se encuentre el 30 y 50 % del alfa ácidos y en la cerveza cuando se produce el envasado entre el 20 y el 40%. Con la formación de turbios disminuye el contenido de sustancias nitrogenadas, en una cantidad muy variable, pero del orden de 50 mg/l. los turbios calientes están constituidos por partículas gruesas esféricas de un tamaño alrededor de 1 micrómetro de diámetro que tiende a asociarse con floculos de alrededor de 10 µm de diámetro (Hough; 1990).

4.3. Fermentación

El mosto aromatizado con lúpulo, el que se inocula levadura, es un medio rico que contiene carbohidratos asimilables para las levaduras, una amplia gama de aminoácidos y sustancias nitrogenadas simples, sales minerales como calcio, magnesio potasio, hierro y zinc y algunas vitaminas esto hace al mosto un medio de cultivo rico para el crecimiento de distintos microorganismos.

Las levaduras necesitan azúcares simples, aminoácidos, sales y vitaminas para crecer; también precisan esteroides ácidos grasos no saturados y oxígeno no disuelto. Con excepción del oxígeno y de algunas sales y la malta satisfacen todas esas necesidades.

Los azúcares proporcionan energía y son utilizados en rutas biosintéticas; los aminoácidos se precisan para la producción de proteínas, las sales y vitaminas desempeñan importantes papeles metabólicos. La síntesis de la membrana exige ácidos grasos no saturados, esteroides y oxígeno (Hough,1990).

Transferir el mosto a la cerveza es el tercer paso principal en la elaboración de cerveza. La fermentación es un medio para metabolizar los sustratos en productos por la actividad de los microorganismos y simultáneamente ganar energía. En nuestro caso la levadura transforma los azúcares en alcohol y dióxido de carbono. Durante este proceso tenemos a aparición de subproductos derivados de la fermentación que tienen efecto considerable en el perfil del aroma y en el sabor resultante.

La fermentación se inicia agregando levadura al mosto (un proceso llamado pitching). La levadura de la cervecería son principalmente dos tipos denominadas fermentaciones superiores (*Saccharomyces cerevisiae*) la levadura de fermentación baja (*Saccharomyces uvarum* variación *carlsbergensis* y *Saccharomyces bayanus*) las levaduras *Saccharomyces* son anaerobios facultativos, lo que significa que puede ajustar fácilmente su metabolismo de aerobio a anaerobio en condiciones especiales.

La levadura duplica o triplica su masa para la acumulación de células la levadura necesita aminoácidos que puede tomar de la fermentación del sustrato o debe sintetizarse por sí mismo. Aparte de las proteínas, los lípidos deben de ser sintetizados para la propagación de la levadura ya que son componentes importantes de la pared celular y también son necesarios para la captación de nutrientes.

El oxígeno molecular es necesario para la síntesis de estos lípidos a partir del acetil coenzima A, el mismo mosto contiene una pequeña cantidad de lípidos.

El cabeceado es el proceso de fermentación que se inicia con la adición de 0.5 – 0.7 l de levadura pesada. Lodo por hectolitro de mosto correspondiente a 15 -20 millones de células de levadura por mililitro de mosto frío y aireado. Después de la adición de levadura el mosto se llama joven. Las células de levadura individuales deben entrar rápidamente en contacto con los nutrientes del mosto. En consecuencia, la levadura se inyecta continuamente con el flujo en frío del mosto.

Para un mayor desarrollo de la fermentación se procede a el uso de distintas técnicas como lo es la aeración además de la concentración de células de levadura una fermentación satisfactoria depende de la concentración de oxígeno, esto se consigue aireando el mosto con aire estéril (o excepcionalmente con propio oxígeno). Un valor de 8 - 10 mg de oxígeno por litro de mosto es óptimo.

La levadura hidroliza las hexosas y la sacarosa primero, después la maltosa (azúcar de fermentación principal) y luego malto triosas (azúcar secundaria). Los subproductos de la fermentación se forman en los lados metabólicos, se puede caracterizar en grupos:

- Alcoholes alifáticos y aromáticos superiores
- Alcoholes multivalentes
- Esteres
- Compuestos carboxílicos
- Compuestos que contienen azufre
- Ácidos orgánicos

Todos estos compuestos tienen diferentes umbrales de sabor y de olor.

Durante la fermentación principal, el pH disminuye en la unidad debido a la volatilidad, los ácidos orgánicos (acéticos, fórmicos) y los no volátiles (pirúvicos, málicos, cítricos y lácticos) se forman a partir de aminoácidos por desaminación. El pH final de la cerveza va desde 4.3 a 4.6. (E-βlinger, 2006).

4.3.1 Alta fermentación

El mosto se macera por infusión con malta muy modificada, con nivel bajos de proteína. Si la temperatura inicial del medio es de 15 a 16 °C se va elevando la misma hasta que aproximadamente hasta que las treinta y seis horas alcance los 20 a 25°C. la fermentación inicia se llevó acabo en los 18 a 24°C durante 3 a 4 días. Las altas temperaturas favorecen la producción de esterres que pueden añadir notas frutales, pero también alcoholes superiores y otros productos no deseables. A las setenta y dos horas comienza a enfriarse gradualmente de modo que durante las diez ultimas horas la

fermentación es muy baja y la levadura tiende a flotar en la superficie. Las cervezas de alta fermentación incluyen cervezas del tipo: Ale, Porter, Stout.

4.3.2 Baja fermentación

Los mostos para baja fermentación tradicionalmente se han macerado por infusión escalonada. La fermentación comienza con un leve aumento de temperatura del mosto hasta un máximo de 10 a 15°C. la fermentación principal se realiza entre los 7 y 14°C. el proceso se prolonga unos 3 a 5 días (primera fermentación), tras la cual la temperatura se reduce lentamente (fermentación secundaria). Las levaduras siguen activas, aunque más lentamente hasta alcanzar los 0°C. las temperaturas bajas de la primera fermentación favorecen la producción de diacetilo (Hough; 1990).

4.4. Maduración

La concentración de diacetilo se utiliza para juzgar la madurez de la cerveza fermentada y debe reducirse por debajo del umbral del sabor por medio de la tecnología de elaboración. El precursor del diacetilo es el 2-acetolactato también llamado acetilo potencial debido a que se transforma en acetilo libre solo en la cerveza filtrada y sin levadura y luego no puede ser desglosada más allá. Al calcular la concentración del 2-acetolactato se debe sumara a la concentración de acetilo libre.

Durante la fase de propagación, las células de levadura necesitan numerosos compuestos nitrogenados. Para la formación de proteínas de levaduras de levadura por lo tanto la levadura asimila aminoácidos y péptidos y transfiere grupos NH_2 a α -cetoácidos provenientes de los carbohidratos, el diacetilo se forma por la síntesis de valina. Este paso altamente dependiente de la temperatura es catalizado por las enzimas de levadura y ocurre muy lentamente por debajo de 10°C.

El diacetilo en si está presente en cantidades muy pequeñas en la fermentación muestras y en cerveza verde, ya que su reducción a acetoina es mucho mayor más rápido que su formación (E-βlinger, 2006).

II JUSTIFICACIÓN

Con la finalidad de incentivar esta industria y el crecimiento económico y tecnológico del estado de Michoacán, se pretende el uso de cebada cultivada en la región de La Piedad Michoacán, específicamente cebada tipo 6H *Hordeum vulgare* la cual es de fácil obtención y maniobrabilidad, de esta manera se obtiene la materia prima para su empleo en el proceso de malteo el cual servirá para la obtención de malta 6H que tenga características similares a su homóloga elaborada con cebada *Hordeum distichum* 2H, a pesar de que la malta obtenida a partir de la cebada 2H tienen las mejores características para la elaboración de cerveza, se pretende que la malta obtenida con cebada 6H sea similar a esta, por este medio se obtendría materia prima de bajo costo y gran rendimiento proveniente del estado abaratando los costos, incentivando la economía del estado y de los productores de cebada.

Para asegurar la calidad del producto obtenido se hará la adaptación de un patrón de pruebas que prueben analíticamente que el producto que se obtiene pueda tener las características necesarias para su uso.

III Hipótesis

Utilizando cebada del estado de Michoacán es posible obtener malta con cualidades adecuadas para su empleo en la industria cervecera, por lo cual se deberá evaluar ciertas características físicas y químicas para asegurar la calidad del producto obtenido.

1. Objetivo general

Obtener malta de calidad con cebada de la variedad *Hordeum vulgare* (6H) producida en el estado de Michoacán, utilizar y adaptar el método estándar de malteo para optimizar la técnica específica para este tipo de cebada y verificar su calidad mediante un patrón de pruebas de control de calidad.

2. Objetivos específicos

- Evaluar la técnica general de malteo y hacer la adaptación en el malteo de cebada 6H de Michoacán.
- Generar un patrón de pruebas que aseguren la calidad de la malta generada por el micro malteo de cebada.
- Optimizar el método de malteo estándar paso a paso para producir malta de calidad usando cebada variedad *Hordeum vulgare* (6H) y evaluar la calidad de producto terminado mediante pruebas de control.
- Demostrar el uso adecuado de la cebada como materia prima para la elaboración de malta.

IV MATERIALES Y MÉTODOS

1. Material y reactivos

1.1. Reactivos

- Ácido sulfúrico 0.1
- Ácido sulfúrico 0.5 M
- Ácido sulfúrico concentrado con una densidad de 1.84 g/ml
- Buffer de acetato de sodio 4.3
- Granallas de zinc
- Hidróxido de potasio al 2%
- Hidróxido de sodio al 0.1 M
- Hidróxido de sodio al 45%
- Indicador rojo de metilo al 1%
- Oxido de mercurio
- Peróxido de hidrogeno al 30%
- Solución de almidón al 2%
- Solución de timoftaleína
- Solución estandarizada de ácido sulfúrico 0.1 N
- Solución estandarizada de hidróxido de sodio 0.1 N
- Solución estandarizada de yodo 0.1 M
- Soluciones buffer a pH 4 y 7
- Sulfato de sodio anhidro grado reactivo marca MEYER®
- Tiosulfato de sodio al 8%
- Tiosulfato de sodio 0.1 M

1.2. Equipo

- Balanza analítica digital VELAB BALANCE, Modelo VE-300
- Baño maría Scientific, Modelo 60647-4793
- Desecador Nalgene, Modelo 150MM

- Deshidratador solar
- Digestor de fibra Labconco, Modelo 098593
- Equipo Kjeldhal
- Estufa de secado digital FELISA Modelo Fe- 291D
- Licuadora marca Osterizer®
- Mufla FELISA, Modelo FE-363
- Potenciómetro Hanna, Modelo hin223m

2. Materia prima

Para este proyecto se usaron dos tipos de cebada del genero *Hordeum vulgare*, provenientes de distintas regiones del estado de Michoacán, la primera de la región del Lago de Pátzcuaro y la segunda de la región de La Piedad, ambas cebadas se proceden a limpiar mediante el uso e cernidores con la finalidad de retirar toda partícula extraña. Se analizaron ambas cebadas para determinar la ideal para el proceso de malteo el cual consta de tres fases: macerado, germinación y secado. Una vez obtenida la malta se procedió a realizar un análisis para determinar la calidad de la malta obtenida.

3. Metodología

3.1. Potencial germinativo (Método NMX-FF-043-SCFI-2003)

Para la evaluación de este parámetro se utilizó el método peróxido de hidrogeno el cual acelera la geminación del grano con un agente químico que suministra oxígeno.

3.1.1. Tamaño de Raicillas

Se trata de un análisis complementario al porcentaje de germinación, consiste en medir el tamaño de la raíz alcanzada durante la germinación (Figueroa, 1985).

3.2. Determinación de humedad (Método 934.01, AACC 2000)

La humedad de la muestra se determinó mediante el porcentaje de agua eliminada por evaporación mediante calentamiento directo en una estufa a 105 °C por 3 h.

3.3. Proteína total (Método 46-10, AACC, 2000)

Se basa en la determinación de nitrógeno orgánico de la muestra, que abarca tres partes principales, una digestión de los componentes naturales por medio de ácido sulfúrico y calor después se atrapa el amoníaco en una solución de tiosulfato de sodio el cual pasara a ser determinado con una solución valorada de NaOH al 0.1N y en presencia del indicador rojo de metilo.

3.4. Proteína soluble (Sánchez, 2006)

El método se basa en la extracción de la proteína con una solución de hidróxido de potasio, para luego poder determinarlo por el método Kjeldhal.

Formula.

$$\% \text{ proteína soluble} = \frac{\% \text{ de proteína 0.3g de muestra}}{\% \text{ de proteína cruda en muestra original}}$$

3.5. Índice de kolbach (Sánchez, 2006)

Es la relación de proteína soluble a proteína total en la malta.

Altos valores indican maltas muy modificadas, con un potencial de enzimas bastante elevado

Formula.

$$\text{índice de kolbach} = \frac{\% \text{ proteína soluble}}{\% \text{ proteína total}} * 100$$

3.6. Poder diastásico de la malta (Analytica EBC, 2003)

El poder diastásico representa la capacidad enzimática de las α y β -amilasas (enzimas encargadas de la degradación del almidón), por ello es conveniente que las maltas posean un alto poder diastásico (200 a 600 Unidades Windischkolbach; Analytica EBC, 2003), de esta forma se asegura la obtención de una cantidad adecuada de azúcares necesarios para la fermentación durante la elaboración de cerveza.

3.7. pH en el mosto (E-βlinger; 2006)

Para la medición de pH se usó el potenciómetro, Potenciómetro Hanna, Modelo hin223m con soluciones buffer de pH 4 y 7

3.8. Viscosidad relativa (E-βlinger; 2006)

Es un parámetro necesario para la predicción de la calidad de la malta y la determinar parcialmente la calidad del extracto de la malta.

4. Metodología usada para cada malteo

4.1. Primer malteo

4.1.1. Maceración

Al tener la cebada limpia esta se colocó en un recipiente de paredes altas, con suficiente espacio en el cual se agregó nueve litros de agua con movimiento constante, para lograr oxigenar el grano lo mejor posible.

Al paso de 24 horas se realizó cambio de agua la cual presentó efervescencia y un olor peculiar, al realizar el cambio se dejó reposar 24 horas más con movimiento constante y se procedió a determinar la humedad la cual debería de estar en 45% como máximo; el valor obtenido de nuestra maceración fue de 57% excediendo el parámetro ideal, se procedió a retirar el grano del agua de maceración y colocarlo una mesa y extenderlo para provocar la germinación.

4.1.2. Germinación

Se dejó germinar el grano por un periodo de 72 horas a temperatura 20 a 25°C. Se colocó en una mesa extendida cuidando que el grosor de la cama del grano no excediera un centímetro de grosor con la finalidad de evitar el enredado de las raíces y la proliferación de hongos, cada 12 horas el grano en germinación se removió para generar una germinación pareja.

Aún con las precauciones tomadas a las 48 horas de empezar la germinación se comenzó a observar la aparición de hongos saprofitos, se realizó un conteo de 100 granos de cebada germinada para hacer la medición de la raicilla de cada uno de ellos, esta debe alcanzar una longitud de tres cuartas partes del grano total, de los 100 granos 80

cumplieron con la longitud deseada, un parámetro relativamente bajo pero aceptable lo cual permitió seguir a la tercera fase del proceso de malteo.

4.1.3. Secado del grano germinado

Para este paso se utilizó un desecador solar para retirar la humedad del grano germinado por un espacio de 7 horas bajo las cuales se le realizó un monitoreo para determinar la humedad del grano para ajustar entre el 2% y 5% de humedad total, para evitar la proliferación de hongos se terminó el secado en horno de convección a una temperatura de 105 °C por 12 horas más.

4.2. Segundo malteo

4.2.1. Maceración

Se procedió a introducir el grano en un recipiente al cual se le agregó 3 litros de agua purificada caliente a 45°C esto favorece la absorción de agua en el grano, esta se dejó reposar 15 minutos con movimiento constante, pasado el tiempo se agregó 60 mililitros de peróxido de hidrógeno al 30% y se dejó en maceración durante 36 horas, cada 12 horas se determinó la humedad del grano, la humedad final fue de 54% aun excedida del parámetro ideal, pero en esta ocasión no presentó anomalía el agua de maceración, hecho esto se pasó a la mesa de germinación.

4.2.2. Germinación

Se germinó de la misma manera que el lote anterior extendiéndolo en una cama de medio centímetro, la germinación fue más rápida y pareja se probó la germinación por horas a una temperatura ambiente de 20 a 25 °C. Pasada las 72 horas se realizó la misma acción que en el lote anterior tomando 100 granos de cebada germinada de los cuales 90 granos germinaron correctamente con las raicillas en el límite inferior ideal.

4.2.3. Secado

El secado se modificó a uso exclusivo de la estufa regulando la temperatura a 65°C por 12 horas y después a 75°C por otras 12 horas esto con la finalidad de preservar las

enzimas activadas en la germinación, preservar el color característico de la malta base y obtener la humedad adecuada.

4.3. Tercer malteo

4.3.1. Maceración

Para esta ocasión se usaron 500 gramos de cebada limpia, la cual se sumergieron en 1500 ml de agua a 45°C se dejó reposar por 15 minutos pasado el tiempo se agregó 25 ml de peróxido de hidrógeno al 30%, la maceración se mantuvo por 24 horas determinando la humedad cada 12 horas, la humedad final resulto en 44% dentro del parámetro ideal el agua de maceración sin anomalías completamente limpia óptima para la germinación.

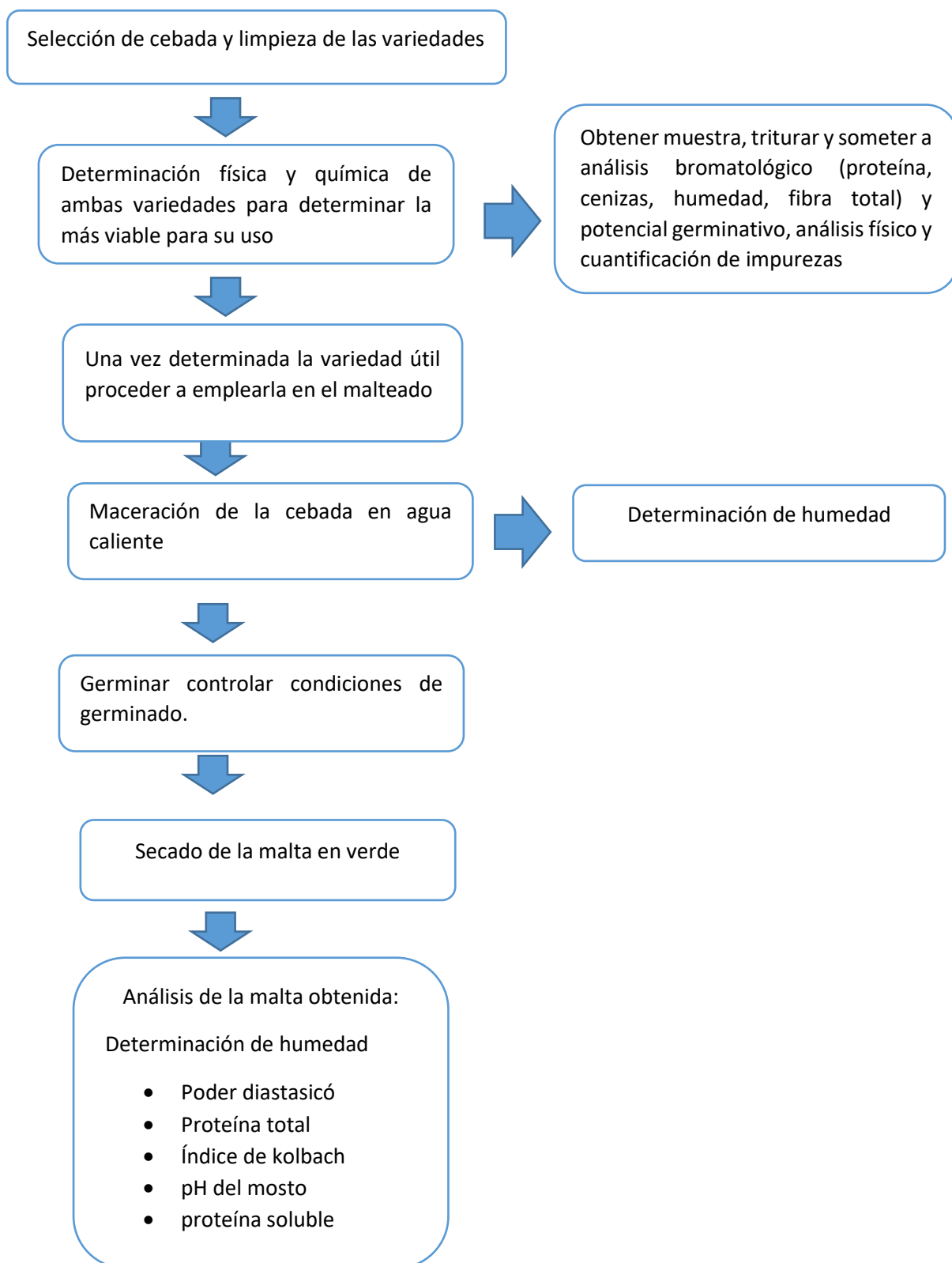
4.3.2. Germinación

La germinación se dio en una capa fina la cual permitió la expansión adecuada de las raicillas del grano de cebada se mantuvo una temperatura ambiente de 20 a 25°C por 96 horas en las cuales se monitoreaba el crecimiento de las raicillas, se contabilizó 100 granos de cebada germinada de los cuales 95 obtuvieron el tamaño óptimo de crecimiento, lo cual indicaba que el grano de cebada podía pasar a la siguiente fase de secado la cual se realizaría en la estufa.

4.3.3. Secado

Para el secado en esta ocasión la temperatura se mantuvo en 65°C por 24 horas, la cebada se mantuvo en una capa fina estática por las 24 horas.

5. Diagrama de proceso general



V RESULTADOS

1. Análisis de cebada previo al malteo

1.1 Análisis organoléptico

Para este trabajo se empezó el análisis de dos variedades distintas de cebada ambas de la especie *Hordeum vulgare* la variedad proveniente de los alrededores del lago de Pátzcuaro la cual se denominará como C1. La segunda variedad proveniente de la región de La piedad Michoacán se denominará como C2, ver Figura 13. Ambas se sometieron a un análisis de carácter físico (color, olor, impurezas, etc.) y de carácter químico (humedad, proteína, cenizas) análisis sugeridos en los trabajos de Sánchez, 2006 y E-ßlinger, 2006.

En el análisis organoléptico se observaron parámetros como el olor, color y apariencia, así como el porcentaje de granos quebrados, insectos e impurezas. Los resultados se muestran en la Tabla 5.



Figura 13. Identificación de cebada.

Tabla 5. Análisis físico y organoléptico de la cebada.

Cebada	C1	C2	Límites marcados en la norma
Olor	Característico	Característico	Característico, libre de olores extraños
Color	Característico	Característico	Característico de la cebada seca
Granos quebrados	4%	5%	5%
Insectos	0	1	Libre de insectos
Impurezas	17%	5%	2%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los parámetros establecidos por la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003 ambas cebadas rebasaron el valor de impurezas establecido por dicha Norma este parámetro también fue rebasado en el trabajo de Carvajal, 2010; el cual fue resuelto mediante el empleo de cernidores por lo que se determinó que no es un parámetro el cual comprometa el propósito del experimento. Las impurezas de ambas cebadas se retiraron hasta alcanzar un valor aceptable y ambas pasaron a la siguiente fase para la determinación del análisis bromatológico.

1.2. Análisis bromatológico

Para la siguiente fase del experimento se realizó un análisis bromatológico, establecido por las normas de EBC y la NMX-FF-043- SCFI-2003 además de Sánchez, 2006 y E-ßlinger, 2006, este análisis se realiza con la finalidad de verificar la composición química del grano de cebada y para determinar la viabilidad del grano. El patrón de pruebas y sus resultados se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 Análisis bromatológico de la cebada

CEBADA	HUMEDAD	CENIZAS	PROTEÍNA	FIBRA CRUDA	E. NO P*	% DE GERMINACIÓN
C1	5%	3%	14%	4%	74%	79%
C2	4%	3%	11%	4%	76%	95%
Resultados de Sánchez, 2006	3%	3%	12%	5%	76%	95%

*El extracto no proteico abarca todo aquello que no se pudo cuantificar en los parámetros anteriores en ellos entra una aproximación de los carbohidratos totales.

Comparando los datos obtenidos con los trabajos de Sánchez, 2006 y los análisis del EBC en los datos obtenidos por las pruebas anteriores, se determinó que la cebada denominada C2 *Hordeum vulgare* proveniente de la región de La piedad es la que posee mejores propiedades para poder ser sometida al proceso de malteo.

2. Malteado de cebada

2.1. Primer intento de malteo

De acuerdo a las pruebas anteriores se comparó los resultados obtenidos con los registrados en la NMX-FF-043- SCFI-2003 y se determinó que la cebada *Hordeum vulgare* proveniente de la región de La piedad es la más viable para el proceso de malteo. Para el primer malteo se empleó 6 kg de cebada la cual se seleccionó eliminando las impurezas con la finalidad de limpiar el grano. Esto se realizará mediante los siguientes pasos.

2.1.1. Maceración

En el primer malteo, durante proceso de maceración se produjo efervescencia favorecida por contaminación de la muestra. Cumplidas las 48 horas se determinó la humedad obteniendo un valor de 57% muy elevado al valor normal de la cebada, ver Figura 14.



Figura 14 Maceración de cebada primer malteo.

2.1.2 Germinación

Como resultado del proceso de germinación, dadas las condiciones anteriores del malteo, se presentó el crecimiento de un hongo saprofito en la parte superior de la cama de cebada germinada, ver Figura 15.

Pasadas las 72 horas se realizó un conteo del tamaño de la raíz generada en el acróspide del grano de cebada, este conteo arrojó que le 80% un parámetro bajo por lo establecido por Sánchez, 2006 para determinar el grado de germinación adecuado para luego proceder al secado.



Figura 15 Germinación del primer malteo

2.1.3. Secado

Para el secado, se empleó un desecador solar como primera instancia durante 7 horas posteriormente se utilizó un horno de secado a 105°C por 12 horas hasta alcanzar una humedad de 7%.

Terminado el proceso de malteo, la malta que se obtuvo fue analizada, pero debido a la aparición del hongo al inicio de la germinación, la malta presentaba un olor desagradable además cierta coloración distinta a la normal. De igual manera se sometió al patrón de pruebas para determinar la calidad de la malta los resultados presentados en la Tabla 7.

Tabla 7 Patrón de pruebas de calidad en primer lote de malta.

Prueba	Valor
Humedad	7%
Proteína total	9.74%
Proteína cruda	4,40%
Índice de kolbach	42.50%
Poder diastásico	50 UWK
Viscosidad	No cuantificable
Densidad	No cuantificable
pH	No cuantificable

Debido a los problemas presentados con la malta los parámetros de viscosidad densidad y pH no pudieron ser cuantificados debido a no poder producir el mosto por la deficiente producción de las amilasas cuantificadas en la prueba de poder diastásico, para E-ßlinger, 2006, Hough;1990 y Palmer; 1999 la activación de las amilasas durante el germinado es el parámetro fundamental del proceso de germinación si este valor muestra deficiencia la malta no podrá ser usada en la elaboración de cerveza.

2.2. Segundo malteo de cebada

Para mejorar la calidad de la malta que se obtuvo en el proceso anterior, se decidió modificar en ciertos parámetros la técnica general, esto junto con un mejor control del proceso, darán una malta óptima.

Uno de los parámetros que cambiarán será la cantidad de cebada que se somete a proceso de esta manera se podrá tener un mejor control del proceso y se evitará la proliferación del hongo, de igual manera se hará uso del peróxido de hidrógeno al 30% el cual es usado en la técnica para determinar el porcentaje de germinación descrita en la NMX-FF-043-SCFI-2003, este agente servirá en el control de aquellos microorganismos que puedan afectar durante a germinación y la oxigenación del grano que promueve el desarrollo del embrión en la germinación y así la activación enzimática, las demás modificaciones se describirán en el nuevo proceso.

2.2.1. Maceración

Para la maceración en este segundo malteo, se procedió a trabajar con menor cantidad de grano de cebada para apoyar a la maniobrabilidad usándose agua destilada a 35°C para ayudar a la activación del grano, además del uso de peróxido de hidrógeno al 30% como un agente estimulante de la oxigenación del grano y como un agente sanitizante. Al determinar la humedad del grano, se obtuvo un valor del 54%, valor excedido, lo cual es un factor negativo a la germinación como lo dictamina Sánchez 2006 y E-ßlinger, 2006, Figura 16.



Figura 16 Maceración del segundo malteo.

2.2.2. Germinación

La segunda germinación obtenida resulta más pareja en comparación con la anterior, además de que se usó menor cantidad de cebada para favorecer el germinado. Después de 72 horas se realizó el conteo de granos para determinar el grado de germinación dando un resultado de 90%, ver Figura 17.



Figura 17 Germinado del segundo malteo

2.2.3. Secado

El secado en este punto se sometió solamente a la estufa para poder tener un mejor control de la temperatura, para lo cual se realizó en dos etapas, un secado a 65°C por 12 horas y después, un segundo secado a 75°C por 12 horas. De acuerdo a los parámetros de Palmer, 1999 y Hornsey, 1999 de mantener el sacado de la malta a esta temperatura para evitar la destrucción de las enzimas presentes. Al terminar el secado, se determinó la humedad dando un valor final de 8.8%. Posteriormente se realizó el patrón de pruebas de calidad en la malta, los resultados de los parámetros se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8 Patrón de pruebas de calidad en segundo lote de malta.

Parámetros de Calidad	Valor	Valores de referencia
Humedad	8.8 %	2-4%
Proteína total	9.74%	9-12%
Proteína cruda	4.40%	3.15-5.40%
Índice de kolbach	42.50%	35-46%
Poder diastásico	100UWK	>250
Viscosidad	No cuantificable	1.2- 1.78 cp
Densidad	No cuantificable	1.5- 1.7 g/ml
pH	5.5	5.5-6

Los valores de referencia fueron cotejados mediante el EBC, Hornsey, 1999, Sánchez, 2006 y E-ßlinger, 2006.

Se determinó tomando como referencia a Palmer, 1999; Hornsey, 1999 y Sánchez, 2006, que debido a los bajos valores presentados en el poder diastásico no había a cantidad suficiente de enzima para poder obtener mosto adecuado, debido a esto no se pudo obtener los valores de viscosidad relativa y densidad, por lo tanto, la malta no es viable para su uso, por lo que se procedió a realizar un tercer malteo.

2.3. Tercer malteo de cebada

Para el macerado se decidió reducir la cantidad de muestra para aumentar la eficiencia del secado facilitando con esto el manejo del proceso en general.

2.3.1. Maceración

La maceración para esta prueba se dio a 500 gramos, se agregó 1500 ml de agua a 35°C para lograr la activación del grano de cebada, al igual que el uso del peróxido de hidrogeno para lograr que la germinación sea más efectiva, al finalizar el macerado la humedad termino en 44% un valor adecuado.

2.3.2. Germinación

La germinación en este tercer tratamiento, se realizó en camas delgadas con suficiente espacio para que pudieran germinar adecuadamente a 25°C, al realizar el conteo de granos geminados se obtuvo un resultado de 95% haciéndolo óptimo para su uso, ver Figura 18.



Figura 18 Germinación del tercer malteo.

2.2.3. Secado

El secado se realizó a 65°C por 24 horas, obteniendo un valor de 4% de humedad, Figura 19.



Figura 19 Secado del tercer malteo.

Al finalizar el secado se realizó las mismas determinaciones que el lote anterior, mejorando considerablemente los resultados los cuales se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 9 Patrón de pruebas de calidad en tercer lote de malta.

Parámetros de Calidad	Valor	Valores de referencia
Humedad	4%	2-4%
Proteína total	9.74%	9-12%
Proteína soluble	4,40%	3.15-5.40%
Índice de kolbach	42.50%	35-46%
Poder diastásico	350UWK	>250 UWK
Viscosidad	1.73cp	1.2- 1.78 cp
Densidad	1.52g/ml	1.5- 1.7 g/ml
pH	5.5	5.5-6

Los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros de calidad, se compararon con los valores resultantes de las pruebas empleadas por Sánchez 2006 y E-ßlinger, 2006 y los parámetros establecidos en los textos de Palmer, 1999, Hornsey,1999, concluyéndose que, la modificación y optimización del método de malteo en tercer tratamiento así como el control de los puntos críticos, se llegó a un resultado óptimo en la malta obtenida, dando por resultado una malta ideal para poder ser empleada en la elaboración de cerveza.

La siguiente fase podría plantearse en seguir este método elaborando cerveza y observar las características finales tanto sensoriales como químicas de la cerveza obtenida.

VI. Conclusión

Durante el proceso de malteo se logró detectar los parámetros necesarios para lograr el procesamiento correcto para la cebada *Hordeum vulgare* 6H perteneciente al estado de Michoacán específicamente en la región de La piedad, esta fue sometida al proceso de malteo el cual se ajustó para poder ser empleado en este grano específico.

Las especificaciones finales del proceso fueron las siguientes: la maceración se llevó a cabo macerando la cebada en relación 1 a 3 respecto al peso de cebada con la cantidad de agua, para la activación del grano el agua debe agregarse a 45°C se dejó atemperar el agua de maceración y se agregó 10ml de peróxido de hidrogeno al 30% por cada litro de agua de maceración esto con la finalidad de oxigenar el agua de maceración y así lograr que la germinación sea más efectiva y pareja, este método se basa en la norma NMX-FF-043-SCFI-2003, la maceración se llevó a cabo 24 horas posteriores a esto se pasó al germinado el cual duro 96 horas monitoreando constantemente el crecimiento de las raicillas, el secado se realizó continuo en estufa a 65°C durante 24 horas para evitar el deterioro de las enzimas de la malta.

Mediante el ajuste de la técnica y el desarrollo de la misma se logró reducir el tiempo empleado en el procesamiento de la malta, reduciendo el tiempo de remojo y germinación a la mitad y el tiempo de secado de 58 a 24 horas, tomando como base el trabajo realizado por Sánchez, 2006 en micro malteo de prueba.

El uso del peróxido de hidrogeno al 30% fue de gran ayuda al proceso debido al suministro de oxígeno para la reparación del grano de cebada y como agente antimicrobiano en el proceso de germinación

Mediante el desarrollo adaptado de la técnica de malteo para la cebada *Hordeum vulgare* se logró obtener malta de buena calidad verificada mediante la recopilación de técnicas y parámetros de la NMX-FF-043-SCFI-2003, la European Brewing Convention (EBC) y el Beer Judge Certification Program (BJCP) se realizaron las pruebas básicas y fundamentales para determinar la viabilidad de la malta para su empleo en la elaboración de cerveza, la malta obtenida es apta para pasar al siguiente paso siendo la elaboración de cerveza y sus propiedades organolépticas y químicas.

Con los resultados obtenidos en este documento se concluye que la cebada puede ser un apoyo económico hacia el estado y a los productores de este grano generando un nuevo mercado para ambas ramas de la industria, aunado a esto se estableció un pequeño patrón de pruebas que no solo pueden ser utilizadas para esta malta en específico sino para otras más.

VII Bibliografía

- Arias G., (1991), Calidad Industrial De La Cebada Cervecera, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay p.p. 23-29
- Carvajal L. (2010), "Elaboración De Cerveza Artesanal Utilizando Cebada (*Hordeum vulgare*) Y YUCA (*Manihot Esculenta Crantz*)", Universidad Técnica Del Norte. P.p. 10-18 y 20- 29
- E-ßlinger H., (2006), Handbook of Brewing, Processes, Technology, Markets. P.p. 147-160 , 165- 179 y 105-110
- Figueroa, Cárdenas Juan de Dios. (1985). Métodos de Para evaluar la calidad maltera en cebada. Secretaría de Ganadería y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México D. F.
- Gisbert M., (2002), Diseño Del Proceso Industrial Para La Elaboración De Cerveza, Universidad Politécnica de Valencia. Campus de Alcoy. P.p. 9-29
- Hornsey, S. (1999). Elaboración de cerveza (Microbiología, Bioquímica y tecnología). Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. P.p. 15-29
- Hough J. (1990), Biotecnología de la cerveza y de la malta, Acribia S.A., España. P.p. 23- 33, 65-84 y 109- 116
- Juri S., (2011), Sacarificación Y Fermentación Simultánea Para La Producción De Bioetanol De Segunda Generación, Mediante Pretratamientos Alternativos: Líquidos Iónicos Reciclados Y Hongos De Pudrición Blanca, Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Química Y Biotecnología, Santiago de Chile.
- Martínez J., (2007), El lúpulo contenido en la cerveza, su efecto antioxidante en un grupo controlado de población, Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación (SEDCA). P.p. 16
- NMX-FF-043-SCFI-2003. Norma Mexicana. Productos Alimenticios no Industrializados para consumo humano- cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* y *Hordeum distichum*). Especificaciones y métodos de prueba.

- Palmer J., (1999), Como Hacer Cerveza, <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Fabrications-Objets-Outils-Produits/bieres/53735499-How-to-brew-John-Palmer-Espanhol.pdf>
- Palmer, G. H. (1989). Cereals in malting and brewing. In Cereal Science and Technology. Ed. G. H. Palmer. Aberdeen University Press. Aberdeen, Scotland. P.p. 61-242
- Recio. G., (2004), El nacimiento de la industria cervecera en México, 1880-1910, Segundo Congreso Nacional de Historia Económica Facultad de Economía de la UNAM, Ciudad de México. P.p. 1-14
- Sáez M., (2012), La Cerveza y su Historia, Universidad de Jaume. P.p. 13- 16
- Sánchez Y., (2006) “Elaboración Y Evaluación De Maltas Cerveceras De Diferentes Variedades De Cebada (*Hordeum Vulgare*) Producidas En Los Estados De Hidalgo Y Tlaxcala”, Pachuca de soto, Hidalgo. P.p. 3-12, 18-29 y 37-46
- Suarez M. (2013), “Cerveza: Componentes y Propiedades”, Universidad de Oviedo, España.