

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE QUÍMICA-FARMACIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: "Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo para la producción de maltinas para enfermos celiacos."

Autor: Yunier Díaz Rodríguez

Tutoras: Dra. Irenia Gallardo Aguilar

Msc. Yanet Boffil Rodríguez

2013-2014

Pensamiento.

*La calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado
de un esfuerzo de la inteligencia.*

John Ruskin

Dedicatoria.

A mis padres por el apoyo incondicional y el esfuerzo que han realizado para hoy, estar aquí.

A mis hermanos Yanier y Yilian.

A un ángel con nombre de mujer, Nailin.

A mi abuela y a mis tías Amarilys y Mavel.

A la memoria de mi abuelo materno; que vivo hoy se sentiría satisfecho y feliz de ver mi sueño realizado.

Agradecimientos.

A mis padres por el sacrificio que han tenido que realizar para que yo pudiera estudiar.

A mi novia Nailin, por su ayuda en todo momento y circunstancias.

A mis tutoras Irenia Gallardo y Yanet Boffill, gracias por su tiempo y dedicación

A mis hermanos, mis tías, mi abuela y a Yoeldis.

A la familia de mi novia por su ayuda y su apoyo.

A los técnicos de laboratorios Eduardo, Cristina, Duniesky por la ayuda realizada y en especial a Margarita por ser parte de la realización de este trabajo.

A los profesores de la facultad, a Nancy, a Yeni, a todos que de una forma u otra ayudaron en la realización de esta tesis.

A mis compañeros de aula por estar conmigo en las buenas y en las malas.

Resumen

En el presente trabajo se estudia la elaboración de malta para enfermos celíacos a partir de sorgo UDG-110. En el cual se optimiza el proceso de malteado mediante el estudio de las variables que más influyen en el mismo, tales como concentración de NaOH (%), tiempo de remojo y de germinación (h) en intervalos desde 0.1 a 0.5, 24 a 36 y 48 a 72, respectivamente. Se realizaron 18 ensayos mediante un diseño de experimentos factorial 2^k con un punto central con cuatro variables respuestas como porcentaje de germinación, contenido de extracto, poder diastático y pérdidas en el malteado. Para sustituir la malta de cebada por la malta de sorgo, el óptimo de las variables estudiadas fueron de 0.1 (%), 12 y 72 (h) para la concentración de NaOH, el tiempo de remojo y de germinación, respectivamente. Los parámetros de calidad medidos a la malta, con los valores antes señalados, se corresponden con los de calidad establecida para la malta comercializada en Cuba. Se realizó un análisis económico para la producción de malta de sorgo donde se obtuvo un valor actual neto de \$ **318 591,73**, una tasa de interés de 37% y un período de recuperación de 3,4 años. El análisis de sensibilidad realizado arrojó que se puede obtener una ganancia de 4637 \$/año a partir de un precio de venta de la malta de sorgo de 550 \$/ton para ser utilizada como materia prima en la elaboración de maltas y cervezas.

Abstract

In this present research the preparation of malt for celiac patients is studied from sorghum UDG-110. Where the malting process is optimized by studying the variables that influence it, such as concentration of NaOH (%), time of soaking and germination (h) at intervals from 0.1 to 0.5, 24-36 and 48-72, respectively. 18 trials were performed using factorial design experiments 2k with a central point with four variables as percent germination responses, extract content, diastatic power in malting and losses. To replace the barley malt the sorghum malt, the optimum of the variables studied were 0.1 (%), 12 and 72 (h) to the concentration of NaOH, soaking time and germination, respectively. The measured quality parameters of malt, for the above values correspond to the established quality malt sold in Cuba. Economic analysis for the production of sorghum malt where a net present value of \$ **318 591, 73**, an interest rate of 37% and a recovery period of 3,4 years was obtained was performed. The sensitivity analysis showed that one can obtain a profit of \$ 4637 /year from a sale price of sorghum malt \$ 550 / t for use as raw material in the production of malt and beer.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.	3
1.1 Sorgo	4
1.2 Variedades de sorgo cultivadas en Cuba Variedades de sorgo cultivadas en Cuba.	6
1.3 Bebidas a partir del sorgo	7
1.3.1 Cerveza	7
1.3.2 Etanol	7
1.3.3 Malta	8
1.3.3.1 <i>Componentes de la malta.</i>	8
1.3.3.2 <i>Características que identifican a la malta</i>	9
1.4 Maltas en la producción de bebidas.	10
1.4.1 Malta de cebada	10
1.4.2. Malta de sorgo.	10
1.4.3. Diferencias entre la malta de sorgo y la de cebada	10
1.5 Etapa de malteado	11
1.5.1 Calidad del malteado.	13
1.5.1.1. Porcentaje de germinación	14
1.5.1.2 Poder diastático.	15
1.5.1.3 Pérdidas de la malta	15
1.5.1.4 Contenido de extracto.	16
1.5.1.5 Contenido de taninos.	16
1.5.1.6 Contenido de proteínas.	17
1.5.1.7 Nitrógeno amínico libre	17
1.6 Obtención de la maltita	17
1.7 Utilización de la malta de sorgo en cervecerías cubanas	19
1.8 Necesidad de consumo en la población celíaca	20
Conclusiones parciales	21
Capítulo 2 : Desarrollo experimental	22
2.1. Malteado del Sorgo	24
2.2. Análisis de los resultados	27
2.2.1 Porcentaje de germinación	28
2.2.2 Pérdidas del malteado	29

Índice

2.2.3	Contenido de extracto	30
2.2.4	Poder diastático.	31
2.3.	Análisis estadístico de la etapa de malteado	31
2.3.1.	Porcentaje de granos germinados	31
2.3.2	Pérdidas en el malteado	32
2.3.3	Poder diastático	33
2.3.4	Contenido de extractos	33
2.4.	Optimización del proceso de malteado	34
2.5.	Proceso de producción de maltina a escala de laboratorio	35
	Conclusiones parciales	38
	Capítulo 3: Diseño y Análisis Económico	39
3.1	Introducción al capítulo	40
3.2	Selección preliminar del equipamiento	40
3.3.	Balance de materiales	41
3.4.	Dimensionamiento de los equipos principales.	43
3.5.	Sistemas auxiliares	46
3.6.	Análisis Económico	47
3.6.1.	Estimado del Costo total de Inversión.	47
3.6.2.	Estimado del Costo de Producción	49
3.6.3	Análisis de sensibilidad	51
3.7.	Indicadores de rentabilidad. VAN, TIR y PRD.	52
	Conclusiones Parciales.	53
	Conclusiones generales	54
	Recomendaciones	56
	Bibliografía	58
	Anexos	62

Introducción

Introducción

A pesar de que el sorgo y la cebada pertenecen a la familia de las gramíneas (**Novellie 1976; Asiedu, 1991**), el primero a diferencia de este último, se adapta fácilmente a las condiciones tropicales y semiáridas. Este cereal se utiliza actualmente en la producción de cervezas, principalmente en África que es donde hay una amplia gama de variedades de esta bebida, considerándose como tradicional **[(Ekundayo, 1969; Faparusi et al., 1973), (Kayodé et al., 2005), (Novellie et al., 1986), (Lyumugabe et al., 2010)]**. Estas tradicionales cervezas de sorgo son ricas en calorías, vitaminas del complejo-B incluyendo tiamina, ácido fólico, riboflavina, y ácido nicotínico, y aminoácidos esenciales tales como la lisina (**Chevassus-Agnes et al., 1979**). Por tanto, las potencialidades de este cereal pueden ser utilizadas en otras bebidas no alcohólicas como maltas, en primer lugar para suplementar la dieta de los enfermos celíacos, y en segundo lugar para reducir la importación de malta de cebada mediante una sustitución parcial. Sin embargo, tal sustitución no sería factible si no se optimizaran parámetros claves en el proceso de malteado como concentración de solución alcalina, y el tiempo de remojo y el de germinación; debido a que la malta de sorgo presenta bajo poder diastático, ocasionado por las características del endospermo carente de actividad β -amilasa, comparado con la malta de cebada. En el presente trabajo se pretende profundizar en las tres etapas que componen el mencionado proceso.

Problema científico.

Actualmente se comercializan alimentos de repostería para los enfermos celíacos, sin embargo en las cervecerías cubanas las bebidas producidas son a partir de la cebada, cereal que contiene gluten. Por tanto, no se encuentran al alcance de las personas que padecen de esta enfermedad bebidas libres de esta fracción de proteínas. Una alternativa promisorio sería la sustitución de la materia prima actualmente utilizada por la malta de un cereal cultivado en el país como el sorgo, carente de gluten; aunque, esta malta presenta poco poder diastático.

Hipótesis

Es posible perfeccionar la tecnología de producción de maltina de sorgo mediante la optimización del proceso de malteado de este cereal libre de gluten, estudiando la influencia de diferentes variables en las etapas de remojo y germinación con vistas a ofrecer otro producto que pueda ser consumido por los enfermos celíacos.

Objetivo general

El perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo mediante la optimización de las etapas de remojo y germinación.

Objetivos específicos

1. Perfeccionar la etapa de remojo y de germinación, en el malteado de sorgo UDG 110 analizando la influencia de las variables concentración de solución alcalina y tiempo en la primera, y tiempo en la segunda
2. Evaluar la calidad de la malta de sorgo mediante la determinación del porcentaje de germinación, contenido de extracto, poder diastático y pérdidas del malteado.
3. Estudiar en la etapa de maceración la hidrólisis del almidón mediante la adición de enzimas exógenas.
4. Evaluar técnico y económicamente el proceso del malteado del sorgo, así como los indicadores económicos de rentabilidad.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

1. Sorgo

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo después del trigo, el arroz, el maíz y la avena. En África es empleado para la alimentación humana, pero en América y Oceanía se usa para la fabricación de harinas y piensos destinados a la cría de los animales. Este cultivo posee amplia distribución geográfica por su plasticidad ecológica. Su buen comportamiento agronómico le concede favorables atributos: no es exigente a los suelos fértiles; es alelopático, por lo que requiere de pocas labores de cultivo y limpieza; compite, entre las plantas cultivadas de amplio uso, como una de las más resistentes a la sequía **(Chaviano, 2005)**.

Esta planta es originaria de la India, de la familia de las gramíneas, con cañas de dos a tres metros de altura, llenas de un tejido blanco y algo dulce y vellosas en los nudos; y granos mayores que los cañamones, algo rojizos, blanquecinos o amarillos **(Novielle, 1976)**. Recientemente, el concepto de "utilización total del cultivo" de sorgo ha estado cobrando impulso ya que el grano puede usarse para hacer comidas y bebidas. El tallo puede ceder azúcar, combustible, y fibra. Además puede ser utilizado como forraje y pienso del ganado. El valor de grano asume más importancia cuando puede sustituir cereales importados como trigo y cebada **(Herrera, 1999)**

Las harinas y las comidas de sorgo son ahora productos comunes en el mercado. Los panecillos suaves y las galletas están siendo hechos a partir de sorgo y mezclas de trigo, por lo que se han convertido en un tema de creciente investigación científica y tecnológica. El sorgo actualmente tiene el potencial máximo de ser usado como una materia prima en el sector alimenticio. Muchas marcas de cerveza en el mercado tienen contenido sustancial de sorgo, cebada y maíz. Esto ha conducido a una proliferación posible de industrias de malta de escala pequeña o mediana. **(Saucedo and Fernández, 2010)**

En la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas desde hace varios años se vienen desarrollando investigaciones para el desarrollo de su cultivo y se han realizado experiencias para emplearlo como extensores en varios productos alimentarios en la producción de malta y cerveza, y como adjunto cervecero sustituyendo a la cebada.

Tabla 1.1 Composición del grano de sorgo.

<i>Sorgo Planta</i>		
Porcentajes	Grano	Forraje
<i>Materia seca</i>	2,8	24,25
<i>Carbohidratos</i>	82	56,1
<i>Proteínas</i>	9,5	5,4
<i>Grasas</i>	2,9	4,4
<i>Fibras</i>	3,8	27,3
<i>Minerales</i>	1,8	2

Fuente: (Chaviano, 2005)

Uno de los cereales que tradicionalmente se emplean en la producción de bebidas es la cebada, el cual pertenece a los denominados cereales TACC (Trigo, Avena, Cebada, Centeno), pero, en países como Cuba es un producto importado. Por otra parte, reportan que las prolaminas de todos estos cereales, con diferente nombre según el cereal: hordeínas (cebada), gliadina (trigo), secalinas (centeno) y aveninas (avena), representan el 90% de la fracción proteica, ocasionando intolerancia las fracciones de las mismas en los pacientes celíacos. **(Sánchez, 2008)**. A diferencia de estos cereales, el sorgo ofrece la ventaja de no contener gluten por lo que no presenta problemas para enfermos celíacos. **(Roma, 1995)**.

La tabla muestra como la composición del sorgo es muy semejante a la de los demás cereales y en especial con la cebada y el trigo que son los cereales de alta demanda en la industria alimenticia. En la **Tabla 1.2** se reportan las composiciones de los cereales más empleados en la producción de alimentos. **(Rodríguez, 2010)**.

Tabla 1.2. Composición en porciento de cereales utilizados en la producción de bebidas.

Contenidos	Maíz	Arroz	Sorgo	Trigo	Cebada
<i>Humedad</i>	10,9	12,0	11,7	11,1	10,6
<i>Almidón</i>	68,6	67,0	69,0	69,3	66,0
<i>Proteína</i>	10,0	7,7	10,4	0,2	13,0
<i>Grasa</i>	1,9	4,3	3,7	3,4	2,1
<i>Fibra</i>	3,4	2,3	1,9	2,2	5,6
<i>Cenizas</i>	0,2	0,3	0,4	0,4	2,7
<i>Extracto</i>	60,0	70,0	63,0	65,0	59,8
<i>Materias nitrogenadas</i>	5,0	0,4	1,7	1,7	1,6
<i>Celulosa</i>	3,6	2,0	2,0	2,0	2,0

La composición del grano de sorgo viene regida en su mayoría por el almidón, compuesto por el cual se valora a este cereal para su posible uso en la industria de las bebidas, al ser este degradado se transforma en azúcares que posteriormente son fermentables. Aunque, también tienen algunas variedades de 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 **(P.Carter, 2009)**. Aproximadamente el 80 % del grano de los cereales está compuesto por hidratos de carbono principalmente, siendo el almidón el de mayor proporción.

1.2 Variedades de sorgo cultivadas en Cuba.

En Cuba, este cereal cuenta con gran aceptación entre los productores que cultivan el arroz en áreas pequeñas, debido, entre otras razones de tipo económica, a la introducción y generalización de variedades de sorgo mejor adaptadas a los diferentes ecosistemas donde se realizan estas producciones, a las amplias posibilidades que tiene de incluirse en el esquema

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

de rotación anual con el arroz, y a la factibilidad de emplearlo como producción complementaria, para el consumo animal y humano. Existen en el país muchas variedades del grano (Ver anexo 1), de estas, la más cultivada ha sido la UDG- 110, por la amplia utilización que tiene en la industria, para la elaboración de pan integral, bizcochos, gofio, como sustituto total de la harina de trigo, y en la confección de pan suave, galletas, dulces y bebidas con la sustitución parcial de la harina de trigo o cebada. **(Chaviano, 2005).**

1.3 Bebidas a partir del sorgo.

1.3.1 Cerveza

Se conoce que presenta múltiples variantes con una amplia gama de matices debidos a las diferentes formas de elaboración y a los ingredientes utilizados. Generalmente tiene un color ambarino con tonos que van del amarillo oro al negro, pasando por los marrones rojizos. Contiene CO₂ disuelto en saturación que se manifiesta en forma de burbujas a la presión ambiente y suele estar coronada de una espuma más o menos persistente; su aspecto puede ser cristalino o turbio **(Lyumugabe et al., 2012).**

La cerveza tradicional llamada ambga y un vino denominado affouk, que se preparan con sorgo en el Camerún, se consideran nutricionalmente superiores a la harina de sorgo. **(Obilana, 1985)** observó en el sorgo que se puede también hacer cerveza dorada. En Nigeria, se ha ensayado el sorgo como sustituto de la malta de cebada para producir cerveza. Se ha logrado producir cerveza mezclando a partes iguales sorgo y cebada. **(Okafor, 1987)** mencionan que se ha hecho cerveza dorada de la malta de sorgo empleando el método de cocción trifásico y un 30 por ciento de sucrosa como elemento adjunto. En Rwanda se produce un nuevo tipo de cerveza empleando sorgo y cebada del país. **(Iyakaremye, 1978)** comprobaron que puede mezclarse sorgo hasta en un 40 por ciento con malta de cebada y se logra así una cerveza aceptable.

1.3.2 Etanol

Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación o descomposición de los azúcares contenidas en distintas frutas, y la destilación, la cual consiste en la depuración de las bebidas fermentadas **(Cadena Agroindustrial, 2004).**

En China se produce alcohol a base de sorgo, donde la industria de bebidas alcohólicas es un gran consumidor de grano de sorgo. **(Chaviano, 2005)**

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

Hasta hace más de tres años, existía una considerable excitación en los EEUU por el uso del sorgo dulce como materia prima alternativa para la producción de etanol combustible. Las ventajas destacadas fueron y continúan siendo: 1) rendimiento potencial y composición, 2) eficiencia en el uso del agua y tolerancia a la sequía, 3) sistemas de producción establecidos y, 4) el potencial para el mejoramiento genético mediante el uso de enfoques, tanto tradicionales como genómicos. Entidades públicas y privadas continúan desarrollando investigaciones para maximizar el contenido de azúcar, aumentar o disminuir su capacidad de producción de granos e incrementar los rendimientos productivos. Inclusive, con estos atributos positivos, el uso del sorgo dulce en los EEUU ha sido lento en su desarrollo. Algunos de los impedimentos para su comercialización son los mismos que enfrentan todas las nuevas tecnologías. Aunque la cosecha y el procesamiento son similares al de la caña de azúcar, se considera una tecnología “nueva” por muchos. Esto es porque nunca ha sido producido en gran escala en los EEUU. Para producir el cultivo a gran escala varios asuntos deben ser tratados, que son importantes pero no insuperables. **(González, 2012)**

1.3.3 Malta

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.

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.

1.3.3.1 Componentes de la malta.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

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 malta.

Agua: Las características del agua de fabricación influyen de sobremanera en la calidad de la malta. 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 malta. 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 malta.

1.3.3.2 Características que identifican a la malta.

- **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.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

- *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 malta.
- *Brillo:* la malta debe ser brillante. La turbidez en una malta puede deberse a deficiencias en la filtración, contaminación microbiológica por bacterias o levaduras, por la presencia de proteínas pesadas que no fueron retiradas durante el proceso, desgasificación o contaminación con oxígeno por fisuras en el tapado.
- *Especificaciones de calidad:* en la malta debe especificarse el complejo vitamínico, formado por vitaminas B-1 y B-6, proteínas, valor calórico y contenido en minerales.

1.4 Maltas en la producción de bebidas.

1.4.1 Malta de cebada

La parte fundamental del grano de cebada es el embrión que, bajo condiciones favorables de temperatura y de humedad, germina formando raíces y tallo. El endospermo ocupa la mayor parte del grano y constituye la reserva alimenticia de la planta (almidón), la cual será posteriormente la fuente de azúcares del mosto de cerveza. Por este motivo debe ocurrir una transformación previa del almidón en azúcares sencillos (glucosa, maltosa y maltotriosa) componentes necesarios en las bebidas alimenticias.

En cada etapa del proceso de malteado hay variables que son fundamentales por lo que para cada cereal se reportan los valores en que se deben de encontrar, para la cebada el remojo se realiza con agua y a una temperatura controlada (15-20°C) en un proceso que dura 24 h. la germinación dura de 4- 6 días, en dependencia del tipo de malta, se desarrolla en condiciones de humedad y temperaturas controladas entre 16-20°C, así como en el secado en el cual se debe de obtener un 5% de humedad en la malta.

1.4.2. Malta de sorgo.

Al igual que todos los cereales el sorgo para ser malteado consta de parámetros importantes a controlar como son el tiempo de remojo que es más prolongado que para otros cereales, todo depende de las condiciones físicas en que se encuentre este sorgo, de la cosecha y de la humedad inicial que contiene.

1.4.3. Diferencias entre la malta de sorgo y la de cebada.

Si se pretende elaborar bebidas a partir de sorgo para sustituir totalmente la cebada, se debe conocer primeramente los contrastes entre las maltas de ambos cereales. En este sentido, **(Lyumugabe et al., 2012)** resumen las diferencias fisiológicas más importantes entre las mismas, las cuales se muestran a continuación.

La primera diferencia consiste en las enzimas que degradan el endospermo. Durante la germinación, la hormona ácido giberélico, a baja concentración (0.1-0.2 ppm) induce a la capa aleurona de la cebada a la producción de enzimas como α -amilasa, proteasa, pentosanasas y endo- β -glucanasa que degradan el endospermo, pero esta hormona no desempeña tal papel en el desarrollo de la enzima en el sorgo. Por ejemplo, en el **sorgo**, la α -amilasa y la carboxipeptidasas son producidas por el escutelo, mientras la endo- β -glucanasa, dextrinasa límite y la endo-proteasa crecen en el endospermo almidonado. En cambio, en el malteado de cebada la α -amilasa, endo-proteasa, dextrina límite y endo- β -glucanasa crecen en la capa aleurona, mientras que la carboxipeptidasas y β -amilasa se encuentran en el endospermo almidonado **[(Aisien and Palmer, 1983);(Palmer et al., 1989)]**.

La segunda contradicción está relacionada con las características del endospermo. El endospermo del sorgo malteado mantiene la compactación del almidón y no es desmenuzado como en los granos de malta de cebada **(Palmer et al., 1989)**. El tercer contraste radica en el nivel de enzimas en los granos. Los granos de malta de sorgo contienen bajo nivel de endo- β -glucanasa y β -amilasa **(Aisien and Palmer, 1983)**. La cuarta incongruencia radica en las pérdidas durante el malteado. Las pérdidas del malteado (respiración y echar raíces) de la malta de sorgo son alrededor del 20%, mientras que las pérdidas del malteado de la malta de cebada es de 7% después de 6 días de crecimiento a 25 °C y 25 °C **(Palmer et al., 1989)**.

1.5 Etapa de malteado.

El malteado es un proceso aplicado a los granos de cereales en el cual dichos granos pasan por las etapas de remojo, germinación y secado; sin subestimar la etapa de clasificación del grano **[(Demuyakor and Ohta, 1992), (Agu and Palmer, 1996)]**. La malta se usa como materia prima fundamental en la fabricación de maltina, cerveza y whisky. Los granos de sorgo sin maltear carecen, a diferencia de los granos de cebada, de α y β -amilasa; por tanto, para lograr la sustitución total de la malta de cebada por la de sorgo es necesario buscar parámetros de calidad que se correspondan con la materia prima actualmente empleadas en las cervecerías cubanas.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

Clasificación del grano: Esta etapa es fundamental para que el grano no llegue con una carga microbiana alta, por lo que hay que controlar la humedad y la cantidad de proteínas.

Etapas de remojo: El objetivo del remojo es que los granos absorban suficiente cantidad de agua bajo condiciones aeróbicas, para lo cual son sumergidos en agua hasta conseguir un nivel de humedad del 42 % a 45% aproximadamente. El remojo de granos de cereal en agua es ampliamente reconocido como la etapa más crítica del proceso de malteado (French and McRuer, 1990).

Durante el proceso de elaboración de la cerveza y malta Western, el malteado comienza con el remojo de la cebada en agua durante 2 días a 10-16°C, con el fin de aumentar el contenido de humedad a alrededor del 45% (Moll, 1991). Periódicamente, el agua se drena temporalmente y se proporciona aireación, evitando de este modo las condiciones anaeróbicas que pueden causar daños al embrión del grano.

En África, el proceso de malteado de sorgo también comienza con el remojo de los granos en agua durante 10 a 24 h a temperatura ambiente (Maoura and Pourquie, 2009). Sin embargo, el período de remojo en un momento dado varía de acuerdo con la variedad del sorgo. Con respecto al nivel de humedad alcanzada existen diferentes criterios. Por ejemplo, (Kumar and Daudu, 1992) señalaron que una variación en el contenido de humedad de 32,4 a 43,4% puede ser observada después del remojo por 24 h Sin embargo, (Novellie, 1966) reportó otro intervalo más estrecho hasta llegar a un valor mayor para este parámetros (42 a 48%). Por otra parte, (Owuama and Asheno, 1994) reflejó que un aumento en la humedad con un tiempo de reposo de entre 12 y 20 h a 30°C conlleva a el aumento correspondiente de azúcares reductores. El nivel de aumento de estas características de la malta de sorgo parece ser directamente proporcional a su poder diastático (Pathirana et al., 1983). No obstante, el autor mencionado anteriormente concluyó que el tiempo de remojo tiene poco efecto sobre el poder diastático de malta de sorgo. Se ha demostrado que el poder diastático de malta y el nivel de amino nitrógeno libre (FAN) se favorecen con la temperatura de remojo de 30°C (Dewar et al., 1997). Para el remojo se han empleado distintas concentraciones de soluciones alcalinas desde 0,1% hasta 0.5%, y se ha demostrado que mejora significativamente la actividad diastática de la malta de sorgo especialmente la actividad β -amilasa (Okolo and Ezeogu, 1996).

Etapas de germinación: El objetivo es fomentar el desarrollo y crecimiento del embrión del grano para conseguir la modificación requerida del grano y desarrollo de las enzimas.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

Se recomienda la germinación de los granos de sorgo a una temperatura de entre 25 y 30°C para el desarrollo de un buen poder diastático(**Novielle, 1976**). Específicamente, (**Morrall et al., 1986**) obtuvieron a 30°C, y de 3 a 7 días después de la germinación, maltas bien modificadas con un alto poder diastático, y altos niveles de extracto, de azúcares y nitrógeno amino libre. A pesar de que el tiempo de germinación y la temperatura óptimas varían con la variedad de sorgo (**Novielle, 1976**).

Para la combinación de la actividad α -amilasa y β -amilasa se ha demostrado que el tiempo de germinación en las variedades de sorgos amarillos y rojos debe ser mayor que en las variedades de sorgo blanco a una temperatura de 30°C. Sin embargo, la germinación del sorgo a temperaturas de 35 ° C o a temperaturas más bajas entre 15 y 20 ° C, se afecta la actividad de amilasa y por consiguiente reduce el poder diastático(**Morrall et al., 1986**).

Etapas de secado: El objetivo es remover la humedad, prevenir un posterior crecimiento y modificación, conseguir un producto estable que pueda ser almacenado y transportado, preservar las enzimas y así evitar la vitrificación del grano, además desarrollar y estabilizar propiedades como el sabor y color, remover sabores indeseables, inhibir la formación de compuestos químicos indeseables y secar los brotes para permitir su remoción. La duración depende del tipo de malta y se deben lograr humedades inferiores al 5%. (**Gallardo, 2012**)

Este secado tiene el objetivo de detener el crecimiento del embrión y la actividad enzimática, y reducir al mínimo la desnaturalización de la enzima(**Lyumugabe et al., 2012**). Por tal motivo es que en la etapa de secado no se utilizan altas temperaturas, en la literatura se reportan varios estudios que fundamentan lo anterior. Por ejemplo, en el proceso de fabricación de la cerveza tradicional africana de sorgo, los granos germinados son secados bajo el sol y se almacenan bajo la protección durante la noche para evitar la rehidratación. Generalmente, esta etapa de secado tarda 2-3 días dependiendo de la intensidad de la luz del sol. Sin embargo, en el proceso de fabricación de la cerveza occidental, los granos de cebada germinados se secan en un proceso de dos etapas. Primero se seca a 50-60°C y después se curan a 80-110°C (**Moll, 1991**)

Como parte del proceso de malteado sorgo, (**Novielle, 1976**) abogó por el secado al horno de la malta hasta 50°C. Sin embargo, mientras que los períodos del secado a 80°C pueden mejorar el sabor de la malta, una temperatura de este tipo puede dañar la actividad enzimática de la malta y reducir los compuestos volátiles.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

Por otra parte, el secado de la malta en dos etapas, inicialmente a 55°C y posteriormente a 65°C, se ha demostrado que producen buenas maltas con una considerable reducción en la humedad y un contenido de azúcar superior al del secado en una única temperatura de 65°C **(Owuama and Asheno, 1994)**.

En el secado de este cereal para la Malta Clara, la temperatura de comienzo es de 65°C cambiando a las cuatro horas a 60°C, y deteniendo el proceso cuando la malta alcance una humedad de 5% aproximadamente, para la Malta Caramelo el rango de variación de temperaturas fue con el tiempo entre 65 y 100 °C, el proceso termina cuando la malta alcanza un por ciento de humedad de 3,5%. **(Gallardo, 2012)**

1.5.1 Calidad del malteado.

El proceso de malteado consiste fundamentalmente en solubilizar los almidones, 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: buena modificación del endospermo, bajo contenido en proteína, alto contenido de extractos y de azúcares reductores y gran poder enzimático.

Efectivamente, 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 obligatoriamente que el almidón haya sido suficientemente modificado durante el malteado **(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 existir 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, parece estar asociada a la mayor permeabilidad de esta región del grano. Además la matriz proteica de los granos pequeños de almidón permanecería intacta 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 gránulos 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 diferente proporción de proteína

presente en la malta (**Goering De Haas, 1974**). La matriz proteica estará más intacta conforme aumente el contenido proteínico de la malta, de tal manera que al formarse una película proteica alrededor de los gránulos de almidón se inhibe la amilólisis (**Slack, 1979**).

1.5.1.1. Porcentaje de germinación.

Hay autores como (**Parmer, 1997**) reportan para el sorgo la variación en el poder germinativo a temperaturas más altas de 20°C ya que lo que se persigue es que en más del 98 % de los granos se observe la vaina de la raíz.

Para el caso del sorgo, se reporta la influencia de la temperatura en la germinación principalmente sobre la producción de enzimas, concluyéndose que estas dependen del tipo de sorgo, pues en unos se desarrollan más que otros a una u otra temperatura y que la conversión de los almidones en azúcares no depende tanto del poder enzimático de las maltas, sino del grado de gelatinización que se logre con el proceso de cocción del mismo.

Además en trabajos realizados anteriormente se ha encontrado que el por ciento de germinación tiene una gran dependencia de la calidad del grano y de las condiciones en que este se encuentre. Aunque los granos son escogidos anteriormente siempre se van algunos de menor tamaño, siendo esto quizás uno de los factores que afectan el rendimiento de la germinación.

1.5.1.2 Poder diastático.

El poder diastático es una medida de la capacidad hidrolíticas de las enzimas que degradan el almidón presente en la malta. (**Novielle, 1976**)

Los valores están influenciados por la variedad del grano y el contenido de proteína. La modificación de la malta y las condiciones de secado también ayudan a determinar el nivel de enzimas en la malta. El resultado se puede expresar en grados Linter(°L), en unidades diastática del sorgo (SDU/g) y en unidades Windisch-Kolbach.

Trabajos publicados como (**M Martínez, 1996**) reflejan en sus resultados un poder diastático entre 125-170°L para una serie de experimentos, en (**VM Bendeloww, 1999**) mostraron un amplio rango de resultados entre 44 a 206°L, también en (**J O Iwono, 2012**) reflejaron un rango

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

de 24 a 91°L y en **(Palmer col, 1999)** mostraron que se consideran valores bajos menores de 35°L y elevados mayores de 160°L.

Una malta contiene un buen poder diastático cuando se encuentra en el rango de 300 a 600 WK**(Ruiz, 2006)**.

1.5.1.3 Pérdidas de la malta.

Las pérdidas sufridas durante el malteado se basan fundamentalmente en dos parámetros uno que el embrión toma rápidamente agua, en cambio el endospermo se hidrata más lentamente, cualquier fractura sufrida por la cascarilla o las cubiertas del fruto y la semilla facilita el humedecimiento del endospermo o el embrión y, desde luego la fuga de sustancias solubles del endospermo y otro es el representado por la respiración del embrión, que consume reservas de nutrientes, liberando energía, dióxido de carbono y agua. La respiración aumenta significativamente cuando el embrión se activa, lo que crea una demanda de oxígeno en el agua de remojo, en ausencia de oxígeno el embrión puede metabolizar anaeróbicamente las reservas, pero de un modo energéticamente poco eficaz, convirtiéndolas en dióxido de carbono y alcohol, a medida que la concentración de alcohol aumenta su toxicidad va creciendo, por lo que se hace necesario cambiar el agua de remojo cada cierto tiempo. Además influyen en estas pérdidas los períodos de germinación prolongados que resultan en mayores pérdidas de materia seca y menores niveles de actividad diastática. **(Pargas, 1994)**

1.5.1.4 Contenido de extracto.

Extracto de malta: producto seco o de consistencia pastosa, obtenido exclusivamente con malta de cebada o sorgo sometida a tratamientos especiales. No debe contener más de 0,1% p/p de alcohol; su extracto seco no será inferior a 65% p/p. Los extractos de malta denominados diastáticos tendrán un poder diastático, referido a 100 g de extracto seco, capaz de convertir su propio peso de almidón en azúcar, en un tiempo menor a 10 minutos, a 55°C de temperatura.

El extracto de malta está compuesto por dextrinas de diferente peso molecular, de las cuales las más comunes son la maltosa, la maltotriosa y las dextrinas límites, además de una variedad de proteínas y fibras solubles, estos compuestos son producidos por la degradación de la malta debido a sus enzimas. Dentro de los extractos de malta existen los diastáticos y los no diastáticos, estos se diferencian en una etapa de inactivación enzimática por calentamiento.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

Los tipos de extractos de malta se pueden diferenciar dependiendo del porcentaje de malta que contienen respecto a otros granos, debido a que una parte de la malta puede ser reemplazada por granos que proveen de sustrato a las enzimas de la malta, algunas posibilidades son la cebada, el sorgo y el arroz.

1.5.1.5 Contenido de taninos.

Los taninos están definidos como compuestos polifenólicos de alto peso molecular que tienen la habilidad de unir entre sí proteínas de forma no específica. Sin embargo el término tanino normalmente se usa para referirse a los compuestos polifenólicos. Se han estado asociando con la afectación del grano de sorgo para el consumo animal y humano ya que causan una reducción de la materia seca y de la digestibilidad de la proteína.

Los taninos tienen un ligero olor característico, sabor amargo y astringente, y su color va desde el amarillo hasta el castaño oscuro. Hay dos categorías de taninos, clasificados basándose en su vía de biosíntesis y sus propiedades químicas: los taninos condensados y los taninos hidrolizables.

Todas las variedades de sorgo presentan taninos pero los tipos castaño presentan contenido alto. Estos son indeseables porque causan decoloración en diversos productos hechos de grano de sorgo.

1.5.1.6 Contenido de proteínas.

Los resultados de la caracterización del sorgo y de su malta, arrojan que el contenido de calcio y de proteínas de la malta de sorgo es inferior a la de la malta de cebada. En el proceso de germinación se requiere un contenido bajo en proteínas, entre el 9 % y el 11,5 %. Las proteínas son compuestos nitrogenados de alto peso molecular y ocupan de 8 al 15 % de la materia seca total del grano, existen cuatro fracciones proteicas principales: hordeína, la globulina, la glutelina y la albúmina. Todas las fracciones proteicas se encuentran almacenadas en el endospermo del grano y pueden ser degradadas para proporcionar nutrientes durante la germinación. La hordeína y la glutelina son proteínas estructurales y ambas sufren una mayor degradación durante el malteado, mientras que la albúmina y la globulina del grano representan las fuentes potenciales de B-amilasa y proteasas. Altas cantidades de proteínas disminuyen el extracto potencial y provocan largos tiempos de germinación en la malta. **(Ruiz, 2006)**

1.5.1.7 Nitrógeno amínico libre

Constituye la fracción de aminoácidos, resultantes de la degradación de proteínas. Las levaduras utilizan el FAN como alimento, en su proceso de multiplicación, en la fase inicial del proceso fermentativo. Tiene una relación directa con el Nitrógeno Soluble del mosto. En los Protocolos de Calidad de se informa en mg/100 g o mg/L. **(Ruiz, 2006)**

1.6 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 el producto final.:

- ✓ Molida del grano.
- ✓ Maceración
- ✓ Filtración.
- ✓ Cocinado del licor.
- ✓ Enfriamiento y clarificación.

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

1.6.2 Maceración (masching): 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.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

Para todas las fases 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 38°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)**

1.6.3 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.

1.6.4 Cocinado

Luego de esto se hierve 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 refino, caramelo y lúpulo aromático.

1.6.5 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.

1.7 Utilización de la malta de sorgo en cervecerías cubanas.

Actualmente en las cervecerías del mundo se utiliza como materia prima fundamental la malta de cebada, nuestro país no es la excepción ya que para nosotros es una materia prima de importación debido a las condiciones climáticas no es posible cultivarla en Cuba por eso el país se ha dado a la tarea de buscar una nueva materia prima para estos fines que sea capaz de suplir toda la demanda existente, hasta la actualidad el sorgo es el cereal capaz de realizar dichas funciones, ya que no solo cumple con los parámetros de ser fácilmente cultivable en países tropicales sino que presenta propiedades muy semejantes a las de la cebada. Además no posee gluten por lo que se podría incluir las bebidas elaboradas con este en la dieta de los enfermos celíacos.

La Universidad Central de las Villas ha desarrollado una serie de investigaciones volcadas a estos fines donde se han obtenido resultados que respaldan la idea de emplear este cereal con fines de producción de bebidas como malta, etanol y cerveza, además de poder elaborarse con la repostería. Una rápida puesta en punta de la tecnología del proceso de producción de bebidas a partir de malta de sorgo llevaría a nuestro país a reducir los costos por concepto de importaciones de materia prima y a ayudar en la dieta de los enfermos celíacos del país.

1.8 Necesidad de consumo en la población celíaca

La enfermedad celíaca se define como: una afección del intestino delgado, dependiente de un proceso inmunológico, provocado por el gluten del trigo y las prolaminas de otros cereales.

Existe una predisposición genética, pudiendo presentarse en cualquier época de la vida, con posible manifestación en otros órganos. Los factores genéticos desempeñan un papel preponderante en la fisiopatología de la enfermedad celíaca. Desde la detección de dicha enfermedad se eliminará de la dieta la ingestión directa de cualquier producto que lleve: trigo, avena, cebada, centeno y triticale. Hoy en día existen abundantes productos sustitutivos, fabricados sin gluten, así como normativas y asociaciones que informan adecuadamente a estos pacientes y a sus familias.

Capítulo #1: Revisión Bibliográfica.

En Cuba existen 250 pacientes con esa enfermedad y en nuestra provincia contamos con 31 por lo cual es necesario la elaboración de alimentos libres de gluten por lo que se ha tomado como base la elaboración de productos a partir de sorgo, cereal fácilmente cultivable en Cuba y además libre de gluten, con el se pueden elaborar confitería y repostería y además bebidas dentro de las que se destaca la malta y la cerveza. Para los pacientes con esta enfermedad el poder consumir estos productos hechos de sorgo aporta a su dieta una serie de proteínas y vitaminas muy necesarias para los humanos.

Conclusiones parciales

1. En la etapa de remojo, las concentraciones de soluciones alcalinas que deben ser empleadas para prevenir la contaminación por microorganismos no deseados y para mejorar significativamente la actividad diastática de la malta de sorgo, especialmente la actividad β -amilasa, deben estar en un rango entre 0,1% y 0.5%, dependiendo de la variedad empleada.
2. Los estudios realizados sobre la influencia del tiempo y la temperatura de remojo en la calidad de la malta han demostrado que los valores más adecuados oscilan entre 24 y 36 h, y entre 20 y 30°C, respectivamente.
3. Se recomienda en la germinación una temperatura de entre 25 y 30°C, valores inferiores (15 y 20°C) o superiores (35°C) afectan el poder diastático, los niveles de extracto, de azúcares y nitrógeno amino libre.
4. En la etapa de germinación, a una temperatura de 30°C, tiene mayor influencia el tiempo de germinación en las variedades de sorgo amarillo y rojo que en la variedad de sorgo blanco, necesitando esta última menor tiempo

Capítulo #2: Desarrollo Experimental

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

En los trabajos realizados anteriormente sobre el estudio del sorgo, en la producción de bebidas para enfermos celíacos, no se ha estudiado, al unísono en el proceso de malteado, el efecto de variables tales como la concentración de solución salina y el tiempo de remojo y de germinación. Por tanto, el propósito del presente trabajo es optimizar las etapas del señalado proceso con el objetivo de llevar a cabo la sustitución, en las cervecerías cubanas, de la malta de cebada por la malta de sorgo. El sorgo blanco empleado para este estudio es el que se ha empleado en las investigaciones previas (UDG-110), con poco contenido de taninos, cultivado en la Estación Experimental Agrícola del CIAP, con altos porciento de rendimiento dado por su doble condición de ser granífero y forrajero. Además, también es el utilizado en la industria alimenticia para la elaboración de panes y dulces.

Para cumplir con el objetivo propuesto se utilizó la un diseño, 2^k factorial, las variables independientes y sus niveles se muestran en la **tabla 2.1**.

Tabla 2.1. Variables independientes y sus niveles en la optimización del proceso de malteado del sorgo.

Variables	Niveles
<i>Concentración de NaOH (X_1)</i>	0,1-0,5 %
<i>Tiempo de remojo (X_2)</i>	24-36 h
<i>Tiempo de germinación (X_3)</i>	48-72 h

Estos niveles se tomaron de acuerdo a estudios reportados en la literatura (**Lyumugabe et al., 2012**) con otras variedades de sorgo y la experiencia de trabajos anteriores (**Reyes, 2013**),(**García, 2013**), donde se tuvo en cuenta el tiempo de remojo y la temperatura de germinación. Mediante el software Statgraphics se obtuvo la matriz experimental (**tabla 2.2**).

Tabla 2.2 Matriz experimental.

Exp.	NaOH(%)	TR(h)	TG(h)
1	0,1	36	48
2	0,1	12	72
3	0,1	12	48
4	0,3	24	60
5	0,5	12	48
6	0,5	36	72
7	0,5	36	48
8	0,5	12	72
9	0,1	36	72
10	0,1	36	48
11	0,1	12	72
12	0,1	12	48
13	0,3	24	60
14	0,5	12	48
15	0,5	36	72
16	0,5	36	48
17	0,5	12	72
18	0,1	36	72

2.1. Malteado del Sorgo

La finalidad del proceso de malteado es obtener las enzimas necesarias que degraden el almidón mediante la germinación uniforme de los granos; aquí la uniformidad germinativa de los mismos es decisiva para alcanzar una malta con características adecuadas de calidad y con el sabor y el aroma deseado. En este proceso se logra obtener las enzimas α -amilasa y β -amilasa que permiten convertir el almidón el disacárido y el monosacárido correspondientes, es decir, maltosa y glucosa, respectivamente.

El proceso de malteado está constituido por cuatro etapas fundamentales:

1. Clasificación del grano.
2. Remojo.
3. Germinación.
4. Secado.

2.1.1 *Clasificación del grano.*

Esta etapa se realiza con el objetivo de hacer una limpieza y selección del grano donde se desechan los que han sido fracturados durante el proceso de recolección o cosecha. En este sentido, primeramente se tamizó el sorgo para separar el polvo y otras impurezas que puedan encontrarse en él y seguidamente se escogieron los granos para eliminarle los dañados. Al principio de esta etapa la cantidad del material fue de 5 Kg y finalizada la misma el peso se redujo hasta 4,4 Kg de sorgo limpio, obteniéndose una pérdida del 12%. Para cada variante de los experimentos se usaron 120 g del sorgo seleccionado.

2.1.2. Etapa de remojo.

Mediante el remojo se logra aumentar la humedad hasta los niveles requeridos para este proceso, 45% generalmente. Como se señaló anteriormente, el tiempo de remojo varió de acuerdo a los experimentos desde 24 hasta 36 h, así como la concentración de hidróxido de sodio que se le añadió en el agua desde 0.1 a 0.5%, la cual sirve para incrementar el poder diastático en los granos y para evitar la contaminación por microorganismos no deseados que ocasionan olores desagradables. En esta etapa se siguió el mismo procedimiento utilizado en los trabajos de tesis anteriores, el consta de los siguientes pasos:

- i. Colocar el cereal en un recipiente adecuado.
- ii. Añadir agua con la concentración de NaOH requerida hasta un nivel superior al de los granos.
- iii. Cambiar el agua cada seis horas.

Finalizada la etapa de remojo, se le determinan el porciento de humedad alcanzado por los granos en cada uno de los distintos experimentos, los resultados se muestran en la **tabla 2.3**, los cuales fueron obtenidos mediante la **ecuación 2.1**.

$$\%Hdad = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i - P_c} \right) * 100$$

Ecuación. 2.1

Donde

P_i : Peso inicial

P_f : Peso final

P_c : Peso de la cápsula

Tabla 2.3 Valores porcentuales de humedad alcanzados en la etapa de remojo.

Exp.	Tiempo Remojo (h)	Humedad (%)
1	36	36,37
2	12	35,18
3	12	20,34
4	24	32,21
5	12	40,64
6	36	37,25
7	36	34,90
8	12	31,36
9	36	38,32
10	36	39,03
11	12	35,68
12	12	28,52
13	24	35,08
14	12	34,68
15	36	39,47
16	36	38,04
17	12	43,81
18	36	34,42

2.1.3. Etapa de germinación.

Luego de transcurrida la etapa de remojo, se procede con la de germinación de los granos. Se colocan en bandejas cubriéndolos con un paño húmedo con el objetivo de mantener una humedad cercana a la alcanzada en la etapa anterior. Se mantienen bajo estas condiciones en dependencia del tiempo de germinación (TG) de los distintos experimentos ya señalados hasta

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

que broten las raicillas o plumillas. La influencia del TG en la calidad de la malta fue estudiada en el rango de 48 a 72h.

2.1.4 Etapa de secado.

Para obtener malta clara se realiza el secado en una estufa de tiro de aire inducido de los granos ya germinados hasta alcanzar en esta etapa un porcentaje de humedad cercano al 5% como se establece para la malta de cebada, Para ello se utilizaron bandejas metálicas en las cuales se colocaron los granos en capas de 2 cm de espesor. En el primer capítulo se señalaron distintas temperaturas que pueden ser usadas en el secado para detener la actividad enzimática sin llegar a la desnaturalización de las enzimas, específicamente en el presente trabajo se comienza el secado con 65 °C durante 4 horas y luego la temperatura se redujo hasta 55 °C. Los valores de las distintas humedades obtenidas estuvieron en un rango entre 3.04 y 5.30 %.

Con respecto a las características organolépticas, las distintas muestras alcanzaron un olor característico, semejante al de la malta de cebada empleada en las cervecerías.

2.1.5 Tamizado y Molienda

Finalmente, se retiraron las raicillas de los granos producidas durante la germinación ya que perjudican la calidad del producto final. Debe hacerse lo antes posible después del secado debido a que es más fácil retirarlas cuando están secas y a que las raicillas son fuertemente higroscópicas.

2.2. Análisis de los resultados

Dentro de las propiedades determinadas a la malta de sorgo se encuentran el porcentaje de germinación, las pérdidas del malteado, el contenido de extracto y el poder diastático (**tabla 2.4**).

Tabla 2.4. Variables independientes y variables respuestas estudiadas.

Exp,	NaOH (%)	TR (h)	TG (h)	Germ (%)	PM (%)	DP (°L)	C. Extracto (g/100sln)
1	0,1	36	48	77	15,64	98,90	0,876
2	0,1	12	72	98	13,54	147,20	0,889
3	0,1	12	48	88	11,54	110,40	0,544
4	0,3	24	60	70	18,74	70,43	0,692
5	0,5	12	48	34	18,76	58,65	0,276
6	0,5	36	72	18	17,85	63,19	0,309
7	0,5	36	48	14	20,31	61,85	0
8	0,5	12	72	27	19,58	32,20	0,198
9	0,1	36	72	97	18,62	104,10	0,827
10	0,1	36	48	75	15,21	96,90	0,825
11	0,1	12	72	96	12,98	145,20	0,875
12	0,1	12	48	85	11,21	109,40	0,439
13	0,3	24	60	69	17,94	71,85	0,589
14	0,5	12	48	32	17,86	56,65	0,271
15	0,5	36	72	16	17,25	61,19	0,396
16	0,5	36	48	15	19,91	60,85	0,0001
17	0,5	12	72	25	20,08	35,20	0,157
18	0,1	36	72	95	19,62	101,10	0,85

2.2.1 Porcentaje de germinación.

Se le determinó el porciento de la germinación a partir de la **ecuación 2.2**, para lo cual se tomaron aleatoriamente 10 muestras de 100 granos cada una.

$$\%Ger = \frac{\text{granos germinados}}{\text{granos totales}} * 100$$

Ecuación 2.2

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

Los porcentos de germinación alcanzados no fueron del todo satisfactorios, en algunos granos hubo poco brote de raicillas y otros obtuvieron valores por debajo de la media, esto se debe principalmente a las concentraciones de NaOH empleadas y al tiempo de remojo y de germinación. Por ejemplo, los experimentos seis, siete, 15 y 16 obtuvieron los valores más bajos; en los mismos se añadió una concentración de NaOH de 0.5% lo que demuestra que a concentraciones muy altas de soluciones alcalinas se inhibe la germinación y por consiguiente la actividad enzimática. Por otro lado, el tiempo de remojo de los granos fue muy superior (36 h) al reportado por la literatura de 24 h para alcanzar un poder germinativo adecuado. Con respecto al tiempo de germinación, para los experimentos seis y 15, el tiempo empleado es el recomendado en la literatura para algunos tipos de sorgo, para alcanzar una indicada actividad enzimática; sin embargo, no se corresponden con los mayores valores de las otras variables estudiadas. En contraste, en los experimentos siete y 16 se emplearon tiempos de germinación inferiores a los anteriores, e igualmente no se alcanzaron buenos resultados.

Los experimentos cinco, ocho, 14 y 17 muestran igualmente, con la misma concentración, valores menores del 50% los mismos trabajan con la mitad de las horas reportadas en la literatura como factibles. Los mejores resultados >95% se muestran en los experimentos dos y 11, y nueve, y 18 (réplicas), respectivamente; esto se debe a que la concentración añadida es de 0.1% y a que el tiempo de germinación fue de 72 h, aunque se hayan empleado tiempos de remojo de 12 y 36 h.

Lo anteriormente descrito demuestra físicamente que la concentración de NaOH adecuada en la etapa de remojo de los granos de sorgo es de 0.1% y que no es idónea la de 0.5%, obteniéndose con el valor intermedio (0.3) porcentos de germinación inferiores a 70.

2.2.2 Pérdidas del malteado

Las pérdidas en el malteado vienen evidenciadas por el porcentaje de rendimiento de los granos de sorgo, esto depende mucho de la calidad que éste presente. Para su determinación se utilizó la ecuación que se muestra a continuación.

$$\% \text{ Pérd} = \frac{Pg - Pms}{Pg} * 100$$

Ecuación 2.3

Donde

Pg: peso inicial de la muestra.

Pms: peso de la malta seca

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

Las pérdidas en el malteado están relacionadas con las pérdidas que ocurren en las etapas del proceso, desde el remojo (los granos flotantes) y la de germinación. En el malteado de los granos de cebada se reportan pérdidas cercanas al 7% y para los de sorgo hasta 20%, los resultados en el presente trabajo son similares a los de la literatura

Los experimentos tres y su réplica (12), con una germinación entre 88 y 85%, son los que muestran pérdidas inferiores (11.54), en ellos se trabajó con 0.1, 12 y 48 de concentración de solución alcalina, tiempo de remojo y de germinación, respectivamente. Los peores resultados, coincidentes con los peores en la germinación, fueron obtenidos con 0.5, 36 y 48 en el mismo orden de variables independientes, lo que demuestra que tiene marcada influencia el primer factor (concentración de NaOH), aun cuando los dos restantes no se encuentran en los valores de los mejores experimentos (24 y 72 h). Con relación a los valores cercanos al 20%, los experimentos cinco, seis, 14, 15 y 17, también se corresponden con el fundamento anterior. Por tanto, tiene gran relación el poder germinativo y las pérdidas en el malteado con la concentración de NaOH empleada en la etapa de remojo.

2.2.3 Contenido de extracto.

Fue realizado mediante el método reflejado en **(Pelembé, 2004)**. Donde se determina la gravedad específica del extracto de malta por métodos gravimétricos a 20°C y la ecuación 2.4. Con la gravedad específica se calcula el contenido de extracto como un porcentaje en peso por la tabla Plato (ver anexo 2 y 3)

$$S = 0.99913 * \frac{C - A}{B - A}$$

Ecuación 2.4

Donde

A: peso picnómetro vacío

B: peso picnómetro con agua destilada.

C: peso picnómetro con la solución.

Los experimentos uno, dos y nueve y sus réplicas son los que muestran mejores resultados en el contenido de extracto, siendo los mayores valores con las menores concentraciones de NaOH, correspondiéndose también con los análisis de las variables respuesta anteriores.

2.2.4 Poder diastático.

Se determinó mediante el método propuesto en (Gomez et al., 1997) ,(ver anexo 4). Los cálculos se realizaron mediante las ecuaciones 2.5 y 2.6.

$$DP(húmedo) = (B - A) * 23$$

Ecuación 2.5

$$DP = \frac{DP(asis) * 100}{100 - M}$$

Ecuación 2.6

Donde

B: ml consumidos por el blanco

A: ml consumidos por los experimentos en la valoración

M: porcentaje de humedad de la malta.

Los mejores resultados en cuanto al poder diastático lo muestran los experimentos dos, tres y nueve, con valores entre 100 y 147⁰ L. En los tres experimentos se trabajó con una concentración de NaOH (%) de 0.1 y tiempos de germinación de 72 y 48 h, respectivamente; por lo que se aprecia que la mayor influencia en primer lugar la tiene la concentración alcalina y en segundo lugar el tiempo de germinación empleados. Estos resultados guardan una estrecha relación con el poder germinativo y las pérdidas en el malteado.

2.3. Análisis estadístico de la etapa de malteado.

2.3.1. Porcentaje de granos germinados.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple en el que se obtuvo la siguiente función objetivo:

$$Germ = 85.4028 - 36.25 * NaOH - 1.14583 * TR + 0.421875 * TG - 0.833333 * NaOH * TR - 1.82292 * NaOH * TG + 0.0164931 * TR * TG$$

Además se obtuvieron los gráficos superficie de respuesta y diagrama de Pareto que se muestran en la figura 2.1.

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

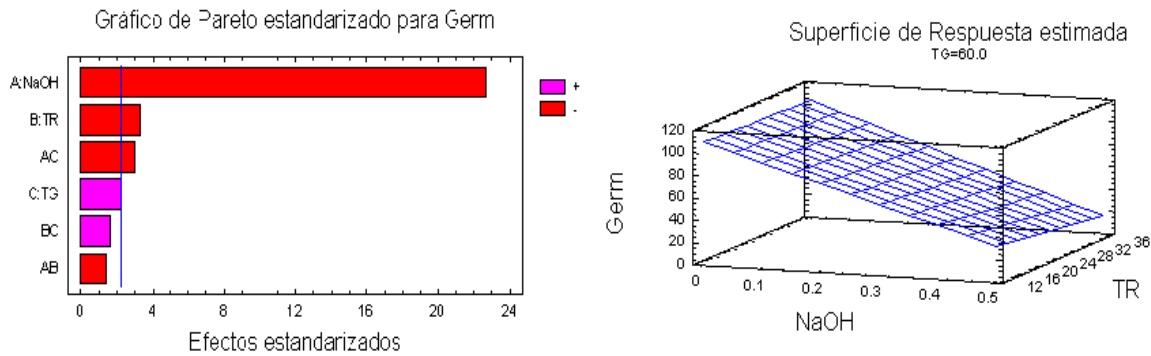


Fig. 2.1 Diagramas de superficie de respuesta y Pareto para la germinación.

Como se muestra en los resultados anteriores las variables más influyentes en el porcentaje de germinación son la concentración de hidróxido de sodio y el tiempo de remojo, que influyen negativamente sobre el proceso, a mayores concentraciones de hidróxido de sodio hay una inhibición en la germinación y por lo tanto el grano no germina y se pudre.

2.3.2 Pérdidas en el malteado.

Luego de analizar los resultados se obtuvo el siguiente modelo que describe la relación entre las pérdidas de malteado y las distintas variables independientes objeto de estudio, además de sus respectivos gráficos de Pareto y superficie de respuesta que se muestran en la figura 2.2.

$$P_m = -4.21569 + 44.0625 \cdot \text{NaOH} + 0.378802 \cdot \text{TR} + 0.198021 \cdot \text{TG} - 0.541146 \cdot \text{NaOH} \cdot \text{TR} - 0.344792 \cdot \text{NaOH} \cdot \text{TG} - 0.00197049 \cdot \text{TR} \cdot \text{TG}$$

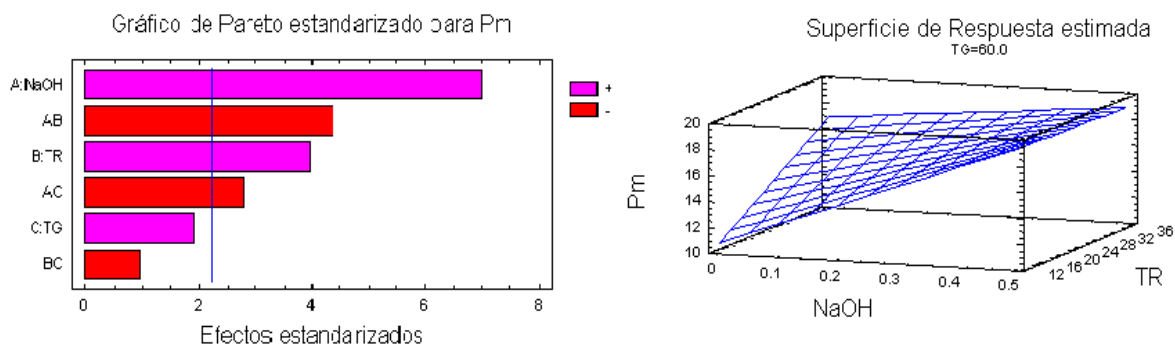


Fig. 2.2 Diagrama de Pareto y de superficie de respuesta para las pérdidas del malteado.

Las pérdidas en el malteado es una variable respuesta de esencial importancia en la economía del proceso, como se aprecia, en ellas tiene influencia significativa la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de remojo y las interacciones entre estas y la interacción también con el tiempo de germinación del hidróxido.

2.3.3 Poder diastático.

Con los resultados obtenidos anteriormente se logró la siguiente función objetivo que es descrita por los gráficos de Pareto y Superficie de repuesta.

$$DP = 86.8119 - 60.4625*NaOH - 1.26089*TR + 1.32995*TG + 4.5724*NaOH*TR - 3.33906*NaOH*TG - 0.00591146*TR*TG$$

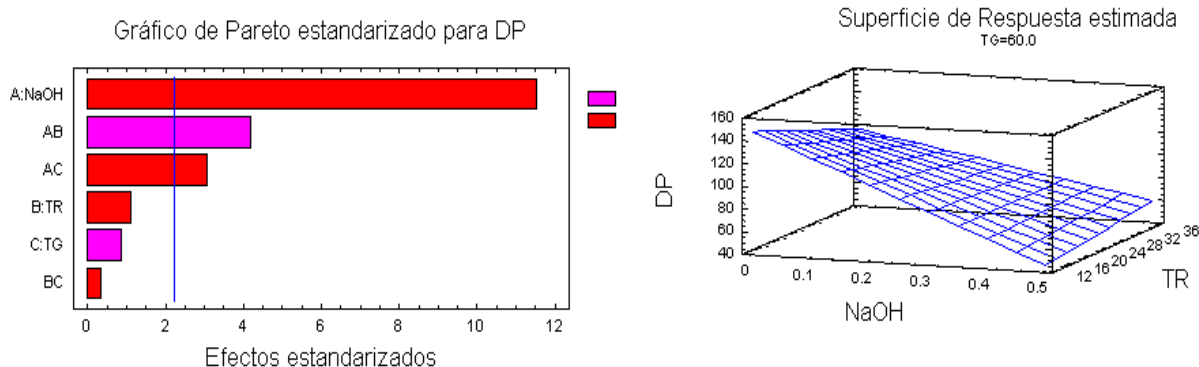


Figura 2.3 Diagrama de Pareto y superficie de respuesta para el poder diastático.

En el análisis de esta variable respuesta y la más importante en el uso de la malta como enzima, las variables independientes con significación, son también la concentración de hidróxido la cual debe estar en su menor concentración, seguida de las interacciones entre esta con el tiempo de germinación y el tiempo de remojo esto es lógico ya que, el PD depende también de la calidad en la germinación y estas dos variables fueron también las significativas en el porcentaje de germinación.

2.3.4 Contenido de extractos.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de diseño en donde se obtuvo la función objetivo descrita por los diagramas de Pareto y Superficie de repuesta, figura 2.4

$$Ext = 0.260959 - 0.513*NaOH + 0.00633568*TR + 0.0075638*TG - 0.0215599*NaOH*TR - 0.00635677*NaOH*TG + 0.0000398872*TR*TG$$

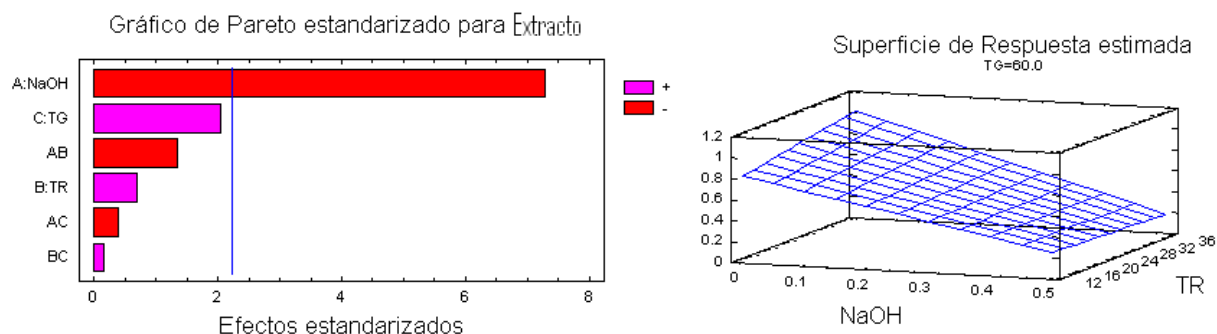


Figura 2.4: Diagrama de Pareto y superficie de respuesta para el Extracto.

En esta variable respuesta la única variable independiente significativa es la concentración de NaOH y cercana a esta el tiempo de germinación. Este parámetro es una medida de la cantidad de monosacáridos presentes en el extracto dado por una adecuada conversión de los almidones en azúcares simples.

Como se aprecia en todos los análisis los resultados estadísticos se corresponden con el análisis físico hecho anteriormente donde la presencia de NaOH es importante en el proceso de malteado, pero siempre a bajas concentraciones ya que a las mayores hay una inhibición afectando la germinación y el poder diastático por ende la calidad de la malta obtenida.

2.4. Optimización del proceso de malteado.

La optimización del proceso de malteado se realizó mediante el Solver del Excel. En él, puede buscarse el valor óptimo para una función objetivo. Además funciona en un grupo de celdas que estén relacionadas, directa o indirectamente, con la fórmula de la celda objetivo y ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas celdas ajustables, para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para los valores. Para realizar la optimización del proceso de malteado se tomaron las tres funciones objetivos obtenidas y se procesaron arribando a un óptimo muy semejante en las tres funciones, siendo los óptimos para la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de remojo y de germinación de 0.1%, 12, y de 72h, respectivamente.

Basados en los resultados obtenidos en la optimización del malteado, se maltearon 5 Kg de sorgo de los cuales se obtuvieron 4,4 Kg para un 12% de pérdidas, con un porcentaje de germinación de 96% y un poder diastático de 86,24°L, siendo este inferior a los reportados para los experimentos con estos mismos niveles porque se presentaron problemas con el fluido eléctrico en la etapa de secado que también influye en la calidad de la malta.

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

La caracterización, en minerales, de la malta obtenida del grano de sorgo comparada con el grano de sorgo y la malta de cebada aparece reflejada en la **tabla 2.5**.

Tabla 2.5. Composición en minerales de la malta de sorgo y la malta de cebada

Grano	% PB	Minerales %				
		Ca	Mg	Fe	Cu	Zn
Sorgo	12,5	0, 015	0,171	0,0042	0,00044	0,0025
Malta de Sorgo (SO)	11.01	0,0162	0,0256	0,0554	0,0342	0,0073
Malta de Sorgo	13,08	0,0602	0,0304	0,0108	0,00092	0,00437
Malta. Cebada	13,56	0,0366	0,026	0,0067	0.00065	0,0020

SO significa malteado del sorgo sin optimizar la etapa

Como se aprecia en el contenido de minerales, las cantidades para las maltas de sorgo son superiores a los del sorgo sin maltear excepto para el magnesio y superiores a las maltas de cebada. Cuando se comparan las dos maltas de sorgo, la estudiada en el presente trabajo, con la obtenida sin optimizar este proceso, también los resultados son superiores para el Ca no así para el Fe que son los minerales fundamentales que se le miden a las bebidas obtenidas a partir de este producto. En cuanto a las proteínas los tenores están muy cercanos a los del grano de sorgo y a la malta de cebada.

2.5. Proceso de producción de maltina a escala de laboratorio.

Preparación de las condiciones de trabajo para la realización de la prueba a escala de laboratorio

Luego de malteado el cereal se procedió a la obtención del producto final, para ello se tomó una de las relaciones estudiadas en trabajos anteriores (120 g/L de malta de sorgo)(**Ozuna, 2008**) que tuvo resultados satisfactorios. Se realizaron dos tandas de 5 litros cada una, las cantidades de materia prima a emplear, se muestran en la **tabla 2.6**.

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

Tabla 2.6. Cantidades de materias primas.

Materia prima		Cantidades		Unidades
Malta de sorgo	Malta clara	0,84	1,2	Kg
	Malta caramelo	0,36		
Azúcar		1,1		Kg
Caramelo		0,8		Kg
Enzima		0,08		L
Lúpulo		0,015		Kg

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

1. Maceración

Esta etapa se llevó a cabo siguiendo la carta tecnológica de la cervecería, el proceso se realizó en dos tandas de 5 litros cada una en un reactor enchaquetado con agitación, en una de estas se le añadió enzima para comparar el nivel de sacarificación y clarificación. La maceración comenzó con la adición del agua en el reactor, luego se elevó la temperatura hasta $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ y se añadieron los 1,2 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, en esta temperatura se le añadió la enzima amiloglucosidasa, 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. Por último se elevó la temperatura a $78\pm 1^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 10 minutos.

2: Filtrado del macerado

Terminada la maceración se realizó la operación de filtrado, la cual se realizó en un tamiz bien fino para evitar el paso de sólidos. Luego de retirado el primer extracto se añadió agua a 76°C sobre el afrecho para terminar de extraer los azúcares que todavía estaban presentes en él.

3: Cocción del mosto

Luego de haber filtrado se añadió el mosto a dos calderos donde 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, el azúcar y el lúpulo. En esta etapa el líquido tomó su olor y color característico

4: Decantación y filtrado

Después del cocinado la solución obtenida se decantó para facilitar el filtrado que posteriormente se llevaría a cabo con el empleo de una bomba al vacío.

5: Pasteurización y reposo.

El producto obtenido después del filtrado se pasteurizó en un autoclave para eliminar posibles microorganismos que pudieran estar presente en la malta, esta se almacenó a bajas temperaturas hasta su posterior emvasado y gasificación en la cervecería Antonio Díaz Santana, con el objetivo de que algunos niños celiacos de la localidad puedan degustarlas y comprobar su aceptación. En la **tabla 2.7** se muestran algunas propiedades determinadas a las maltas obtenidas.

Tabla 2.7 Propiedades determinadas a las maltas obtenidas

Muestras	Densidad Kg/m³	Viscosidad (cp)	Acidez (%)	Brix	pH	Color y sabor
<i>Malta S.E.</i>	1064	1,836	2,0	18,5	4,39	Buenos
<i>Malta C.E</i>	1021	1,661	0	8,5	4,58	Regular
<i>Malta SE.1</i>	1080	1,807		18	5,07	Buenos
<i>Malta SE.2</i>	1054	1,621	0,59	12	4,37	Buenos
<i>Malta CE (Y)</i>	1054	1,72	1,9	16,3	3,72	Buenos
<i>Malta Tímina (P)</i>	1050	1,631		14,5	4,78	Opt
<i>Malta Bucanero)</i>	1040	1,659		13	4,06	Opt

Malta S.E y C.E son las obtenidas en este trabajo.

Malta SE.1 Maltina obtenida en (Boffill, 2009)

Malta SE.2 Maltina obtenida en (Continuo, 2012)

Malta CE.3 Maltina obtenida en (García, 2013)

Como se aprecia en la tabla 2.7, el experimento sin la adición de la enzima exógena del presente trabajo muestra parámetros de calidad que se corresponden con los de los trabajos anteriormente realizados (Boffill, 2009) en cuanto a densidad, viscosidad, Brix, pH, color y sabor. En contraste, los resultados se alejan un poco de los obtenidos por (Continuo, 2012), específicamente, la acidez determinada, aunque se encuentra en los niveles permisibles. Es válido aclarar que los valores de calidad del experimento sin la adición de la enzima exógena son superiores a los de las maltas Tímina y Bucanero. El ensayo con adición de la enzima

Capítulo #2: Desarrollo Experimental.

exógena del presente trabajo muestra valores menores con relación al realizado por **(Boffill, 2009)** en cuanto a densidad, viscosidad y Brix; sin embargo, se corresponden con las maltas patrones.

Conclusiones parciales

1. La concentración de solución alcalina (NaOH) adecuada en la etapa de remojo de los granos de sorgo es de 0.1% y que no es idónea la de 0.5%, obteniéndose con el valor intermedio (0.3) porcentos de germinación inferiores a 70.
2. Los experimentos con una germinación de 88%, tres y su replica (12), son los que muestran pérdidas inferiores en el malteado (11.54), en ellos se trabajo con 0.1, 12 y 48 de concentración de solución alcalina, tiempo de remojo y de germinación, respectivamente. Los peores resultados, coincidentes con los peores en la germinación, fueron obtenidos con 0.5, 36 y 48 en el mismo orden de variables independientes; lo que demuestra que tiene marcada influencia la concentración de NaOH), aun cuando el tiempo de remojo y de germinación no se encuentran en los valores más aceptables. Por tanto, tiene gran relación el poder germinativo y las pérdidas en el malteado con la concentración de NaOH empleada en la etapa de remojo.

*Capítulo #3: Diseño y Análisis
Económico de una planta de malteado de
sorgo.*

3.1 Introducción al capítulo.

El proceso de malteado es una de las etapas más importantes para la producción de maltina, en la actualidad la malta de cebada es importada, por esto es de vital importancia contar con un diseño de la planta de malteado de sorgo.

A continuación se presenta la **Figura 3.1**, el diagrama de bloques de cada una de las etapas que componen el proceso.

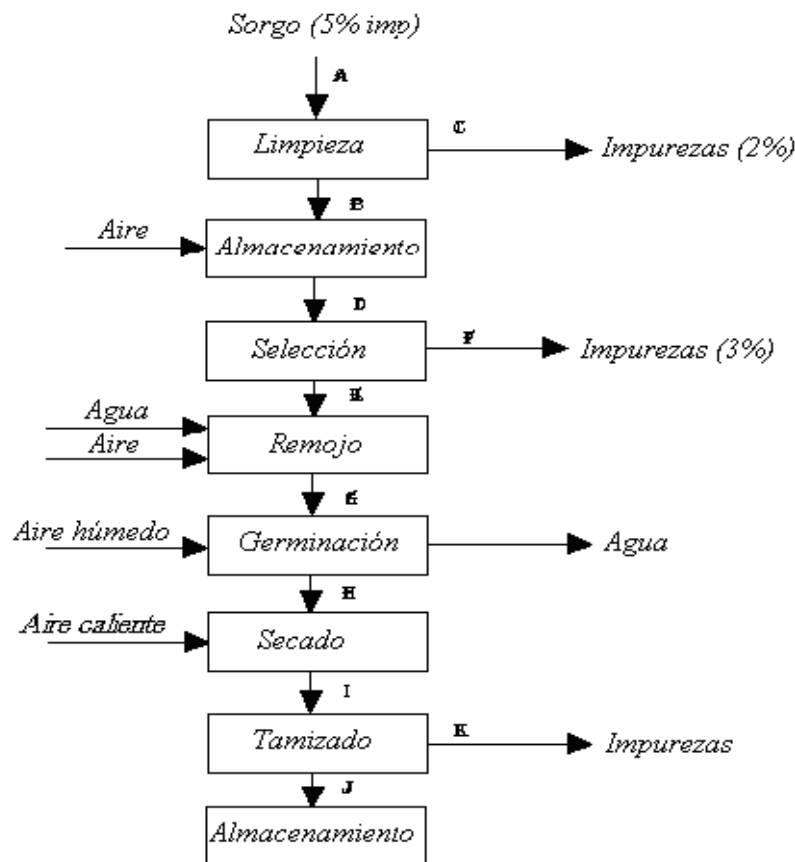


Figura 3.1. Diagrama de bloques del proceso de malteado.

3.2 Selección preliminar del equipamiento.

3.2.1 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.

3.2.2 Cribas.

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. Las cribas que se pueden usar miden 33 mm (13") de diámetro, y 47.5 mm (1 7/8") de profundidad, con agujeros circulares de 1/12" para semillas pequeñas o de triángulo con círculo inscrito de 5/64" (triángulo de 8/64"). Si no se cuenta con cribas apropiadas, se puede vaciar la muestra sobre una superficie limpia y separar manualmente las impurezas.

3.2.3. Tanques de remojo.

Para el remojo del grano se seleccionó un tanque de fondo cónico ya que el medio a almacenar es una mezcla de líquido y sólidos, además es más fácil su aireación y para la carga y descarga, así como para la limpieza.

3.2.4. Germinador.

La germinación usualmente es conducida por uno o dos métodos:

1. Método de tambor
2. Método de compartimentos.

Como la calidad de la malta es la misma en los dos métodos decidimos utilizar el método de compartimiento por presentar menores costos de inversión y mantenimiento.

3.2.5. Secadero.

En el proceso de secado se utilizan un secadero de bandejas o un secadero de lecho fluidizado, decidimos utilizar un secadero de bandejas por ser este utilizados en el secado de estos granos en el mundo, y presenta menor costo.

3.3. Balance de materiales.

Para la realización de estos cálculos se partió de una demanda de 750 Kg/día de malta de sorgo. Las etapas que se enumeran a continuación se corresponden con lo establecido en la **Figura 3.1**.

Etapas Nº 7

$J = 750 \text{ Kg/d}$	$J = I - 10\%I$	$I = J / 0.9$
$J = I - K$	$J = I(1 - .10)$	$I = 750 / 0.9$
$K = 10\%I$		$I = 833.33 \text{ Kg/d}$
$K = 0.1 * 833.33$		$K = 83, 33 \text{ Kg/d}$

Capítulo #3: Diseño y Análisis Económico de una planta de malteado de sorgo.

Etapas No 6

$$I(1-0.05)=H(1-0.45) \quad H=I*0.95/0.55$$

$$H=833.33*0.95/0.55$$

$$\mathbf{H = 1439.39 \text{ Kg/d}}$$

Etapas No 5

Hay que tener en cuenta que durante el remojo hay un aumento del 30% del sorgo que entra y en la germinación también.

$$H = 1.3G \quad G=1439.39/1.3$$

$$G=H/1.3 \quad \mathbf{G=1107.22 \text{ Kg/d}}$$

Etapas No 4

$$G = 1.3E \quad E=1107.22/1.3$$

$$E=G/1.3 \quad \mathbf{E=851.71 \text{ Kg/d}}$$

Etapas No 3

$$D = E+F \quad D=E+3\%D \quad D=E/0.97 \quad \mathbf{D=878.05 \text{ Kg/d}}$$

$$F = 3\%D \quad E=D(1-0.03) \quad D=851.71/0.97$$

$$F=0.03*878.05$$

$$\mathbf{F=26.34 \text{ Kg/d}}$$

Etapas No 2

$$B = D$$

$$B=878.05 \text{ Kg/d}$$

Etapas No 1

$$A = B+C \quad A=B+2\%A \quad A=B/0.98 \quad \mathbf{A=895.97 \text{ Kg/d}}$$

$$C = 2\%A \quad B=A(1-0.02) \quad A=878.05/0.98$$

$$C=0.02*895.97 \quad \mathbf{C=18 \text{ Kg/d}}$$

3.4. Dimensionamiento de los equipos principales.

Tabla 3.1 Dimensionamiento de los Tanques de almacenamiento (silos).

<i>Ecuación</i>	<i>Datos</i>	<i>Resultados</i>	<i>Referencia</i>
$V_o = B / \rho$	$B = 79\,024,5 \text{ Kg/3m}$ $\rho_{\text{sorgo}} = 660 \text{ Kg/m}^3$	$V_o = 119,73 \text{ m}^3/3\text{m}$	(Ulrich, G. D., 1985)
$V_{\text{cil}} = V_o / n$	$n = 5$ $V_o = 119,73 \text{ m}^3/\text{a}$	$V_{\text{cil}} = 23,95 \text{ m}^3$	
$V_{\text{cil}} = d^2 \cdot h \cdot \pi / 4$ $h = 2 \cdot d$ $d = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot V_{\text{cil}}}{\pi}}$	$V_{\text{cil}} = 23,95 \text{ m}^3$	$d = 2,52 \text{ m}$ $h = 5,04 \text{ m}$	

Tabla 3.2 Dimensionamiento de las cribas vibratorias.

<i>Ecuación</i>	<i>Datos</i>	<i>Resultados</i>	<i>Referencia</i>
$A_3 = \frac{Q_m}{K \cdot q \cdot \rho}$	$Q_m = 0,780 \text{ t/h}$ $dp_3 = 2 \text{ mm}$ $q_3 = 5,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ $k = 0,88 \cdot 10^{-3} \text{ t/kg}$ $\rho_{\text{sorgo}} = 660 \text{ kg/m}^3$	$A = 0,32 \text{ m}^2$	(Rosabal J.M 1988)
	Cribas		
Ancho Longitud	800 mm -1600 mm		
Área	1,28 m ²		
Nº de tamices	2		

Capítulo #3: Diseño y Análisis Económico de una planta de malteado de sorgo.

Dimensiones de los agujeros	5		
Superior 3;5	1,6		
Inferior 1,6			
Capacidad máx.	56 t/h		
Potencia del motor	2,8 KW		

Tabla 3.3 Dimensionamiento de los tanques de remojo

<i>Ecuación</i>	<i>Datos</i>	<i>Resultados</i>	<i>Referencia</i>
$X=E/t$	$E = 851,7\text{kg/d}$ $t = 24\text{h}$	$X = 35,5 \text{ kg/h}$	(Pargas M. 1994)
$\text{Kg/templa} = 1,3 \cdot X \cdot t_r$	$t_r = 36 \text{ h}$ $x=35,5$	$\text{Kg/templa} = 1661,4$	
$\text{m}^3/\text{temp} = (\text{kg/temp})/\rho$	$\rho_{\text{del sorgo}} = 660\text{kg/m}^3$	$\text{m}^3/\text{temp} = 2,52$	
$V = (\text{m}^3/\text{temp})/n$	$n = 2$	$V = 1,26 \text{ m}^3/\text{tanque}$	
$V_t = V_{\text{cil}} + V_c$ $V_t = (\pi \cdot d^2 \cdot h_{\text{cil}})/4 + (\pi \cdot d^2 \cdot h_{\text{cono}})/12$ $d = \sqrt[3]{\frac{V_t}{1.854}}$	$h_{\text{cono}} = d/0,46 \cdot 2$ $h_{\text{cil}} = 2d$ $V = 1,26 \text{ m}^3$	$d = 0,8 \text{ m}$	
$h_{\text{cil}} = 2d$	$d = 0,8 \text{ m}$	$h_{\text{cil}} = 1,6 \text{ m}$	
$h_{\text{cono}} = d/0,46 \cdot 2$	$d = 0,8 \text{ m}$	$h_{\text{cono}} = 0,86 \text{ m}$	

Tabla 3.4 Dimensionamiento de los Germinadores.

Ecuación	Datos	Resultados	Referencia
$\text{kg/temp} = G \cdot t_r$	$G = 46,13 \text{ kg/h}$ $t_G = 80 \text{ h}$	$\text{Kg/templa} = 3690,4$	(Pargas M. 1994)
$\text{m}^3/\text{temp} = (\text{kg/temp})/\rho$	$\rho_{\text{sorgo}} = 660 \text{ kg/m}^3$	$\text{m}^3/\text{temp} = 5,6$	
$V = (\text{m}^3/\text{temp})/n$	$n = 2$	$V = 2,8 \text{ m}^3$	
$V = a \cdot b \cdot z$	$z = 1 \text{ m}$	$a = 1,4 \text{ m } b = 2 \text{ m}$	

Tabla 3.5 Dimensionamiento del Secadero.

Ecuación	Datos	Referencia
$s.s = s.t(1-0,45)/(1-0,05)$	$s, t = 1439,4 \text{ kg/d}$ $s.s = 833,33 \text{ kd/d}$	
Temperaturas	$T_G = 30, ^\circ\text{C}$ $T_{a,s} = 60 ^\circ\text{C}$ $T_W = 25 ^\circ\text{C}$ $T_S = 40 ^\circ\text{C}$	Datos del experimento.
$C_s = (1,884 + 1,005 Y)$	$Y = 0,02 \text{ kgv/kgas}$ $\lambda_s = 2403 \text{ kj/kg}$ %de sat, = 64 $Y'_s = 0,05 \text{ a la } T_S = 40 ^\circ\text{C}$ $H_{a,atm} = 80 \text{ kj/kgas}$ $\rho_{\text{malta}} = 660 \text{ kg/m}^3$ $V_{\text{hum}} = 0,875 \text{ m}^3/\text{kg}$ $C_s = 1,042 \text{ kj/kg}^\circ\text{C}$	Sobre la carta de humedad
	$z = 25 \text{ mm}$ Espacio entre bandeja = 38 mm $v_a = 1 \text{ m/s}$ (el mejor valor 0,5-1,25 m/s) Recirculación del aire 70-80% $A_b = 0,60 \text{ m}^2$ (entre 0,37-0,74) bandejas cuadradas de lado 0,7746 m	Por el folleto de (Gallardo y Col.) se asume los datos de diseño..
	$U_K = 21,2 \text{ kj/sm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	

Capítulo #3: Diseño y Análisis Económico de una planta de malteado de sorgo.

$h_R = (5,729 \cdot 10^{-8}) \cdot (T_R^4 - T_S^4) / (T_R - T_S)$	$T_R = T_G = 333K$ $T_S = 313K$ $h_R = 7,73 \text{ kJ/s-m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	
$h_C = 24,2 G^{0,37}$ $G' = v_a \cdot \rho_a$ $\rho_a = (1 + Y') / V_{\text{hum}}$	$Y = 0,02 \text{ kgv/kgas}$ $V_{\text{hum}} = 0,875 \text{ m}^3/\text{kg}$ $\rho_a = 1,16 \text{ kg/m}^3$ $G' = 1,16 \text{ kg/hm}^2$ $h_C = 25,56 \text{ kJ/s-m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	
$L_S = L \cdot (1 - 0,05)$	$L = 833,33 \text{ kg/d}$ $L_S = 791,66 \text{ kg}$	(Treybal R E, 1980)
$(L_S / A_S) = \rho_s \cdot z$ $A_S = L_S / \rho_s \cdot z$	$\rho_{\text{malta}} = 660 \text{ kg/m}^3 \quad z = 25 \text{ mm}$ $L_S = 791,66 \text{ kg} \quad A_S = 48 \text{ m}^2$	
$N_b = A_S / A_b$	$A_S = 48 \text{ m}^2 \quad A_b = 0,36 \text{ m}^2 \quad N_b = 133$	
$F_a = A_{EL} \cdot v_a \cdot (N_b - 1)$	$A_{EL} = 6,03 \quad N_b - 1 = 132 \quad F_a = 6,03 \text{ m/s}$	

Tabla 3.6 Dimensionamiento de los silos de almacenamiento.

Ecuación	Datos	Resultados	Referencia
$V_c = J / \rho$	$\rho_{\text{sorgo}} = 660 \text{ kg/m}^3$ $J = 225\,000 \text{ kg/a}$	$V_c = 450 \text{ m}^3/\text{a}$	(Pargas M, 1994)

3.5. Sistemas auxiliares.

3.5.1 Sistema de transporte de sólidos.

El sistema auxiliar de transporte de sólidos es uno de los fundamentales en una planta de esta clase. Se selecciona los elevadores de cangilones para transportar el grano de un piso

Capítulo #3: Diseño y Análisis Económico de una planta de malteado de sorgo.

a otro y los transportadores de correa para hacerlo en la dirección horizontal debido a que estos cumplen con las exigencias del proceso y tienen un costo relativamente aceptable.

3.5.2 Sistema de calentamiento e impulsión de Aire.

En los secaderos de bandejas hay un calefactor que será el encargado de calentar el aire a la temperatura necesaria (60°C). Este secador consta de un ventilador o soplador de aire el cual impulsara el aire por todo el secador, este aire que necesita el secador llegara al mismo proveniente de los compresores.

3.5.3 Sistema de bombeo.

Los sistemas de bombeo son esenciales en cualquier planta de la industria química. Al analizar los parámetros expuestos nos decidimos por la bomba centrífuga ya que es capaz de transportar fluidos de viscosidad moderada y con suspensión, de temperaturas entre los -250°C y los 500°C, trabajan a presiones menores de 350 bar. También son capaces de tratar capacidades valores altos de flujo, presenta una eficiencia elevada, se les realiza fácilmente mantenimiento y presentan un bajo costo.

3.6. 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.

3.6.1. Estimado del Costo total de Inversión.

Determinación del Costo de Inversión

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

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

Costo del equipamiento

Los costos de los equipos se obtienen del **(Peter, 1991)** y fueron actualizados usando los índices de costos correspondientes:

$$\text{Costo actual} = \text{Costo original} * \text{índice actual} \frac{\boxed{\text{índice actual}}}{\boxed{\text{índice original}}}$$

Índice de costo original = 356 **(Peter, 1991)**

Índice de costo actual = 575 **(Chemical Engineering, 2014)**

A continuación en la **Tabla 3.7** se muestra el costo de adquisición del equipamiento, así como el número de equipos a instalar en cada caso.

Tabla 3.7 Costo de adquisición del equipamiento.

Nombre	Costo actualizado (\$)	Nº Equipos	Costo total (\$)
Tanque de almacenamiento	1850	5	9 250
Elevadores	5 300	3	15 900
Cribas	5 000	3	15 000
Tanque de remojo	7 250	2	14 500
Germinadores	9 000	2	18 000
Secadero	10 000	1	10 000
Bomba centrífuga	1 800	1	1 800
Costo Total de adquisición			84 450

El estimado del costo total de la inversión se realizó sobre la base del costo total del equipamiento, para el cual, se estimaron los aspectos que para la planta inciden en la Inversión fija y la inversión de trabajo. El estimado del costo de inversión para esta planta se presenta a continuación en la **Tabla 3.8**.

Tabla 3.8 Estimado del Costo total de la Inversión.

Estimación de los Costos Directos		
Componentes	%	Costo (\$)
Costo del equipamiento (E)		84 450
Instalación	39% E	32 935,5
Instrumentación	13% E	10 978,5
Instalaciones eléctricas	10% E	8445
Tuberías	31% E	26179,5
Facilidades de servicio	55% E	46447,5

Capítulo #3: Diseño y Análisis Económico de una planta de malteado de sorgo.

CD		124 986
Estimación de los Costos Indirectos		
Componentes	%	Costo (\$)
Ingeniería y supervisión	32% E	27 024
CI		27 024
CD + CI		152 010
Otros Componentes	%	
Derecho de contrato	5% (CD + CI)	7 600,5
Contingencia	10% (CD + CI)	15 201
Inversión de trabajo (IT)		0.15*CTI
Costo Fijo de Inversión (CFI)		174 811,5
Costo Total de Inversión(CTI)		205 660,6

3.6.2. Estimado del Costo de Producción.

En el estimado del costo de Producción, para la obtención de los productos principales de la tecnología propuesta, se tuvo en cuenta, los gastos de materia prima, mano de obra y requerimientos del proceso como resultados de las necesidades y los demás elementos se determinaron, según la metodología expuesta por **(Peter, 1991)**.

Costos de fabricación = Costos Variables + Costos Fijos + Costos exteriores

Costos Totales de producción = Costos de Fabricación + Gastos generales

Empleado las mismas relaciones de costos, planteado en la metodología reportada por **(Peter, 1991)**, se estima el costo de total de producción, el cual se muestra en la **Tabla 3.9**

Tabla 3.9. Costo de Producción de la planta.

Estimación de los Costos Directos		
Componentes	%	Costo (\$)
Materia prima (sorgo, NaOH)		53 758,2
Mano de obra	10 % CTP	11 911,3
Supervisión	15 % Mano de obra	1 786,7
Requerimientos	10 %CTP	11 911,3
Mantenimiento y reparación	2 %CFI	3496,23
Suministro	0,5 % CFI	874,1
CD = 58 128,53 + 0.215 CTP		
Estimación de Cargos Fijos		
Componentes	%	Costo (\$)
Depreciación		16 251.88
Impuestos	1 %CFI	1 748,12
Seguros	0,4 % CFI	699,24
Cf =Depre + 0,014 CFI= 18 699,24		
Estimación de los Costos Indirectos		
Costos indirectos	5% CTP	5 955,61
CI = 0,05 CTP		
Gastos Generales		
Componentes	%	Costo (\$)
Administrativos	2 % CTP	2 382,26
Distribución y ventas	2 %CTP	2 382,26
Investigación y desarrollo	5 %CTP	5 955,61
GG = 0,09 CTP		

Capítulo #3: Diseño y Análisis Económico de una planta de malteado de sorgo.

Como $CTP = CF + GG$, sustituyendo las ecuaciones obtenidas en las tablas anteriores tenemos que:

$$CTP = 76\,827,8 + 0,355 CTP$$

$$CTP = 119\,113 \text{ \$/año}$$

3.6.3 Análisis de sensibilidad

Realizando un análisis de sensibilidad en el precio del producto, pues no existen referencias sobre los precios en el mercado de la malta de sorgo y en trabajos anteriores se han tomado valores muy por debajo de los que realmente pudiera tener, dado el precio de este cereal actualmente en el mercado se analizó cual sería el precio de la malta de sorgo que daría resultados positivos en la ganancia. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3.10**.

Tabla 3.10 Análisis de sensibilidad

Precio del producto (\$/ton)	Ganancia (\$/año)
350	-40 363
400	-29 113
450	-17 863
500	-6 613
550	4 637
600	15 887
650	27 137
700	38 387

El análisis de sensibilidad realizado demuestra que la inversión propuesta es factible para precios de la malta que estén por encima de 550 \$/año, o sea este es el valor mínimo que puede alcanzar el producto para garantizar la factibilidad de la inversión. En este análisis todos los valores están por debajo del precio al que oscila la malta de cebada (800-1100 \$/ton.) en el mercado internacional. Con este resultado se procedió a realizar el cálculo de los indicadores dinámicos.

3.7. Indicadores de rentabilidad. VAN, TIR y PRD.

Una valoración de la factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo de los indicadores dinámicos el VAN, la TIR y el PRD, tomando una tasa de interés del 12 %.

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujodecaja}}{(1+i)^k} - \text{Inversión total} \quad (3.1)$$

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

Los resultados obtenidos se determinaron por un programa realizado con la ayuda del Microsoft Excel, donde se evaluaron los indicadores económicos mediante la metodología planteada por **(Peter, 1991))**, los cuales, están en correspondencia con este tipo de planta en cuanto a su factibilidad teniendo en cuenta la venta del producto principal.

En la **Tabla 3.11** se muestran los resultados de la evaluación de los indicadores dinámicos y en la **figura 3.3** el perfil del VAN.

Tabla 3.11. Indicadores dinámicos.

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>
Valor Actual neto (VAN)	\$318 591,73
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	37 %
Plazo de Recuperación al descontado (PRD)	3.4 años

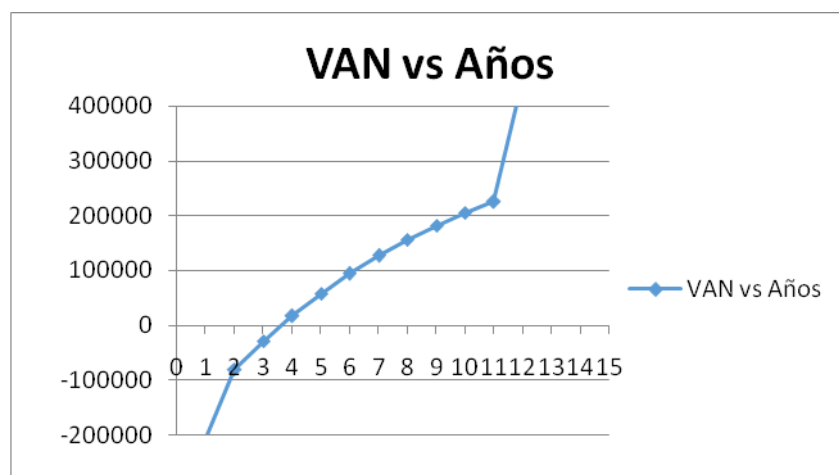


Figura 3.2. Perfil del VAN.

3.8. Conclusiones Parciales.

1. La planta propuesta tiene un costo de la inversión de \$ 205 660,6, y un costo total de producción de 119 113 \$/año, estos valores para 225 ton/año.
2. El análisis de sensibilidad variando el precio de la Malta demostró que la inversión propuesta es factible para 550 \$/ton. valor muy inferior al precio de la malta de cebada, obteniéndose una ganancia mínima de 4 637 \$/año.
3. La inversión de la planta se justifica desde el punto de vista social, pues esto permite obtener un producto para niños con enfermedades celiacas, mejorando así su dieta alimenticia y de producción nacional, la cual no se reporta en la literatura y desde el punto de vista económico ya que se obtuvo un período de recuperación (PRD) de 3.4 años y una tasa de rendimiento interno (TIR) de 37 %.

4.

Conclusiones

Conclusiones Generales

1. La optimización del proceso de malteado arrojó que, para sustituir la malta de cebada por la malta de sorgo, el óptimo de las variables estudiadas fueron para la concentración de NaOH, el tiempo de remojo y de germinación de 0.1 (%), 12 y 72(h), respectivamente, siendo el tiempo de remojo obtenido inferior al reportado por la literatura (24 h).
2. La calidad de las maltinas tanto desde el punto de vista organoléptico como otros parámetros de calidad están en los rangos de las maltinas que se comercializan en el país, excepto en el color para la que contenía enzima.
3. La optimización de la etapa de malteado garantiza la no utilización de enzimas exógenas en estas producciones, dado la calidad de la bebida obtenida.
4. En el análisis económico de la producción de malta a partir de sorgo se obtuvo un valor actual neto de **\$318 591,73**, una tasa de rendimiento interno de 37% y un período de recuperación de 3,4 años.
5. El análisis de sensibilidad mostró como resultado que se puede obtener una ganancia de 4637 \$/año a partir de un precio de venta de la malta de sorgo de 550 \$/ton para ser utilizada como materia prima en la elaboración de maltas y cervezas, muy inferior al precio de la malta de cebada que compran las cervecías.
6. Con este trabajo queda puesta en punta la tecnología para un posterior escalado y para la producción industrial de maltina a partir de malta de sorgo.

Recomendaciones

Recomendaciones

1. Continuar el estudio del malteado de sorgo con otras variedades de este grano.
2. Realizar una prueba a planta piloto o a escala industrial en la producción de maltinas.
3. Con el objetivo de mejorar los indicadores económicos de las plantas se recomienda valorar la conveniencia de implantar las plantas de malteado anexas a la cervecería, ahorrando en los sistemas auxiliares de la misma y algún equipo que pudiera aprovecharse.

Bibliografía

Bibliografía

2. AGU, R. C. & PALMER, G. H. 1996. Enzymatic breakdown of endosperm proteins of sorghum at different malting temperatures. *J. Inst. Brew.*, 102, 415-418.
3. AISIEN, A. O. & PALMER, G. H. 1983. The sorghum embryo in relation to the hydrolysis of the endosperm during germination and seedling growth. *J. Sci. Food Agric.*, 34, 113-121.
4. BOFFILL, Y. (2009). Incremento del valor agregado del sorgo mediante procesos biológicos industriales. Ingeniería Química. Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
5. CHAVIANO, M. 2005. El sorgo: Contribución al desarrollo sostenible y ecológico de la producción popular de arroz. *Agricultura Orgánica*, 1, 8-11.
6. DEMUYAKOR, B. & OHTA, Y. 1992. Malt characteristics of Sorghum vulgare varieties from Ghana. *J. Sci. Food Agric*, 59, 457-462.
7. DEWAR, J., TAYLOR, J. R. N. & BERJAK, P. 1997. Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *J. Cereal Sci.*, 26, 129-131.
8. FRENCH, B. J. & MCRUER, G. R. 1990. Malt quality as affected by various steep aeration regimes. *Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am.*, 27, 10-14.
9. GALLARDO, I. 2012. PRODUCCIÓN DE BEBIDAS USANDO SORGO MALTEADO COMO MATERIA PRIMA PARA ENFERMOS CELIACOS. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 61-73.
10. GONZÁLES, E. 2012. SORGO DULCE, OTRO CULTIVO AZUCARERO QUE PROMETE. Habana, Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
11. HERRERA, J. L. 1999. Sorgo Blanco. Alternativa para la alimentación humana. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
12. KUMAR, L. S. & DAUDU, M. A. 1992. Seed mycoflora and malting characteristics of some sorghum cultivars. *J. Cereal Sci.*, 15, 203-209.
13. MAOURA, N. & POURQUIE, J. 2009. *Sorghum beer: production, nutritional value and impact upon human health.* , Burlington, MA, USA.
14. MOLL, M. 1991. Bières. Paris : Lavoisier Tec & Doc.
15. MORRALL, P., BOYD, H. K., TAYLOR, J. R. N. & WALT, W. H. V. D. 1986. Effect of germination time, temperature and moisture on malting of sorghum (*Sorghum bicolor*). *J. Inst. Brew.*, 92, 439-445.

Bibliografía

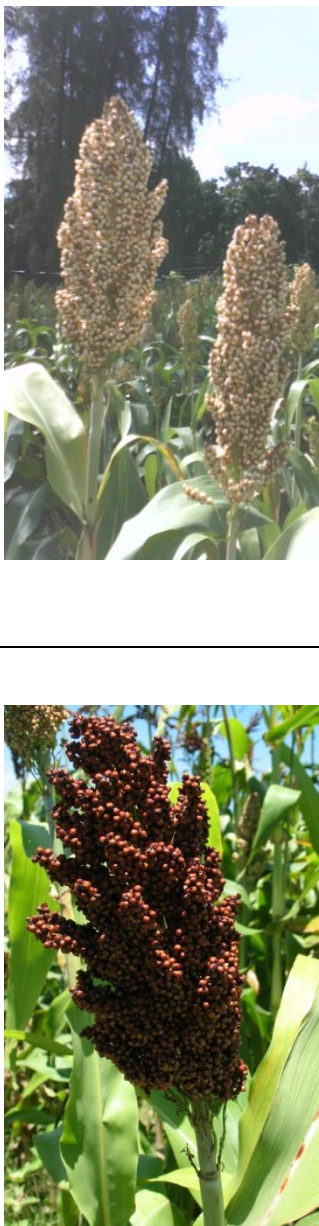
16. NOVIELLE, L. Beverages from sorghum and millets. Congress of the International 1976 Vienna. London.
17. OKOLO, B. N. & EZEUGU, L. I. 1996. Duration of final warm water steep as a crucial factor in protein modification in sorghum malts. *J. Inst. Brew.*, 102, 167-177.
18. OWUAMA, C. I. & ASHENO, I. 1994. Studies on malting conditions for sorghum. *Food Chem.*, 49, 257-260.
19. P. CARTER. 2009. Sorghum Milo. UTC [Online]. Available: <http://www.ksgrains.com/sorghum/MiloMania.PDF> [Accessed 19/06/2006].
20. PARGAS, M. 1994. *Estudios de Germinación del sorgo para producir malta*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
21. PARMER, A. 1997. Effect of mashing procedures on some sorghum varieties germinated at different temperatures. *Process Biochemistry*, 32, 147-158.
22. PATHIRANA, R. A., SHIVAYOGASUNDARAM, K. & JAYATISSA, P. M. 1983. Optimization of conditions for malting of sorghum. *J. Food Sci. Technol.*, 20, 108-112.
23. RODRÍGUEZ, L. 2010. *Obtención de Bioetanol a partir de sorgo, empleando las Enzimas generadas del malteo del propio grano.*, Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.
24. RUIZ, Y. 2006. *Elaboración y evaluación de maltas cerveceras de diferentes variedades.*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
25. SÁNCHEZ, H. D. 2008. D. Infante Pina Pediatr Integral. *Cienc. Tecnol. Aliment*, 6, 109-116.
26. Saucedo, O. "Utilización del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) en la alimentación de los niños celiacos". Proyecto Territorial de Ciencia e Innovación. Tecnológica (PTCIT).
27. GOMEZ, M., OBILANA, A. B., D F MARTIN, MADZVAMUSE, M. & MONYO, E. S. 1997. Quality evaluation of sorghum and pearl millet., 118.
28. LEFYEDI, M. L. & TAYLOR, J. R. N. 2006. Effect of dilute alkaline steeping on the microbial contamination, toxicity and diastatic power of sorghum malt. *J. Inst. Brew.*, 112, 108-116.
29. LYUMUGABE, F., GROS, J., NZUNGIZE, J., BAJYANA, E. & THONART, P. 2012. Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 16(4), 509-530.

Bibliografía

30. NELLES, E. & TAYLOR, J. 2002. *Improvement in sorghum malting by a simple chemical treatment during steeping*, CSIR, Bio/Chemtek: Pretoria.
31. OKOLO, B. N. & EZEUGU, L. I. 1996. Duration of final warm water steep as a crucial factor in protein modification in sorghum malts. *J. Inst. Brew.*, 102, 167-177.
32. OKUNGBOWA, J., OBETA, J. A. N. & EZEUGU, L. I. 2002. Sorghum β -amylase production: relationship with grain cultivar, steep regime, steep liquor composition and kilning temperature. *J. Inst. Brew.*, 108, 362-370.
33. OZUNA, Y. 2008. *Obtención de maltina a partir de sorgo malteado para niños celíacos.*, Martha Abreu de Las Villas.
34. PALMER, G. H., ETOKAKPAN, O. U. & IGYOR, M. A. 1989. Review: sorghum as brewing material. *MIRCEN J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 5, 265-275.
35. SERNA, S. O., URÍAS, D. ,DEL POZO, D. Y HERNÁNDEZ, C. 2005. Efecto de la adición de amiloglucosidasa en las propiedades de cervezas lager producidas a partir de sorgo. *Revista digital de posgrado, investigación y extensión del Campus Monterrey*, 70.
36. Treybal R.E., "Operaciones de Transferencia de Masa", Editorial Mc Graw-Hill, 3^{ra} Ed, New York, 1980
37. Tinima. Reporte de accesoria sobre producción más limpia realizado en la cervecería Tinima septiembre 2002
38. PETERS, M. 1991. *Plant Desing and Economics for Chemical Engineers.*, United States.
39. ROSABAL, J. & V., M. 1989. "*Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas.*".
40. ULRICH, G. 1985. "*Diseño y Ecocomía de los Procesos de Ingeniería Química.*".

Anexos

Anexo 1 Algunas variedades del sorgo cultivadas en Cuba

Variedad	Características generales	Propósito	Foto
UDG -110	Tipo: sorgo granífero Color: Beige Porte: Medio (1,20 m) Ciclo: 100-120 días Rendimiento t.ha⁻¹: 3.0 Densidad de plantas por ha: 150 – 160 000 • Enfermedades Tolerante <i>Puccinia sorghi</i>, Resistente <i>Helminthosporium turcicum</i>	Alimentación animal y humana. Se ha utilizado como sustituto de harina de trigo en extensor cárnico, elaboración de cerveza, pan, repostería, pastas alimenticias y alimento para niños celiacos.	
CIAP 132 R	Tipo: sorgo granífero Color: rojo Porte: Bajo (0,90-1.00 m) Ciclo: 90-100 días Rendimiento t.ha⁻¹: 2.0 - 3.0 Densidad de plantas por ha: 180 – 200 000	Alimentación animal. Factibilidad de cosecha manual. Alta capacidad de rebrote y emisión de vástagos por plantón Posibilidad de rotar con tabaco, basado en su corto ciclo.	
CIAP SD 29 F			
CIAP 6E-95			
CIAP 60 V			
CIAP 9E-95			

Conclusiones Generales

Anexo 2 Tabla de platos para el contenido de extractos.

Gravedad Específica 20°C/20°C	g Extracto en 100 g Solución	Gravedad Específica 20°C/20°C	g Extracto en 100 g Solución	Gravedad Específica 20°C/20°C	g Extracto en 100 g Solución	Gravedad Específica 20°C/20°C	g Extracto en 100 g Solución
1.00000	0.000	1.00280	0.642	1.00500	1.283	1.00760	1.923
1.00005	0.013	1.00255	0.655	1.00505	1.286	1.00755	1.935
1.00010	0.026	1.00260	0.668	1.00510	1.308	1.00760	1.948
1.00015	0.039	1.00265	0.680	1.00515	1.321	1.00765	1.961
1.00020	0.052	1.00270	0.693	1.00520	1.334	1.00770	1.973
1.00025	0.064	1.00275	0.706	1.00525	1.347	1.00775	1.986
1.00030	0.077	1.00280	0.719	1.00530	1.360	1.00780	1.999
1.00035	0.090	1.00285	0.732	1.00535	1.372	1.00785	2.012
1.00040	0.103	1.00290	0.745	1.00540	1.385	1.00790	2.025
1.00045	0.116	1.00295	0.757	1.00545	1.398	1.00795	2.038
1.00050	0.129	1.00300	0.770	1.00550	1.411	1.00800	2.051
1.00055	0.141	1.00305	0.783	1.00555	1.424	1.00805	2.065
1.00060	0.154	1.00310	0.796	1.00560	1.437	1.00810	2.078
1.00065	0.167	1.00315	0.808	1.00565	1.450	1.00815	2.090
1.00070	0.180	1.00320	0.821	1.00570	1.462	1.00820	2.102
1.00075	0.193	1.00325	0.834	1.00575	1.475	1.00825	2.114
1.00080	0.206	1.00330	0.847	1.00580	1.488	1.00830	2.127
1.00085	0.219	1.00335	0.860	1.00585	1.501	1.00835	2.139
1.00090	0.231	1.00340	0.872	1.00590	1.514	1.00840	2.152
1.00095	0.244	1.00345	0.885	1.00595	1.526	1.00845	2.165
1.00100	0.257	1.00350	0.898	1.00600	1.539	1.00850	2.178
1.00105	0.270	1.00355	0.911	1.00605	1.552	1.00855	2.191
1.00110	0.283	1.00360	0.924	1.00610	1.565	1.00860	2.203
1.00115	0.296	1.00365	0.937	1.00615	1.578	1.00865	2.216
1.00120	0.309	1.00370	0.950	1.00620	1.590	1.00870	2.229
1.00125	0.321	1.00375	0.962	1.00625	1.603	1.00875	2.241
1.00130	0.334	1.00380	0.975	1.00630	1.616	1.00880	2.254
1.00135	0.347	1.00385	0.988	1.00635	1.629	1.00885	2.267
1.00140	0.360	1.00390	1.001	1.00640	1.642	1.00890	2.280
1.00145	0.373	1.00395	1.014	1.00645	1.655	1.00895	2.292
1.00150	0.386	1.00400	1.026	1.00650	1.668	1.00900	2.305
1.00155	0.398	1.00405	1.039	1.00655	1.681	1.00905	2.317
1.00160	0.411	1.00410	1.052	1.00660	1.694	1.00910	2.330
1.00165	0.424	1.00415	1.065	1.00665	1.705	1.00915	2.343
1.00170	0.437	1.00420	1.078	1.00670	1.718	1.00920	2.356
1.00175	0.450	1.00425	1.090	1.00675	1.731	1.00925	2.369
1.00180	0.463	1.00430	1.103	1.00680	1.744	1.00930	2.381
1.00185	0.476	1.00435	1.116	1.00685	1.757	1.00935	2.394
1.00190	0.488	1.00440	1.129	1.00690	1.769	1.00940	2.407
1.00195	0.501	1.00445	1.142	1.00695	1.782	1.00945	2.419
1.00200	0.514	1.00450	1.155	1.00700	1.795	1.00950	2.432
1.00205	0.527	1.00455	1.168	1.00705	1.807	1.00955	2.445
1.00210	0.540	1.00460	1.180	1.00710	1.820	1.00960	2.458
1.00215	0.552	1.00465	1.193	1.00715	1.833	1.00965	2.470
1.00220	0.565	1.00470	1.206	1.00720	1.846	1.00970	2.483
1.00225	0.578	1.00475	1.219	1.00725	1.859	1.00975	2.496
1.00230	0.591	1.00480	1.232	1.00730	1.872	1.00980	2.508
1.00235	0.604	1.00485	1.244	1.00735	1.884	1.00985	2.521
1.00240	0.616	1.00490	1.257	1.00740	1.897	1.00990	2.534
1.00245	0.629	1.00495	1.270	1.00745	1.910	1.00995	2.547

Anexo 3 Técnica de laboratorio para la determinación del contenido de extracto.

Las muestras de 6.0 g molidas se incuban en 54 ml con agua destilada en tubos de centrífugas con cierre hermético a 60°C por 2 h., a intervalos de 10 min, el contenido de los tubos es mezclado por inversión. Después de la incubación, los tubos son enfriados en agua (20–23°C) por 30 min, y centrifugados a 1,500 rev por 2 min. Se extrae 40 ml del sobrenadante claro y se transfiere a un beaker de 50 mL. La gravedad específica se mide por métodos gravimétricos el cual se pesan un picnómetro vacío, con agua y con solución para emplear la fórmula siguiente

$$S = 0.99913 * \frac{C - A}{B - A}$$

Donde

A: peso picnómetro vacío

B: peso picnómetro con agua destilada.

C: peso picnómetro con la solución.

y el extracto se calcula como un porcentaje en peso y se calcula por la tabla de platos

Anexo 4 Técnica Operatoria para la determinación del poder diastático.

Preparación de la infusión de malta: pesar 25,5 g de malta y transferir a un frasco donde se le adiciona 500 ml de solución de cloruro de sodio al 0,5 %, esta infusión ponerla a incubar a 20 grados por 2,5 h agitar por rotación en intervalos de 20 min luego de este tiempo filtrar la solución resultante.

Diastasis: tomar 20 ml del filtrado y transferir a un frasco volumétrico de 100 ml enrasar el frasco con solución de cloruro de sodio al 0,5 %. Con una pipeta transferir 10 ml del extracto diluido a un frasco volumétrico de 250 ml. Adicionar 200 ml de solución de almidón y colocar por 30 min a 20 grados. Luego de pasado el tiempo adicionar 20 ml de hidróxido de sodio a 0,5 N y mezclar por inversión el contenido del frasco. Completar el volumen con agua destilada.

Preparación de blancos

Añadir 20 ml de hidróxido de sodio (0,5 N) a 10 ml de extracto de malta diluida, luego adicionar 200 ml de la solución de almidón y mezclar.

Valoración de las soluciones y el blanco.

Con una pipeta adicionar 5 ml de la solución en un Erlenmeyer de 125 ml. Adicionar 10 ml de la solución de ferrocianuro y mezclar, poner a hervir en agua por 20 min. Luego de transcurrido el tiempo enfriar y luego añadir 25 ml de ácido acético y un mililitro de yoduro de potasio. Mezclar y valorar con una solución de tiosulfato a 0.05N y ver como cambia de color desde azul hasta blanco

Anexo 5

Determinación de la acidez total en las maltinas

Objetivo y alcance

Este método se establece para determinar la acidez total

Fundamento del método

El método se basa en la neutralización de las funciones ácidas titulables del producto, mediante la adición de un hidróxido alcalina, en presencia de un indicador de neutralización, cuyo cambio de color evidencia el punto final de la reacción.

Reactivos químicos

Solución de hidróxido de sodio, 0,1 N.

Fenolftaleína, solución al 0,5% en etanol.

Preparación de la muestra de ensayo

Procedimiento

Determinación

Se pone a hervir 250 ml de agua destilada en un frasco cónico de 500 ml y se mantiene hirviendo por dos minutos más, después de comenzar la ebullición. Después se adiciona mediante pipeta 1 ml si es oscura. Se continúa el calentamiento por un minuto, regulando el calor de modo que la ebullición se produzca en los 30 segundos finales.

Se retira del calor, se agita por 5 segundos y se enfría a temperatura ambiente. Se adicionan 0,5 ml de la solución indicadora de fenolftaleína y se valora con la solución de hidróxido de sodio hasta la aparición del color rosado permanente.

Expresión de los resultados

Método para los cálculos

La acidez total se calcula por la fórmula siguiente:

$$At = \frac{((V_1 - V_0) \cdot N)}{V}$$

Donde

At acidez total (ml NaOH 0,1 N/100 ml de muestra)

V₁- volumen de solución de hidróxido de sodio consumidos en la valoración de la muestra (ml)

V₀ - volumen de solución de hidróxido de sodio consumido en la valoración del blanco (ml)

N- normalidad de la solución de hidróxido de sodio

V - volumen de la muestra utilizada en el ensayo (ml)

Anexo 6 Diagrama del malteado

