

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS
VILLAS.

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA.



TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: OBTENCIÓN DE MALTINA DE SORGO A
ESCALA DE PLANTA PILOTO.

AUTORA: YISELYS GARCÍA ALEMÁN

TUTORAS: DRA. IRENIA GALLARDO AGUILAR

MS. LEYANIS RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

ING. LIOREN LUIS MOLLINEDA

CURSO: 2012-2013





DEDICATORIA

A mi mama, mis hermanas y mi padrastro,
por creer en mi, ya lo logre.

A mi novio y su familia,
por estar hay en los momentos difíciles.

A todas las personas,
que creyeron en que yo podía lograrlo.



AGRADECIMIENTOS

♥ A Irenia Gallardo Aguilar, por su esfuerzo, dedicación y entrega. Gracias por confiar en mí.

♥ A mi mamá, mis hermanas y mi padrastro, que gracias a su educación, dedicación y apoyo, hoy estoy aquí.

♥ A mi novio Reinaldo, por estar en cada momento y brindarme tanto amor.

♥ A mi familia, por su apoyo incondicional tanto en las buenas como en las malas.

♥ A mis suegros, por preocuparse por mí y estar presente siempre.

♥ A todos los trabajadores del laboratorio de la cervecería, por apoyarme con tanto trabajo en especial a Lioren, Gisela, Ana, Magali, pepe y Eloy.

♥ A Margarita, por su apoyo y ayuda en toda la elaboración de este trabajo.

♥ A Eduardo, por aguantar tantas molestias en su laboratorio.

♥ A los profesores, que de una forma u otra, me ayudaron aclarándome dudas.

♥ A Andrey y a Yunier, por hacer el papel de agitador en los experimentos.

♥ A todos, muchísimas gracias.



RESUMEN

El trabajo que se presenta tuvo como propósito realizar la prueba a escala de planta piloto para la obtención de maltina a partir de sorgo blanco UDG-110 malteado para ampliar la dieta en la alimentación de niños con padecimiento celíaco, basándose en los resultados obtenidos a nivel de laboratorio.

Se realizó el análisis de investigaciones anteriores con vista a determinar las condiciones más adecuadas para la realización de la prueba a escala de planta piloto, luego de realizado este análisis se procede con la realización de la etapa de malteado del cereal donde se determinó que, el tiempo de remojo es de 72 horas para alcanzar un porcentajes de humedad 46, 83 y 47,35, el tiempo de germinación de 72 horas para la malta clara y de 86 horas para la malta caramelo alcanzándose por cientos de germinación de 86 y 93,4 respectivamente. El secado se realizó siguiendo los parámetros de estas investigaciones y se determinó que la humedad llegó hasta valores de 3.66 % para la malta clara y 1.52 % para la malta caramelo.

La capacidad de los equipos se determinó en función de la cantidad de niños enfermos que hay en el país, con vista a mejorar su dieta. Se realizaron los balances de masa y energía dando como resultado que a partir de utilizar las mejores condiciones de operación para una relación de 100g malta/L de solución se necesitan 5 kg de malta de sorgo para producir 0,5 HL (50L) de maltina.

Finalmente se realizó el análisis económico de la planta siendo rentable cuando el precio de la maltina sobrepasa los 0.95 \$, siendo para este el VAN de \$ **144 263.69**, la TIR del 20% y el PRD de 4.16 años lo que demostró que se puede realizar la inversión atendiendo a los resultados de la misma.



ABSTRACT

The work presented was to carry out the scale pilot plant test for obtaining Maltina from UDG-110 malted white sorghum to expand food diet in children with celiac disease, based on the results at laboratory.

We performed the analysis of previous research with a view to determining the most suitable for the realization of the test pilot plant scale, this analysis made after we proceed with the completion of the cereal malting stage where it was determined that the soaking time is 72 hours to reach a moisture percentages 46, 83 and 47,35, germination time of 72 hours for 86 pale malt and caramel malt hours reaching germination percentages of 86 and 93, 4, respectively. Drying was carried out according to the parameters of these investigations and found that moisture values reached 3.66% to 1.52% pale malt and caramel malt for.

The capacity of the equipment is determined based on the amount of sick children in the country, with a view to improving their diet. We performed the mass and energy balances resulting from that use best operating conditions for a ratio of malt 100g / L of solution takes 5 kg of sorghum malt to produce 0.5 HL (50L) of Maltina. Finally, we performed an economic analysis of the plant to be profitable when the price of the Maltina exceeds \$ 0.95, to be for the NPV of \$ 144 263.69, the IRR of 20% and the PRD of 4.16 years, which showed that you can make Investment according to the results thereof.



ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Introducción ----- | 1 |
| Cap. 1: Revisión Bibliográfica | |
| 1.1 ¿Qué es la Enfermedad Celíaca?----- | 3 |
| 1.1.1 Origen de la enfermedad celíaca.----- | 3 |
| 1.1.2 Enfermedades Asociadas.----- | 4 |
| 1.2 ¿Qué es el sorgo?----- | 4 |
| 1.2.1 Origen histórico del sorgo.----- | 5 |
| 1.2.2 Taxonomía y Morfología.----- | 5 |
| 1.2.3 Propiedades del sorgo.----- | 6 |
| 1.2.4 Producción de Sorgo.----- | 7 |
| 1.2.5 Beneficios del sorgo.----- | 7 |
| 1.2.6 Ventajas de la siembra de sorgo.----- | 8 |
| 1.2.7 Ventajas del Sorgo en la Conservación de los Suelos.----- | 8 |
| 1.2.8 Importancia del sorgo.----- | 10 |
| 1.2.9 Usos del Sorgo.----- | 12 |
| 1.3 ¿Qué es la Maltina?----- | 13 |
| 1.3.1 Generalidades Sobre el Proceso de Fabricación de Maltina.----- | 14 |
| 1.3.2 Componentes de la maltina.----- | 14 |
| 1.3.3 Características e Identidad de la Maltina.----- | 15 |
| 1.3.4 Etapas del proceso de elaboración de la maltina.----- | 16 |
| 1.3.4.1 Malteado del cereal.----- | 16 |
| 1.3.4.1.1 Selección del grano.----- | 16 |
| 1.3.4.1.2 Remojo del grano.----- | 16 |
| 1.3.4.1.3 Germinado.----- | 17 |
| 1.3.4.1.3.1 Factores que afectan a la germinación----- | 17 |
| 1.3.4.1.3.2 Secado del grano----- | 17 |
| 1.3.4.1.3.2.1 Evolución de la calidad de la malta durante el proceso de secado.- | 18 |
| 1.3.4.2 Parámetros de calidad de la malta.----- | 18 |
| 1.3.4.3 Obtención de la maltina.----- | 19 |
| 1.3.4.3.1 Molturación o molienda de la malta.----- | 20 |
| 1.3.4.3.2 Maceración (masching) o lixiviación----- | 20 |
| 1.3.4.3.2.1 Características de la lixiviación----- | 21 |
| 1.3.4.3.2.2 Parámetros de la lixiviación----- | 21 |
| 1.3.4.3.2.3 Almidón----- | 21 |
| 1.3.4.3.2.4 Hidrólisis del almidón----- | 22 |
| 1.3.4.3.2.5 Estructura del almidón----- | 22 |
| 1.3.4.3.3 Filtración----- | 23 |
| 1.3.4.3.4 Cocinado----- | 23 |
| 1.3.4.3.5 Clarificación y Enfriamiento----- | 23 |
| 1.3.5 Características principales de cada operación.----- | 23 |
| Cap. 2: Producción de maltina de sorgo a escala de planta piloto. | |
| 2.1. Resumen de las investigaciones realizadas anteriormente.----- | 25 |
| 2.1.1 Malteado del Sorgo----- | 25 |
| 2.1.1.1 Etapa de remojo.----- | 26 |
| 2.1.1.2 Etapa de germinación.----- | 27 |
| 2.1.1.3 Etapa de secado.----- | 28 |
| 2.1.1.4 Tamizado y Pulido----- | 28 |
| 2.1.1.5 Almacenamiento----- | 28 |
| 2.1.2 Proceso de Obtención de Maltinas----- | 28 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2.1. Molido del Grano----- | 29 |
| 2.1.2.2 Maceración o Mashing----- | 29 |
| 2.1.2.3 Análisis de los niveles de las variables a utilizar.----- | 29 |
| 2.1.2.4 Extracción del mosto----- | 29 |
| 2.1.2.5 Cocinado del mosto----- | 30 |
| 2.1.2.6 Enfriamiento y Clarificación----- | 31 |
| 2.2 Técnica experimental seguida para desarrollo de los experimentos en esta investigación.----- | 31 |
| 2.2.1 Clasificación del Grano.----- | 31 |
| 2.2.1.1Remojo----- | 31 |
| 2.2.1.2 Germinación ----- | 34 |
| 2.2.1.3Secado ----- | 35 |
| 2.2.1.4Análisis físicos de la malta de sorgo----- | 36 |
| 2.2.2 Preparación de las condiciones de trabajo para la realización de la prueba a escala de planta piloto.----- | 36 |
| 2.3 Análisis de los resultados----- | 41 |
| Cap. 3: Dimensionamiento de equipos y análisis económico. | |
| 3.1 Selección de los equipos----- | 45 |
| 3.1.1Tanques de almacenamiento.----- | 45 |
| 3.1.2 Cribas.----- | 45 |
| 3.1.3 Tanques de remojo.----- | 46 |
| 3.1.4 Germinador.----- | 46 |
| 3.1.5 Secadero.----- | 46 |
| 3.1.6 Transportadores.----- | 47 |
| 3.1.7 Silos de almacenamiento de la materia prima.----- | 47 |
| 3.1.8 Molinos.----- | 47 |
| 3.1.9 Macerador.----- | 48 |
| 3.1.9.1 Agitador para el tanque de maceración.----- | 49 |
| 3.1.10 Filtros.----- | 49 |
| 3.1.11: Sedimentador.----- | 50 |
| 3.1.12: Intercambiador de calor. ----- | 51 |
| 3.1.13: Tanque de almacenamiento de la maltina.----- | 52 |
| 3.1.14: Bombas.----- | 53 |
| 3.2 Diseño de los equipos ----- | 54 |
| 3.2.1 Balance de masa ----- | 54 |
| 3.2.2 Dimensionamiento de los equipos----- | 57 |
| 3.3 Análisis Económico----- | 61 |
| 3.3.1 Determinación del costo de Inversión----- | 62 |
| 3.3.2 Costo del equipamiento----- | 62 |
| 3.3.3. Costos totales de Producción----- | 64 |
| 3.4 Indicadores de rentabilidad. VAN, TIR y PRD----- | 67 |
| 3.5 Análisis de los resultados----- | 68 |
| Conclusiones ----- | 69 |
| Recomendaciones ----- | 70 |
| Bibliografía ----- | 71 |
| Anexos | |



INTRODUCCIÓN

La industria química actual tiene como misión, basar su desarrollo e investigaciones en la búsqueda de productos que resulten atractivos desde el punto de vista de calidad, mercado, para lograr así la mejor factibilidad técnica, económica y sustentabilidad ambiental.

Es por esta razón que este desarrollo se ha encaminado cada vez con más fuerza a desarrollar los productos naturales, tanto en la industria farmacéutica, alimentaria, cosmética, de colorantes, etc., así como el desarrollo de la biotecnología.

Los cereales son una de las fuentes de nutrientes más importantes de la humanidad, los cuales históricamente han estado asociados al origen de la civilización y cultura de los pueblos, por constituir un producto básico en la alimentación, por sus características nutritivas y su costo, así como por su preparación agroindustrial y tratamiento culinario, tan sencillos y de gran versatilidad de los cuales se pueden obtener entre otros las maltas.

La malta de cebada se ha empleado tradicionalmente en la obtención de bebidas, como cerveza y maltinas y en la obtención directamente de etanol, por su actividad diastática o amilolítica, comparada con la de otros cereales, pero para muchos países como Cuba es una materia prima de importación, a pesar de esto existen personas que no pueden ingerir los alimentos producidos a partir de ella por el tipo de proteína que presenta este cereal.

Desde el punto de vista social relacionado con las personas afectadas que sufren la intolerancia al gluten del trigo que también se encuentra en la avena, la cebada y el centeno y que les impide consumir todo tipo de producto elaborado con dichos cereales, en Cuba se están realizando estudios en la búsqueda de nuevos alimentos a partir del sorgo.

Este cereal, contiene muchas propiedades beneficiosas y se ha demostrado, que su cultivo es económicamente rentable, basado en su bajo costo de producción, dada sus características de rusticidad, resistencia a la sequía, la realización de varias cosechas o cortes, etc., y no contiene las proteínas que afectan a los enfermos celíacos. En el territorio ha despertado gran interés el desarrollo de productos a partir del sorgo, entre estos la maltina.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos es que se plantea la problemática científica siguiente:

Problema Científico

La alimentación de los enfermos celíacos esta restringida, debido al rechazo que presentan estas personas a las proteínas presentes en el gluten que poseen la mayoría de los cereales, exceptuado el sorgo, el maíz y el arroz.

Para resolver la problemática científica se plantea la siguiente hipótesis

Hipótesis

Es factible la producción de maltina de sorgo a escala de planta piloto, basándose en los mejores resultados alcanzados en el laboratorio, con el fin de mejorar la dieta de los enfermos celíacos.

Objetivo General

Realizar una prueba a escala de planta piloto para la obtención de maltina de sorgo a partir de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio y validar una tecnología para la obtención de este producto para su posible implementación.

Objetivos Específicos

1. Analizar las investigaciones anteriormente realizadas sobre la obtención de maltina de sorgo para la determinación de las mejores condiciones de trabajo.
2. Realizar el maltado del grano a mayor escala, utilizando las condiciones de trabajo empleadas en las investigaciones precedentes a partir de sorgo
3. Efectuar la prueba de producción de maltina a escala de planta piloto.
4. Determinar propiedades de calidad a las maltinas obtenidas, comparándolas con las muestras obtenidas en el laboratorio.
5. Realizar el dimensionamiento de una planta de producción de maltina a partir de sorgo basado en necesidades alimentarias de los enfermos celíacos en el país.
6. Analizar la factibilidad económica y social de la implantación de esta tecnología.



CAPÍTULO 1 : REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 ¿Qué es la Enfermedad Celíaca?

La enfermedad celíaca o enteropatía sensible al gluten, es una enfermedad auto inmune caracterizada por una inflamación crónica de las partes próximas al intestino delgado o yeyuno, causada por la exposición de gliadina, una proteína vegetal de algunos cereales en la dieta, llamada gluten (proteína presente en el trigo, cebada, centeno, triticale, espelta y avena).

Esta enfermedad es un trastorno que aparece en personas genéticamente predisuestas, de todas las edades a partir de la infancia, al ser expuestas a la gliadina, la enzima transglutaminasa tisular modifica la proteína y el sistema inmune del individuo hace una reacción cruzada en contra del intestino delgado, causando una reacción inflamatoria que provoca aplanamiento de las vellosidades que recubren el intestino e interferencias en la absorción de nutrientes.

El péptido rico en aminoácidos glutamina y prolamina, que resiste la acción de todas las enzimas; parece ser definitivamente la fracción del gluten ciertamente tóxica para el celíaco, que inicia el proceso de desajuste inmunológico en el intestino delgado. **(Budnik y Col, 2003) (Medline Plus, 2007)(Ozuna, Y. 2008).**

1.1.1 Origen de la enfermedad celíaca.

Algunos autores describen históricamente la enfermedad “celíaca”, como se detalla a continuación:

- Siglo II a.C: primera descripción de la enfermedad por parte de un contemporáneo de Galeno, Aretaeus de Capadocia. En esta época a las personas que la padecían se les conocía con la palabra *koliacos*, de la cual deriva celíacos, y que significaba “aquellos que sufren del intestino”.
- 1856: Francis Adams traduce y edita los trabajos de Aretaeus.
- 1908: Herter (pediatra) escribe un libro sobre la enfermedad en niños. La afección fue conocida como enfermedad de Gee-Herter.
- 1950: Dicke demostró como los niños celíacos mejoraban cuando se excluía de sus dietas el trigo, el centeno y las harinas de avena. Otros investigadores descubren que el gluten de estos alimentos era su parte dañina. A partir de esta fecha el tratamiento de los pacientes celíacos se basa precisamente en la dieta sin gluten, proteína presente en los compuestos nombrados anteriormente.

- 1950: Paulley describe una anomalía de la mucosa del intestino delgado en un paciente celíaco. **(Saucedo, O. 2006).**

1.1.2 Enfermedades Asociadas.

Después de realizados diferentes estudios se ha llegado a la conclusión que, las personas que padecen la enfermedad celíaca pueden sufrir enfermedades asociadas a esta, las enfermedades son: diabetes mellitus Tipo 1, dermatitis herpetiforme, tiroiditis autoinmune, hipoesplenismo, gastritis atrófica, síndrome de Down, epilepsia, ataxia, neuropatía periférica, hepatitis autoinmune, cirrosis biliar primaria, alopecia areata, colitis colágena, trombosis venosa. Estas personas pueden sufrir linfomas y cáncer de esófago sobre todo si se incumple la dieta libre de gluten. **(www.es.wikipedia.org/wiki/Celiaqu%C3%ADa)**

La dieta estricta sin gluten ha constituido la esencia del tratamiento de esta enfermedad, pues además de ser segura y eficiente, restablece inequívocamente la integridad estructural al intestino dañado. Sin embargo, la práctica clínica ha demostrado que la adherencia terapéutica no solamente es complicada, sino que repercute negativamente desde el punto de vista psíquico y social, por lo difícil que resulta en los hábitos alimentarios rechazar obligadamente el gluten, constituyente básico en una gran variedad de productos cotidianamente consumidos, como el pan, las galletas, las pastas alimenticias y la mayoría de las golosinas, entre otros. **(Molberg, 2005).**

Internacionalmente se están realizando estudios en la búsqueda de nuevos alimentos que les permita el necesario cumplimiento de la dieta de estos enfermos, en tal sentido se lleva a cabo la elaboración de distintos tipos de pan, tostadas y repostería a través de la harina de sorgo debido a que este cereal no contiene gluten. Actualmente existe un recetario de productos alimenticios elaborados a partir de sorgo confeccionado en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (UCLV).

1.2 ¿Qué es el sorgo?

Es un género botánico de unas 20 especies de gramíneas oriundas de las regiones tropicales y subtropicales de África oriental, la India y Asia; con cañas de dos a cuatro metros de altura, llenas de un tejido blanco, algo dulce y vellosas en los nudos; hojas lampiñas y ásperas en los bordes; flores en panoja floja, grande y derecha, o espesa, arracimada y colgante. Lleva semillas dispuestas en panículas apicales, los granos son mayores que los cañamones, algo rojizos, blanquecinos o amarillos. **(www.es.wikipedia.org/wiki/Sorgo).**

El sorgo es una materia prima amilácea, la cual ha sido empleada como forraje y en países africanos es muy utilizado para la producción de cervezas. En la Universidad Central de Las Villas hace varios años se desarrollan investigaciones para el desarrollo de su cultivo y se han realizado experiencias para emplearlo como extensores en varios productos alimentarios y en la producción de maltina y cerveza como adjunto cervecero sustituyendo a la cebada. **(Ozuna, 2008)**

Este cereal ocupa el quinto lugar en cuanto a superficie cosechada en todo el mundo y presenta una amplia gama de tipos adaptados a situaciones diversas. A pesar de ser utilizado en la alimentación humana y animal de muchos países, su uso no se ha extendido en nuestro medio **(Canet R, 2003), (Aguirre -Arenas J, 2005).**

Sus granos son ricos en antioxidantes, tienen un aceptable valor proteico (similar al arroz y a la harina de trigo) y son altamente asimilables por el organismo humano al alcanzar hasta un 90 % de digestibilidad. **(www.fao.org/documents)**

El sorgo es un cultivo de condiciones precarias y de bajos insumos, lo que lo hace altamente rentable, con un impacto mínimo sobre el medio ambiente, ya que requiere pocos fertilizantes y es muy resistente al calor, a la sequía y al exceso de humedad en el suelo. **(Saucedo, O. 2006).**

1.2.1 Origen histórico del sorgo.

Los primeros informes muestran que el sorgo existió en la India en el siglo I d. C, esculturas que lo describen se hallaron en ruinas sirias de 700 años a. C. Sin embargo, el sorgo quizás sea originario de África Central -Etiopía o Sudán-, pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad de tipos. Esta diversidad disminuye hacia el norte de África y Asia. Existen, ciertas evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India. **(González Y, Ozuna Y, 2007).**

Los tipos salvajes encontrados en África Central y del Este no son aconsejables para usar en la agricultura actual, pero los fitogenetistas continúan buscándolos para crear nuevos germoplasmas, con el objetivo de incorporar características deseables dentro de las líneas genéticas actuales. **(S. Appa Rao, 2000)**

Este cultivo tiene gran importancia a escala mundial, pues está comprobado que puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de sus usos, tanto en la alimentación humana como en la producción de forraje o grano para la ceba de animales, y también en la industria.

1.2.2 Taxonomía y Morfología.

Familia: *Poaceae*.

Especies: *Sorghum vulgare* L. y *Andropogum sorgum sudanensis*.

Porte: la planta de sorgo tiene una altura de 1 a 2 m.

Sistema radicular: puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Tiene tres clases de raíces, laterales, adventicias y aéreas.

Tallo: también llamado caña, es compacto, a veces esponjoso, con nudos engrosados. Puede originar macollos (unidad estructural de la mayoría de las especies de gramíneas. Se forman a partir de las yemas axilares o secundarias del meristemo basal del eje principal), de maduración más tardía que el tallo principal. La presencia de macollos es varietal y está influenciada por la fertilidad, las condiciones hídricas y la densidad.

Hojas: se desarrollan entre 7 y 24 hojas dependiendo de la variedad, alternas, opuestas, de forma lineal lanceolada, la nervadura media es blanquecina o amarilla en los sorgos de médula seca y verde en los de médula jugosa. Tiene lígula en la mayoría de los casos. El borde de las hojas presenta dientes curvos, filosos y numerosas células motoras ubicadas cerca de la nervadura central del haz facilitando el arrollamiento de la lámina durante períodos de sequía.

Inflorescencias: presenta inflorescencias en panojas compactas, semicompactas o semilaxas, con espiguillas que nacen a pares, una fértil y la otra estéril.

Semillas: esféricas y oblongas de 3 mm, de color negro, rojizo y amarillento.



1.2.3 Propiedades del sorgo. (www.es.wikipedia.org/wiki/Sorgo).

- ❖ El sorgo es un cereal de múltiples propiedades que nos puede ayudar a mejorar nuestra ingesta diaria. Normalmente se usa como pienso para los animales, pero no tiene por qué no usarse en la cocina diaria.
- ❖ **Lo fundamental es que no tiene gluten**, por lo tanto los celíacos lo pueden usar sin ningún tipo de problema. La textura es similar a la del grano de maíz y sus propiedades también, pero tiene menos grasas e hidratos de carbono.
- ❖ **También tiene propiedades astringentes**, homeoestáticas y antidiarreicas. Se consume en forma de harina y puede combinarse con la de maíz para la confección de platos de todo tipo. Los no celíacos la toman en galletas, tartas o bizcochos envasados, es común mezclar esta harina con la de trigo.
- ❖ **Igualmente los diabéticos** pueden apuntarse al consumo de sorgo. El azúcar de un pastel, por ejemplo, será la misma pero la harina de sorgo provocará que la digestión de esa sustancia sea más lenta y por lo tanto el organismo pueda utilizarla mejor.
- ❖ **El sorgo cada vez es más fácil** de encontrar y puede ser un interesante recurso para muchas personas con problemas de diabetes o celíacos. El sabor puede chocarnos un poco al principio así como su digestión, con el tiempo se acostumbra el organismo y sus beneficios son inmensos.

El sorgo es un cereal apto para el **consumo humano** porque a pesar de utilizarse para el consumo animal, en los países desarrollados se utiliza también para elaborar bebidas alcohólicas. El sorgo es resistente a las altas temperaturas y en consecuencia a las sequías por lo cual se cultiva en zonas áridas de calor extremo. Esto se explica porque ante temperaturas elevadas entra en descanso para retomar su actividad cuando mejora el tiempo (**Saucedo, O. 2006**).

1.2.4 Producción de Sorgo.

Nigeria se posiciona actualmente como el número uno más productor y el primer exportador de sorgo en el mercado mundial. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estimó que la producción mundial de sorgo en 2012 sería de 60,74 millones de toneladas, cerca de 0,75 millones/toneladas menor a lo estimado en el año anterior y aproximadamente 5,2 millones inferior a lo producido en el mundo durante los últimos años. (www.agropanorama.com).

1.2.5 Beneficios del sorgo.

Se fundamentan por sus propiedades anti diarreicas, astringentes y homeostáticas. Como fuente de energía por su composición alta de carbohidratos ayuda a sostener el ciclo homeostático. Además **contiene vitaminas B y E, sales minerales** como el calcio, fósforo y fibra que ayuda a la depuración intestinal.

Conjuntamente con la harina de maíz y de trigo se elaboran panes y confituras y una bebida dulce que se elabora a partir del sirope en varios países de África y en China se utiliza para elaborar el aguardiente. Los beneficios del sorgo deberían ser tomados en cuenta para **incorporar este cereal en la dieta**, conjuntamente con otros cereales como una forma de ingerir y sacarle provecho a sus niveles de fibra, lo cual es muy beneficioso para la salud del organismo en función de mantener un buen funcionamiento del tracto intestinal.

1.2.6 Ventajas de la siembra de sorgo.

- Tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales y crece bien bajo una amplia gama de condiciones en el suelo.
- Responde favorablemente a la irrigación, lográndose excelentes resultados bajo riego. Requiere un mínimo de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse buenos rendimientos con 350 mm, dependiendo del ciclo del híbrido elegido y las condiciones ambientales.
- El consumo de Nitrógeno del cultivo y la temporaria inmovilización del mismo provocada por el aporte de rastrojo, pierde toda importancia si en la rotación suceden al sorgo especies leguminosas como soja o maní. Si después de sorgo, se siembran especies no leguminosas como trigo, maíz o girasol entre otras, deben ser adecuadamente fertilizadas.
- En la rotación conviene que el sorgo se ubique preferentemente después de especies leguminosas para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados. Por ello, posturas de alfalfa o cultivos como maní o soja son excelentes antecesores. **(Alemán L, 2007).**

1.2.7 Ventajas del Sorgo en la Conservación de los Suelos.

- ❖ Aporte de materia orgánica.
- ❖ Eficiencia en el uso y conservación del agua.
- ❖ Aumento de rendimientos.
- ❖ Mejora las condiciones físicas y químicas.

- ❖ Disminuye los riesgos de la erosión.
- ❖ Favorece a otros cultivos en las rotaciones. **(Sánchez, 2003).**

Científicos del ARS (*Asociación de Investigación de los Estados Unidos*) y en Oncativo, Córdoba, Argentina, han realizado investigaciones sobre el cultivo del sorgo y su incorporación en alimentos humanos, como cereales de desayuno, pastas, etc., demostrándose que el mismo ofrece la ventaja de no contener gluten por lo que no presenta problemas para personas con la intolerancia celíaca, y tienen algunas variedades fenoles y taninos, que son sustancias que previenen de la formación de radicales libres y la aparición del cáncer, así como su elevado contenido de fibras. Según los estudios realizados, el sorgo podría ser panificable, a pesar de su ausencia de gluten, y también usarse en galletas apta para celíacos. En la **Tabla 1.1** se reportan las composiciones de algunos cereales empleados como alimentos **(Rodríguez L, 2005).**

Tabla 1.1: Composición de algunos cereales.

| Contenidos | Trigo | Maíz | Cebada | Avena | Sorgo |
|------------------------------|--------------|-------------|---------------|--------------|--------------|
| Humedad % | 11.1 | 15.0 | 10.6 | 9.8 | 11.17 |
| Almidón % | 68.6 | 67.0 | 66.0 | 57.1 | 69.3 |
| Proteína % | 14.3 | 10.2 | 13.0 | 12.0 | 10.4 |
| Grasa % | 1.9 | 4.3 | 2.1 | 5.1 | 3.4 |
| Fibra % | 3.4 | 2.3 | 5.6 | 12.4 | 2.2 |
| Cenizas % | 1.8 | 1.2 | 2.7 | 3.6 | 2.0 |
| <i>Materias nitrogenadas</i> | 1.7 | 5.0 | 1.6 | 0.4 | 1.7 |
| <i>Celulosa</i> | 2.0 | 3.6 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |

De la tabla anterior se puede observar que, la composición del sorgo se encuentra en un rango asequible, comparado con los demás cereales y en especial con la cebada y el trigo que son

los cereales que se tratan de sustituir, para el mejoramiento de la dieta de los enfermos celíacos. Se puede observar que el contenido de fibra tiene un valor inferior al de la cebada. Por esta razón es que se puede decir que el sorgo puede ser empleado en la elaboración de alimentos.

1.2.8 Importancia del sorgo.

❖ Empleos alternativos del sorgo en la alimentación humana

La producción de sorgo ha aumentado notablemente en varios países en los últimos años. Existe ya una tendencia cada vez mayor al empleo de este cereal en lugar del trigo y el arroz. El sorgo seguirá siendo el mayor cultivo alimentario de varios países, especialmente africanos Nigeria y Sudán, que son los mayores productores de África correspondiéndoles un 63 % de la producción de sorgo del continente. Este cereal se emplea en alimentos tradicionales y tiene grandes posibilidades para empleos industriales, sin embargo, es necesario estudiar las posibilidades de usos alternativos ya que tiene que competir con el trigo, el arroz y el maíz. Será objeto de una gran demanda en el futuro si se desarrollan las condiciones necesarias para usos específicos por parte de la industria.

El sorgo puede utilizarse para varios productos alimenticios utilizando métodos de elaboración adecuados. Es necesario seleccionar variedades con una mejor calidad de molturación que haga competitivo su empleo. Puede utilizarse eficazmente la tecnología de molturación del trigo para moler sorgo. Es posible producir pan sobre la base de harina de sorgo. Algunos productos importantes secados al sol, son el papad el badi y el kurdigai. Son productos que almacenados suelen tener una duración de más de un año. Esta propiedad es muy importante, sobre todo para los consumidores de los países subdesarrollados.

❖ Alimentos para celíacos a partir del sorgo

Las personas celíacas no pueden consumir productos elaborados con cereales como el trigo, la avena, la cebada y el centeno. Normalmente una vez que se hace intolerancia al gluten, es para siempre y hay numerosos alimentos que lo contienen. Es una dieta muy costosa y constituye una dificultad estar limitados a comer determinados alimentos. Internacionalmente se realizan estudios en la búsqueda de nuevos alimentos que les permita el necesario cumplimiento de su dieta. El sorgo no contiene gluten por lo que es considerado seguro para las personas diagnosticadas con la enfermedad celíaca.

Desafortunadamente, las proteínas que componen el gluten en granos tales como el trigo, son las causantes de la viscoelasticidad de la masa realizada de harina de trigo. Se estudia la

función de las proteínas de sorgo para encontrar variedades que producirán un pan de sorgo con una textura fina y un buen sabor, con mayor grado alimenticio para producir un pan superior. Buscan además recetas óptimas para productos horneados hechos de sorgo. Investigadores en el mundo esperan crear una comida sabrosa y rápida para el desayuno de las personas que sufren de intolerancia al gluten, especialmente para los niños.

Para garantizar la calidad del producto se debe practicar una rigurosa trazabilidad de la materia prima (el grano de sorgo) y una asepsia absoluta en el proceso de elaboración de la harina. Debe cuidarse que no tenga el más mínimo vestigio de contaminación con harina de trigo, por lo que la molienda debe hacerse en una planta exclusivamente dedicada a harina de sorgo. A todo esto debe sumarse un perfecto conocimiento de cómo deben elaborarse los productos.

❖ **Mejoramiento de la calidad nutricional del sorgo como alimento para los niños**

Entre las diversas leguminosas y cereales existentes no se piensa que algunas de ellos pueda aportar todos los nutrientes en cantidades suficientes para cubrir las necesidades nutricionales de un niño. Sin embargo, ya desde tiempos antiguos se reconocía aún antes de existir conocimientos sobre el contenido proteínico, la calidad de la proteína, la digestibilidad y las necesidades de nutrientes de los seres humanos; que sería posible y beneficioso poder mezclar las leguminosas con los cereales en la dieta para mejorar la calidad nutricional en general. Con los conocimientos actuales y recién obtenidos en estas materias, sería posible mezclar o enriquecer un elemento alimenticio con otra sustancia. La mezcla enriquecida ha mejorado la calidad nutricional y la aceptación que es necesaria por parte del consumidor.

La calidad nutricional del sorgo no es muy elevada. De ahí que se haya tratado de enriquecer el sorgo con otros cereales o leguminosas para convertir a los productos resultantes nutricionalmente superior y aceptable. Es indispensable tener en cuenta el costo, la disponibilidad de ingredientes y la comercialización de un buen producto enriquecido y duradero.

Se ha utilizado satisfactoriamente el sorgo en programas de alimentación, una vez enriquecido con leguminosas. Se han descrito varias combinaciones para niños de pecho que se basan en el sorgo, enriquecidos con harina de soja, leche, azúcar y harina de guisantes.

Se evaluó la estabilidad del sorgo enriquecido con harina de soja y semilla de algodón. Fórmulas con diferentes proporciones de harina de sorgo y soja o de semilla de algodón se almacenaron a 18°C y 49°C durante dos meses, 37°C durante seis meses y 25°C por espacio de 12 meses. Todas las combinaciones demostraron una estabilidad suficiente medida por el

cambio registrado en la lisina, actividad grasa y aroma. El sabor de todas las mezclas resultó aceptable (**Saucedo, O. 2006**).

En algunos países se ha empleado el sorgo como alimento para niños y adultos tras su enriquecimiento con harinas de maíz y de soja. Se llama a este alimento musalac, con la composición siguiente:

- Harina de sorgo 35 %
- Harina de soja 20 %
- Harina de maíz 30 %
- Leche en polvo 5 %

El sorgo ha sido clasificado finalmente como un alimento apto y muy beneficioso para la alimentación de los niños.

Para la mayoría de los cereales existe un consenso generalizado de que la calidad es tan importante como la cantidad. Esto no es una excepción en el sorgo, para el cual se puede definir la calidad como una de las propiedades que optimizan su aprovechamiento. El bajo contenido de tanino, aún más, la ausencia de tanino en algunas variedades de sorgo, la mayor digestibilidad, junto con una adecuada cantidad y calidad de proteína, son características que hacen más eficiente su utilización.

En algunos países (Argentina y Brasil entre otros) ha comenzado la difusión del uso de sorgos sin taninos condensados para la alimentación humana y animal por su alta calidad (mayor o igual al 95% del valor nutritivo del maíz). Este tipo de sorgo complementa o reemplaza el trigo y otros cereales en la elaboración de subproductos, con las ventajas de las áreas ecológicas del cultivo, el bajo costo de producción, su mayor tolerancia a factores abióticos y la baja carga de pesticidas en su producción, lo acercan a la producción orgánica. Además, la carencia de gluten del grano le abre las puertas al mercado de alimentos para celíacos.

1.2.9 Usos del Sorgo.

El sorgo se ubica en tercer lugar en el mundo de los granos usados para la alimentación y aproximadamente el 75 % del cultivo de sorgo a nivel mundial es consumido por las personas (**Kramer, 1969**).

El sorgo se emplea en la alimentación animal como ingrediente principal de dietas para porcinos, aves y bovinos engordados en corral. La harina de sorgo tiene un amplio uso alimentario, en la elaboración de cereales de desayuno, en la industria cervecera, botanas y panificación. Los almidones se emplean en jarabes, edulcorantes, como adjunto cervecero, alcohol industrial y en la producción de materiales de envasado biodegradables. (**Serna S.O,**

2007).

Este grano no solo se utiliza en la alimentación de los animales, sino también para fines industriales; en este aspecto tiene los mismos usos que el maíz. Se destaca en la producción de almidón, dextrosa, miel de dextrosa, aceites comestibles y bebidas; en la elaboración de cervezas, bebidas locales y materias colorantes, cosméticos, papel, productos farmacéuticos, confituras, mezcla en café y cárnicos, entre otras. Además las panículas se emplean para la confección de escobas o se queman para obtener cenizas ricas en potasio. De los tallos de esta planta se pueden obtener otros productos, como jarabes y azúcares. La producción de etanol constituye una fuente alternativa para la obtención de energía a partir de este cultivo. La harina de sorgo no tiene gluten, pero es más blanca y nutritiva que la del mijo; con ella se fabrican tortas y galletas, que sirven de base en la alimentación humana, ya sea sola o asociada al maíz o al mijo. En la India, China y algunas regiones de África, el sorgo constituye un elemento muy importante. El grano se come quebrándolo y cocinándolo en la misma forma que el arroz, o moliéndolo para obtener harina y elaborar pan sin levadura. **(Saucedo, 2008).**

Todas estas aplicaciones del sorgo en la alimentación humana por sus importantes aportes nutricionales también tienen un papel fundamental como es el caso de adultos y niños con padecimiento celíaco ya que son elaborados con el fin de mejorar su dieta.

Otro uso comestible de la harina de sorgo granífero es en el procesamiento de la carne como aglutinante para embutidos, también se obtuvo dextrosa cristalina y jalea de glucosa comestible de productos de cereal molido seco. **(Hahn, 2007).**

El sorgo azucarado contiene en el tallo un jugo dulce, y se cultiva para obtener jarabes y como planta forrajera. Los llamados sorgos de hierba, como el sorgo sudanés y los híbridos de éste con el sorgo azucarado y con el de grano, se cultivan como plantas de forraje y pasto. El potencial del sorgo azucarado como cultivo para obtener energía produce hasta 7 000 litros de alcohol etílico por hectárea **(Tecni-Fenalce 2001).**

Se emplea también en la producción de alcohol para la producción de bebidas alcohólicas (cerveza), no alcohólicas (maltina) y como combustible. **(León, 2003), (Altmann R. 2004), (Fernández y Garro, 2004) (Gallardo y col. 2011).**

1.3 ¿Qué es la Maltina?

Maltina, nombre de una bebida alimenticia y nutritiva, obtenida de un mosto preparado a base de granos malteados, sometidos previamente a un proceso de cocción y aromatizados con o sin flores de lúpulo. Se diferencia de la cerveza en que no es sometida a fermentación, por lo

cual está considerado dentro de las bebidas no alcohólicas ya que carece de graduación alcohólica.

1.3.1 Generalidades Sobre el Proceso de Fabricación de Maltina.

El proceso de fabricación de la maltina es similar al de la cerveza, con diferencias en la última etapa de obtención de la cerveza que es la fermentación, pues como ya se analizó anteriormente la maltina no requiere de la etapa de fermentación. En este proceso, la malta de sorgo primeramente es molida sin llegar a que se haga harina, o sea, que no llegue a pulverizarse, luego se procede a la etapa de maceración en la cual se cocina la malta a diferentes temperaturas. Después es filtrado para extraer todo el líquido y lavado para que se disuelvan los granos de azúcar. Posteriormente se cocina el licor, en esta etapa es donde se le adicionan las materias primas restantes. Una última etapa del proceso sería el enfriamiento del licor y la clarificación, para luego ser almacenada en frío. (Ozuna, 2008) y (Contino, 2012). En la figura 1.1 se muestran las principales corrientes involucradas en el proceso.

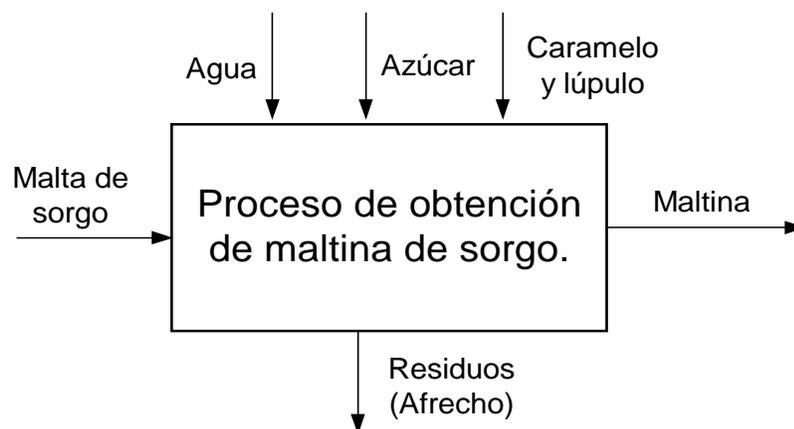


Fig 1.1. Función total del proceso.

1.3.2 Componentes de la maltina.

Malta: Está constituida por granos de sorgo germinados y secados durante un período limitado de tiempo. La misma está dividida en dos tipos, el primer tipo es el de malta caramelo y el segundo de malta clara, la diferencia entre ellas está en el tiempo de germinación y la forma en que se realice el secado.

Malta caramelo: Elaborada bajo un proceso especial de secado y tostación. Las maltas caramelo son producidas con maltas de un contenido normal de proteínas. El remojo y la germinación son muy intensivos. Dando como resultado una alta actividad enzimática en la

malta verde. Durante la sacarificación a 65 – 75 °C se forman azúcares por la degradación de las proteínas en almidón y aminoácidos. Ambos productos reaccionan entre sí en la etapa de tostado para formar el color y aroma característico. Estos azúcares son caramelizados en cadenas más largas que no son convertidas en azúcares simples por las enzimas durante el macerado. Actúan como antioxidante retardando el proceso de oxidación en el envase, por lo cual favorecen la estabilidad de la cerveza, la desnaturalización de las proteínas favorecen la formación de espuma en la maltina.

Agua: Las características del agua de fabricación influyen de sobremanera en la calidad de la maltina. El agua es un elemento básico, influye en gran medida en el sabor de la misma, dando lugar a la postre, a un producto más suave, más fuerte o más dulce, debido a sus diferentes durezas y sabores, además, contiene minerales y sales en diferentes proporciones, dependiendo del lugar del que se obtiene. El agua puede obtenerse de la red local, de manantiales (tanto de superficies como subterráneos), de los lagos y de los ríos. La composición del agua influye en el proceso de fabricación. Cuanto más pura sea el agua más se controlará el sabor de la maltina. En caso de utilizar agua potable sus características organolépticas deben ser completamente normales.

Azúcar: el azúcar tiene que ser crudo, se utiliza para darle el brix.

Color caramelo: esta materia prima se utiliza para darle el color y el aroma a la maltina.

1.3.3 Características e Identidad de la Maltina.

Las principales características que identifican a una maltina son:

- *El Color:* Lo determinan las materias primas, especialmente la malta que debe ser tostada, puesto que el color del Mosto determina el color del producto, junto con la adición de caramelo.
- *La Espuma:* debe tener una espuma estable. La formación de la espuma depende del contenido de gas carbónico y de las proteínas que al final contiene en suspensión la maltina.
- *Brillo:* la maltina debe ser brillante. La turbidez en una malta puede deberse a deficiencias en la filtración, contaminación microbiológica por bacterias o levaduras salvajes, presencia de proteínas pesadas que no fueron retiradas durante el proceso, desgasificación o contaminación con oxígeno por fisuras en el tapado, reacciones fotoquímicas por sobre exposición a la luz solar.

- *Especificaciones de calidad:* en la maltina debe especificarse el complejo vitamínico, formado por vitaminas B-1 y B-6, proteínas, valor calórico y contenido en minerales.

1.3.4 Etapas del proceso de elaboración de la maltina.

El proceso de obtención de la maltina está constituido principalmente por las etapas de malteado del cereal y la elaboración de la maltina. En cada una de estas etapas ocurren procesos diferentes los cuales serán ampliados a continuación.

1.3.4.1 Malteado del cereal.

La primera fase de la elaboración de la maltina es la elaboración de la malta y suele hacerse en unas bodegas especiales. El objetivo es obtener de una forma ingeniosa, al mismo tiempo, el almidón y los enzimas (la mayoría de tipo α -amilasa y β -amilasa) que permiten convertirlo en azúcares (maltosa). Primeramente se realiza la selección del grano, posteriormente se procede a la realización de operaciones como remojo, germinación y secado del grano.

1.3.4.1.1 Selección del grano.

Antes de realizar el malteado del grano se efectúan las siguientes operaciones:

- Análisis físico del lote, para determinar sanidad, humedad y calidad en general: tamaño de grano, grano quebrado y desnudo, peso hectolítrico, y harinosidad (granos harinosos, semivítreos y vítreos).
- Limpieza mediante la cual se eliminan impurezas por medio de cribas, imanes, corrientes de aire y/o bandas vibradoras, para eliminar impurezas metálicas barbilla, polvo, piedras, granos quebrados, etc.
- Calibración, es decir, separación del grano en grande, regular y delgado; éste último se elimina como subproducto, pues no es adecuado para malteado.
- Finalmente, el grano o cereal se almacena, con una humedad de 13.5 % como máximo.

Este proceso es delicado ya que debe observarse con sumo cuidado que los granos tengan una textura homogénea, cualquier defecto afecta la estabilidad del producto final.

1.3.4.1.2 Remojo del grano.

Para iniciar la germinación, se requiere humedad de 40% por lo cual antes de germinar es necesario remojar el grano para obtener este grado de humedad, el proceso se puede lograr en uno ó 2 días, según la temperatura del agua; generalmente se usa a 40 ó 45 °C. En la

industria se alternan períodos con y sin agua, pero es indispensable airear para que el grano no se ahogue. El grano flotante se elimina. El remojo se detiene cuando el grano ha comenzado a puntear, es decir, cuando las raicillas empiezan a aparecerse se pone a remojar el cereal en diferentes ciclos de remojo llegando a reblandecer e hinchar el grano por la absorción del agua. Durante el primer remojo se suele añadir algo de cal con el objetivo de desinfectar y limpiar el cereal.

1.3.4.1.3 Germinado.

Este debe ser rápido, vigoroso y uniforme. La humedad ambiental debe ser de 92% y es necesario mover el grano del fondo a la superficie de los contenedores, periódicamente para oxigenarlo; generalmente se usan volteadores, para ello. Si es necesario, se riega también. En esta etapa la humedad sube a 45% en unos 4 días. Por el extremo opuesto al de las raicillas, es decir por el lado dorsal, sale la plúmula en la germinación; cuando ésta ha alcanzado el largo del grano se ha obtenido la “malta verde”, la planta emite una enzima que convierte el almidón en azúcar para alimentarse, en este justo instante se interrumpe el germinado.

1.3.4.1.3.1 Factores que afectan a la germinación.

Los factores que afectan a la germinación se pueden dividir en dos tipos, factores internos y externos, siendo estos últimos los más importantes que inciden en el proceso donde se destacan la humedad, la temperatura y los gases.

Humedad: Aunque es necesaria el agua para la rehidratación de las semillas, un exceso de la misma actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada de oxígeno al embrión.

Temperatura: Esta puede ser algo variable, pero en general lo ideal es alrededor de 16-20°C. Mayores temperaturas generalmente no beneficiarán la germinación.

Gases: La mayor parte de las semillas requiere para su germinación un medio suficientemente aireado que permita una adecuada disponibilidad de O₂ y CO₂. Por lo que para que la germinación tenga éxito, el O₂ disuelto en el agua debe poder llegar hasta el embrión.

A todo lo anterior hay que añadir que la temperatura modifica la solubilidad del O₂ en el agua que absorbe la semilla, siendo menor la solubilidad a medida que aumenta la temperatura.

(Bieto y Talón, 1993)

1.3.4.1.4 Secado del grano

El secado del grano se realiza para detener el crecimiento de la plántula y conservar la actividad enzimática, la germinación se interrumpe mediante el secado, en el cual se reduce la humedad del grano hasta valores adecuados en función del tipo de malta que se quiera (malta clara o malta caramelo).

Secado para malta clara: para obtener este tipo de malta se requiere que la humedad descienda de valores cercanos a 45% hasta valores entre 4 y 5 %, esto se logra haciendo pasar el sorgo por un secadero durante 4 horas a una temperatura de 60 °C y 30 min a 110°C.

Secado para malta caramelo: para obtener este tipo de malta se requiere que la humedad descienda de valores cercanos a 45% hasta valores entre 1 y 2 %, esto se logra haciendo pasar el sorgo por un secadero durante 5 horas a una temperatura de 60 °C y 30 min a 110°C.

En la etapa de secado es de vital importancia controlar la temperatura debido a que valores por encima de los comprendidos puede afectar la calidad de la malta.

1.3.4.1.4.1 Evolución de la calidad de la malta durante el proceso de secado.

El proceso de secado de la malta tiene como objetivo realizar la eliminación del agua que contiene, hasta conseguir un nivel adecuado para su conservación, así como suministrar a la malta seca final las características de color y aroma deseadas para el producto final. Esto se consigue con un aumento de la temperatura del aire de secado en las últimas horas de proceso, dependiendo esta temperatura final de la calidad del producto que se pretenda obtener.

Mediante este estudio de la evolución de la calidad de la malta durante el proceso de secado se pretende poner de manifiesto los cambios que tienen lugar en los distintos parámetros de calidad de la malta en función del tiempo de secado, la humedad de la malta y la temperatura del aire, que sirvan de indicación en el análisis de posibilidades de modificación del proceso de secado. **(Llorca, 1998)**

Después del secado y/o tostado, se hace una limpieza para eliminar raicillas, plúmulas y fragmentos. Finalmente, la malta se somete a una maduración, que consiste en almacenarla a temperatura ambiente durante 4 a 6 semanas, para asegurar que no continúen las reacciones en el interior de grano, lo cual reduciría la calidad de la malta al utilizarla.

1.3.4.2 Parámetros de calidad de la malta.

El proceso de malteo trata fundamentalmente de solubilizar el almidón, proteínas, productos de degradación enzimáticos, vitaminas, minerales, componentes responsables del color y del

aroma, y enzimas. En este sentido para Bellmer (1975) la calidad de la malta será adecuada si presenta:

- ✓ Bajo contenido en proteína
- ✓ Buena modificación
- ✓ Gran poder enzimático
- ✓ Extracto alto.
- ✓ Alto contenido en sustancias reductoras.

En efecto, el contenido en azúcares y la atenuación límite de un mosto son parámetros importantes de la calidad de la malta, aunque una alta atenuación límite no implica necesariamente que el almidón haya sido suficientemente modificado durante el malteo (**Schuretal., 1978; Schur, 1979**).

Es importante para la calidad de la malta que tenga una modificación buena y regular para que las barreras físicas estén rotas y pueda haber una adecuada movilidad y acción enzimática. En este sentido se ha puesto de manifiesto que al principio de la germinación la rápida desagregación de las paredes celulares, catalizada por las enzimas del escutelo, parece estar asociada a la mayor permeabilidad de esta región del grano. Además la matriz proteica de los granos pequeños de almidón permanecerían intactas en su mayor parte, por lo que estos serían inalcanzables por las enzimas amilolíticas.

De esta forma una buena modificación da lugar a endospermos amorfos, mientras que una mala modificación muestra endospermos vítreos. En efecto, los grumos de almidón pequeños son menos atacados que los grandes.

La razón no está en la estructura de la amilosa y la amilopectina, sino en la diferencia proporcional de proteínas presente en la malta (**Goeringy De Haas, 1974**). La malta proteica estará más intacta conforme aumente el contenido proteínico de la malta, de tal manera que al formarse una película proteica alrededor de los grumos de almidón se inhibe la amilosis (**Slack, 1979**).

1.3.4.3 Obtención de la maltina.

Luego de realizado el proceso de malteado se procede al proceso de obtención de la maltina, este proceso está constituido de cinco procesos fundamentales para llegar a obtener la maltina:

- ❖ Molido del grano.
- ❖ Maceración o Mashing.
- ❖ Filtración.

- ❖ Cocinado del licor.
- ❖ Enfriamiento y Clarificación.

1.3.4.3.1 Molturación o molienda de la malta.

La trituration del grano se realiza en molinos con el objetivo de desmenuzar el endospermo, pero sin que se trituren las glumillas.

1.3.4.3.2 Maceración (*masching*) o lixiviación: el objetivo de esta etapa es realizar el desdoblamiento o hidrólisis del almidón a maltosa, la que pasa más fácilmente a la forma más simple de azúcar, la glucosa, por la acción de las enzimas.

En esta etapa se mezcla el grano molido con agua, que ha sido previamente calentada. En este equipo ocurre la maceración por infusión, tratando de conseguir una mezcla homogénea, sin grumos a partir de la cual se inicia el proceso de extracción por vía enzimática. La temperatura y el tiempo son dos factores imprescindibles a chequear, pues con los escalones de temperatura y las pausas en tiempos determinados se logra la transferencia de todas las sustancias importantes al mosto. En este proceso los almidones de la malta son transformados en azúcares fermentables, siendo muy importantes los procesos de disociación de las proteínas y de los fosfatos orgánicos, que influyen significativamente en la acidez del macerado.

Para todas las etapas se logra el aumento de la temperatura en un intervalo de tiempo de 15 minutos y se mantiene la misma durante 30 minutos. Primeramente se aumenta la temperatura hasta 49°C, temperatura de acidificación, para que se activen los fosfatos orgánicos, disminuyendo el pH, y la enzima endobeta-glucanasa que cataliza la disminución de las gomas beta-glucano, Posteriormente se eleva la temperatura hasta 55-60°C, temperatura en que ocurre la proteólisis para degradar las proteínas en proteínas más sencillas y aminoácidos.

En el proceso de maceración ocurre la conversión de las sustancias amiláceas. Este proceso se conoce como sacarificación, la cual se divide en dos procesos, primero a 63°C activando la enzima beta-amilasa, que transforma los almidones en azúcares fermentables y luego, a 65°C, se activa la enzima alfa-amilasa transformando los almidones en azúcares y dextrinas. El proceso de desdoblamiento del almidón envuelve la hidrólisis ó sacarificación de los puntos de unión (enlaces) de las moléculas de glucosa produciendo una mezcla de maltosa y dextrinas en fermentables. **(Rodríguez, 2000)**

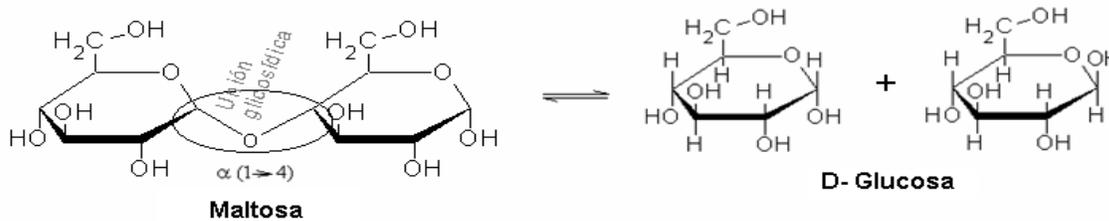


Figura 1.2 Desdoblamiento del almidón

1.3.4.3.2.1 Características de la lixiviación

La lixiviación es la solución preferencial de uno o más componentes de una mezcla sólida por medio del contacto con un solvente líquido. **(Treybal, 1980)**

1.3.4.3.2.2 Parámetros de la lixiviación

Temperatura de lixiviación: Generalmente es preferible lixiviar a la más alta temperatura posible ya que dan lugar a una mayor solubilidad del soluto en el solvente y, en consecuencia, es posible lograr concentraciones finales más altas en el cocimiento lixiviado.

Grado de trituración: El grado de trituración de la sustancia sólida ejerce considerable influencia sobre la velocidad de lixiviación, al triturar aumenta la superficie de contacto entre las fases y permite también reducir el recorrido de la sustancia que se difunde desde el fondo de los poros hasta la superficie del material sólido. Pero que a su vez, al aumentar el grado de trituración, aumenta también el consumo de energía para realizarlo, además, hay que entrar a analizar que la lixiviación conlleva en la mayoría de los casos a un filtrado posterior, y éste se dificulta con la disminución del tamaño de las partículas.

Superficie de contacto: para aumentar la superficie de contacto accesible del componente a extraer, en su interacción con el solvente, este se desplaza al fondo de los poros del material sólido. Esto conlleva a una disminución considerable en la velocidad de lixiviación cuando dicho parámetro se limita por la velocidad de difusión interna desde el fondo del grano o partícula hasta su superficie. **(Treybal, 1980)**

1.3.4.3.2.3 Almidón

El almidón es un polisacárido compuesto por moléculas de glucosa con dos componentes: la amilosa, mayoritaria y de estructura lineal, y la amilopectina, minoritaria y de estructura ramificada. El almidón abunda principalmente en los alimentos amiláceos como son los cereales, de los que puede extraerse fácilmente y es la más barata de todas las sustancias con

estas propiedades; el almidón más utilizado es el obtenido a partir del maíz. (www.pasqualinonet.com)

1.3.4.3.2.4 Hidrólisis del almidón

La hidrólisis implica la ruptura de un enlace mediante la adición de los elementos del agua. Este proceso puede ser catalizado por enzimas. Las enzimas actúan sobre el polisacárido almidón, hidrolizando el enlace O-glicosídico, por lo que el almidón se terminará por transformar en unidades de glucosa. (www.es.wikipedia.org/wiki/Almidones)

1.3.4.3.2.5 Estructura del almidón

Lo que se llama almidón no es realmente un polisacárido, sino la mezcla de dos, la amilosa y la amilopectina.

La amilosa: es la cadena recta de los almidones, está constituido por varios cientos de unidades de glucosa unidas entre sí por enlaces 1-4, esta fracción es casi toda cuantitativamente hidrolizada a maltosa. (www.es.wikipedia.org/wiki/Amilasa)

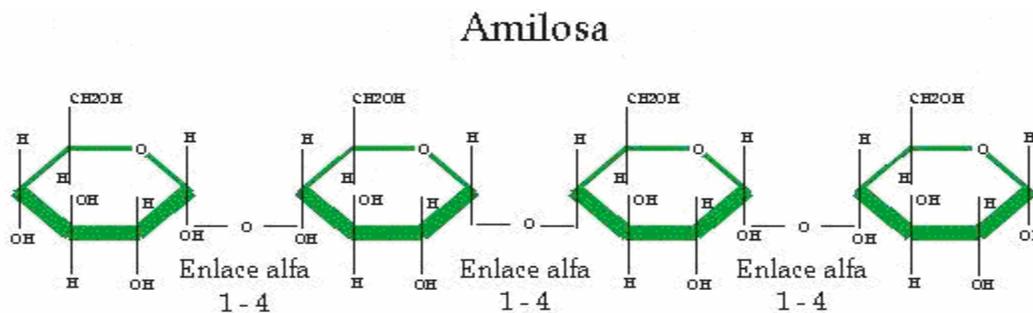


Fig. 1.3. Estructura de la amilosa.

La amilopectina: es la cadena ramificada de peso molecular mucho más elevado y tiene de 10.000 a 100.000 unidades de glucosa.

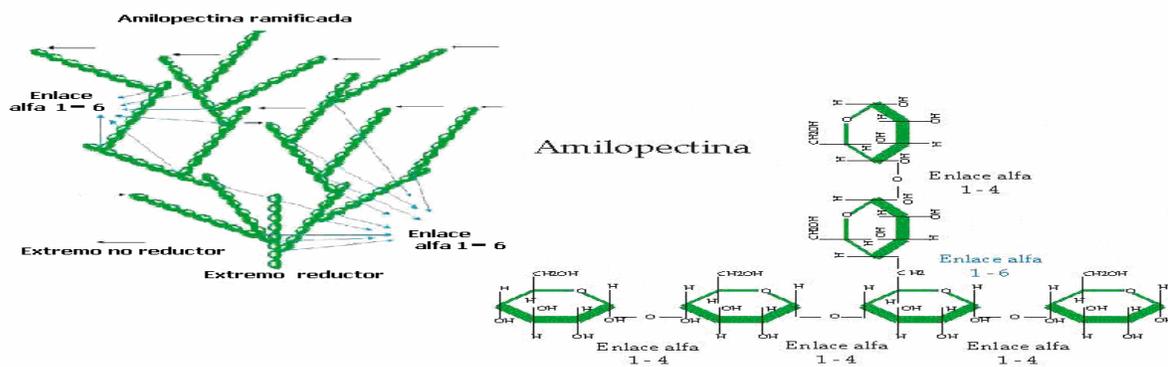


Fig. 1.4. Estructura de la amilopectina.

Los segmentos que se encuentran entre los puntos de ramificación tienen 17-25 unidades de glucosa con enlaces semejantes a los de la amilasa. Esta molécula es parcialmente hidrolizada, aunque pueden hidrolizarse en la etapa de fermentación. **(es.wikipedia.org/wiki/Amilopeptina)**

1.3.4.3.3 Filtración

El proceso de extracción, donde se separa por lixiviación el mosto claro y el afrecho, se logra recirculando el macerado hasta obtener líquido claro y así separar las cáscaras y residuos del mosto limpio, esta primera porción se denomina primer extracto sin necesidad de añadir agua, le sigue una segunda porción en la cual se añade agua caliente para recuperar al máximo los azúcares que están contenidos en el afrecho. Terminado el proceso de extracción se bombea el afrecho, rico en elementos nutritivos, al tanque receptor y se comercializa como alimento animal.

1.3.4.3.4 Cocinado

Luego de esto se hierva todo el líquido obtenido en la tina con el objetivo de inactivar las enzimas del macerado, esterilizar el mosto, solubilizar e isomerizar las sustancias amargas del lúpulo, sobre todo los alfa-ácidos que forman complejos tanino-proteínas solubles a temperaturas altas e insolubles a temperaturas inferiores y concentrar el mosto, ya que producto del lavado en la tina se incorpora al proceso una cantidad adicional de agua, la cual se elimina mediante la evaporación. Durante el proceso de hervidura se añade al mosto lúpulo amargo, azúcar refinado, caramelo y lúpulo aromático.

1.3.4.3.5 Clarificación y Enfriamiento

Al terminar el hervido, se debe enfriar lo más rápido posible, para evitar que sea colonizado por levaduras silvestres que perjudican todo el trabajo realizado, para luego ser clarificada y almacenada en frío.

1.3.5 Características principales de cada operación.

En la tabla 1.3 se muestran las operaciones, su función y principales parámetros de control.

Tabla 1.2 Operaciones en la producción de maltina

| Operación | Función | Parámetros a controlar |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Molienda | Disminución del tamaño de partícula. | Tamaño de la partícula a la salida. |

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| Maceración | Favorecer el ataque de las enzimas sobre el almidón. | Velocidad de agitación. Temperatura. Tiempo de contacto. |
| Filtración | Separar los sólidos del mosto. | Grado de separación. |
| Cocinado o Hervidura | Elaboración de la maltina. | Temperatura. Concentración de sacarosa en el mosto. |
| Clarificación | Eliminar el lodo. | Calidad de la maltina a la salida. |
| Enfriamiento | Disminuir la temperatura de la maltina | Temperatura de entrada del agua 30 °C. Agitación. Temperatura de salida del producto final 10 °C. |
| Almacenamiento | | Tiempo de almacenamiento. |



CAPÍTULO 2: PRODUCCIÓN DE MALTINA DE SORGO A ESCALA DE PLANTA PILOTO.

Para comenzar la parte experimental de la investigación se parte de un análisis cualitativo de los resultados obtenidos en trabajos preliminares, que concluyeron acerca de las mejores condiciones para el malteado y producción de maltina a partir del sorgo, con vista a obtener este producto a mayor escala y poner a punto una tecnología en la producción de maltinas para enfermos celíacos. Esta prueba se realiza en la Cervecería Antonio Díaz Santana (Manacas)

Investigación 1 “Obtención de maltina a partir de sorgo malteado para niños celíacos” (Ozuna, Y. 2008)

Investigación 2 “Incremento del valor agregado del sorgo mediante procesos biológicos industriales” (Bofill, Y.2009)

Investigación 3 “Propuesta tecnológica de una planta piloto de obtención de maltinas de sorgo destinadas a enfermos celíacos” (Contino, Y. 2012)

Investigación 4 “Obtención de cerveza a partir de la combinación de malta de sorgo y malta de cebada como vía de sustitución de importaciones” (García, Y; Reyes, S. 2012).

2.1. Resumen de las investigaciones realizadas anteriormente.

Todas las investigaciones analizadas están basadas en dos etapas fundamentales:

1. Malteado del sorgo para ser empleado como materia prima fundamental.
2. Producción de Maltina a partir de malta de sorgo.

2.1.1 Malteado del Sorgo

El malteado del sorgo se realiza con el propósito de obtener una malta que esté lista para la elaboración de la maltina. Es necesario que los granos del cereal que van a ser malteados no hayan germinado antes de la recolección y que ninguno de ellos haya muerto a causa de haberlos secado tras una recolección en circunstancias insatisfactorias. El proceso de malteado está constituido por cuatro etapas fundamentales:

1. Clasificación del grano.
2. Etapa de remojo.
3. Etapa de germinación.
4. Etapa de secado.

En el presente trabajo se realizó el análisis en las etapas de remojo y germinación debido a que en las etapas de clasificación y secado del grano no existe variación alguna en estas investigaciones.

2.1.1.1 Etapa de remojo.

El remojo se realiza con el objetivo de aumentar la humedad hasta los niveles requeridos para este proceso, se puede observar que a medida que transcurre el tiempo, el grano crece, producto de la absorción del agua en el seno del mismo. Durante toda la etapa se cambia el agua, evitando así que ésta adquiriera olor desagradable debido a la actividad de las bacterias que contiene el grano, y se airea cada seis horas. El remojo se detiene cuando el grano ha comenzado a puntear, es decir, cuando aparecen las raicillas y el grano flotante se elimina.

Para realizar el remojo es necesario tener en cuenta la siguiente metodología:

1. Pesar el cereal que se remojará.
2. Añadir el cereal en un recipiente adecuado.
3. Añadir agua hasta un nivel superior al de los granos en el recipiente.
4. Aérear y cambiar el agua cada seis horas.

El tiempo de remojo depende de la humedad que se requiera en el proceso. Para la estimación del tiempo de remojo adecuado se realizó un análisis de todas las investigaciones anteriores y se determina de ellas, la más adecuada. Durante la etapa de remojo, la humedad se determina utilizando el método de desecación en una estufa a 100°C. En la tabla 2.1 se muestra los parámetros utilizados por cada investigación.

Tabla 2.1. Tiempos utilizados en el remojo y humedades alcanzadas

| Investigación | Muestra | Tiempo de remojo (h) | Humedad alcanzada % |
|---------------|----------------|----------------------|---------------------|
| 1 | Malta clara | 60 | 41,32 |
| | Malta caramelo | 78 | 45,86 |
| 2 | Malta clara | 48 | 38,75 |
| | Malta caramelo | 52 | 41,59 |
| 3 | Malta clara | 52 | 43,00 |
| | Malta caramelo | 72 | 45,00 |
| 4 | Malta clara | 72 | 44,42 |

| | | | |
|--|----------------|----|-------|
| | Malta caramelo | 72 | 44,81 |
|--|----------------|----|-------|

El tiempo de remojo adecuado es de 72 horas para la malta clara, ya que para estos valores se obtienen los mayores porcentos de humedad, ocurriendo lo contrario en tiempos menores o mayores que estos.

2.1.1.2 Etapa de germinación.

Luego de transcurrido el remojo, se procede con la etapa de germinación. El sorgo se coloca sobre un paño húmedo, durante la operación el mismo es aireado a una temperatura entre 16-20°C aproximadamente.

En el proceso de germinación, el grano produce alfa-amilasa, enzima que transforma el almidón insoluble en azúcares solubles, lo cual tiene el efecto de aclarar la pasta hecha, calentando una mezcla de almidón en agua; a su vez, esto permite una mayor densidad calorífica en una pasta de una determinada viscosidad. En la siguiente tabla se muestran los valores tomados en las investigaciones reportadas.

Tabla 2.2. Tiempos utilizados en la germinación y % de germinación alcanzados

| Investigación | Muestra | Tiempo de germinación (horas) | % de germinación |
|---------------|----------------|-------------------------------|------------------|
| 1 | Malta clara | 64 | 56.97 |
| | Malta caramelo | 58 | 63.26 |
| 2 | Malta clara | 62 | 71.4 |
| | Malta caramelo | 86 | 76.13 |
| 3 | Malta clara | 65 | 68.60 |
| | Malta caramelo | 86 | 73.40 |
| 4 | Malta clara | 72 | 87.50 |
| | Malta caramelo | 72 | 58.96 |

El tiempo de germinación más adecuado es aproximadamente de 72 horas para la malta clara y 86 horas para la malta caramelo, ya que los porcentos de germinación son los más elevados, aunque como se ha reportado en esto influye la calidad del grano empleado, el tiempo de cosecha y almacenamiento. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en el primer trabajo donde se malteó sorgo UDG-110, que fue de tres días para el mayor porcentaje de germinación. **Pargas 1985**

2.1.1.3 Etapa de secado.

En esta etapa se realizó el secado de la malta hasta convertirla en Malta clara y Malta caramelo, para ello se utilizaron bandejas metálicas en las cuales se añadió el sorgo con un espesor de 2,2 cm. en una estufa de tiro de aire inducido,

Para obtener malta clara, se comienza el secado con la temperatura a 60 °C durante 4 horas con el objetivo de garantizar que no se destruyeran las enzimas y así evitar la vitrificación del grano, luego la temperatura es elevada hasta 100°C durante 60 minutos, el proceso termina cuando la malta alcanza un por ciento de humedad menor del 5% como se establece para la malta de cebada.

Para obtener malta caramelo, se comienza con la temperatura a 65°C la que se mantuvo durante cinco horas, luego la temperatura se elevó a 105 °C durante 30 minutos, el proceso terminó cuando la malta alcanzó un porcentaje de humedad inferior al 2 %.

En esta etapa las maltas adquirieron un olor característico, parecido al de la malta de cebada empleada en las cervecerías.

2.1.1.4 Tamizado y Pulido

Por último se retiraron las raicillas de los brotes producidas durante el malteado ya que perjudicarán la calidad del producto final. Debe hacerse lo antes posible en cuanto haya terminado el secado, debido a que las raicillas son fuertemente higroscópicas y a que es más fácil retirarlas cuando están secas.

2.1.1.5 Almacenamiento

Durante el almacenamiento de la malta, su contenido de agua, debe mantenerse por debajo del 5% o se deteriorará; por lo que hay que almacenarla en depósitos especiales.

2.1.2 Proceso de Obtención de Maltinas

Etapas del proceso de obtención de maltinas

- 1: Molido del Grano.
- 2: Maceración o Mashing.
- 3: Extracción del Licor y Lavado.
- 4: Cocinado del Licor.
- 5: Enfriamiento y Clarificación.

2.1.2.1. Molida del Grano

Así es como comienza la producción, moliendo el grano sin llegar a convertirlo en harina, sólo consiguiendo desmenuzar el endospermo, pero sin que se trituren las glumillas.

2.1.2.2 Maceración o Mashing

Luego, comienza el llamado proceso de "Mashing", para el cual, se calienta el agua en una cacerola enlozada, hasta alcanzar los $38\pm 1^{\circ}\text{C}$. En ese punto, se agrega el grano, es necesario que en el proceso haya agitación para evitar que se formen grumos. Posteriormente se comienza un proceso de elevación y mantenimiento de la temperatura escalonadamente, colocando la muestra en un reactor enchaquetado (Tacho), para regular la temperatura. Se mantiene la temperatura a $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante media hora, luego se eleva a $63 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se mantiene durante 45 minutos. Luego se eleva la temperatura a $71\pm 1^{\circ}\text{C}$ y se mantiene durante 30 minutos. Durante este período, se continúa agitando espaciadamente.

2.1.2.3 Análisis de los niveles de las variables a utilizar.

Variables utilizadas

- ❖ Relación Malta total / solución
- ❖ Relación Malta caramelo / malta total

Niveles utilizados: Para la selección de los niveles adecuados de cada variable se tuvieron en cuenta los niveles utilizados en las investigaciones anteriores y se toma de todas, la más adecuada. A continuación se muestran los diferentes niveles utilizados en cada investigación y sus respectivos resultados. En la tabla 2.3 se muestran los diferentes niveles utilizados en cada investigación.

Luego de analizadas estas investigaciones se determina que los niveles más adecuados para realizar el proceso de obtención de la maltina están entre 100 -120 g/L de relación malta total/ solución y 8 -50% de relación entre la malta caramelo y la malta total, ya que los mejores parámetros físico-químicos de calidad de las maltinas, estuvieron en esos niveles

2.1.2.4 Extracción del mosto

En este punto, comienza la extracción del líquido que se convierte en maltina. Se coloca toda la mezcla sobre un filtro, guardando el líquido en un recipiente y el grano en otro.

Cuando se ha filtrado todo, luego de transcurrida esta etapa, se le agrega más agua caliente al afrecho que quedó en el filtro para extraer los azúcares que le quedan al mismo, esta vez a unos 70 °C y se agita para que se siga disolviendo el azúcar. Luego de unos minutos se repite el paso anterior, colado del grano. Se repite este paso tantas veces como haga falta, hasta obtener la cantidad de líquido deseada.

Tabla 2.3. Niveles utilizados en cada investigación

| Inv. | Relación M Tot /Solución (g/L) | Relación M. Clo / M. total (%) | Adjunto | Resultados | | | |
|------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|------------|--------------|------|------------|
| | | | | Bx | ρ_{exp} | pH | μ_{cp} |
| 1 | 100 | 8 | 42% Mt | 15,8 | 1070 | 4,13 | 1,072 |
| | 100 | 12 | 42% Mt | 19,9 | 1090 | 4,23 | 1,433 |
| | 190 | 8 | 42% Mt | 22,6 | 1076 | 4,16 | 1,674 |
| | 190 | 12 | 42% Mt | 21,9 | 1090 | 4,15 | 1,624 |
| 2 | 100 | 20 | 70(g/L) | 9,80 | 1090 | 5,07 | 1,800 |
| | 100 | 50 | 70(g/L) | 7,50 | 1080 | 4,65 | 1,654 |
| | 150 | 20 | 70(g/L) | 9,10 | 1070 | 5,10 | 1,730 |
| | 150 | 50 | 70(g/L) | 9,00 | 1080 | 4,67 | 1,739 |
| 3 | 120 | 50 | 60(g/L) | 16,50 | 1064 | 4,15 | 1,730 |
| | 150 | 50 | 60(g/L) | 17,30 | 1080 | 4,19 | 1,830 |

2.1.2.5 Cocinado del mosto

Esta etapa se realiza en un tacho, se coloca en el todo el líquido, donde la temperatura tiene que ser superior a los 100°C. Este debe hervir durante media hora, en esta etapa, se

le agrega el color caramelo y el azúcar.

2.1.2.6 Enfriamiento y Clarificación

Al terminar la esterilización, se debe enfriar lo más rápido posible, para evitar que sea colonizado por levaduras silvestres que perjudican todo el trabajo realizado, para luego ser clarificada y almacenada en frío.

Como se aprecia los mejores resultados obtenidos son:

Etapa de maltado: El tiempo de remojo adecuado es de 72 horas para la malta clara, ya que para estos valores se obtiene los % de humedad por encima de 43, ocurriendo lo contrario tiempos menores o mayores que estos. El tiempo de germinación está aproximadamente cerca de las 72 horas para la malta clara y 86 horas para la malta caramelo, ya que los porcentos de germinación son los más elevados.

Etapa de obtención de la maltina: Los niveles más adecuados para realizar el proceso de obtención de la maltina están entre 100 -120 g/L de relación malta total/ solución y 8 -50% de relación entre la malta caramelo y la malta total.

2.2 Técnica experimental seguida para desarrollo de los experimentos en esta investigación.

La metodología seguida para el malteado del sorgo fue similar a las investigaciones precedentes:

2.2.1 Clasificación del Grano.

Primeramente se tomó la cantidad de 47 Kg y se hizo la clasificación del sorgo para separar el polvo, las impurezas y las partículas extrañas de mayor tamaño que se encontraban en él; para lo cual se utilizó un tamiz malla de 2,5 mm y luego se retiraron los granos partidos, semillas y otros tipos de granos que acompañaban al cereal. Las pérdidas, como material rechazado, en esta etapa fueron de 5,32 %.

2.2.1.1 Remojo: para la realización de esta etapa el sorgo se dividió en dos tandas debido a la capacidad de procesamiento de las etapas posteriores.

Primeramente se pesaron 17 y 15 kilogramos de sorgo clasificado y limpio para los dos malteados respectivamente, colocándose en un tanque plástico y añadiéndosele agua hasta cubrir los granos. El remojo se efectuó hasta que se vio brotar la raicilla y el grano alcanzó la humedad necesaria.

Durante toda la etapa se cambió el agua y aireó cada seis horas, evitando así que ésta adquiriera olor desagradable debido a la actividad de las bacterias que contiene el grano, además, de esta forma se logran disolver sustancias que pueden ser perjudiciales para la etapa de germinación.

Esta etapa duró 72 horas para cada tanda, alcanzándose humedades de 46.83 y 47.35 % respectivamente. Durante el remojo se determinó la humedad mediante desecación en una estufa a 100°C siguiendo la técnica adecuada para este proceso (Anexo 1). Los valores de humedad se tomaron cada 12 horas tal y como se puede evaluar en la Tabla 2.4 y las figura 2.1 para cada una de las muestras.

Tabla 2.4 Humedad del sorgo con el tiempo (Tanda 1).

| Tiempo (h) | Humedad (%) |
|------------|-------------|
| 0 | 4,45 |
| 12 | 16,58 |
| 24 | 25,86 |
| 36 | 33,83 |
| 48 | 39,27 |
| 60 | 42,87 |
| 72 | 46,83 |

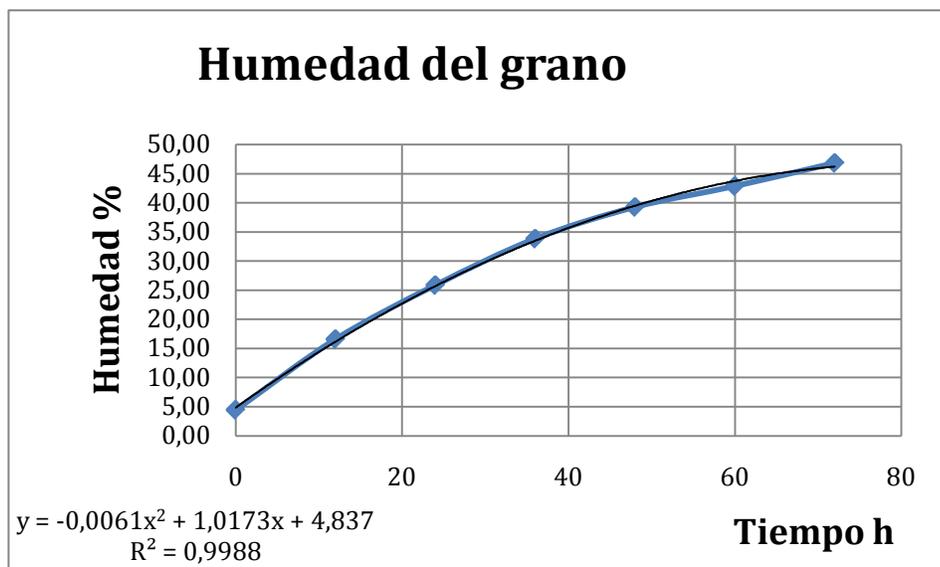


Fig 2.1. Contenido de humedad del grano (Tanda 1).

Tabla 2.5: Humedad del sorgo en el tiempo (Tanda 2).

| Tiempo (h) | Humedad (%) |
|------------|-------------|
| 0 | 4,45 |
| 12 | 15,36 |
| 24 | 23,16 |
| 36 | 31,14 |
| 48 | 39,62 |
| 60 | 44,96 |
| 72 | 47,35 |

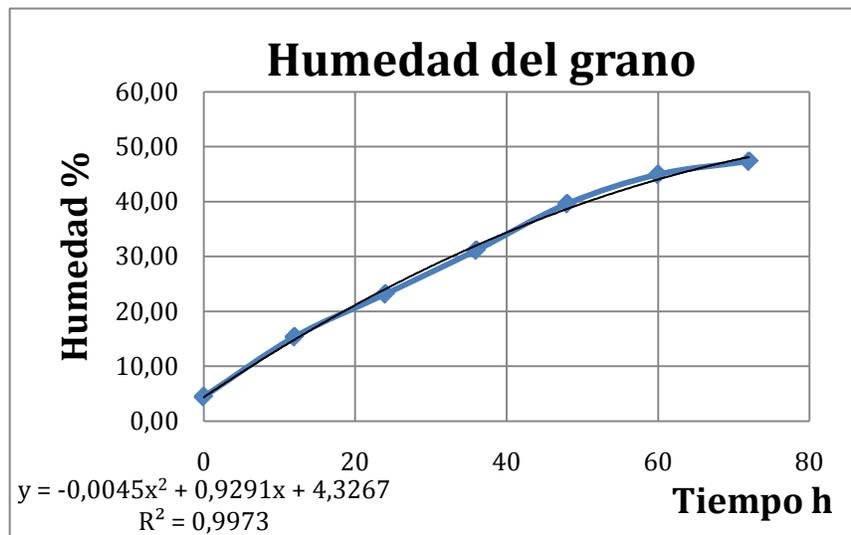


Fig 2.2. Contenido de humedad del grano (Tanda 2).

En esta etapa se observó que a medida que transcurre el tiempo de remojo, el grano aumenta su tamaño, producto de la absorción del agua en el seno del mismo, lo cual provoca una hinchazón (elongación de la semilla). Este comportamiento se siguió midiendo el diámetro cada 12 horas en una muestra de 10 granos de forma aleatoria, obteniéndose un promedio general del tamaño del grano desde 3.88 a 4.36 mm, similares a los valores obtenidos en investigaciones anteriores.

2.2.1.2 Germinación

Para la tanda 1, el sorgo se colocó en bandejas cubierto por un paño húmedo. El tiempo de germinación fue de 72 horas para una parte de la malta y de 86 horas para la malta caramelo a una temperatura de 20°C, hasta que las raicillas o plumillas alcanzaron el tamaño indicado, durante la etapa el sorgo fue aireado y rociado diariamente.

En esta tanda se presentaron problemas de exceso de humedad lo que le confirió a la malta clara un olor desagradable y se dedicó la otra parte a la malta caramelo, se determinó el rendimiento de la germinación, tomándose 10 muestras de 100 granos c/una, para un por ciento de germinación según se muestra en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Por ciento de germinación de la malta caramelo

| Total de granos | Granos Germinados |
|------------------------|--------------------------|
| 100 | 85 |
| 100 | 79 |
| 100 | 78 |
| 100 | 88 |
| 100 | 92 |
| 100 | 80 |
| 100 | 90 |
| 100 | 90 |
| 100 | 95 |
| 100 | 86 |
| Promedio % | 86,3 |

Para la tanda 2 las condiciones de la germinación son diferentes a la de la tanda 1, en este caso sólo se quiere obtener malta clara, es decir el tiempo de germinación es de 72 horas, esta vez el sorgo se colocó sobre una lona en el piso, aquí fue aireado y rociado diariamente, pero en este caso la temperatura de germinación fue ambiental. En esta etapa se determinó el por ciento de germinación, de igual forma que las anteriores, los que se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Por ciento de germinación de la malta clara

| Total de granos | Granos Germinados |
|-------------------|-------------------|
| 100 | 97 |
| 100 | 85 |
| 100 | 100 |
| 100 | 86 |
| 100 | 98 |
| 100 | 100 |
| 100 | 94 |
| 100 | 86 |
| 100 | 100 |
| 100 | 88 |
| Promedio % | 93,4 |

Como se aprecia en este caso el porcentaje de germinación es superior al de la muestra anterior, pudiendo influir en esto la temperatura a la que se germinó la primera tanda y a la que se germinó la segunda, por problemas de condiciones de trabajo y tiempo de duración del experimento.

2.2.1.3Secado

Concluida la etapa de germinación se procedió al secado, los granos se colocaron en bandejas dentro de una estufa de tiro de aire inducido a una temperatura a 65°C y se mantuvo durante cuatro horas para la malta caramelo, ya que el objetivo es favorecer la licuefacción del endospermo para la obtención del caramelo, luego la temperatura se elevó hasta los 105 °C y se mantuvo durante una hora y media, este proceso terminó cuando el grano alcanzó una humedad inferior al 2% que se establece para la malta de cebada empleada en las cervecerías.

Para la malta clara se siguieron los mismos pasos que en la primera templa con la diferencia de que la temperatura inicial fue de 60°C y la final se elevó a 100 °C durante una hora, con el objetivo de garantizar que no se destruyeran las enzimas y así evitar la vitrificación del grano, hasta lograr valores inferiores al 5% del contenido de humedad.

En las tablas 2.10, 2.11 y las figuras 2.3 y 2.4 aparecen los resultados de la variación de la humedad contra el tiempo de secado, para ambas maltas en cada una de las muestras,

resultando las curvas polinomios de segundo orden como en las investigaciones anteriores, característico de la humedad ligada para los cereales.

Tabla 2.10. Humedad en el tiempo para la malta caramelo

| Tiempo (h) | Humedad % |
|------------|-----------|
| 0 | 45,8474 |
| 3 | 24,8573 |
| 4 | 18,4207 |
| 4,5 | 6,8511 |
| 5 | 4,5051 |
| 5,5 | 1,5164 |

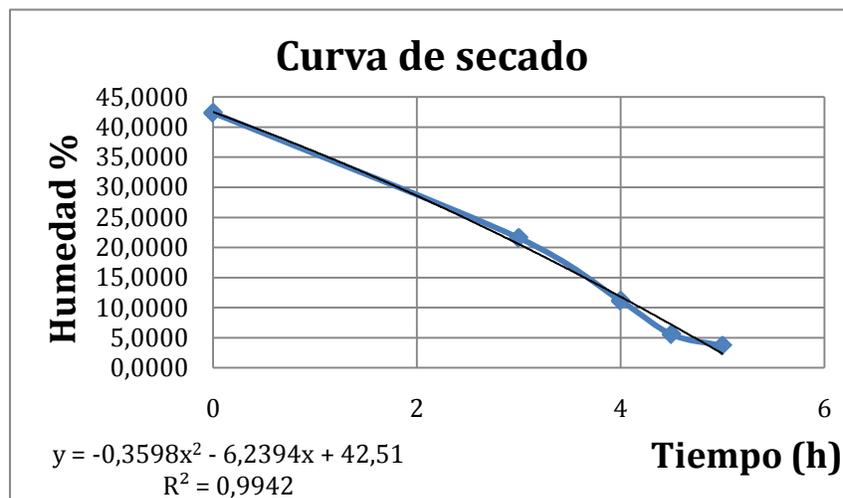


Fig 2.3. Curva de secado para la malta caramelo

Tabla 2.11. Humedad en el tiempo para la malta clara

| Tiempo (h) | Humedad (%) |
|------------|-------------|
| 0 | 42,3860 |
| 3 | 21,5906 |
| 4 | 11,1366 |
| 4,5 | 5,5487 |
| 5 | 3,6581 |

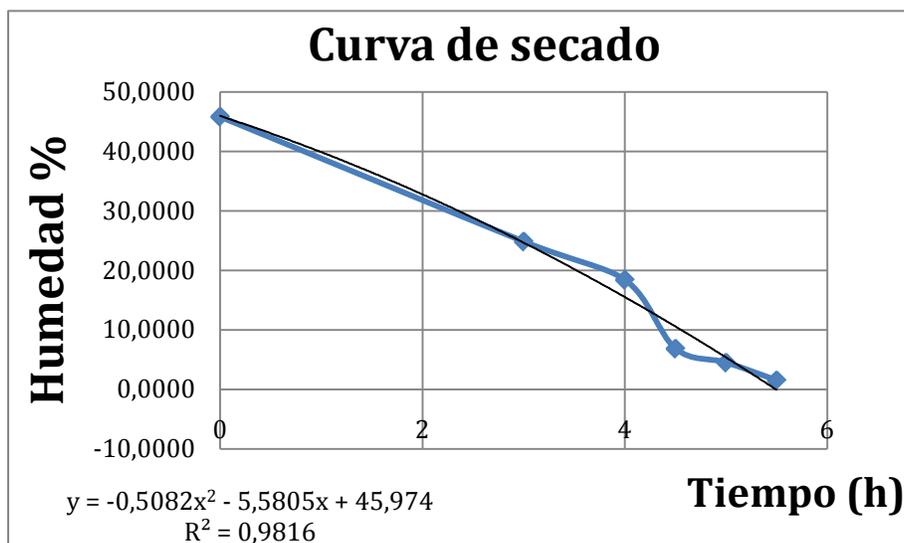


Fig 2.4. Curva de secado para la malta clara.

2.2.1.4 Análisis físicos de la malta de sorgo

Las maltas así obtenidas fueron caracterizadas en el CIAP, por métodos de absorción atómica, para la determinación de minerales, que son los que le darán estos compuestos a la maltina finalmente. Los valores de las mismas aparecen reflejados en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Caracterización de las maltas (% materia seca)

| Malta | Minerales | | | | | |
|----------|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | Ca | Mg | K | Fe | Cu | Zn |
| Clara 1 | 0,0501 | 0,133 | 0,193 | 0,0071 | 0,0004 | 0,0032 |
| Clara 2 | 0,0581 | 0,135 | 0,234 | 0,0096 | 0,0007 | 0,0036 |
| Caramelo | 0,0657 | 0,120 | 0,153 | 0,0094 | 0,0046 | 0,0032 |

El contenido de minerales es ligeramente superior en la mayoría de ellos a los valores reportados anteriormente para este tipo de malta y para la malta de cebada (Aleman 2007).

2.2.2 Preparación de las condiciones de trabajo para la realización de la prueba a escala de planta piloto.

Luego de malteado el cereal se procedió a la obtención del producto final, para ello se tomó una de las relaciones estudiadas anteriormente (150 g/L de malta), que tuvo adecuados resultados, pero que no fue la mejor, para acercarnos a la de la fábrica (166 g/L), ya que se planteaba por los técnicos de la cervecería que a las maltinas elaboradas a partir de sorgo le faltaba cuerpo. La capacidad a elaborar fue de 50 L. Se determinaron las cantidades de materiales a emplear los que se muestran en la tabla 2.13

La metodología seguida para el proceso de obtención de la maltina consta de las siguientes etapas:

Para la muestra 1:

Tabla 2.13. Cantidades de materias primas.

| Materia prima | | Cantidades | | Unidades |
|----------------|----------------|------------|------|----------|
| Malta de sorgo | Malta clara | 3.25 | 7.5 | Kg |
| | Malta caramelo | 3.25 | | |
| Azúcar | | 5.25 | | Kg |
| Caramelo | | 0,3 | | L |
| Agua | Maceración | 50 | 87.5 | L |
| | Lavado | 37.5 | | |

1. Maceración

Esta etapa se llevó a cabo siguiendo la carta tecnológica de la cervecería, la prueba se realizó en el tacho del comedor de la entidad, el cual es un recipiente enchaquetado de acero inoxidable, con calentamiento a base de vapor que circula por la chaqueta del equipo. La maceración comenzó con la adición del agua en el tacho, luego se elevó la temperatura hasta $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ y se añadieron los 7.5 Kg de malta total en 15 minutos manteniéndose esta temperatura por un tiempo de 30 minutos. Transcurrido este tiempo se procedió a llevar la temperatura hasta $63\pm 1^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 10 minutos y se mantuvo durante 45 minutos, después se elevó la temperatura a $71\pm 1^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 15 minutos y se mantuvo durante un tiempo de 30 minutos. Cumplido este tiempo se realizó la prueba de sacarificación, utilizando yodo al 0.02N cambiando el color de azul a amarillo pardo. Por último se elevó la temperatura a $78\pm 1^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 10 minutos. Durante el proceso se agitó continuamente la mezcla con una paleta de madera.

2: Filtrado del macerado

Terminada la maceración se realizó la operación de filtrado, etapa se realizó en un colador casero de maya fina. Luego de retirado el primer extracto se añadió agua sobre el afrecho para terminar de extraer los azúcares que todavía estaban presentes en él. En esta etapa se observó que el mosto obtenido estaba muy denso por lo cual la cantidad de agua a añadir fue mayor a lo establecido.

3: Cocción del mosto

Luego de haber lavado el tacho se añadió el mosto, se elevó la temperatura a valores superiores a los 100 °C y se dejó hervir por un período de tiempo de dos horas. Durante esta etapa se añadió el caramelo y el azúcar. Al finalizar la cocción se observó que la maltina estaba muy densa, esto pudo haber ocurrido por varios motivos: que la malta no alcanzó un poder diastásico suficiente para desdoblar todos los almidones contenidos en el grano, haciéndose una mezcla compacta o se cargó demasiado la maltina, es decir, se le añadió una cantidad de malta que no fue la mejor relación estudiada en los experimentos anteriores, también pudo ocurrir que el comportamiento no sea igual a escala de laboratorio que a escala mayor y por otro lado puede que hayan pasado sólidos no solubles en el filtrado.

5: Reposo y clarificación

La maltina obtenida fue vertida en un tonel para el proceso de reposo, aunque ya se sabía de sus resultados.

Por valoración de los técnicos se llegó a la conclusión de que la malta de sorgo por sí sola no era capaz de convertir, por lo que se procedió al estudio de la maceración a escala de laboratorio empleando enzima exógena, para determinar el punto de conversión de los almidones con la cantidad mínima necesaria de enzima, se utilizaron las tres relaciones estudiadas en investigaciones precedentes. Se prepararon muestras de 250 ml cada una.

| Muestra | Relación M total / solución | Relación M car / Mt | Cantidad de enzima (ml) | | Vol. muestra |
|----------------|--|--------------------------------|------------------------------------|-----|---------------------|
| 1 | 100 | 8 | 0.1 | 0.2 | 250 |
| 2 | 120 | 30 | 0.1 | 0.2 | 250 |

| | | | | | |
|---|-----|----|-----|-----|-----|
| 3 | 150 | 30 | 0.1 | 0.2 | 250 |
|---|-----|----|-----|-----|-----|

De acuerdo a la experiencia adquirida en la fábrica, cuando la conversión es baja se agrega la enzima al final de la maceración a $78\pm 1^{\circ}\text{C}$, para aumentar el rendimiento. Teniendo en cuenta este criterio después de calentar las muestras y realizar las pausas de temperatura descritas en la carta tecnológica, se agregó la enzima, obteniéndose que los mejores resultados están dados por la relación M total / solución igual a 100 y la cantidad de enzima de 0,2 ml/ 250 ml de muestra, ya que se logró una conversión parcial de los almidones a $85\pm 1^{\circ}\text{C}$ no siendo así para cantidades menores de enzima.

Con el objetivo de lograr la conversión completa, se decide realizar otro experimento donde se añada la enzima a temperaturas mas bajas dentro de la etapa de maceración y así disminuir el gasto de vapor. La temperatura a la cuál se añadió la enzima fue $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ y cuando se realizó la prueba de sacarificación a los $71\pm 1^{\circ}\text{C}$ tomó el color adecuado. Esta temperatura fue seleccionada debido a que las enzimas amilasas desarrollan su actividad óptima entre valores de temperatura de 60 y 70°C , pero comienzan su actividad a temperaturas inferiores.

Nuevamente se procedió a realizar la prueba a escala de planta piloto para la misma capacidad, pero en este caso con la mejor relación M total / solución y la cantidad de enzima estudiada, es decir 100 g de malta/ L de solución y 0,8 ml enzima/ L de solución.

(Experimento 2).

Tabla 2.12. Cantidades de materias primas.

| Materia prima | | Cantidades | | Unidades |
|----------------|----------------|------------|----|----------|
| Malta de sorgo | Malta clara | 4.6 | 5 | Kg |
| | Malta caramelo | 0.4 | | |
| Azúcar | | 3.5 | | Kg |
| Caramelo | | 0.3 | | L |
| Agua | Maceración | 50 | 75 | L |
| | Lavado | 25 | | |

1: Maceración

Esta etapa se realizó en el mismo equipo enchaquetado y la maceración de la misma forma que el experimento 1, con la diferencia de que se agrega la enzima en el intervalo de tiempo donde la temperatura transita por los $40\pm 1^{\circ}\text{C}$. La prueba de sacarificación se realizó a $71\pm 1^{\circ}\text{C}$, donde se logró la conversión completa de los almidones.

2: Filtrado del macerado

Transcurrida la maceración se procedió con la operación de filtrado, etapa que se realizó en el colador casero de maya fina. Luego de retirado el primer extracto se añadió agua sobre el afrecho para terminar de extraer los azúcares que estaban todavía en él. Para evitar que pasaran sólidos no solubles se hizo una modificación filtrando nuevamente a través de un paño de lienzo.

3: Cocción del mosto

Luego de haber lavado el tacho se añadió el mosto, se elevó la temperatura a valores cercanos a los 100°C y se dejó hervir por un período de tiempo de una hora. Durante esta etapa se añadió el caramelo y el azúcar. Al final de la cocción se determinó el Brix de la maltina que fue de $15,5^{\circ}\text{Bx}$, cercano a los obtenidos en el laboratorio y en las maltinas elaboradas a partir de malta de cebada.

5: Reposo y clarificación

La maltina obtenida se vertió en un tonel para el proceso de reposo donde todos los sólidos sedimentaron, pasado cinco días se filtró y se le realizaron los análisis físicos correspondientes, los que aparecen reflejados en la tabla 2.13.

Tabla 2.13 Parámetros físicos medidos a las muestras.

| Rel. Malta/Sln (g/L) | Rel. M.Clo (%) | $^{\circ}\text{Bx}$ | pH | ρ (kg/m ³) | Acidez % | Visc. (cP) | Color y Sabor | Olor |
|----------------------|----------------|---------------------|------|-----------------------------|----------|------------|---------------|-----------|
| 100 | 8 | 16.3 | 3.72 | 1054 | 1.9 | 1,72 | Adecuado | Caracter. |

Finalmente se gasificó, embotelló y pasteurizó la maltina obtenida con vistas a ser degustada en un panel sensorial por los niños celíacos a los cuales está dedicada esta producción.

2.3 Análisis de los resultados

La realización del malteado del sorgo es una de las principales etapas del proceso ya que constituye la materia prima para la obtención de maltinas para los enfermos celíacos.

En esta parte del proceso se obtuvo 5,32 % de pérdidas, como material rechazado, siendo inferior al del mismo tipo de sorgo en otros trabajos. El comportamiento en las etapas de remojo y germinación cae en los rangos de los experimentos realizados anteriormente a pequeña escala, aunque los resultados en el porcentaje de granos germinados fue superior al de otros trabajos, para una de las tandas, afectando en la primera el exceso de humedad y la temperatura a la que fue germinado, no así en la segunda, también en algunas literaturas se reporta usar temperaturas de germinación para el sorgo más altas que las reportadas para la cebada en esta etapa. Es importante señalar que los mejores resultados se corresponden para la malta clara siendo estos valores mayores del 85 % de granos germinados para que se desarrollen las enzimas y la actividad diastásica. En los resultados obtenidos influyen las condiciones de cosecha, el tiempo de almacenamiento, las diferencias estacionales y de transformación, las propiedades genéticas de la variedad y las temperaturas con que se lleve a cabo el malteo, lo cual se ve evidenciado en el sorgo empleado de mejor calidad a los empleados a lo largo de toda la investigación de la producción de maltinas, que es el destinado a la dieta de los niños celíacos en el territorio.

Uno de los indicadores más importantes para determinar la calidad de la malta clara o verde, es el poder enzimático o diastásico (DP). En este trabajo no fue determinado, sin embargo para el caso del sorgo UDG-110, **Pargas 1994** en un trabajo preliminar reporta un poder diastásico de 13,1 °Litner y que este varía con los días de germinación siendo este valor obtenido para los cinco días de germinación. El DP más bajo que se reporta para maltas de cebada bien modificadas pueden ser tan bajos entre 35-40 °Litner para maltas ale británica de baja proteína, o tan altos como 160 °Litner para la malta de cebada 6 hileras, por lo que puede decirse que este valor obtenido para el sorgo es bajo, sin embargo para otros tipos de sorgo se reportan valores superiores. **(Palmer y col.1997)**

El comportamiento de la humedad contra el tiempo de secado en ambas muestras se corresponde con un polinomio de segundo grado, siendo la relación prácticamente lineal hasta alcanzar aproximadamente un 25 % de humedad a un tiempo de 2,2 horas aproximadamente, correspondiéndose con la humedad no ligada, y el tiempo restante se corresponde con la humedad ligada del material, característico de los cereales.

El contenido de minerales, reportado en la tabla 2.12 son superiores a los reportados por **(Alemán, 2007)** que hizo una caracterización a la malta de sorgo comparándola con la de cebada, estos son los que le brindaran parte de las propiedades nutritivas a las maltinas obtenidas.

Como se aprecia en cada una de las etapas del malteado del sorgo UDG -110 hay diferencias en los tiempos de remojo desde 48 hasta 72 horas para el mismo tipo de sorgo, al igual que en los por cientos de germinación. En este experimento los resultados tanto en el remojo como en los por cientos de granos germinados se corresponden con los de Alemán que empleó un sorgo sin mucho tiempo de almacenamiento, por lo que se ratifica que la calidad del sorgo y su tiempo de almacenamiento son fundamentales para poder usarlo como malta para la elaboración de bebidas.

En las pruebas hechas a nivel de planta piloto pudo apreciarse que, aunque en los experimentos de trabajos anteriores se obtuvieron maltinas con adecuada calidad en los parámetros medidos, para diferentes concentraciones, siempre los mejores valores se correspondían para las menores relaciones solido-líquido, al hacer la primera prueba, como fue explicado, se tomó una relación de 150 g/L para que estuviera más cercana a la confeccionada por la cervecería, ya que los especialistas señalaban que a la del laboratorio le faltaba cuerpo; también se siguió la carta tecnológica de elaboración de maltina de la cervecería y se calentó con vapor, que no coincide en todas las etapas con las condiciones de la escala de laboratorio, esto dio como resultado que la maltina se gelatinizó, pudiendo deberse también al poder diastásico de la malta obtenida, en lo cual pudo influir el poder diastásico de la malta obtenida, que no convirtió todos los almidones, aunque en la prueba de sacarificación se obtenían colores aproximados a los que dan las conversiones. En las pruebas realizadas a nivel de laboratorio, probando enzimas sacarificantes en ínfimas proporciones y a diferentes relaciones sólido-líquido se ratificó que para maltas de sorgo las relaciones deben ser las menores estudiadas en este caso la relación de Malta Total/ Solución de 100 g/L y la relación de Malta caramelo / Malta Total de 8 %, que fueron los obtenidos en los trabajos preliminares de esta investigación **(Ozuna 2008)**. Esta fue la relación tomada para la segunda prueba piloto, además de que se tomaron medidas más estrictas, en cuanto a mantener el suministro de vapor en los tiempos y temperaturas especificadas en las cartas tecnológicas y disminuyendo el tiempo en la última etapa de cocción de 2,5 horas especificada en la carta tecnológica a

una hora que fue la utilizada en la escala de laboratorio. Los resultados obtenidos son los adecuados en cuanto a propiedades físicas y organolépticas.

Los parámetros físicos determinados a la maltina en cuanto a densidad, viscosidad, acidez, pH, extracto y características organolépticas (color, sabor y olor) están dentro de los parámetros reportados para esta bebida y de las maltinas de cebada comercializadas en el país. Aunque el contenido de minerales ni la proteína fueron determinados en este trabajo, en todos los trabajos a escala de laboratorio realizados, el total de minerales es superior a los de las muestras tomadas como patrón, no así en los tres minerales fundamentales, Ca, Fe y K que son inferiores. Las proteínas se encuentran en el rango máximo permisible establecidas para este tipo de producto. Al culminar el trabajo estaban pendientes las pruebas microbiológicas, para poder probarse en los niños celíacos.



CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO.

En este capítulo se plantea el dimensionamiento de una planta para la producción de 79 HL / mes de maltina a partir de sorgo, mediante la sacarificación enzimática del grano y tratamientos de cocción con vistas a lograr la conversión de los almidones en azúcares, unida al de una planta para el malteado del sorgo necesario para esta capacidad. Para la determinación de la producción de la planta se tiene en cuenta que en el país existen cerca de 340 enfermos celíacos, de ellos se asume que el 90 % tomen la maltina 2 veces al día dada la calidad nutritiva de la misma.

3.1 Selección de los equipos

Para la selección de equipos se tienen en cuenta diferentes variantes y se analizaron distintos parámetros en cada uno de estos equipos, los resultados se muestran en las siguientes tablas.

3.1.1 Tanques de almacenamiento.

Los tanques que se usarán para el almacenamiento de la materia prima serán silos ya que son los únicos utilizados para el almacenamiento de sólidos y además, son los que cumplen con los requisitos del proceso.

3.1.2 Cribas.

| <i>Parámetros</i> | Tipos de cribas | | <i>Exigencias</i> |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|---|
| | <i>Cribas</i> | <i>Criba Vibratoria.</i> | |
| Alimentación de sólido seco.(m3/s) | – | $2.5 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot D_p$ | |
| Gasto energético. | Mayor | Menor | Se requiere de poco gasto energético. |
| Tamaño de la partícula. | Mayor de 5000 μm | 50 a 5000 μm | Tamaño de partícula es de 3850 a 4370 μm |
| Intervalo de temperatura. | -250 a 500°C | -50 a 350°C | Temperatura ambiente para el primer tamizado. |
| Costo | Moderado | Moderado | El menor costo posible. |

Resultados de la selección: La tendencia actual en el cribado industrial de materiales granulares de todo tamaño es el uso de las cribas vibratorias, debido a su mayor capacidad y menor gasto de energía.

3.1.3 Tanques de remojo.

| Parámetros | Tipos de tanques de remojo | | Exigencias |
|----------------------|----------------------------|------------------------|---|
| | Embudo | Tanque de fondo cónico | |
| Volumen (m3) | 4000 | - | - |
| Medio a almacenar | Sólido | Líquido | Almacenar líquido que contiene sólido. |
| Tiempo de retención. | 8 h | 30 días | Tiempo de retención debe ser de 72 horas. |
| Diámetro | 10 | 90 | - |
| Altura. | 50 | 15 | - |

Resultado de la selección: Se selecciona el tanque de fondo cónico que cumple con las exigencias del proceso.

3.1.4 Germinador.

La germinación usualmente puede hacerse en dos tipos de equipos diferente:

1. Germinador de tambor
2. Germinador de compartimentos.

El germinador de tambor requiere mayor costo de inversión inicial, mayores costos de operación y mantenimiento, sin embargo, la calidad de la malta es la misma en ambos casos, por lo que se decide utilizar un germinador de compartimentos.

3.1.5 Secadero.

En el proceso de secado se va a utilizar un secadero de bandejas o una estufa al vacío, pero la malta procesada por este último método, posee una elevada concentración de enzimas; y aunque son buenas para emplear en destilerías, no son adecuadas para la fabricación de maltinas, puesto que en ellas son diferentes las reacciones normales de proteínas.

3.1.6 Transportadores.

| Parámetros | | Tipos de transportadores | | |
|---|-------|--------------------------|------------------|------------------------|
| | | Bandas | Tornillo Sin fin | Elevador de cangilones |
| Dimensiones | D (m) | 0.5-2.0 | 0.15 - 0.50 | 0.15 - 0.50 |
| | L (m) | 10.0 - 50.0 | 5.0 - 25.0 | 8.0 - 25.0 |
| Capacidad máxima de sólidos (m ₃ /s) | | 0.06 | 0.007-0.08 | 0.02 |
| Transporte hacia arriba en un plano inclinado | | Limitaciones modestas | Excelente | Excelente |
| Ángulo de inclinación limitado | | 30° | Ninguno | Ninguno |
| Costo relativo actual | | Moderado | Alto | Moderado |
| Compatibilidad con sólidos fibrosos | | Limitaciones modestas | Excelente | Limitaciones modestas |

Resultados de la selección:

De acuerdo a que el sólido que se necesita transportar es granular (sorgo) y considerando que debe introducirse en los silos de almacenamiento para su posterior tratamiento, se ha escogido el tornillo sin fin a pesar de ser el transportador de mayor costo y consumo de potencia, pero es el más eficiente.

3.1.7 Silos de almacenamiento de la materia prima.

Los tanques que se usarán para el almacenamiento de la materia prima serán silos, ya que son los únicos utilizados para el almacenamiento de sólidos y, además, son los que cumplen con los requisitos del proceso.

3.1.8 Molinos.

Los parámetros a tener en cuenta en la selección del molino son: la naturaleza del material, en este caso el material es un sólido, otro de los parámetros a tener en cuenta es el tamaño que se requiere que quede el material, entre otros.

| Parámetros | Tipos de Molinos | | |
|--|------------------------------------|---|--------------------|
| | De rotación de bolas | De martillos | Energía de fluidos |
| Relación de reducción | 10 cm a 1 mm | 10 cm a 10 μ m | 1 mm a 1 μ m |
| Capacidad máxima, (kg/s) | 0.1 | 2 | 1 |
| Materiales específicos | Hueso, Granos y Cereales, Arcillas | Hueso, Carbón, Granos y Cereales, Coque | Arcillas |
| Compatibilidad con diferentes materiales (sólidos pegajosos) | Limitado | Excelente | Limitado |
| Costo | Bajo costo | Costo moderado | Alto |

Resultados de la selección

Debido a las características de la materia prima fundamental en el proceso de obtención de la maltina, finalmente se llegó a la conclusión de que un molino de martillo sería más adecuado, ya que cumple con todas las condiciones para el proceso.

3.1.9 Macerador.

El macerador a utilizar tiene que poseer características adecuadas para mantener la temperatura debido a las exigencias del proceso.

| Parámetros | Tipos de Macerador con calentamiento | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| | Chaqueta | Serpentín |
| Volumen del recipiente | No ocupa | Ocupa |
| Consumos | Bajos | Altos |
| Área de transferencia | Mayor | Menor |
| Costo de fabricación | Mayor | Menor |
| Mantenimiento | Mas difícil | Fáciles de limpiar |
| Cantidad de calor a extraer | Mayor | Menor |

| | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Fluidos medio de calor | Aceites, vapor, agua | Vapor, agua |
|-------------------------------|----------------------|-------------|

Resultados de la selección:

Para esta operación debido a la cantidad de calor que habría que manejar se llega a la conclusión de que el macerador requiere de una chaqueta, no importó el alto costo de la misma, frente a su gran eficiencia en dicho proceso.

3.1.9.1 Agitador para el tanque de maceración.

| Parámetros | Tipos de Agitadores | | |
|--|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| | Hélice o propela | Turbina | Paleta |
| Velocidad de rotación | 300-1000 rpm | 300 rpm máx. | 150 rpm máx. |
| Velocidad circunferencial en función de la viscosidad | 3.8-16 (100 cP) 3.8-10 (4000 cP) | 2.5-10 (100 cP) 2.5-7 (4000 cP) | 1.5-5 (500 cP) 1.5-3 (3000 cP) |
| Consumo energético | Bajo consumo energético | Alto consumo de energía | Bajo consumo energético |
| Volumen de agitación | Grandes volúmenes | Volúmenes menores de 2.5 m ³ | Grandes volúmenes |
| Suspensiones | Hasta 50% masa de sólidos | Hasta 80% masa de sólidos | Bajo contenido de sólidos |
| Costos | Bajo costo | Costo moderado | Bajo costo |

Resultados de la selección

Luego de analizar los diferentes parámetros de cada tipo de agitadores se determina que el mejor para este proceso es el de paleta, ya que aunque el volumen que se tiene es pequeño y este es utilizado para volúmenes grandes, el mismo tiene bajo costo y bajo consumo energético. También se tuvieron en cuenta las propiedades de la mezcla que se va a agitar, su viscosidad y densidad.

3.1.10 Filtros.

Para la selección del filtro se tuvo en cuenta primeramente el tipo de filtro, siendo de acción periódica, aunque se valoró las ventajas que brinda el filtrado continuo, en cuanto a productividad, pero también su alto costo y las particularidades del proceso, que es completamente a batch en las etapas anteriores nos lleva a la decisión de seleccionar un filtro de acción periódica.

| Parámetros | Tipos de Filtros | |
|------------------------------------|--|-------------------------------|
| | Marco y placa | Prensa |
| Tamaño de las partículas disueltas | Pequeñas | Pequeñas |
| Caída de presión | Grandes | Mas Grandes |
| Contenido de sólidos | No depende | Medio |
| Volumen de filtrado | Relativamente pequeños | Relativamente pequeños |
| Suspensiones | Cualquier rango | Hasta 80% masa de sólidos |
| Principales sustancias | Jarabes, licores, suspensiones concentradas y cereales | Aceites , sustancias viscosas |
| Costo de adquisición | Altos | Altos |

Resultados de la selección

Para la selección del filtro se tuvo en cuenta las propiedades de las sustancias que participan en la filtración, las viscosidad y densidad de la suspensión a filtrar, filtrado y torta, así como la compresibilidad de la misma. El filtro de marcos y placas se escoge porque sus especificidades son compatibles con la operación y aunque tiene un costo elevado, comparado con otros, es de fácil construcción.

3.1.11: Sedimentador.

Para la selección de sedimentadores primero hay que valorar todas las características del mismo ya que el uso de este equipo es de gran utilidad en las industrias químicas.

| Parámetros | | Tipos de Sedimentadores | |
|--|--------------|-------------------------|------------------------|
| | | Sedimentador | Tanque de Sedimentador |
| Fase continua | | Líquida | Gaseosa y Líquida |
| Fase dispersa | | Líquida | Sólida |
| Dimensiones | Diámetro (m) | 1-4 | 1-4 |
| | Longitud (m) | 3-20 | 3-20 |
| Velocidad | | >0.004 | >0.003 |
| Tamaño de partícula de los sólidos separados | | >100 | >800 |
| Caída de presión | | 0.05 | 0.05 |
| Costo | | Bajo | Moderado |

Resultados de la selección

Se selecciona un sedimentador ya que la fase continua y dispersa para el proceso es líquida y este tipo de equipo cumple con este requisito.

3.1.12: Intercambiador de calor.

Los intercambiadores de calor son importantes en la industria de los procesos químicos, ya que son fundamentales para la conservación y transferencia de energía. Para este caso de estudio particular, se selecciona un intercambiador de calor con el objetivo de enfriar el producto final por las condiciones en que debe ser almacenado.

Resultados de la selección

Por las características expuestas en la tabla el intercambiador a instalar es de Tubo y coraza ya que cumple con las condiciones aunque es más caro.

| Parámetros | | Tipos de Intercambiadores de calor | |
|--------------------------------|---------|---|---|
| | | Tubo y coraza | Doble tubo |
| Presión | | máxima: 30.7 MPa | > de 30.7 MPa |
| Temperatura | | De -200 a 600 °C | De -100 a 600 °C |
| Área de transferencia de calor | | Hasta 800 m ² | < de 10 m ² |
| Caída de presión | | 0.2 y 0.6 | 0.6 y 1 |
| Tamaño | | De 10 a 100 m ² por concha, son adaptables y flexibles | De 0.25 a 200 m ² , construcción modular estándar |
| Dimensiones | DI (mm) | 57-108 | DI: 6 mm, los más comunes son 12 o 17.25 mm |
| | DE (mm) | 76- 159 | ----- |
| Mantenimiento | | Difícil limpieza exterior de los tubos de forma mecánica, facilitándose si la limpieza es química | Necesita de espacio para su mantenimiento, pues hay que sacar los tubos |
| Costo de adquisición | | Caros | Baratos |

3.1.13: Tanque de almacenamiento de la maltina.

Una de las principales variables a controlar en este equipo es la temperatura, por lo que sería uno de los parámetros más importantes a la hora de la selección del tipo de equipo para la instalación del mismo.

Resultado de la selección

Después de analizados los diferentes modelos de los tanque, se llega a la conclusión que los tanques de fondo cónico, a pesar de que son más costosos, cumplen con el requisito indispensable para lograr un buen almacenamiento del producto final.

| Parámetros | Tipo de tanques | |
|--------------------------|---|----------------------------|
| | Cilíndrico | Fondo cónico |
| Tiempo de almacenamiento | Recomendado hasta 30 días | Recomendado hasta 30 días |
| Intervalo de temperatura | Temperaturas 250 -800 °C | Temperaturas -250 - 800 °C |
| Presión | Máx. de 17 atm | Máx. de 14 atm |
| Dimensionamiento | L: 20 m D:10 m V: 1600 m ³ | V: 15000 m ³ |
| Costo de adquisición | Menos costosos | Costosos |

3.1.14: Bombas.

Dentro de los tipos de bombas que existen, se analiza para la selección de las mismas, las centrífugas de flujo axial y reciprocante. Las de flujo axial son aquellas en que la impulsión del líquido surge por la rotación de un dispositivo tipo hélice, y en la reciprocante la aspiración e impulsión del fluido se realiza por medio del movimiento alterno del émbolo en el cilindro de la bomba.

| Parámetros | Tipos de Bombas | |
|-------------------------|---|--|
| | Bomba centrífuga (flujo axial) | Bomba reciprocante |
| Capacidad | Máxima de 1500 m ³ | Caudales pequeños, flujos menores de 40 l/min. |
| Temperatura | -240 a 500 °C | -10 a 270 °C |
| Eficiencia | 50 a 85 % | 40 a 85% |
| Viscosidad | Bajos intervalo de viscosidad de fluido | Flujos de alta viscosidad |
| Tipo de fluido a tratar | Dificultades en el bombeo de fluidos corrosivos. Para fluidos que contengan sólidos en suspensión | Se usan para fluidos corrosivos |

| | | |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| Costo de adquisición | Más baratas | Más caras |
|-----------------------------|-------------|-----------|

Resultados de la selección

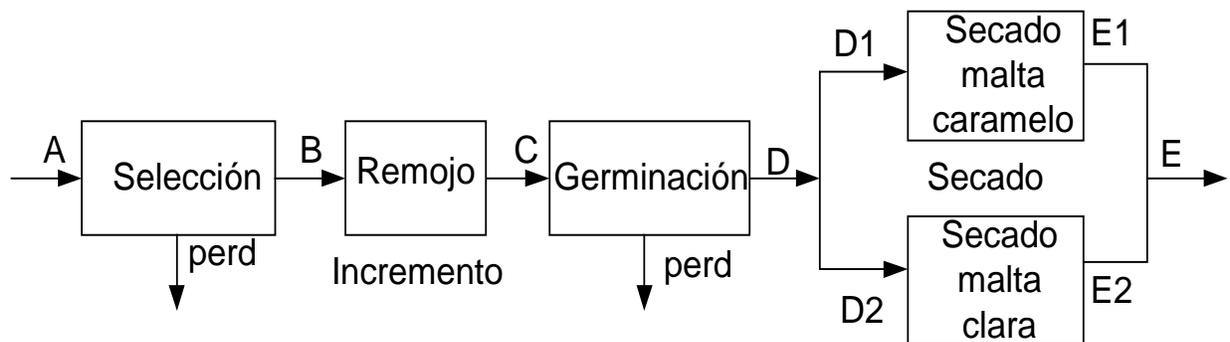
Al comparar las distintas variantes de bombas seleccionadas se determina que el tipo adecuado para el proceso, son centrifugas de flujo axial, ya que se van a tratar fluidos pocos viscosos, pocos corrosivos y con sólidos en suspensión.

3.2 Diseño de los equipos

Una vez determinadas las óptimas condiciones de operación y los equipos adecuados para el desarrollo del proceso de obtención de maltinas, empleando malta de sorgo, es preciso realizar el diseño de los equipos a escala piloto de acuerdo con las características del proceso. Para ello se tiene en cuenta la capacidad de producción, la cual es de 200 L. También es de vital importancia la utilización de los balances de masa y energía para determinar corrientes de entrada y salida, composiciones, etc.

3.2.1 Balance de masa

Balances para la sección del malteado del cereal.



Para determinar la cantidad de sorgo a maltear, hay que conocer la cantidad que se necesita para obtener la maltina, por lo cual hay que determinar

El nivel utilizado para la obtención de la maltina es de 100 g/L, por lo cual, para obtener 7712.08 L de maltina, se necesita determinar la cantidad de sorgo requerida.

Tabla 3.1. Balance de masa en la etapa de malteado.

| Etapa | Datos | Ecuaciones | | Resultados |
|-------------|--|----------------------|--|---|
| | | Balance total | | |
| Secado | $E = 767.50 K_g$ $E = E_1 + E_2$ $x_{E_1} = 0.015$ $x_{E_2} = 0.0365$ $x_{D_1} = x_{D_2} = 0.4583$ Relación MC/MC10 92/8 | Malta caramelo | $E_1 * (1 - x_{E_1})$ $= D_1 * (1 - x_{D_1})$ | $E_1 = 0.08 * E$ $D_1 = 116.64 K_g$ $E_1 = 61.40 K_g$ |
| | | Malta clara | $E_2 * (1 - x_{E_2})$ $= D_2 * (1 - x_{D_2})$ | $D_2 = 1255.91 K_g$ $E_1 = 0.96 * E$ $E_1 = 706.10 K_g$ |
| | | $D = D_1 + D_2$ | | $D = 1367.55 K_g$ |
| Germinación | $perd_g = 3.69 \%$ | $C - perd_g = D$ | | $C = 1419.94 K_g$ $perd_g = 52.50 K_g$ |
| Remojo | Existe un aumento del 32.41= B | $B + 0.3241 * B = C$ | | $B = 1072.34 K_g$ Incremento = 3.43K _g |
| Selección | $B = 10.58 K_g$ $perd_r = 5.3191\% A$ | $A - perd_r = B$ | | $A = 1132.55 K_g$ $perd_r = 60.24 K_g$ |

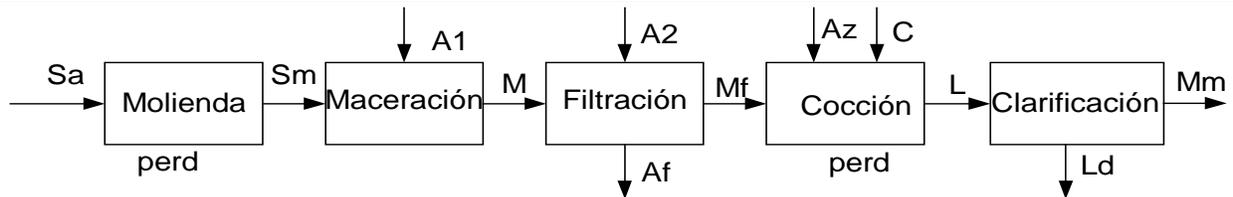


Tabla 3.2. Balance de masa en la etapa de obtención de la maltina.

| Equipo | Datos | Ecuaciones | Resultados |
|--------------------|---|---|--|
| | | Balance total | |
| Molino | $S_a = 767.5 K_g$ Pérdidas de 1% de la entrada a la etapa. | $S_a = S_m - perd$ $perd = 7.67 K_g$ | $S_m = 759.82 K_g$ |
| Macerador | $V_a = 7675L$ $\rho_a = 0.992$ $A_1 = V_a * \rho_a$ | $A_1 + S_m = M$ | $M = 8381.41 K_g$ $A_1 = 7613.60 K_g$ |
| Tina de extracción | $\rho_m = 1.04$ $A_2 = 3045.44 K_g$ $A_f = 42\%$ de la entrada | $M + A_2 = M_f + A_f$ | $A_f = 3899.39 K_g$ $M_f = 7447.45 K_g$ |

| | | | |
|---------------|---|--|-------------------|
| Tachos | $C = 138.17K_g$ $L = 7805.75K_g$ Pérdidas de 4% de la entrada a la etapa | $A_z + C + M_f = L - perd$ $perd = 7.72K_g$ | $A_z = 537.25K_g$ |
| Clarificación | Lodos equivalen a pérdidas de 4% | $L = M_m - L_d$ $M_m = 7712.08$ | $L_d = 93.7K_g$ |

Nomenclatura

S_a : Masa de sorgo alimentado Kg.

S_m : Masa de sorgo molido Kg.

M : Masa de mosto a la salida del macerador Kg.

V_a : Volumen de agua en la maceración L.

A_1 : Masa de agua en la etapa de maceración Kg.

A_2 : Masa de agua en la etapa de filtrado Kg.

M_f : Masa de mosto filtrado Kg.

A_z : Masa de azúcar Kg.

C : Masa de sabor caramelo Kg.

L : Masa de líquido turbio a la salida de la cocción Kg.

M_m : Masa de maltina Kg.

L_d : Masa de lodo Kg.

ρ_a : Densidad del agua a 38°C Kg/L

ρ_m : Densidad de la mezcla Kg/L.

A_f : Masa de afrecho Kg.

$perd$: Perdidas: Kg.

3.2.2 Dimensionamiento de los equipos

Para el dimensionamiento de los equipos, primeramente se seleccionaron los equipos que serían diseñados, luego se determinan sus principales parámetros.

❖ Tanque de almacenamiento

| Ecuación | Datos | Resultados | Referencia |
|---|---|---|---------------------|
| $V_0 = B/\rho$ | $B = 1132.59 \text{ Kg/año}$ $\rho_s = 500 \text{ Kg/m}^3$ | $V_0 = 2.26 \text{ m}^3/\text{año}$ | (Ulrich, G.D, 1985) |
| $V_{cil} = V_0/n$ | $n = 2$ | $V_{cil} = 1.13 \text{ m}^3$ | |
| $V_{cil} = d^2 * h * \frac{\pi}{4}$ $h = 2 * d$ $d = \sqrt[2]{\frac{2 * V_{cil}}{\pi}}$ | $V_{cil} = 1.13 \text{ m}^3$ | $d = 0.897 \text{ m}$ $h = 1.79 \text{ m}$ | |

❖ Dimensionamiento del tanque de remojo

Durante el remojo hay un aumento del 32 % del sorgo y hay que tenerlo en cuenta.

| Ecuación | Datos | Resultados | Ref |
|---|--|---|-----|
| $X = \frac{E}{t}$ | $E = 1072.35 \text{ Kg/d} \quad t = 24 \text{ h}$ | $X = 44.68 \text{ Kg/h}$ | |
| $\frac{\text{Kg}}{\text{templa}} = 1.3 * X * t_r$ | $t_r = 72 \text{ h}$ | $\frac{\text{Kg}}{\text{templa}} = 4182.48$ | |
| $\frac{\text{m}^3}{\text{templa}} = \frac{\frac{\text{Kg}}{\text{templa}}}{\rho_s}$ | $\rho_s = 500 \text{ Kg/m}^3$ | $\frac{\text{m}^3}{\text{templa}} = 8.3643$ | |
| $V = \frac{\frac{\text{m}^3}{\text{templa}}}{n}$ | $n = 2$ | $V = 4.18 \text{ m}^3/\text{tanque}$ | |
| $V_{total} = \frac{V_{cil} + V_{cono}}{\pi * d^2 * h_{cil} + \frac{\pi * d^2 * h_{cono}}{12}}$ $d = \sqrt[3]{\frac{V_t}{1.854}}$ | $h_{cono} = \frac{d}{0.46 * 2}$ $h_{cil} = 2 * d$ | $d = 1.3115 \text{ m}$ | |
| $h_{cil} = 2 * d$ | | $h_{cil} = 2.62 \text{ m}$ | |
| $h_{cono} = \frac{d}{0.46 * 2}$ | | $h_{cono} = 1.42 \text{ m}$ | |

❖ Dimensionamiento de los germinadores

| Ecuación | Datos | Resultados | Referencia |
|---|---|--|-----------------|
| $\frac{K_g}{templa} = G * t_g$ | $G = 1419.94 \text{ Kg/h}$ $t_r = 72 \text{ h}$ | $\frac{K_g}{templa} = 5537.77$ | (Pargas M.1994) |
| $\frac{m^3}{templa} = \frac{G}{\rho_s}$ | $\rho_s = 500 \text{ Kg/m}^3$ | $\frac{m^3}{templa} = 11.0756$ | |
| $V = \frac{\frac{m^3}{templa}}{n}$ | $n = 3$ | $V = 3.69 \text{ m}^3$ | |
| $V = a * b * z$ | $z = 0.9 \text{ m}$ | $a = 1 \text{ m}$ $b = 1 \text{ m}$ | |

❖ Dimensionamiento del secadero

| Ecuación | Datos | Resultados | Ref |
|--|--|---|-----|
| $s_s = s_t * (1 - 0.0445)$ | $s_t = 1367.65 \text{ Kg/d}$ | $s_s = 1306.19 \text{ Kg/d}$ | |
| $C_s = (1.884 + 1.005 * Y)$ | $T_g = 30.3^\circ\text{C}$ $T_w = 26.1^\circ\text{C}$ $T_{as} = 60^\circ\text{C}$ $T_s = 40^\circ\text{C}$ $Y' = 0.02 \text{ Kg}_{gv} / \text{Kg}_{as}$ $H_{a.atm} = 80 \text{ Kj} / \text{Kg}_{as}$ $\lambda_s = 2403 \text{ Kj} / \text{Kg}$ $\rho_s = 500 \text{ Kg} / \text{m}^3$ $\%0_{sat} = 65$ | $C_s = 1.90 \text{ Kj} / \text{Kg}^\circ\text{C}$ | |
| $h_r = (5.729 * 10^{-8}) * (T_r^4 - T_r^4) / (T_r - T_g)$ | $T_g = T_r = 330^\circ\text{K}$ $T_s = 313^\circ\text{K}$ | $h_r = 7.83 \text{ Kj} / \text{sm}^2^\circ\text{C}$ | |
| $h_c = 24.2 * G^{0.37}$ $G' = v_a * \rho_a$ $\rho_a = \frac{1 + Y'}{V_{hum}}$ | $v_a = 1 \text{ m/s}$ $Y'_s = 0.05 \text{ Kg}_{gv} / \text{Kg}_{as}$ $V_{hum} = 0.875 \text{ m}^3 / \text{Kg}$ | $\rho_a = 1.16 \text{ Kg} / \text{m}^3$ $G' = 69.94 \text{ Kg} / \text{hm}^2$ $h_c = 116.91 \text{ Kj} / \text{sm}^2^\circ\text{C}$ | |
| Comprobación de T_s $\frac{(Y_s - Y) * \lambda_s}{C_s} = \left(\frac{1 + U_k}{h_c} \right) * (T_G - T_s) + \left(\frac{h_r}{h_c} \right) * (T_r - T_s)$ | $U_k = 21.2 \text{ Kj} / \text{sm}^2 - ^\circ\text{C}$ | $37.86 = 37.81$ La T_s es la medida | |
| $L_s = \left(\frac{S_s}{16} \right) * 8$ | 16 horas de trabajo 8 horas que trabaja el | $L_s = 653.34 \text{ Kg}$ | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | secadero(2 turnos) | | |
| $\frac{L_s}{A_s} = \rho_s * Z$ $A_s = \frac{L_s}{\rho_s * Z}$ | $Z = 25 \text{ cm}$ | $A_s = 39.59 \text{ m}^2$ | |
| $N_b = \frac{A_s}{A_b}$ $A_b = a^2$ | $a = 0.7746 \text{ m}$ | $A_b = 0.60 \text{ m}^2$ $N_b = 33$ | |
| $F_a = A_{EL} * V_a * (N_b - 1)$ $A_{EL} = a * x$ | $x = 38 \text{ cm}$ $N_b - 1 = 32$ | $A_{EL} = 0.029 \text{ m}^2$ $F_a = 56.51 \text{ m/s}$ | |
| $C_v = \frac{Q}{\lambda_v}$ $Q = G' * C_s * (T_{g2} - T_{g1}) * F_a$ | $T_{g1} = 25^\circ\text{C}$ $T_{g2} = 60^\circ\text{C}$ | $Q = 263428.94 \text{ K}_j/\text{h}$ $C_v = 117.91 \text{ K}_{gv}/\text{h}$ | |

❖ Dimensiones del Tanque de maceración (tacho)

| Parámetros | Datos | Ecuación | Resultado | Ref |
|--------------|---|--|------------------------|--------|
| Diámetro | $V_t = 7.28 \text{ m}^3$ $\alpha = \frac{h_f}{r} = 2.4$ $\beta = \frac{h_c}{r} = 0.3$ | $D = 2 * \sqrt[3]{\frac{Vt}{\pi * (\beta + \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha^3}{6})}}$ | $D = 1.257 \text{ m}$ | Ulrich |
| Altura total | $h_c = 0.061$ $h_f = 0.487$ | $h_t = h_c + h_f$ mas un sobrediseño del 20% | $h_t = 0.92 \text{ m}$ | Ulrich |

❖ **Diseño del agitador de paleta del tanque de maceración.**

| Parámetros | Datos | Ecuación | Resultado |
|--------------------------------------|---|---|---------------|
| Largo del rodete(d) (m) | $D: 0.52 \text{ m}$ | $d = 0.65D$ | 0.339 |
| Ancho del rodete | | $\frac{d}{8}$ | 0.042 m |
| Altura fondo hasta el agitador | | $0.25Ht$ | 0.1875 m |
| Arquímedes (Ar) | $Dp: 0.00198 \text{ m}$ $PL: 1000 \text{ Kg/m}^3$ $Ps: 700 \text{ Kg/m}^3$ $\mu: 2.45 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ | $Ar = \frac{Dp^3 * \rho l * (\rho l - \rho s)}{\mu l}$ | $2.28 * 10^6$ |
| Reynold Modificado (Re_m) | $C: 14.8 \quad k: 0$ Tabla 9.1 $d: 0.339 \quad Dp: 0.00198$ | $Rem = C * Ar * \left(\frac{Dp}{d}\right)^{0.5} * \left(\frac{D}{d}\right)^k$ | $6.24 * 10^5$ |
| Revoluciones del agitador(n) | | $n = \frac{Rem * \mu}{\rho s^2 * D}$ | 2.8 |
| Factor de potencia de agitación (Kn) | Re_m y Fig. 20.2 | | 0.16 |
| Consumo de potencia | | $N = kn * \rho * n^3 * D^5$ | 238.5 W |

❖ **Cálculo del U_d de la chaqueta**

| Parámetros | Datos | Ecuación | Resultado | Ref |
|------------------------------------|---|--|-----------|------|
| Coefficiente de TC medio (h_j) | $J=850 \quad Cp=3.81 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C}$ $\mu = 2.45 * 10^{-3} \frac{Pa}{s}$ $Dj=0.406 \text{ m}$ $K=38.74 \frac{Kcal}{hm^2^{\circ}C}$ | $h_j = \frac{J * k}{Dj} * \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{1/3}$ | 5288 | Kern |
| U_c | $Hio=1500 \frac{Kcal}{hm^2^{\circ}C}$ | $U_c = \frac{h_j h_{io}}{h_j} + h_{io}$ | 1163 | Kern |
| U_d | $Rd=0.005 \quad hd=200$ | $U_d = \frac{U_c h_d}{U_c + h_d}$ | 170 | Kern |

3.3 Análisis Económico

El análisis económico del proyecto permite valorar la futura planta y planificar de acuerdo a las necesidades existentes. Con el análisis económico se logra el perfeccionamiento del proyecto y una utilización más racional de los recursos. **(Brisuela, 1991).**

Para la realización de un análisis económico adecuado es necesario tener en cuenta algunos conceptos que son de vital importancia.

Costo total de producción: Representa los gastos por valores en que incurre la empresa en un período dado y que son restituidos y recuperados en la realización del producto.

Costo total de la inversión: Consiste en el costo fijo de la inversión para equipos físicos y facilidades en la planta y de la inversión de trabajo.

Dentro de los componentes del costo total de producción se encuentran:

Costos directos de fabricación: Son los relacionados directamente con el proceso de producción, dentro de los cuales se encuentran:

Costos directos del proceso: Son los relacionados con el consumo, aquella parte del costo del producto que se puede identificar en forma directa con el mismo (*materia prima, mano de obra, supervisión, mantenimiento, suministros, requerimientos del proceso, etc.*)

Gastos generales: Son los superestructurales de la fábrica, incluyen gastos que se estiman de forma aproximada. Representan el costo proporcional al producto del gasto incurrido en otros departamentos de la fábrica. Incluyen administración y dirección, distribución y venta, investigación y desarrollo.

Costos fijos: Se entienden por aquellos que permanecen constantes para cualquier volumen de producción (*Depreciación, seguros impuestos, administrativos*).

Costos indirectos: Representan un porcentaje del mantenimiento, supervisión y mano de obra.

Costo fijo de la inversión: Representa el capital necesario para tener instalados los equipos de procesos con los auxiliares que se necesitarían para un proceso de operación completo.

Costos directos de la inversión: Los cuales incluyen adquisición de los equipos, instrumentación y control, tuberías y accesorios, edificaciones, mejoras del terreno, instalaciones eléctricas.

Costos indirectos de inversión: Los cuales incluyen ingeniería y supervisión, gastos de construcción, contingencias.

3.3.1 Determinación del costo de Inversión

Desde el punto de vista de las características del proyecto tecnológico, los costos de inversión para la producción, incluyen el costo del equipamiento, la inversión fija y la inversión total de la planta.

$$\text{Costo de inversión (I)} = \text{Inversión fija (IF)} + \text{Inversión de trabajo (IT)}$$

$$\text{Inversión Fija(IF)} = \text{Costos Directos (CD)} + \text{Costos Indirectos (CI)}$$

3.3.2 Costo del equipamiento

Los costos de los equipos se obtienen del (Peters, 2003) y fueron actualizados usando los índices de costos correspondientes:

$$\text{Costo actual} = \text{Costo original} * \text{índice actual} / \text{índice original}$$

$$\text{Índice de costo original de 2003} = 402 \text{ (Peters, 2003)}$$

$$\text{Índice de costo actual de 2011} = 550.8 \text{ (Chemical Engineering, 2011)}$$

Los resultados se muestran a continuación

Tabla 3.3 Costo del equipamiento

| Nombre de equipo | Costo actualizado | No Equipos | Costo total \$ |
|-------------------------------------|-------------------|------------|------------------|
| Tanque de remojo | 1 712.78 | 2 | 3 425.17 |
| Germinadores | 1380 | 3 | 5 672.41 |
| Secadero | 2 120.95 | 1 | 2 120.95 |
| Tanques de cocción | 1 478.79 | 1 | 1 478.79 |
| Molinos de martillos | 480.04 | 2 | 960.09 |
| Sedimentador | 1 581.07 | 1 | 1 581.07 |
| Filtro | 2 059.52 | 1 | 2 059.52 |
| Intercambiador de calor | 1 401.95 | 2 | 5 124.35 |
| TK de maceración | 1 489.47 | 2 | 2 802.14 |
| TK de Almacenamiento de | 1 495 | 3 | 4 485.09 |
| Elevador de sorgo | 1 540 | 2 | 3 080.45 |
| Bombas de Afrecho | 492.36 | 4 | 1 969.45 |
| Válvulas | 328.83 | 5 | 986.50 |
| Costo total del equipamiento | | | 35 909.84 |

Tabla 3.4 Costos directos

| Costos Directos | | |
|---------------------------------|----------------|----------------------------|
| Indicadores | Fórmula | Costo \$ |
| Equipamiento | 100% | 35909.84 |
| Instalación de Equipos | 45% del Cequip | 16159.43 |
| Aislamiento | 1% del Cequip | 359.09 |
| Instrumentación y Control | 18% del Cequip | 6463.772 |
| Tuberías | 16% del Cequip | 5755.45 |
| Instalaciones eléctricas | 10% del Cequip | 3590.98 |
| Servicios | | |
| Generación de vapor | 2 % de la IF | 0.02*IF |
| Distribuidor del Vapor | 1% de la IF | 0.01*IF |
| Suministro de agua | 1% de la IF | 0.01*IF |
| Distribución de la electricidad | 0.5% de la IF | 0.005*IF |
| Almacenamiento de la MP | 3% de la IF | 0.03*IF |
| Total | | 68228.70 + 0.125*IF |

Tabla 3.5 Costos indirectos

| Costos Indirectos | Fórmula | Costos \$ |
|----------------------------|----------------|------------------|
| Supervisión e Ingeniería | 4% de la IF | 0,04*IF |
| Gastos de construcción | 2% de la IF | 0,02*IF |
| Gastos de puesta en marcha | 10% de la IF | 0.1*IF |
| Imprevistos | 5% de la IF | 0.05*IF |
| Total | | 0.21*IF |

$$Inversión Fija = 68228.70 + 0.125 * IF + 0.21 * IF$$

$$Inversión Fija = \$ 102 599.25$$

Como la *Inversión de trabajo (IT)* = 10% *Inversión Total(I)*

Sustituyendo en:

$$Costo de inversión (I) = Inversiónfija (IF) + Inversión de trabajo (I)$$

$$Costo de Inversión = \$ 102 599.25 + 0.10 * I$$

$$\text{Costo de Inversion (I)} = \$ 113\,999.50$$

3.3.3. Costos totales de Producción

Los costos de producción o gastos económicos de la planta piloto, están constituidos por los gastos de materia prima, mano de obra, requerimientos, mantenimientos y otros, según la metodología expuesta por (Peters, 2003).

$$\text{Costo total de producción} = \text{Costos de Fabricación} + \text{Gastos generales}$$

$$\text{Costos de Fabricación} = \text{Costos Directos} + \text{Costos Indirectos} + \text{Costos Fijos}$$

Tabla 3.6 Costos de la materia prima

| Materia Prima | Precio $\frac{\$}{Kg}$ | Cantidad $\frac{Kg}{día}$ | Costo $\frac{\$}{año}$ |
|--|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Sorgo | 0.2 | 11325.35 | 1925.31 |
| Azúcar Refino | 0,10 | 5372 | 537.20 |
| Color Caramelo | 0,07 | 1381.20 | 96.69 |
| Enzima | 0.5 | 79.82 | 39.91 |
| Costo Total de la Materia Prima | | | 2599.36 |

Tabla 3.7 Costos de la mano de obra

| Indicadores | Cantidad |
|---|-----------------|
| Obreros por turnos | 6 |
| Turnos por días | 3 |
| \$/horas, operador | 1.25 |
| días al año | 300 |
| Costo Total de Mano de Obra $\frac{\$}{año}$ | 1800 |

Tabla 3.8 Costos de los requerimientos

| Requerimientos | Precio | | Cantidad | | Resultado | |
|--------------------|--------|--------------------------|------------|-----------------------------------|----------------|------------------|
| | Valor | UM | Valor | UM | Valor | UM |
| Electricidad | 0.09 | $\frac{\$}{kw-h}$ | 24 000 | $\frac{Kw}{año}$ | 2 160 | $\frac{Kw}{año}$ |
| Vapor | 0.008 | $\frac{\$}{kg}$ de vapor | 13 590 | $\frac{kg \text{ de vapor}}{año}$ | 1 087 | $\frac{\$}{año}$ |
| Agua | 0.32 | $\frac{\$}{m^3}$ | 806 400.18 | $\frac{m^3}{año}$ | 3 225.6 | $\frac{\$}{año}$ |
| Costo Total | | | | | 6 472.8 | $\frac{\$}{año}$ |

Tabla 3.9 Costos de fabricación

| Costos Directos | | |
|--|-------------------|------------------------|
| Indicador | Fórmula | Costo $\frac{\$}{año}$ |
| Materias Primas | - | 2599.36 |
| Mano de Obra | - | 1800 |
| Supervisión | 0,1*MO | 180 |
| Requerimientos de electricidad, vapor y agua | - | 6 472.8 |
| Mantenimiento y reparaciones | 0,05*IF | 8 455.24 |
| Suministros | 0,005*Mto y Rep | 422.77 |
| Laboratorio | 0,1*MO | 2 700 |
| Costos Fijos | | |
| Depreciación | IT/Vida útil | 9 119.96 |
| Seguros e impuestos | 0.04*IF | 3 077.98 |
| Costos Indirectos | | |
| Otros Costos | 0,5*(MO+Sup+Mtto) | 1092.59 |
| Costos Total de fabricación | | 45 319.64 |

Tabla 3.10 Gastos generales

| Gastos Generales | | |
|----------------------------|------------------|--|
| Indicador | Fórmula | Costo $\frac{\\$}{\text{año}}$ |
| Administración | 0,15*MO+Sup+Mtto | 2 840.36 |
| Distribución y venta | 0,02*CTP | |
| Investigación y desarrollo | 0,02*CTP | |
| Total | | 2 840.36 + 0.04*CTP |

Costo total de producción = Costos de Fabricación + Gastos generales

$$\text{Costo total de producción} = 45\,319.64 + 2\,804.36 + 0.04 * \text{CTP}$$

$$\text{CTP} = 50\,167.89 \frac{\$}{\text{año}}$$

Ganancia = Precio de venta del producto - Costos totales de producción

Para determinar la ganancia del proceso, el precio de venta de la maltina de sorgo se igualo al precio de venta de la maltina de cebada para tener una primera aproximación de las ganancias, luego se realiza un análisis de sensibilidad para saber el precio real de la maltina para que haga rentable el proceso.

Tabla 3.11 Ganancia

| Productos | Precio de venta | | Cantidad | | Valor de la producción | | CTP | |
|---|------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| | Valor | UM | Valor | UM | Valor | UM | Valor | UM |
| Maltina | 0,75 | $\frac{\$}{\text{Kg}}$ | 76 650 | $\frac{\text{Kg}}{\text{año}}$ | 57 487.5 | $\frac{\$}{\text{año}}$ | 50 167.89 | $\frac{\$}{\text{año}}$ |
| Afrecho | 0.4 | $\frac{\$}{\text{Kg}}$ | 4074 | $\frac{\text{Kg}}{\text{año}}$ | 1 629.3 | $\frac{\$}{\text{año}}$ | | |
| Valor total de la Producción | | | | | 59 117.10 | | | |
| Ganancia $\frac{\\$}{\text{año}}$ | | | | | 8 950.01 | | | |

3.4 Indicadores de rentabilidad. VAN, TIR y PRD

Una evaluación de la factibilidad de la inversión se realiza sobre la base del cálculo de los indicadores dinámicos, el VAN, la TIR y el PRD, tomando una tasa de interés (i) del 12% y donde (k) es 15 año.

Expresión de cálculos

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^k} - \text{Inversión Total}$$

A partir de esta ecuación, además, de obtener el VAN, se determina la TIR (Tasa de Rendimiento Interna), y el PRD (Plazo de recuperación al descuento).

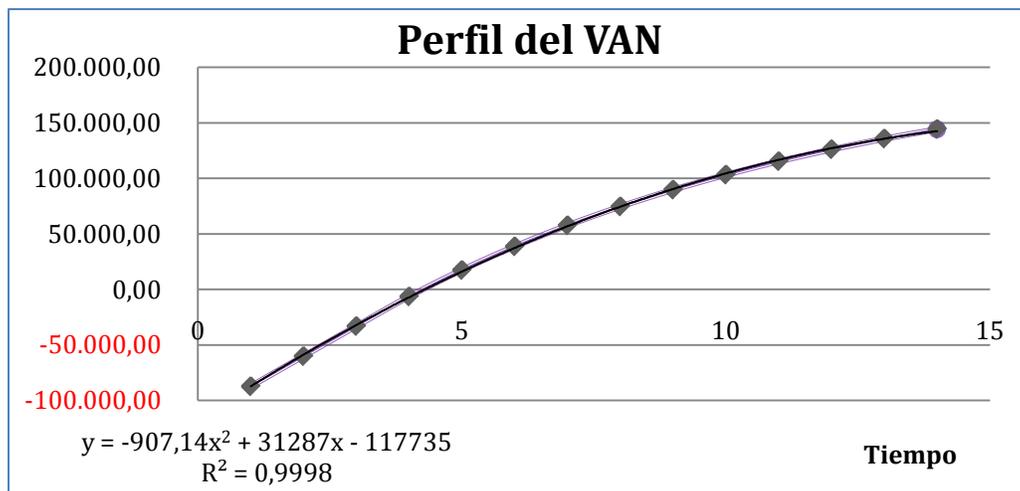
Los resultados se determinaron con la ayuda del Microsoft Excel, donde se evaluaron los indicadores económicos, los cuales, están en correspondencia con ese tipo de planta en cuanto a su factibilidad, teniendo en cuenta la venta del producto principal.

Los resultados se determinaron con la ayuda del Microsoft Excel, donde se evalúan los indicadores económicos, los cuales, están en correspondencia con ese tipo de planta en cuanto a su factibilidad.

Tabla 3.12 Indicadores de rentabilidad

| Indicador | Valor |
|--|----------------------|
| Valor Actual Neto (VAN) | \$ 144 263.69 |
| Tasa de Rendimiento Interna (TIR) | 20 % |
| Plazo de Recuperación al Descuento (PRD) | 4.16 años |

Perfil del van



3.5 Análisis de los resultados

El análisis del equipamiento indica que sus dimensiones se corresponden con las de una planta piloto, donde los equipos más importantes para las dos plantas son el germinador y el secadero resultando su área de secado de 39.59 m² y el # de bandejas de 33, en el malteado y el macerador resultando un diámetro de 1.25 m, altura de 0.75 m.

En el análisis de factibilidad económica de la planta se calcularon los indicadores económicos y dinámicos para determinar su rentabilidad dando como resultado que se recupera en un periodo de 4.16 años, valor adecuado para este tipo de planta; si se tiene en cuenta que en este esquema se dimensionaron dos plantas, la de malteado y la de producción de maltina, ahorrando por concepto de materia prima, al partir del sorgo y no de la malta que en la cervecería se compra.

Por la trascendencia social que tiene esta producción, por el personal a quien va dirigida la misma y teniendo en cuenta que en el comercio minorista no se expende este tipo de producto, estos resultados permiten proponer que se analice por las instancias territoriales pertinentes el montaje de una planta similar para compensar la producción de esta bebida.



CONCLUSIONES

1. Los estudios realizados sobre las diferentes etapas de producción de malta a partir de sorgo, permitieron establecer los mejores parámetros para llevar a cabo la producción de la malta a nivel de planta piloto, lográndose una humedad de 43-45% en un periodo de 72 horas, un porcentaje de germinación en el grano entre 86-93 % y un contenido de minerales superior a los reportados anteriormente, correspondiéndose con la calidad del sorgo empleado.
2. La prueba a nivel de planta piloto de la maltina, con resultados satisfactorios para las menores relaciones de Sólido/Líquido de 100 g/L y 8 % de M caramelo/M Total en la formulación, permite acotar una formulación para la producción de esta bebida a partir de sorgo.
3. La calidad medida a la maltina obtenida tanto en los parámetros físicos como organolépticos se corresponden con los de las maltinas elaboradas a base de malta de cebada
4. La proyección de una planta para la obtención de Maltinas a escala de planta piloto a partir de sorgo, combinada con la planta de malteado, es factible desde el punto de vista técnico y económico dando indicadores de rentabilidad de VAN de 144 263,69, un PRD de 4,16 años y la TIR de 20 %.
5. La tecnología propuesta en este trabajo tiene un alto impacto social de marcada importancia, como vía para encontrar nuevos alimentos compatibles con la dieta de los enfermos celíacos, por otro lado sirve como un renglón más para diversificar la industria cervecera en el territorio.



RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar después de la prueba microbiológica a la maltina un panel sensorial de degustación con los niños celiacos del territorio.
- ❖ Para poder poner a punto la tecnología de maltina se recomienda optimizar las condiciones del malteado del sorgo, enfatizando en la etapa de germinación, referido a las temperaturas y la humedad del grano en el remojo, así como medir las propiedades de calidad final estipuladas para la malta, fundamentalmente en el poder enzimático de la misma.
- ❖ Estudiar con precisión el punto de conversión del sorgo, ya sea modificando tiempos y temperaturas, y determinar si es necesario incorporar enzimas exógenas y en que proporción, para la conversión de los almidones presentes en el sorgo.
- ❖ Con el objetivo de mejorar los indicadores económicos de las plantas se recomienda valorar la conveniencia de implantar las plantas de malteado y de maltina anexas a la cervecería, ahorrando en los sistemas auxiliares de la misma y algún equipo que pudiera aprovecharse.



BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE Arenas J, E. P. M., Chávez Villasana A. (2005) Evaluación de los patrones alimentarios y la nutrición en cuatro comunidades rurales.
2. ALEMAN, L. (2007). Estudio de la obtención de alcohol etílico a partir de sorgo. Ingeniería Química. Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
3. ALTMANN, R. (2004) Uso de sorgo granero en la producción de alcohol carburante y alimento animal en Costa Rica.
4. BELLO, L. C., S. y Col (2006) Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de Plátano musa paradisíaca I. Agrocienca **36, 002**.
5. BISSIO, A. (1985) Scaleup of chemical processes: conversion from laboratory scale test to successful commercial size desing.698 p.
6. BOFFILL, Y. (2009). Incremento del valor agregado del sorgo mediante procesos biológicos industriales. Ingeniería Química. Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
7. BORNEO, R. (2008) Química, ciencia y tecnología de los cereales. Cereales en el mundo: Sorgo.
8. BRIZUELA, E. (1987) Aspectos Fundamentales del Diseño de Plantas Industriales. Tomo I. Editorial ISPJAE. La Habana.
9. BRIZUELA, E. (1987) Aspectos Fundamentales del Diseño de Plantas Industriales. Tomo II. Editorial ISPJAE. La Habana.
10. CASTILLO,C. Alimentos de Salud. Retrieved. 2011.
11. CANET R, C. M., Alemán L, Cabello R. (2003). Guía técnica para la producción del sorgo (Sorghum bicolor L. Moench). Ministerio de la agricultura. La Habana.
12. CAÑIZARES Domínguez, T. (1997). Aplicación del análisis de proceso al escaldo del reactor G-0. Ingeniería Química. Santa Clara. UCLV.
13. CARTER, P. (2009) Sorghum Milo.
14. COUNCIL, G. (2008).Sorghum. U.S. Grains Council.
15. Contino, Y. (2012). Propuesta tecnológica de una planta piloto de obtención de maltinas de sorgo destinadas a enfermos celíacos. Ingeniería Química. Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
16. FILHO, W. G. V. (2010). Bebidas no alcohólicas: Ciencia e tecnología. Vol. II Edgard Blucher Ltda. Brasil.

17. GARCÍA, Y; REYES, S (2012). Obtención de cerveza a partir de la combinación de malta de sorgo y malta de cebada como vía de sustitución de importaciones. Ingeniería Química. Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
18. GÓMEZ, L. (2008) Estudios demuestran que la malta posee propiedades de gran valor nutritivo. Grupo RPP. Perú.
19. GONZÁLEZ, M. E. M. (1990). Microbiología de Bebidas. Editorial Pueblo y Educación. Cuba.
20. HAAS, G. y. D. (1974). Variation in Starch Granule Size distribution and Amylose Content.
21. HAHN, R. (2007). Usos del Sorgo granífero en la Alimentación Humana y Otros.
22. HERRERA, A. (1989). Manual de prácticas de laboratorio de microbiología industrial.
23. HIMMELBLAU, D. M. (1976). Análisis y simulación de procesos. Editorial Reverte. Barcelona.
24. HORRI, J. (1979). Biotechnology Bioengineering Symposium.
25. HOUGH, J. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Editorial Acribia Zaragoza.
26. JU, L. K. (1992). Improve Scaleup strategies of bioreactors. Bioprocess Engineering.
27. KASATKIN, A. G. (1985). Operaciones Básicas y Aparatos en la Tecnología Química. Tomo II. Editorial Pueblo y Educación. Cuba.
28. KERN, D. (1988). Procesos de Transferencia de Calor. Compañía Editorial Continental, S.A. México.
29. KRAMER (1969). Producción de sorgo y su utilización.
30. KREITH, F. (1999). Heat and Mass Transfer.
31. L, A. (1987). Empleo del sorgo como adjunto en cervecería. Farmacia- Alimentos. Cuba, Universidad de La Habana.
32. LLORCA, M. (1998). Modelización de la operación de secado de malta, por aire caliente, en lecho fijo y cama profunda. Salamanca, Lleida.
33. MaCABE. W. and Smith, J. (1990). Operaciones básicas de la Ingeniería Química. Vol. II. Editorial Pueblo y Educación. Cuba.
34. MARSHALL, R. (2007). Economic Indicators Chemical Engineering. Economic Chemical Engineering.
35. MATZ, (1991). The chemistry and technology of cereals as food and feed.
36. NOVACK, J. (1962). Process scale up by sequential experimentation and mathematical optimization.

37. ORTEGA, M. T. and S. O. Serna (2003). Producción de Cervezas Tipo Lager a partir de Malta y Adjuntos Cerveceros de Sorgo. Revista de la Facultad de Salud Pública y Nutrición.
38. OZUNA, Y. (2008) Obtención de maltina a partir de sorgo malteado para niños Celíacos. Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu de las Villas.
39. PETERS, M. T (1991). Plant Desing and Economics for Chemical Engineers. Editorial Advirory Board United States.
40. PARGAS, M. (1994). Estudios de Germinación del sorgo para producir malta. Ingeniería Química. Santa Clara. Cuba. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
41. PAVÓN, P. (2007). Estado actual de la enfermedad celíaca
42. PAVLOV, K. F. "Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química". Tomo I. Editorial MIR. Moscú. 1981.
43. PÉREZ, A. H., A (2009). Empleo de forrajeras proteicas y sorgo energético en la dieta porcina. Matanzas.
44. PERRY, R. H. (1999). Chemical Engineers Handbook. M. G.-H. Handbook.
45. PORTUONDO, F. (1985). Economía de empresas industriales. Tomo I y II. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
46. PRESCOT, S. (1952). Microbiología Industrial. Madrid, Aguiar, S. A.
47. PUERTAS, R. P. (1974). Manual para el Laboratorio Azucarero. Editorial Pueblo y Educación. Las Villas.
48. QIAO, S., B. E, et al. (2004). Antigen presentation to celiac lesion-derived T cells of a 33-mer gliadin peptide naturally formed by gastrointestinal digestion. J Immunol.
49. R. Nielsen and B. Johnson (2008). Grain Sorghum Considerations for Late Planting in Southern Indiana.
50. RAMIREZ, E., A. M. Anaya, et al. (2005) Predicting the Chemical Composition of Sorghum grain by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS).
51. RIDGELEY, B. (1996) Sorghum Beer.
52. ROAD, I. (2007) *Brewing Gluten-Free Beer with Brier Sweet™ White Sorghum Syrup.*
53. RODRÍGUEZ, L. R. (2005). Estudio de la obtención de alcohol etílico a partir de sorgo. Ingeniería Química. Santa Clara. Cuba. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
54. ROSABAL, J. and M. Valle (1998). Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. Cuba, ENPES.
55. SÁNCHEZ, M. (2003). Cultivo de sorgo granífero.

56. SÀNCHEZ, M. A. (2005). Cultivo de Sorgo Granífero. Retrieved 19/06/2009, Monografia.com.
57. SAUCEDO, O. (2008). Utilización del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) en la alimentación de los niños celíacos.
58. SHAN, L., O. Molberg, et al. (2002). Structural basis for gluten intolerance in celiac sprue.
59. SHUICHI, A. (1965) Biochemical engineering. New York. 333 p
60. SMAGALSKI, C. (2009). "Malting Sorghum for Bards Tale Gluten-Free Beer.
61. TRAMBAUZE, P. R. C. E. S. (1979). Filosofía del escalado.
62. ULRICH, G. Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química.
63. ULLMAN, F. (1950). Enciclopedia de Química Industrial. S.A. Gustavo Gill. Barcelona: 403-428.
64. WAGNER, M. (2005) Cervezas sin malta de cebada. Código Alimentario Argentino. Vol. **1080**.
65. WIKIPEDIA Insumos cerveceros.
66. WIKIPEDIA Cervezas.
67. WIKIPEDIA (2009). Sorgo. Wikipedia, la enciclopedia libre.
68. (www.es.wikipedia.org/wiki/Celiaqu%C3%ADa)
69. (www.fao.org/documents)
70. (www.agropanorama.com)
71. (wikipedia.org/wiki/Sorgo).
72. (www.pasqualinonet.com)
73. (wikipedia.org/wiki/Amilasa)
74. (www.es.wikipedia.org/wiki/Amilopectina)
75. (www.alimentos&salud.com)