Universidad Central “Marta Abreu”de Las Villas.
Facultad de Química y Farmacia.
Departamento de Ingeniería Química.

Trabajo de Diploma.

"Incremento del Valor Agregado del Sorgo mediante Procesos Biológicos Industriales"

Autora: Yanet Boffill Rodríguez.

Tutora: Dra. Irenia Gallardo Aguilar.

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”
Julio del 2009.

Pensamiento

…Para que una idea triunfe hay que empezar a pensarla bien, hay que predicarla, hay que defenderla, hay que persuadir a mucha gente y entonces, al final,
LA IDEA TRIUNFA"

Fidel Castro

Dedicatoria

Dedico esta tesis a:

- *A Caridad, por crear un ser que puede ser útil y por ser mi Madre.*
- *A mi hermano Osvaldo, por ser ejemplo de levantarse cuando uno cae.*
- *A mi esposo Juan Omar, por renovar este amor en este momento.*
- *A la memoria de mis abuelos y especialmente a la de mi tía Andrea.*
- *A mi querido amigo Emilio Campetti, por ayudarme incondicionalmente desde lejos todo este tiempo.*

Agradecimientos

- *A mi tutora Irenia, por darme tanta confianza y demostrarme que, aunque se incomode, tiene un corazón gigante lleno de amor.*
- *A mi Madre, por la educación que me brinda, gracias por existir.*
- *A mi esposo, por demostrarme que mi bienestar es también el de él.*
- *A Vivian y Tomás, compañeros de trabajo, gracias a ellos estoy hoy aquí*
- *A Reina, no por ayudarme en este momento sino desde siempre.*
- *A Yailet, por su paciencia y su ayuda.*
- *A toda mi familia, por confiar en mí y esperar lo mejor.*
- *A todos los profesores que me formaron como ingeniera durante la carrera.*
- *A todos mis compañeros de aula, especialmente a Yiliam, Luis, Daniel y Heydi.*
- *A Margarita, por su ayuda en el laboratorio.*
- *A Eduardo y Cristina, por resistir mi presencia en sus locales de trabajo.*
- *A la Revolución Cubana, por darme la oprtunidad de poder estudiar.*
- *A Dios, por darme un poco de inteligencia para realizar esta tesis.*

Resumen

La presente investigación aborda el desarrollo de dos procesos biológicos industriales, mediante el empleo de sorgo malteado y sin maltear, la producción de bioetanol y de maltina para enfermos celiacos.

En la misma se perfeccionan las etapas del proceso de obtención de malta, a partir de sorgo blanco UDG-110, empleándose la misma combinada con enzimas Amilasas comerciales, en la sacarificación de sorgo, para la producción de etanol, obteniéndose resultados adecuados en cuanto al grado alcohólico y productividad del proceso, cercanos a los que se obtienen a partir de la caña de azúcar en fermentación discontinua, por lo que se propone una tecnologia para la obtención de licores a partir de esta materia prima, para la producción de etanol.

Para la producción de maltina, se continuó el estudio comenzado por Y. Ozuna, empleando malta clara y malta caramelo de sorgo, en diferentes proporciones. Los resultados son adecuados, ya que las bebidas obtenidas tienen propiedades similares a las que se venden en nuestro mercado, permitiendo acotar los parámetros fundamentales para poder establecer una tecnologia para la obtención de este producto.

La utilización de malta de sorgo para estas producciones puede bajar significativamente la importación de cebada y otras materias primas, reducir costos de producción y generar un producto como la maltina libre de gluten que pueda ser dirigido hacia el mercado de consumidores intolerantes a esta proteína.

Palabras clave: Sorgo, Malta, maltina, celíacos, enzimas, bioetanol.

Abstract

The present research approaches the development of two industrial biological processes, by means of the employment of malted sorghum and without malting for the bioethanol production and of maltina for celiac patients.

In the same one the stages of the process of obtaining of malt are perfected, starting from white sorghum UDG-110, the same one combined with enzymes commercial Amilasas being used, in the sorghum sacarificación, for the production of ethanol, obtaining you appropriate results as for the alcoholic grade and productivity of the process, near to those that are obtained starting from the cane of sugar in discontinuous fermentation, for what intends a technology for the obtaining of liquors starting from this raw material, for the production of ethanol.

For the maltina production, you continue the study begun with Y. Ozuna, using clear malt and candy malt sorghum, in different proportions, the results are appropriate, since the obtained drinks have similar properties to those that are sold in our market, allowing delimiting the fundamental parameters to be able to establish a technology for the obtaining of this product.

The use of malted sorghum for these productions can lower the barley import and other raw material, significantly, to reduce production costs and to generate a product, like the maltina, free gluten that it can be directed toward the market of intolerant consumer to this protein.

Key words: Sorghum**,** maltina, celiac, enzyme, bioethanol

Indice

Pág.

Introducción	1
Capítulo I: Revisión bibliográfica.	3
1.1 Sorgo	3
1.1.1 Origen histórico del sorgo	3
1.1.2 Características y Adaptación	3
1.1.3 Composición Química del Grano de Sorgo	4
1.1.4 Producción del Sorgo	5
1.1.5 Empleo del Sorgo en la Alimentación	6
1.1.6 Enfermedad Celíaca	7
1.2 Enzimas	8
1.2.1 Definiciones y Características	8
1.2.2 Enzimas Utilizadas en la Industria Alimenticia	9
1.2.3 Las Enzimas Recombinantes y la Industria Alimenticia	10
1.3 Enzimas Presentes en el Mltteo de Cereales	11
1.4 Maltinas.	13
1.4.1 Definición de Mltina.	13
1.4.2 Generalidades sobre el Proceso de Fabricación de Maltina	13
1.4.3 Características e Identidad de la Maltina.	14
1.5 Alcohol	15
1.5.1 Bioetanol.	15
1.5.2Producción de Alcohol en el Mundo	15
1.5.3 Materias Primas Utilizadas en el Proceso	15
1.5.4 Hidrólisis Enzimática y Fermentación a partir de Sustratos Amiláceos	16
1.6 Conclusiones Parciales	20
Capítulo II: Desarrollo Experimental para la Obtención de PAVA a partir de Sorgo.	22
2.1. Variables y Niveles Utilizados en los Experimentos	22
2.2. Desarrollo Experimental	22
2.2.1 Malteado del Sorgo.	23
2.2.2 Proceso de Obtención de Maltinas	28
2.5 Malteado del sorgo.	28
2.2.2.1 Preparación de las Muestras y Resultados Obtenidos	28
2.2.3 Producción de Etanol Empleando la Combinación ácido-enzima	37
2.2.3.1 Técnica General Seguida para el Desarrollo de los Experimentos	38
2.3 Conclusiones Parciales	47
Capítulo III: Diseño de una Planta Piloto para la Producción de Licores de Sorgo para la Producción de Bioetanol.	48
3.1 Esquema tecnológico del proceso y funciones de las etapas.	48
3.1.1 Introducción	48
3.1.2.1 Función Total	50
3.1.2.2 Funciones Parciales	50
3.2 Selección de los Equipos	51
3.3 Balances de Masa y Energía	53
3.3.1 Datos usados en los Balances	53
3.3.2 Balances de Masa	54

3.3.3 Balances de Energía 55
3.4 Diseño de los equipos 59
3.5 Análisis económico 59
3.5.1 Costo de Inversión 60
3.5.2 Costo de Producción 61
3.5.3 Valor de la Producción 66
3.6Conclusiones parciales 67

Conclusiones generales 68
Recomendaciones 69
Bibliografía 70
Anexos 73

Introducción

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

En el mundo existe una tendencia a la búsqueda de nuevas materias primas para la producción de etanol, que no sean las tradicionales a partir de jugos de la caña de azúcar, de remolacha y de maiz; por el auge que esta alcanzando el mismo, no solo en los usos tradicionales para la producción de bebidas, como disolvente orgánico, etc sino en las últimas décadas como combustible ecológico.

El sorgo es un cereal que contiene muchas propiedades beneficiosas. Se ha demostrado nacional e internacionalmente, que su cultivo es económicamente rentable, basado en su bajo costo de producción, dada sus características de rusticidad, resistencia a la sequía, la realización de varias cosechas o cortes, etc., así como la no utilización de productos químicos, en el control de elementos nocivos, con lo cual se protege el medio ambiente, por lo cual lo convierte en uno de los cereales más consumidos en las zonas subdesarrolladas, además de que esta en gran desarrollo como cultivo en nuestro país.

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

Problemática científica

La obtención de la malta de sorgo, para ser empleada como sustituta de la malta de cebada, en la obtención de productos alimenticios y como agente enzimático natural; combinada con ácidos a bajas concentraciones y enzimas Amilolíticas, para la sacarificación del almidón del propio sorgo, en para la producción de bioetanol.

Objetivo General

Estudiar las potencialidades que tiene el sorgo para ser empleado en la obtención de productos de AVA, mediante el desarrollo de procesos biológicos, utilizando las enzimas de la malta del propio sorgo.

Hipótesis

Es posible la obtención de productos de AVA empleando el sorgo malteado como enzima para la producción de maltinas, para enfermos celiacos y empleandolo tambien como adjunto para la obtención de bioetanol.

Objetivos Específicos

- Estudiar las etapas para el malteado del sorgo, para ser empleado como materia prima en la producción de Etanol y Maltina
- Estudiar la obtención de etanol empleando el sorgo como materia prima y sacarificando con malta de sorgo a escala de laboratorio.
- Adaptar la tecnología del proceso de producción de cerveza en la fabricación de Maltina, empleando la malta de sorgo como sustituta de la malta de cebada.
- Realizar una valoración económica preliminar del proceso.

Capítulo I

1.1 Sorgo

1.1.1 Origen Histórico del Sorgo

Los primeros informes que se reportan sorgo, muestran que el existió en la India en el siglo I d. C. Sin embargo, el sorgo quizás sea originario de África Central -Etiopía o Sudán-, pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad de tipos.

Los primeros sorgos dejaban mucho que desear como cultivo granífero. Eran muy altos y maduraban muy tardíamente. Los tipos Kafir y Milo fueron seleccionados como productores de granos por los primeros colonos en las grandes planicies debido a que su tolerancia a la sequía es mayor que la del maíz. El desarrollo posterior de los tipos precoces, así como de variedades resistentes a enfermedades e insectos, junto con el mejoramiento de otras prácticas de producción, estableció firmemente el sorgo granífero como un importante cultivo.

Como resultado de las investigaciones de Quinby y Stephens de Texas, los híbridos se hicieron realidad hacia 1950 y actualmente los rendimientos alcanzan a más de 13.440 kg/ha en los sorgos graníferos híbridos (Sànchez, 2005).

También se reporta que la domesticación de la principal especie de uso alimentario de sorgo, *Sorghum bicolor*, se produjo alrededor del siglo I a. C. en la zona de Etiopía. Especies silvestres se utilizaban para alimentación desde hacía milenios, tanto en África como en la región índica (Council., 2008)

1.1.2 Características y Adaptación

Los sorgos graníferos se cultivan generalmente en áreas que son demasiado secas o cálidas para la producción exitosa de maíz. Se originaron en los trópicos, pero ahora están adaptados a Zonas Norte y Sur, tan alejadas como las latitudes de 45 grados. Se les cultiva extensivamente en África, India, Manchuria, Argentina y EE.UU. Algunos sorgos también crecen en otras partes de Asia, Europa, América Central y del Sur. Están adaptados a los climas más áridos debido a: enrollamiento de las hojas, baja relación de transpiración y cubierta cerosa. Los sorgos graníferos tienen granos relativamente grandes que se separan fácilmente de las glumas. El tallo no es dulce. Los colores de los granos son blanco, amarillentos, rojos o rosa, pero entre los

Kaoliangs y en los antipájaros predomina el color castaño, con pericarpio y testa coloreados, lo que indica presencia de tanino (Sànchez, 2005).

A su vez Wikipedia, Enciclopedia Libre, refiere que las exigencias en calor del sorgo para grano son más elevadas que las de maíz. El crecimiento de la planta no es verdaderamente activo hasta que se sobrepasan los 15 ºC, situándose el óptimo hacia los 32 ºC. Al principio de su desarrollo, el sorgo soporta las bajas temperaturas de forma parecida al maíz, y su sensibilidad en el otoño es también comparable. Por el contrario, el sorgo resiste las altas temperaturas y la sequía mejor que el maíz, pues necesita menos cantidad de agua para formar un kilogramo de materia seca (Wikipedia, 2009).

Otros autores como Nielsen y Johnson reportan que en Indiana el sorgo satisface las condiciones de las tierras consideradas no aptas para el maíz. (R.Nielsen and Johnson, 2008)

1.1.3 Composición Química del Grano de Sorgo

Las normas FEDNA informan que el grano está compuesto por un 6,84 y 10% de pericarpio, endospermo + aleurona y germen, respectivamente. Más de la mitad del endospermo es de tipo córneo, que se caracteriza por un menor tamaño de los gránulos de almidón, y por estar éstos envueltos estrechamente por una matriz proteica de tipo continuo, compuesta de glutelina y prolamina altamente insolubles. El contenido medio de almidón del grano de sorgo es de un 63,8%. En variedades comerciales la relación amilosa: amilopectina es de 20:80. En el caso de variedades de tipo céreo, la proporción de amilopectina alcanza el 100%. El sorgo contiene también pequeñas cantidades de monosacáridos libres (0,4%), sacarosa (1%) y oligosacáridos (0,3%). La fracción fibrosa (10% FND) está muy poco lignificada (0,7% LAD). y está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosas y pentosanas. El sorgo tiene un apreciable nivel de grasa (3%), aunque inferior al del maíz. Su contenido en ácido linoleico es también inferior y carece de xantofilas.

La concentración de proteína es algo superior a la del maíz. La proporción de albúminas, globulinas, prolamina (kafirina), y glutelinas es de un 5,7; 7,1; 52,7 y 34,4%,

respectivamente. Las proteínas del endospermo (prolamina y glutelinas) son ricas en prolina, ácido glutámico y aspártico, y deficitarias en lisina y treonina. (FEDNA, 2003).

Ramírez y colaboradores realizaron la calibración de un equipo infrarrojo cercano (NIRS) para predecir la composición química del grano de sorgo, se utilizaron 216 muestras a las cuales se les determinó densidad, humedad, proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y taninos. A los resultados del análisis químico se les realizó un estudio de estadística descriptiva. La composición porcentual promedio fue de 75,1 de densidad, 11,7 de humedad, 8,2 de PC, 12, 3 de FDN y 0,49 de taninos. La densidad fue el componente menos variable y el contenido de taninos el más variable (Ramìrez et al., 2005).

1.1.4 Producción de Sorgo

Los Estados Unidos se posicionan actualmente como el número dos más productor y el primer exportador de sorgo en el mercado mundial. La posición de los Estados Unidos en el comercio mundial del sorgo no ha bajado de 70% en más de una década. El comercio mundial de sorgo es dominado por las exportaciones de EE.UU. a México. Otros países importadores y regiones incluyen Japón, Israel, África Sur, España, Marruecos, la Eritrea y Otros (Council., 2008)

En la figura 1.1 se muestra la producción porcentual a nivel mundial de sorgo, por los diferentes países que lo producen

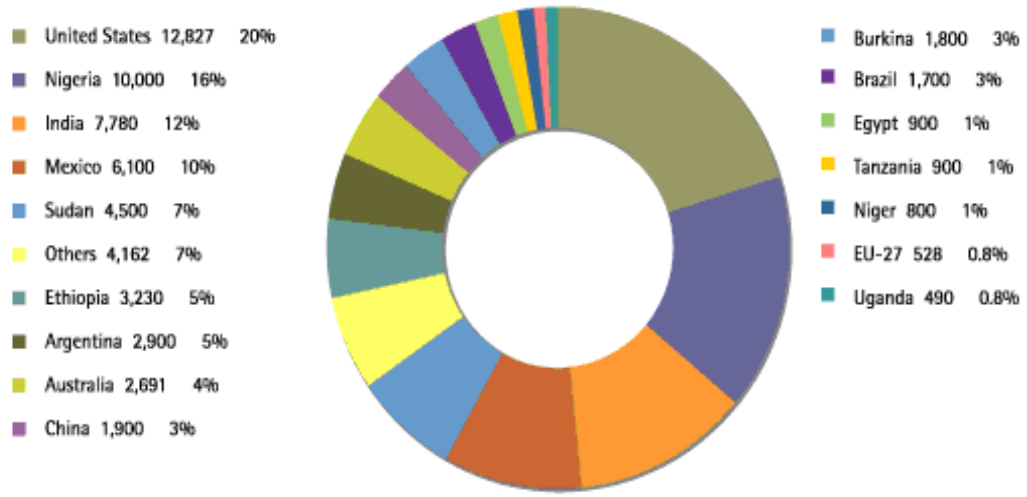


Figura 1.1 Producción porcentual de Sorgo por países

1.1.5 Empleo del Sorgo en la Alimentación

Como alimento el valor nutritivo del grano de sorgo es alto. El grano tiene más proteína y grasa que el maíz, pero es más bajo en vitamina A. El color de la semilla es variable con las clases amarillas, blancas, castañas, y mixtas en las normas de grano. Los tipos castaño son altos en contenido de taninos. Los porcentajes de los componentes de la semilla son: endospermo (82%), embrión (12%), y cubierta de la semilla (5-6%), (P.Carter, 2009).

Las normas FEDNA informan que las variedades de grano amarillo (sorgos blancos, < 0,25% taninos) son las más utilizadas en alimentación animal. La composición química porcentual en cuanto a humedad, cenizas, proteína bruta, grasa y fibra bruta es de 13,7; 1,5; 8,7; 90 y 2,7 respectivamente. Su valor nutritivo es notablemente superior al de las variedades ricas en taninos, del orden de un 5-10% en valor energético y de un 10-15% en digestibilidad de la proteína. El valor nutritivo de los sorgos blancos procesados por calor es de un 93-95% tomando como referencia al grano de maíz. El sorgo es el cuarto grano de cereal más utilizado en la fabricación de piensos en España, con un consumo anual de unas 500.000 Tn, en su mayoría procedentes de USA y Argentina (FEDNA, 2003).

1.1.6 Enfermedad Celíaca

La enfermedad celíaca es una enfermedad auto inmune caracterizada por una inflamación crónica de la parte proximal del intestino delgado o yeyuno, causada por la exposición de gliadina, una proteína vegetal de algunos cereales en la dieta, llamada gluten (proteína presente en el trigo, cebada, centeno, y posiblemente avena). Es un trastorno que aparece en personas genéticamente predispuestas, de todas las edades a partir de la infancia, al ser expuesto a la gliadina, la enzima transglutaminasa tisular que modifica la proteína y el sistema inmune del individuo hace una reacción cruzada en contra del intestino delgado, causando una reacción inflamatoria que causa aplanamiento de las vellosidades que recubren el intestino e interferencias en la absorción de nutrientes.

En Argentina en el año 2005 se estimó que de cada 160 personas, una padecía de Enfermedad Celíaca. Estas personas no pueden ingerir ningún producto derivado del Trigo, Avena, Cebada y Centeno ya que el gluten es la proteína que los afecta. La solución era reemplazar la Cebada por otro producto apto para estos enfermos.

Por otra parte en otros países del mundo donde la Cebada no existe, la cerveza por ejemplo se ha desarrollado a partir de otros cereales como el Sorgo en Sudáfrica donde hasta la tradicional Guiness se hace con este cereal. (Wagner, 2005).

El péptido 33 mer, rico en aminoácidos glutamina y prolina, que resiste la acción de todas las enzimas; parece ser definitivamente la fracción del gluten ciertamente tóxica para el celíaco, que inicia el proceso de desajuste inmunológico en el intestino delgado (Qiao et al., 2004) y (Shan et al., 2002).

Se han realizado estudios en la búsqueda de nuevos alimentos que les permita el necesario cumplimiento de la dieta de estos enfermos, en tal sentido se lleva a cabo la elaboración de distintos tipos de pan, tostadas y repostería a través de la harina de sorgo, lo que se conoce actualmente como “Panificación Gluten Free (Melone, 2001)

Se han buscado soluciones identificando los cultivos que faciliten alimentos libres de gluten y se ha comprobado que el sorgo es un grano de alto rendimiento para desarrollar eficazmente el proceso de malteo para la producción de bebidas. (Smagalski, 2009).

Sin embargo Hahn refiere en su publicación que existe una enfermedad denominada Kwashiorkor que en zonas donde los granos son la principal fuente de alimento indica el desequilibrio nutricional de una dieta con alto contenido de cereal Esta enfermedad es el resultado de una calidad pobre y una cantidad insuficiente de proteínas en la dieta. Por lo tanto para fines nutricionales del ser humano, las características de las proteínas del sorgo son muy importantes. El sorgo constituye más del 70% del total de calorías y suministra gran parte de las proteínas de la dieta. Estudios limitados confirmaron la necesidad de suplementos de aminoácidos como lisina y posiblemente treonina en dietas basadas principalmente en sorgo para una nutrición óptima de proteínas. Daniel et al (1966) Como ocurre con otros granos las capas del pericarpio y la aleurona tienen cantidades importantes de vitaminas y minerales y el perlado puede ocasionar pérdida de estos nutrientes en las comidas resultantes (R.Hahn, 2007).

En los Estados Unidos, se estima que entre dos a tres millones de personas padecen de Enfermedad Celìaca, intolerantes al gluten. Las ventas de los productos libres de gluten alcanzaron casi $700 millones en 2006 y se proyecta alcance $1.7 mil millones en 2010.(Road, 2007)

1.2 Enzimas

1.2.1 Definiciones y Características

Las enzimas se encuentran en todos los seres vivos y son piezas esenciales en su funcionamiento. Desde el punto de vista bioquímico son proteínas que actúan como aceleradores de las reacciones químicas, de síntesis y degradación de compuestos. Una de las características más sobresalientes de las enzimas es su elevada especificidad. Esto quiere decir que cada tipo de enzima se une a un único tipo de sustancia, el sustrato, sobre el que actúa (Bairgian, 2006).

Alemán refiere que las enzimas no son alterados por la reacción, pero por ser proteínas, resultan termolábiles y sensibles a los cambios y variaciones del medio ambiente físico en que se hallen. Cuando una enzima actúa sobre un sustrato se dice que tiene especificidad absoluta, un ejemplo, de esto es la ureasa, que actúa solamente sobre la

urea y no sobre otros compuestos de estructura similar, dándole una naturaleza absoluta sobre su sustrato (Alemán, 2001).

Criterios similares a estos dos autores refiere Hernández cuando plantea que, las enzimas son biocatalizadores de naturaleza proteica. Todas las reacciones químicas del metabolismo celular se realizan gracias a la acción de catalizadores o enzimas. Pasteur descubrió que la fermentación del azúcar mediante levaduras, con su conversión en alcohol etílico y anhídrido carbónico es catalizada por fermentos o enzimas. En 1897 Buchner logró extraer de las células de levadura las enzimas que catalizan la fermentación alcohólica (Hernández, 2007).

Fuentes bibliográficas informan que la malta, enzima del cereal, es el grano de cebada sometido a la germinación y ulterior deshidratación y tostado. La cebada no se puede utilizar directamente para la elaboración de productos alimenticios ya que no tiene desarrollado el sistema enzimático encargado de transformar el almidón en azúcares. La transformación del almidón en azúcares es vital, ya que las levaduras encargadas de la fermentación los necesitan para su crecimiento y multiplicación. Las levaduras no son capaces de atacar directamente al almidón. En la elaboración de Cervezas, por ejemplo, en el proceso de maceración las moléculas de almidón son transformadas en azúcares. Los almidones amilosa y amilopectina son cadenas de glucosa que las enzimas rompen hasta dejarlas en su expresión de moléculas de glucosa (azúcar). Este proceso lo lleva a cabo dos tipos de enzimas las alfa-amilasas y las beta-amilasas (Eggert, 2004).

1.2.2 Enzimas Utilizadas en la Industria Alimenticia

Las enzimas Amilasas, Proteasas y Lactasas se utilizan en la industria de Panificación, donde mejoran la calidad del pan, la coloración de la superficie y disminuyen la viscosidad de la pasta. En la Industrias Cárnica, se utilizan Papaína, Fiscina, Bromelina para el ablandamiento de carnes y la producción de hidrolizados. En la Cervecería, la Amilasas, Papaína y Pepesina para licuar la pasta de malta y evitan la turbidez durante la conservación de ciertos productos.Las Fuentes de obtención de las enzimas son:

Animales: Enzimas derivada del páncreas, estómago e hígado de los animales, tales como la tripsina, lipasas y cuajos (quimosina y renina).

Vegetales: La malta de cebada es la fuente principal de enzimas de cereales. Las enzimas proteolíticas (que degradan proteínas) tales como la papaína y la bromelina se obtienen de la papaya y del ananá, respectivamente.

Microbianas: Se extraen de bacterias, hongos y levaduras que se desarrollan en la industria de la fermentación. La ventaja de la obtención de enzimas microbianas es que los microorganismos se reproducen a ritmo acelerado, son fáciles de manipular genéticamente, crecen en un amplio rango de condiciones ambientales, haciendo que las enzimas obtenidas sean más económicas (Bairgian, 2006).

Sin embargo para las clasificaciones anteriores Benítez refiere otras consideraciones como la pureza en su obtención, forma en que se presentan, etc. aunque ambos autores coinciden en que las enzimas microbianas son las más utilizadas. (Benitez, 2006).

1.2.3 Las Enzimas Recombinantes y la Industria Alimenticia

La ingeniería genética está realizando progresos importantes en la producción de enzimas recombinantes en microorganismos. Los organismos ideales son aquellos que tienen una larga tradición de uso en los alimentos como las levaduras de la industria cervecera y los fermentos lácticos. Los *"Bacillus", "Aspergillus"y "Sacharomyces"* son de crecimiento rápido y producen grandes cantidades de enzimas, generalmente mediante fermentación.

Algunas enzimas recombinantes destinadas a la industria alimenticia son: Quimosina: sustituye a la natural obtenida del estómago de terneros, y que se obtiene a partir de los hongos Kluyveromyces lactis y Aspergillus niger. α-Amilasa: obtenida a partir de Bacillus subtilis recombinante. Esta enzima licua el almidón y lo convierte en dextrina en la producción de jarabes. En la industria cervecera, favorece la retención de la humedad del producto y baja su contenido calórico.

ß-glucanasa: Producida por levaduras cerveceras recombinantes, que facilitan la filtración del producto (Bairgian, 2006).

1.3 Enzimas Presentes en el Malteo de Cereales

Durante el malteo de los cereales se producen diferentes tipos de enzimas, la elaboración de la Chicha de Jora es un ejemplo de lo expuesto anteriormente.

Según De Florio la Actividad de un producto malteado consiste en la hidrólisis biológica de las materias amiláceas y proteicas que contiene, mediante enzimas producidas por el malteo (Carrasco, 1954). En esta hidrólisis intervienen cuatro tipos de enzimas:

1 Amilolíticas: responsables de la solubilización de la fécula y su posterior sacarificación. Intervienen los siguientes grupos de enzimas:

- Beta-amilasa: Actúa produciendo maltosa sobre la cadena lineal de glucosa. Se obtiene 68-84% de maltosa, dependiendo del origen de la amilasa. La temperatura óptima de trabajo es de 60 - 70°C pH, entre 4.6 - 5 (Carrasco, 1 954).
- Alfa-amilasa: Actúa en enlaces 1,4 de almidón, produciendo unidades de dextrinas. La temperatura óptima de trabajo es de 70 - 76 °C y un pH 4.6-5.

2 Proteolíticas: Desdoblan las proteínas en compuestos más sencillos, como péptidos, aminoácidos.

3 Fitasas: Enzimas importantes porque ayudan a establecer y mantener el pH de la mezcla agua-malta durante la maceración (ABMB, 1954).

4 Beta-gluconasas: Actúan sobre la beta-gluconasas que son un grupo lineal de polisacáridos, consistente en unidades de glucosa con enlaces β (1 ,4) 70%, β (1,3) 30% que aumentan la viscosidad de la solución. Estos se encuentran en altas cantidades en maltas mal disgregadas y en cereales no malteados (Florio, 2005).

En el proceso de maceración el objetivo es la preparación de un extracto con azucares fermentables, aminoácidos, vitaminas etc., a partir del grano malteado.

La actuación óptima de estas enzimas es cuando el pH es de 5.6, para la beta-amilasa alrededor de 65ºC y para las alfa-amilasas 72ºC. Por esta razón para tener un buen macerado se deben seguir curvas de temperatura-tiempo para que se permita actuar a cada enzima en su condición óptima (Eggert, 2004).

En la maceración se producen las siguientes reacciones

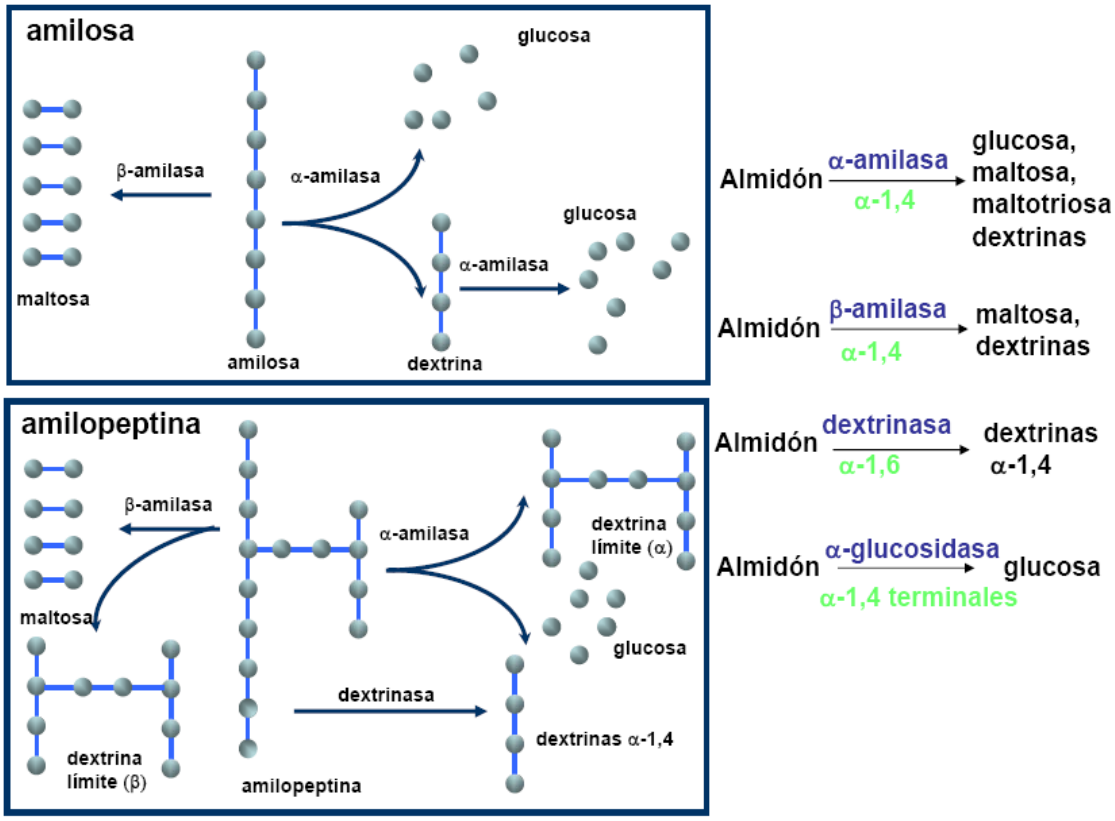


Figura 1.2 Bioquímica de la Maceración.

El sorgo granífero malteado se utiliza como alimento en muchas partes del mundo Según Rahn la cerveza de Kaffir, la bebida tradicional en el Sur de África, se produce con una mezcla de sorgo granífero malteado y no malteado. Las técnicas modernas de malteado que se usan para la cebada, se aplican para el sorgo granífero (Novellie 1962). Para un desarrollo óptimo del poder diastástico se requiere una temperatura entre 25 y 35°C y riego durante la germinación. La malta de sorgo es rica en alfa-amilasa con sòlo de18 a 39% de actividad sacarífica por su beta-amilasa (Novellie 1960). Esta característica es especialmente buscada por la malta para la destilación (R.Hahn, 2007).

En estudios realizados en la Facultad de Química-Farmacia UCLV Cuba, se ha malteado el sorgo UDG-110 siguiendo las técnicas de malteo para la cebada. Los resultados obtenidos para la malta de sorgo difieren en cuanto a tiempo reportado para las diferentes etapas, dadas las características del grano de sorgo, diferente al de la

cebada, además de la calidad del cultivo del sorgo. 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, pero superior en hierro que la malta de cebada. Se ha aplicado esta malta en la obtención de alcohol (Rodríguez, 2005), (Alemán, 2007) y en la producción de maltinas para enfermos celiacos (Ozuna, 2008).

Gómez describe que la malta es un alimento nutritivo y energético, que ayuda a la digestión de los carbohidratos y favorece nutritivamente a las personas que la consumen por su contenido en proteínas vegetales, vitamina B, acido fólico, aminoácidos como la lisina y el acido glutámico y otros minerales como el hierro y el calcio, importantes para los adolescentes. Agregó que debido a sus propiedades, la malta de cebada ya sea en bebida o en comidas es un alimento con características nutritivas similares al trigo, al maíz o a la avena. "La malta en bebida no alcohólica es diferente a los energizantes, hidratantes o a las gaseosas, por su contenido nutritivo y por ser una bebida natural que repone energías (Gómez, 2008)

1.4 Maltinas.

1.4.1 Definición de Maltina

Bebida alimenticia y nutritiva, obtenida de un mosto preparado a base de la cebada u otros granos malteados y oscuros, 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 que carece de graduación alcohólica (Rodríguez, 2007)

1.4.2 Generalidades Sobre el Proceso de Fabricación de Maltina.

El proceso de fabricación de la maltina es similar al de la cerveza, con diferencias en la última etapa de obtención de la cerveza que es la fermentación, pues como ya se analizó anteriormente la maltina no requiere de la etapa de fermentación. En este proceso la malta de sorgo primeramente es molida sin llegar a que se haga harina, o sea que no llegue a pulverizarse, luego se procede a la etapa de maceración en la cual se cocina la malta a diferentes temperaturas. Después es filtrado para extraer todo el líquido y lavado para que se disuelvan los granos de azúcar. Posteriormente se cocina el licor, en esta etapa es donde se le adicionan las materias primas restantes. Una

última etapa del proceso sería el enfriamiento del licor y la clarificación, para luego ser almacenada en frío. En la figura 1.3 se muestran las principales corrientes involucradas en el proceso (Ozuna, 2008).

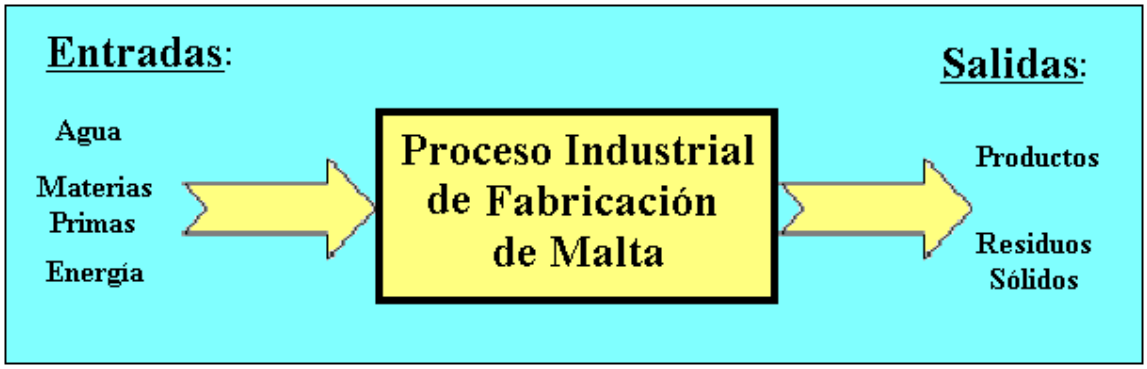


Figura 1.3. Corrientes involucradas en el proceso de obtención de Malta.

1.4.3 Características e Identidad de la Maltina.

Las principales características que identifican a una malta son:

El Color: Lo determinan las materias primas, especialmente la malta que debe ser tostada, puesto que el color del Mosto determina el color del producto, junto con la adición de caramelo.

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

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

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

1.5 Alcohol.

1.5.1 Bioetanol

El bioetanol es un alcohol elaborado de fuentes renovables que sigue un procedimiento de fabricación similar al de la cerveza o mediante la fermentación directa de productos azucarados.

1.5.2 Producción de Alcohol en el Mundo

Cada día debido a las condiciones internacionales de los precios de los combustibles la producción de etanol se vislumbra como una solución a los problemas del consumo de combustibles fósiles, así como a la producción de gases de efecto invernadero; el mercado ha tenido una apertura considerable tanto en Estados Unidos por medio del Tratado de Libre Comercio. Los países miembros de la Unión Europea comprometidos a reducir en un 10% el volumen de combustibles fósiles utilizados para de transporte representan también buena porción de mercado para la venta de etanol (Chavarría, 2008)

1.5.3 Materias Primas Utilizadas en el Proceso

Varios autores coinciden en definir tres tipos de materias primas para la producción de etanol, las cuales son:

- Materiales portadores de azúcares simples (tales como en las cañas de azúcar y sorgo dulce, melazas, etc.) los cuales contienen carbohidratos como fuentes de azúcares.
- Almidones (tales como la yuca, maíz, grano de sorgo, papa, etc.) los cuales contienen carbohidratos en formas de almidón como fuente de azúcares.
- Celulosas (tales como la madera, residuos agrícolas, etc.) cuyos carbohidratos se encuentran en formas más complejas (Horri, 1979)

Las principales fuentes actuales de Bioetanol a nivel mundial y sus rendimientos son (Ochoa and Miranda, 2008)

Tabla1.1 Rendimientos Totales para algunos sustratos

Cereal	Rendimiento Total (L/Kg.)
Maíz	0,40
Yuca	0,53
Sorgo Dulce	0,14
Remolacha	0,20
Caña de Azúcar	0,085

1.5.4 Hidrólisis Enzimática y Fermentación a partir de Sustratos Amiláceos

Ortega y Serna estudiaron el empleo de la malta de sorgo en la producción de cervezas. Las Cervezas tipo Lager fueron producidas con maltas de cebada o sorgo y una formulación de adjuntos comerciales o grits y de sorgo ceroso, empleando o no enzimas sacarificantes. Los mostos fueron producidos de las dos diferentes maltas y tipos de adjunto siguiendo el procedimiento de doble maceración. La actividad diastásica de la malta de cebada fue 1.4 veces mayor que la de sorgo. Se analizan las ventajas y desventajas de usar cada uno de los adjuntos y maltas en cuanto a azúcares reductores obtenidos y grados alcohólicos. Los resultados demuestran que fue factible producir cervezas tipo lager 100% de sorgo cuando se añadió la enzima amiloglucosidasa. Las cervezas de sorgo tuvieron propiedades fisicoquímicas y organolépticas similares a las cervezas regulares, son de más bajo costo y no contienen gluten, por lo que pueden ser consumidas por enfermos celiacos (Serna et al., 2005).

Según Hayek y Shriner, las masas amiláceas se pueden hidrolizar satisfactoriamente, empleando ácido sulfuroso. Demuestran que el almidón puro se convierte completamente en glucosa en 15min, a 165º C, en presencia de 0.2 a 0.4 % de SO_2; que las masas de maíz se hidrolizan a 160º C en 15min, con 2% de SO_2; y que las masas de trigo se hidrolizan en 10 min, a 165-170º C, con 2% de SO_2. El SO_2 se puede eliminar con facilidad de las masas sacarificadas, e iniciar, la fermentación. Los rendimientos de etanol obtenidos a partir de masas hidrolizadas con SO_2 se pueden

comparar favorablemente con los conseguidos usando masas convertidas con malta (Prescot, 1952).

González y Molina estudiaron, a escala de laboratorio, la hidrólisis enzimática y la fermentación a partir de la papa (Solanum tuberosum), para determinar las mejores condiciones para producir alcohol. Relatan que en la primera etapa experimental se analizó el efecto sobre la conversión a azúcares reductores, de la concentración de las enzimas [alfa]-amilasa y amiloglucosidasa, la concentración de sustrato y el tiempo de sacarificación. Se determinó que el efecto combinado entre las concentraciones de la enzima [alfa]-amilasa y el sustrato presentó significancia estadística; la conversión a azúcares reductores se ve favorecida al utilizar los valores de 0,8 ml/[kg.sustrato] y 20% respectivamente. La concentración de la enzima amiloglucosidasa y el tiempo de sacarificación no presentaron significancia estadística, por lo que se recomienda utilizar 8mL/[kg.sub.sustrato] y un tiempo de 14 h.

En la segunda etapa se realizó el seguimiento cinético de la hidrólisis y se sugiere disminuir el tiempo de acción de la enzima [alfa]-amilasa a 0,5 h y para la sacarificación utilizar un período de 15 h.

En la fermentación alcohólica del sustrato hidrolizado, se estudió el efecto de la concentración de células y la presencia de biotina como promotor de la fermentación. Se encontró que la concentración de células no es significativa y se recomienda utilizar una concentración de 50 millones células/ml. La presencia del promotor presentó significancia estadística entre los niveles utilizados. Al evaluar el efecto de cuatro concentraciones del promotor, se observó que la concentración de 0,2 mg/kg favorece la producción de alcohol. En la etapa del seguimiento cinético de la fermentación, se obtuvo un consumo de azúcares reductores de 91%, una concentración máxima de alcohol de 10,33% v/v, un rendimiento de etanol con respecto al ideal de 0,98 y una eficiencia de la fermentación de 0,91. El rendimiento de etanol para el proceso global fue de 0,0746 kg etanol/[kg.sust.papa] (González and Molina, 2006).

Wagner describe en su artículo Cervezas sin Malta de Cebada que, entre el sorgo y el maíz se escoge el sorgo por tener menor contenido graso, forma del grano esférica que

lo hace más fácil de manipular en la molienda y precio razonable. El poder diastásico de entre 25 a 35 frente a más de 250 de la malta de Cebada. Para realizar la maceración se tiene poca alfa y beta amilasas por lo que deben utilizar enzimas exógenas. El mercado ofrece dos tipos de alfa amilasas:

- De baja temperatura que actúa alrededor de 60°C, pero su pH óptimo es de 2,5
- Termoestable que su pH óptimo es de 5,6 y se inactivan a 110°C.

Como sustituta de la Beta amilasas se pueden utilizar Betaglucanasa (fluidifica las gomas) y Amiloglucocidasa (convierte todas las dextrinas a fermentables). Parte de las enzimas presentes en el grano malteado son las Beta amilasas (Wagner, 2005)

Desde años anteriores, según plantea Ridgeley en su publicación, el malteado de la cebada puede sustituirse con éxito por el malteado de sorgo para la elaboración de cervezas. Además pueden sustituirse el maíz y el trigo para el sorgo.(Ridgeley, 1996)

Rahn en su artículo relata que el proceso de producción de alcohol consiste en moler el grano entero para producir una harina. Se cocina el grano y se sacarifica usando hidrólisis ácida, malta diastástica o amilasas de organismos de hongos. La “cerveza” de fermentación se enfría y se inocula con células de levadura. Para completar la fermentación se requiere entre 30 y 40 horas. (R.Hahn, 2007)

Underkofler refiere que el rendimiento de alcohol que se produce con sorgo es de 23 litros de alcohol cada 25 Kg de granos sobre una base de sustancia seca con rendimientos de fermentación de 93% o mayores.(Underklofler, 1954).

En todos los procesos la eficacia depende del tratamiento preliminar, en caso de haberlo; del empleo de una concentración optima de azúcar, de un pH y temperatura óptimos; de la adición de sustancias nutritivas al mosto si este estuviera falto de algún constituyente esencial; de la inhibición del crecimiento bacteriano; el empleo de una variedad fuerte de levadura con alta tolerancia alcohólica y capaz, por tanto, de producir grandes cantidades de alcohol; del mantenimiento de las condiciones anaerobias adecuadas durante la fermentación, y de la inmediata destilación del mosto fermentado (Fabelo, 1999)

En la etapa del proceso de obtención de alcohol etílico, se logra la separación de la inmensa cantidad de componentes que acompañan la mezcla obtenida en la fermentación y obtener una mezcla líquida lo mas homogénea y con el mayor nivel de pureza posible. Esto se realiza en las columnas de destilación, que pueden ser de varios tipos. El punto de ebullición de las mezclas de agua y etanol en el equipo donde se realiza la concentración, se eleva a medida que el líquido se empobrece en alcohol. Los vapores que se producen por ebullición de estos líquidos, son más ricos en alcohol que la dilución de que proceden. En este principio se basan los procedimientos de concentración y purificación, los cuales se efectúan normalmente y de forma tradicional mediante procesos de destilación y la utilización de columnas destiladoras y rectificadoras, casi siempre en número de tres como mínimo, hasta obtener una mezcla cercana al punto de azeotropía (Bitter, 1993).

La calidad del alcohol o pureza del producto, lo determina en primera instancia el grado alcohólico, que es el porcentaje de alcohol contenido en el producto, indica la Generalmente se conoce como Grados Gay Lussac (°C) cuando se expresa en porcentaje volumen/volumen. Es adecuado indicar la temperatura que se realizó la medición, esto es porque el valor del grado alcohólico puede variar según la temperatura de medición ya que está relacionado directamente con la densidad y ésta a su vez cambia en función de la temperatura. Lo más común es medir y expresar el grado alcohólico a 20 °C (Anahite, 2007).

Después de producir el etanol utilizando sólo granos de almidón de maíz y sorgo, los nutrientes restantes - la proteína, fibra y aceite – son derivados creados para el alimento del ganado, denominados los granos de los destiladores secos solubles (DDGS). Es un valioso alimento para el ganado de las lecherías. En América del Norte, más del 80% de DDGS se usa en las dietas rumiantes. Los DDGS también se utilizan en las pollerías. Los recientes estudios muestran un valor nutritivo excelente de DDGS en las dietas del cerdo y su uso está aumentando en la industria de la carne de cerdo (ETHANOL, 2009)

1.6 Conclusiones Parciales

1. La búsqueda de nuevos sustratos para la producción de etanol, es una tendencia a nivel mundial y el sorgo ocupa uno de los primeros lugares debido a sus potencialidades y precio razonable comparado este último indicador con el de la Cebada.
2. La literatura consultada ha demostrado que es factible la utilización de enzimas del propio grano de sorgo y las comerciales como la Amiloglucocidasa para elevar la conversión de almidones a azúcares fermentables en el proceso de producción de etanol.
3. Existen países con una población, cada vez más creciente, que padecen de la enfermedad denominada Celíaca, a nivel mundial por lo que se trabaja en esta perspectiva para aumentar la producción de Sorgo y emplearlo en el proceso de malteado para bebidas y otros alimentos, que satisfagan a dichos consumidores.

Capítulo II

En la investigación se toman como punto de partida los resultados obtenidos en trabajos anteriores de donde se emplea el sorgo por las ventajas que se señalan para este cultivo, además de que tiene características muy similares a las de otros cereales empleados para la producción de maltinas y cervezas y bioetanol.

El sorgo empleado para este estudio es el mismo empleado en trabajos anteriores UDG-110, cultivados en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de la UCLV, por ser entre otros, uno de los que mejores resultados ha brindado y de mejores cosechas en el centro, es un sorgo blanco con poco contenido de taninos.

2.1 Variables y Niveles Utilizados en los Experimentos

Este trabajo, al basarse en los resultados obtenidos anteriormente y en los cuales se recomienda la necesidad de continuar y perfeccionar los procesos de producción de maltina y etanol de sorgo, permite la selección de las variables a analizar y de los niveles de las mismas a tomar. En ambos procesos para su desarrollo se tomó un diseño de experimento del tipo 2^K donde k seria el número de variables y para dos niveles en cada variable y se realizaron dos réplicas para las maltinas, cada una correspondiente a los niveles de las variables. Se desarrollaron en total 10 experimentos a partir del sorgo malteado.

2.2. Desarrollo Experimental.

El desarrollo experimental consta de tres procesos fundamentales:

1. Malteado del sorgo para ser empleado como materia prima fundamental.
2. Producción de Maltina a partir de malta de sorgo.
3. Producción de etanol empleando la combinación ácido–enzima (malta y amilasa comercial)

2.2.1. Malteado del Sorgo

El malteado del sorgo se realiza con el propósito de obtener granos que germinen bajo determinadas condiciones ambientales. Además, es necesario que los granos del cereal que va a ser malteado no hayan germinado antes de la recolección y que ninguno de ellos haya muerto a causa de haber secado el grano tras una recolección en circunstancias insatisfactorias. Lo que se persigue es que en más del 98 % de los granos se observe la vaina de la raíz, además se requiere, un contenido bajo en proteínas, entre el 9 % y el 11,5 % Esto se aprecia en la caracterización hecha por (Alemán, 2007), a las materias primas Anexo 2.1.

Este proceso a su vez consta de cuatro etapas fundamentales para llegar a obtener la malta:

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

Clasificación del Grano.

Esta etapa se realiza con el objetivo de hacer una selección adecuada del grano. Se tamizaron los granos de sorgo para separar materias extrañas o impurezas que puedan afectar el proceso en general.

Etapa de remojo.

Se realizó una templa en la cual se pesaron tres kilogramos de sorgo clasificado. En un recipiente adecuado, se añadió agua, primeramente hasta la altura de los granos para que absorbieran todo el líquido hasta alcanzar un volumen pequeño por encima de éstos. El remojo tuvo un tiempo de duración de 48 horas donde se observó el brote de la plumilla en la mayoría de los granos (48-60 h para este grano) (Rodríguez, 2005), (Alemán, 2007), correspondiendo una humedad de 38,7%, algo inferior a las reportadas

por estos autores en su estudio. En esta etapa se cambió y aireó el agua cada 6 horas para evitar el desarrollo de microorganismos perjudiciales en esta etapa. En esta etapa producto de la absorción del agua el grano aumenta su tamaño con una elongación ascendente de hasta 0.02 mm a las 18 h, la cual disminuye y se mantiene constante en 0,01 mm.(Alemán, 2007).

Etapa de germinación.

Después que el sorgo alcanzó las 48 horas de estar en el remojo se colocó en dos bandejas, cubierto por un paño húmedo y aireándose el mismo a una temperatura entre 16-20°C aproximadamente. Una primera bandeja fue utilizada para la Malta Clara con un tiempo de germinación de 62 horas y la segunda bandeja para la Malta Caramelo con 86 horas. La etapa terminó cuando brotaron las raicillas o plumillas y estas alcanzaron las ¾ partes y el doble del tamaño del grano, para la Malta Clara y la Malta Caramelo respectivamente.

Para determinar el rendimiento de la germinación en ambas maltas se tomaron cinco muestras diferentes con 25g y se pesaron los granos germinados en cada muestra, Los resultados se reflejan en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2.

Tabla 2.1 . Rendimiento de la Germinaciòn de la M. Clara

Total de Granos	%Granos Germinados
25	66,80
25	75,60
25	80,40
25	72,40
25	60,00
Promedio	**71,04**

Tabla 2.2.Rendimiento de la Germinaciòn de la M.Caramelo

Total de Granos	%Granos Germinados
25	70,80
25	67,60
25	62,24
25	86,00
25	94,00
Promedio	**76,13**

Como puede apreciarse no hay grandes diferencias en el poder germinativo con un día de diferencia en la germinación, entre una y otra malta, los resultados son superiores a los reportados por Ozuna e inferiores a los de Alemán, debido a la calidad del grano y a que en este experimento la humedad en el remojo quedó por debajo de la reportada para la cebada y en los experimentos anteriores.

Etapa de secado.

En esta etapa se realizó el secado de la Malta Clara en una bandeja, con un espesor de malta de 2,2 cm. en una estufa de tiro de aire inducido, primeramente a 60 ^{o}C durante cuatro horas con el objetivo de garantizar que no se destruyeran las enzimas y así evitar la vitrificación del grano, luego la temperatura es elevada hasta 100 ^{o}C durante 60 minutos, el proceso terminó cuando la malta alcanzó un por ciento de humedad de 4,70 % (menor del 5% como se establece para la malta de cebada).

Para obtener la Malta Caramelo se realizó el secado de la segunda bandeja, con espesor de 1 cm. primeramente a 65 ^{o}C y durante 5 horas, luego la temperatura se elevó a 150 ^{o}C durante 30 minutos, el proceso terminó cuando la malta alcanzó un por

ciento de humedad de 3,5%. En la tabla 2.3 y 2.4 y la figura 2.1 aparecen los resultados de la variación de la humedad contra el tiempo de secado, para ambas maltas. Las curvas ajustada para la malta clara y malta caramelo son polinomios de tercer orden que responden a las ecuaciones:

$y = 3E\text{-}08x3 - 2E\text{-}05x2 + 0{,}0008x + 0{,}5759$ $R^2 = 0{,}9756$ M. Clara

$y = 5E\text{-}08x3 - 2E\text{-}05x2 - 0{,}0003x + 0{,}5879$ $R^2 = 0{,}9962$ M. Caramelo.

Finalmente se eliminaron las raicillas de la malta seca ya que contienen gran cantidad de proteínas.

Tabla 2.3. Comportamiento Humedad – tiempo. Secado de la M. Clara

Humedad %	Hum. Bs (Kg. Agua /Kg. S.S.)	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)
36,59	0,5770	25	0
36,55	0,5760	60	20
36,42	0,5728	60	40
36,35	0,5711	60	60
36,24	0,5684	60	80
36,23	0,5681	60	100
32,86	0,4894	60	120
28,57	0,4000	60	140
26,29	0,3567	60	160
22,36	0,2880	60	180
21,37	0,2718	60	200
19,73	0,2458	60	220
15,8	0,1876	60	240
4,77	0,0501	100	260
4,75	0,0499	100	280
4,7	0,0493	100	300

Tabla 2.4 Comportamiento Humedad – tiempo. Secado de la M. Caramelo

Humedad %	Hum. Bs (Kg. Agua /Kg. S.S.)	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)
37	0,5873	25	0
36,7	0,5798	65	30
32,4	0,4793	65	60
30,29	0,4345	65	90
27	0,3699	65	120
20,85	0,2634	65	150
14,67	0,1719	65	180
9,19	0,1012	150	210
1,56	0,0158	150	240
0,4	0,0040	150	270
0,035	0,0004	150	300

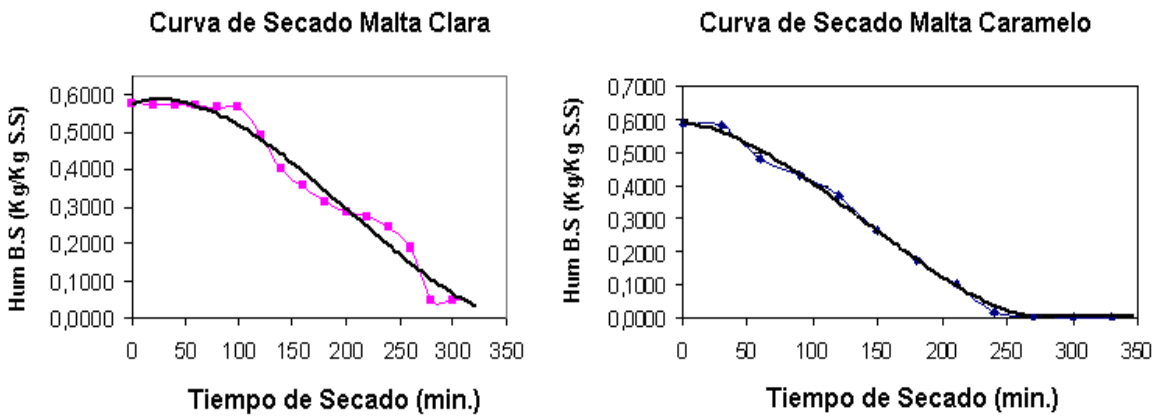


Figura 2. 1 Variación de Humedad-Tiempo en la Etapa de Secado

La curva real para la malta clara difiere un poco de los resultados obtenidos anteriormente para el malteado de este sorgo (Rodríguez, 2005), (Alemán, 2007), (Ozuna, 2008), al cambiar la temperatura a las cuatro horas para poder eliminar la humedad ligada, que es la mas difícil, con más rapidez, si se observa la curva de esa figura, es como si existieran dos curvas de secado, correspondiente a cada temperatura.

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

2.2.2 Proceso de Obtención de Maltinas

Paso 1: Molida del Grano.
Paso 2: Maceración o Mashing.
Pasó 3: Extracción del Licor y Lavado.
Pasó 4: Cocinado del Licor.
Pasó 5: Enfriamiento y Clarificación.

2.2.2.1 Preparación de las Muestras y Resultados Obtenidos

Para la selección de los niveles a tomar en estos experimentos se escogieron los mejores resultados obtenidos por Ozuna Anexo 2.2, correspondiendo a las muestras 2 y 8 y sus réplicas, que fueron las maltinas con menor relación sólido liquido, que es la variable que influye, según el diseño de experimentos, también se tomó la relación correspondiente a otras muestras realizadas solo con malta caramelo, donde la relación fue similar a las de los experimentos preliminares y que fueron las que mejores resultados arrojaron en cuanto a todos los parámetros de calidad medidos (Ozuna, 2008).

En la tabla 2.5 aparecen los niveles de las variables asumidas para el diseño de experimentos en esta parte del trabajo:

Tabla 2.5. Variables y niveles

Variables	Niveles	Um
Relaciòn malta total/ sòlido (x1)	100-150	g/L
Relaciòn malta caramelo/malta total (x2)	20-50	%

Se prepararon seis muestras o experimentos, las cuatro correspondientes al diseño de experimento y una réplica a dos experimentos. En la Tabla 2.6 se muestran los datos de las preparaciones de las maltinas, en la Tabla 2.7 los parámetros físico-químicos medidos al producto final y en la Tabla 2.8 los parámetros de calidad medidos a las mismas, en cuanto a cantidad de minerales, color y sabor. Se tomaron como muestras patrón la Maltina Bucanero *(PB)* y la maltina Tínima *(PT)* que son comercializadas en nuestro país, a las que se le determinaron algunos parámetros de los medidos a las muestras y otros reportados en el producto, para poder tener un patrón de comparación.

Tabla 2.6 Datos de Preparación de las Maltinas

Muestra	Rel.Mt/L (g/L)	Rel.Mco/Mt (%)	Agua Cocinado (mL)	Agua Lavado (mL)	Azucar (70g/L)	Caramelo (93g/L)	T. Ebull (°C)
1	150	50	600	600	84	111,6	100
R-1	150	50	600	600	84	111,6	100
2	150	20	600	600	84	111,6	100
3	100	50	600	600	84	111,6	99
R-3	100	50	600	600	84	111,6	99
4	100	20	600	600	84	111,6	100

Tabla 2.7 Parámetros Físicos Medidos a las Maltinas a 20 ºC

Muestra	°Ba	°Bx	°Bx Ref	ρ Exp. (Kg/m³)	pH	ρ referencia (Kg/m³)	Viscosid. (cP)	Volum. Extracto ml
1	9,0	16,7	16,2	1080	4,86	1067	1,739	617
R-1	8,6	15,6	15,5	1078	4,47	1062	1,694	612,4
2	9,1	16,5	16,4	1070	5,10	1067	1,730	532,8
3	7,5	14,3	13,5	1080	4,65	1055	1,654	702
R-3	7,9	14,3	14,2	1079	4,10	1058	1,654	680
4	9,8	18	17,6	1080	5,07	1070	1,807	580,5
P-B	7,24	13	13,02	1040	4,06	1053	1,630	
P-T	10	14,5	18	1050	4,78	1074	1,659	

Los valores de referencia se refieren a valores reportados (Puertas, 1974) para soluciones de sacarosa, midiendo el grado Baumé a la temperatura de 20 ^{o}C.

Existe una estrecha relación entre el Brix, Baumé, la densidad y la viscosidad. En la tabla 2.6 se aprecia, que para las maltinas elaboradas con sorgo, los Brix medidos por refractómetro son superiores a los valores de referencia para soluciones de sacarosa con el mismo Baumé, en tanto el de las dos maltinas tomadas como patrón es inferior. Se buscó la correlación existente entre estos parámetros físicos figura 2.2, donde puede apreciarse esta diferencia, aunque se mantiene casi la misma correlación.

$y = 1{,}6513x + 1{,}9048$ con $R^2 = 0{,}9963$, para las Maltinas

$y = 1{,}8064x - 0{,}0498$ con $R^2 = 1$, para las soluciones de sacarosa

Donde **y** es el Brix y **x** es el Baumé

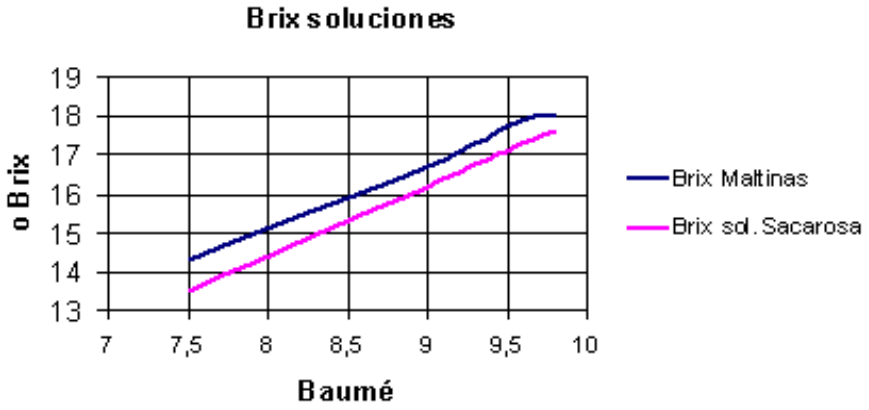


Figura 2.2 Relación entre Ba y Bx para maltinas y soluciones de Sacarosa

Para determinar la viscosidad, fue ajustada la curva en función del Brix para las soluciones de Sacarosa, figura 2.3. El valor de este parámetro en las maltinas elaboradas está cercano a los de las maltas patrones cuando la relación Sólido/Liquido es menor en el diseño de experimentos y la relación M Caram./M.Total es mayor (Exp. 3 y su réplica). Las densidades medidas experimentalmente tienen un comportamiento similar al Brix, son superiores a las de referencia, con el mismo Baumé, en el rango de 1069 – 1090 Kg/m^3, valores algo superiores a las tomadas como patrón 1040 Kg/m^3 para la Bucanero y en rango para la Tínima de 1074 Kg/m^3. Los valores de pH obtenidos se encuentran entre 4,49 – 5,10, siendo el de las patrones de 4,06 y 4,78, por lo que son valores aceptables en cuanto a su acidez.

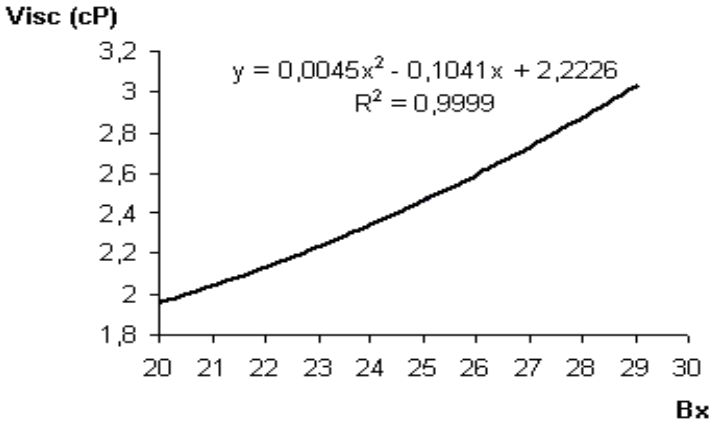


Figura 2.3 Relación entre Viscosidad cP y Bx

Al realizar el procesamiento estadístico de las variables respuesta (parámetros físicos) de las maltinas según el Software Statgraphic Anexo 2.3 puede apreciarse un comportamiento similar en estas variables:

El modelo de predicción codificado, obtenido para los extractos (Brix) es:

$$Brix = 16.2625 + 1.0375 \bullet Mtotal + 0.7875 \bullet MCaramelo - 0.1375 \bullet Mtotal \bullet MCaramelo$$

Con un coeficiente de correlación R^2 = 96.15 %

Según la tabla ANOVA del anexo y el diagrama de Pareto puede apreciarse que ambas variables independientes tienen un efecto significativo, positivo en el Brix, no así sus interacciones, lo cual es lógico, ya que se obtiene un mayor extracto cuando estas aumentan, siendo la mas significativa la relación sólido/líquido, solubilizándose los almidones y las enzimas contenidas en la malta, aunque si se observan estos resultados, son mas cercanos a los extractos de las patrones, cuando es menor esta relación y aumenta la relación de malta caramelo a la total, ya que sería menor la cantidad de malta clara o verde que tiene una mayor cantidad de almidones solubles que la malta caramelo. En la superficie respuesta puede apreciarse también este comportamiento. Figura 2.4

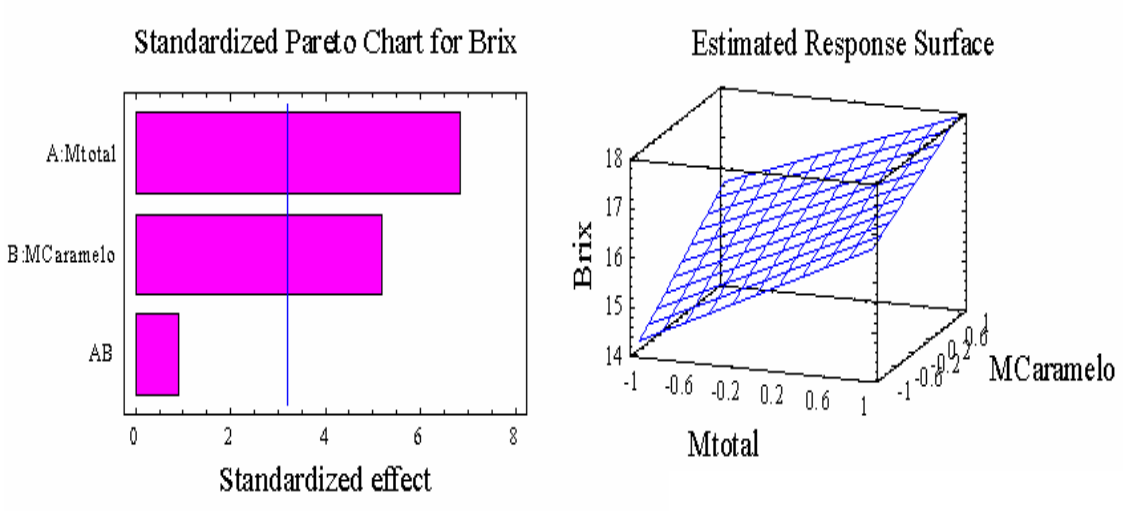


Figura 2.4 Comportamiento estadístico para el Brix

El modelo codificado para la densidad responde a la ecuación:

Densidad = 1076,38 - 2,375*M.Total + 2,875*M.Caramelo+2,125*M.Total*M.Caramelo

Con un coeficiente de correlación R^2 = 98,51 %. En este caso son significativas ambas variables y su interacción, siendo la variable mas significativa la relación malta caramelo/malta total. Para lograr los valores más bajos de densidad cercanos a las maltas patrón, habría que disminuir la malta caramelo, y su combinación con la malta total. Figura 2.5

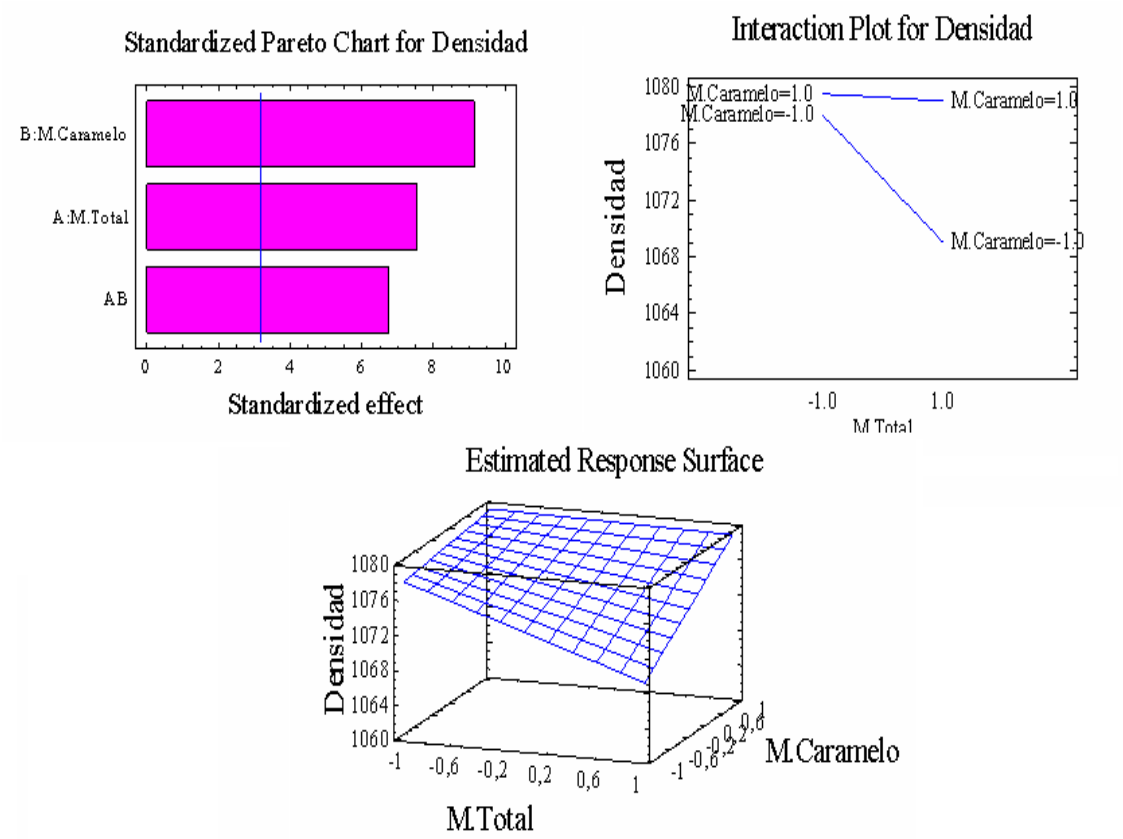


Figura 2.5 Comportamiento estadístico para la Densidad

Para la viscosidad el modelo de predicción obtenido es:

Visc = 1,72275 - 0,0025*M.Total - 0,0375*M.Caramelo +0,03375*M.Total*M.Caramelo

Con un coeficiente de correlación R^2 =97,49%. En este caso son significativas la malta caramelo y su interacción, siendo la variable mas significativa la relación malta caramelo/malta total, pero con un coeficiente para esta variable muy cercano al de las interacciones de las variables. En la explicación de este comportamiento de la viscosidad puede plantearse que para el caso de menor cantidad de malta caramelo indica mayor cantidad de malta clara, que es la que tiene poder enzimático y puede hidrolizar la solución y hacerla menos viscosa. En la Figura 2.6 puede apreciarse este comportamiento.

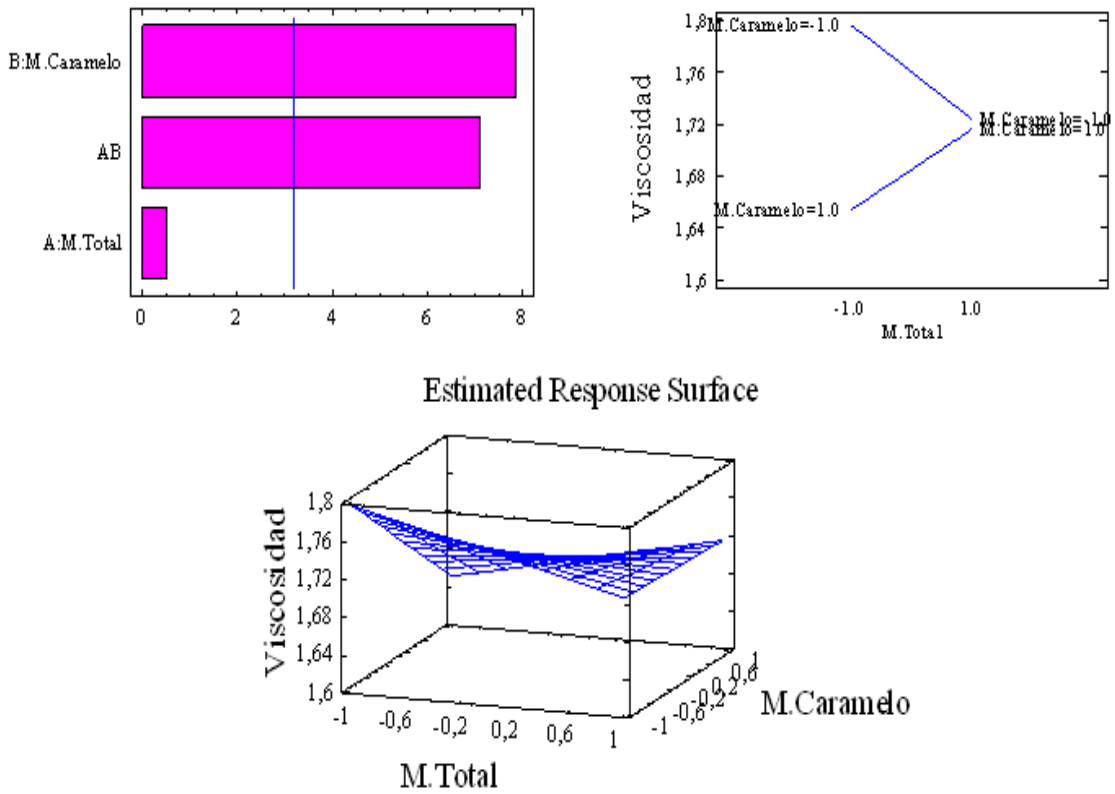


Figura 2.6 Comportamiento estadístico para la Viscosidad

Para el resto de los parámetros físicos medidos, se obtuvieron los modelos de correlación, siendo para el Baumé significativas la malta caramelo y la interacción entre las variables:

Ba = 8.875 + 0.1*MTotal - 0.625*MCaramelo + 0.45*MTotal*MCaramelo

Con R^2 =96,69%.

Para el pH solo es significativa la variable relación sólido líquido y el modelo de correlación es:

pH = 4.8025 + 0.2825*Mtotal + 0.06*MCaramelo - 0.085*Mtotal*MCaramelo

Con R^2 =87,69%.

Los diagramas estadísticos para estas variables aparecen en el anexo.2.3

Otros parámetros de calidad medidos fueron el contenido de minerales, el color y sabor Tabla 2.8

Tabla 2.8 Parámetros de Calidad Medidos a las Maltinas

Muestra	Mg	Ca	Zn	Cu	Fe	Color y Sabor
1	10,98	5,83	0,0470	0,2442	0,0709	Adecuados
R-1	9, 91	5,50	0,0356	0,1835	0,0657	Lig.Claro, adecuado
2	9,45	4,53	0,0377	0,0697	0,0511	Lig.Claro, acaram.
3	5,67	3,54	0,0270	0,0273	0,0428	Adecuados
R-3	4,20	3,24	0,021	0,0560	0,0404	Adecuados
4	9,80	5,57	0,0247	0,0103	0,0481	Lig Claro, adecuado
P-B	0,141	9,82	0,035	0,0130	0,2500	
P-T	-	18	-	-	0,3000	

Los contenidos de minerales se expresan en mg/ 100 ml de maltina

El contenido total de minerales reportados es superior al de la malta Bucanero, pero inferior al de la Tínima, aunque en los dos minerales fundamentales (Ca y Fe) los resultados para estas maltas son inferiores a los dos patrones.

El análisis estadístico realizado al contenido de minerales, para los dos fundamentales Ca y Fe muestra que para ambos minerales, son significativas las dos variables y su interacción, lo cual es lógico ya que, ambas maltas contienen estos minerales minerales en cantidades apreciables, según reporta Ozuna. Anexo 2.4

Los modelos de predicción de estas variables son:

Ca = 4.7375 + 0.34*Mtotal - 0.21*Mcaramelo +0.7975*Mtotal*Mcaramelo
Con R^2 =99,66%.

Fe = 0.0518 + 0.007625*Mtotal + 0.00315*Mcaramelo +0.005725*Mtotal*Mcaramelo
Con R^2 =99,46%.

Los diagramas con el comportamiento estadístico aparecen en el anexo 2.3

Los parámetros físicos visibles, arrojan que las muestras con mejor color recién terminados los experimentos fueron las muestras 3 y 4 sumándose al final la muestra 1, en esto pudieran influir los taninos que presenta el sorgo, aunque menores que un 0,25% para los sorgos blancos, que al oxidarse pudieran provocar un aumento de color.

En cuanto al sabor estas muestras tienen buenos sabores y olores, parecidos a las maltinas comercializadas, pero ligeramente bajo sabor de malta, con buenos niveles de azúcar, al trabajar estas muestras con los reportados por la Tinima de 93g/l, similares a las maltinas obtenidas en el trabajo preliminar (González and Molina, 2006), (Ozuna, 2008) que fue el mismo valor de azúcar reportado por la Tínima, provocando un sabor menos azucarado por esos motivos.

Al comparar estas maltinas con las obtenidas por (Ozuna, 2008) puede apreciarse que también el contenido de minerales totales y de Ca es superior en estas muestras, mientras que el de Fe es inferior. En el contenido de minerales tiene influencia, el tipo de suelo donde se haya sembrado el sorgo, así como la atención cultural al desarrollo del cultivo.

A la replica de la muestra tres se le realizo un análisis en el Centro Nacional de Inspección de la Calidad (CNICA) Anexo 2.5, en el que se midieron algunos parámetros ya medidos en el estudio como extractos y pH. Se le determino color estando por debajo de la norma para maltinas que se reporta entre 18-20 en esta muestra fue de 17,5. También se le realizó análisis microbiológico, el cual arrojó un valor muy alto para la cantidad de coliformes totales estando en el rango de 10^3 cuando los valores mínimos debe ser < 10 para este tipo de alimento. Estos resultados se explican, por la manipulación dada a las muestras para su filtración, operación esta muy difícil de realizar a las muestras con sorgo, si no se tienen los medios filtrantes adecuados y que en la pasterización se empleó el tiempo menor de los reportados para cerveza 30 min-1 hora.

2.2.3. Producción de Etanol Empleando la Combinación ácido–enzima (malta y amilasa)

Se parte de los resultados obtenidos en trabajos anteriores (Rodríguez, 2005) y (Alemán, 2007), que concluyeron acerca de las condiciones de hidrólisis y sacarificación para la obtención de alcohol a partir del grano de sorgo, empleando tratamiento ácido solamente y tratamiento combinado acido - enzima de la malta de sorgo, donde se demostró que la concentración de ácido es la variable de mayor influencia en la sacarificación, aunque hay mejores resultados cuando se combina el tratamiento acido con la malta. En el anexo 2.6 se muestran los resultados finales obtenidos por Alemán, donde se toma como patrón de comparación el experimento V empleando malta de cebada, tomándose los mismos niveles de las variables del experimento I que fue el de los mejores resultados.

Las variables independientes tomadas para los nuevos experimentos fueron ahora la concentración de Malta de Sorgo y la concentración de la enzima Amilasa, dejando fijas la de ácido clorhídrico (0,365 %), la relación sólido/líquido (200g/L) el tiempo de cocción (180min) y el cocinado a presión de 1,4 atm. por 30 minutos. Para el desarrollo del trabajo se realizó un diseño experimental del tipo 2^2 En la tabla 2.9 se muestran las variables con sus respectivos niveles

Tabla 2.9 Variables y niveles a estudiar en el diseño.

Variables	Niveles
Concentración de malta (X_1)	5 -20 % peso
Concentración de amilasa (X_2)	2 -5 % peso

Los niveles de la variable concentración de malta fueron seleccionados sobre la base de los mejores resultados obtenidos, en los trabajos precedentes y teniendo en cuenta experimentos reportados en la literatura para otros cereales, para la concentración de amilasa no se tenía referencia y se tomaron valores experimentados con enzimas celulolíticas. Los experimentos programados, así como los niveles de trabajo aparecen reflejados en la Tabla 2.10

Tabla 2.10 Programación del diseño de experimento

Experimento	X_1	X_2
1	5	2
2	5	5
3	20	2
4	20	5

2.2.3.1 Técnica General Seguida para el Desarrollo de los Experimentos.

La metodología seguida para el desarrollo de los experimentos consta de las siguientes etapas:

1. Tratamiento preliminar:
2. Hidrólisis de los almidones:
3. Prefermentación y Fermentación:
4. Filtración:
5. Determinación del grado alcohólico

Tratamiento preliminar: En esta etapa el sorgo es secado previamente para facilitar la trituración que se realiza con el fin de reducir la granulometría. El cereal molido es tamizado en una malla 9 y separadas sus fracciones. Esto se hace con el fin de romper la cáscara del sorgo que es muy dura, ya que para otros cereales se reporta que el tamaño del grano no tiene influencia en la obtención de alcohol. Además se recomienda trabajar con fracciones de grano reducidas hasta las ¾ partes, ya que inferior a estas tiende a gelatinizar en la etapa siguiente.

Hidrólisis de los almidones: Se pone a calentar el ácido clorhídrico hasta una temperatura aproximadamente de 50°C y luego se le agrega el sorgo, esta mezcla se agita espaciadamente durante un tiempo de 180 min con el objetivo de solubilizar e hidrolizar parcialmente los almidones. Para seguir la solubilización de los almidones se mide el Brix de la solución cada una hora. Luego las muestras se cuecen en la autoclave durante 30 min. a presión de 1,4 atm. Después de terminada la cocción se realiza un enfriamiento hasta la temperatura de 30 °C y se le ajusta el pH a un valor comprendido entre 4.5-6 que es el rango donde se desarrollan las levaduras y puede añadirse la enzima.

La hidrólisis culmina con la adición de la malta de sorgo primeramente que se realiza a la temperatura de 37 °C y se agita durante 1 min, seguido de la adición de la enzima amilasa a las mismas condiciones de temperatura y tiempo.

Pre-Fermentación: Se realizó en un tiempo de 15 minutos, donde se adicionan los nutrientes con suministro de oxigeno a la muestra para desarrollar la levadura y facilitar el proceso siguiente.

Fermentación: En esta etapa, con la acción de las levaduras, los azúcares fermentecibles son transformados en etanol y dióxido de carbono, además de otros productos en menor cuantía.

Filtración o Colado: EL fermento se filtra separando el licor claro y residuo sólido. El residuo sólido puede ser utilizado como alimento animal si se somete a un proceso de lavado y secado debido a su pH ácido y así se elimina un residual sólido que contaminaría el medio ambiente. (Alemán, 2007). Al fermento o batición se le determina el grado alcohólico de acuerdo a la muestra establecida para ello.

Las mediciones realizadas a las muestras fueron:

Determinación de Azúcares Reductores Totales (ART en g/L)

Los Azúcares Reductores fueron determinados en muestras duplicadas de filtrados con el Método de Bernfeld, utilizando el Ácido 3,5-Dinitro salicílico. Anexo 2.7

Determinación de la concentración de Etanol.

La concentración del etanol fue determinada mediante el método de gravedad específica por picnómetro y por alcoholímetro. Anexo 2.8

Los resultados de las etapas de hidrólisis y sacarificación aparecen reportados en la tabla 2.11

Tabla 2.11 Resumen de los Resultados de la Hidrólisis- Sacarificación

Exp	X1	X2	°Brix	Absorb. In.	ART (g/L)
1	5	2	27,0	0,179	206,62
2	5	5	27,5	0,219	252,78
3	20	2	27,4	0,228	263,17
4	20	5	26,9	0,215	248,16

La curva patrón ajustada para la determinación de los Azúcares Reductores Totales (ART) responde a la ecuación:

$y = 0,8665x - 0,0341$ Con $R^2 = 0,9904$

Donde **y** es la absorbancia y **x** la concentración de ART en g/L.

Para la determinación de los ART fue necesario variar el factor de dilución para las distintas muestras, en el rango visible y de acuerdo con el rango de absorbancia - concentración de la curva patrón. Para esta etapa el factor de dilución fue de (1/1000) para todas las muestras. Los valores de pH oscilaron en rango de 5,02-5,08.

De los resultados de la sacarificación Tabla 2.12 se aprecia que los sólidos totales en solución (Brix) son superiores a los obtenidos en trabajos anteriores al trabajar solo con malta de sorgo como agente de sacarificación y el pretratamiento ácido, pero todos los valores son cercanos. En estos experimentos no fue ajustado el Brix que es la variable que se sigue en el proceso de cocción a los valores usuales con que trabaja la levadura por no ser estos todos azúcares fermentables, ya que puede haber aun almidones sin transformar. Con los valores obtenidos se ajustó una curva de ART en función de los grados Brix anexo 2.9, cuya curva ajustada en software Excel responde al siguiente modelo lineal $y = 16,97x - 203,8$ con $R^2 = 0,9983$. Con el mismo se determinó el valor

de Brix correspondiente a un valor de ART de 120 g/L que son con los que normalmente trabaja la levadura S.Cerevisiae y reporta un Brix de 19,08, esto corresponde aproximadamente a un tiempo de cocción de dos horas y no de tres como se asumió en los experimentos.

Se observa también que la cantidad de azúcares reductores totales es muy elevada, pero no se tenían antecedentes de este parámetro en estudios anteriores, realizados a partir de este sustrato con el empleo de enzimas industriales, ni reportados en la bibliografía, salvo en un estudio para la producción de cerveza (Serna et al., 2005). Con los resultados obtenidos se procede a su procesamiento en el Software Statgraphics, para obtener el modelo de predicción, que representa la influencia de las variables estudiadas sobre las variables respuesta, ya que no fue posible hacer replicas a los experimentos. En este caso se analiza (ART) por ser la variable fundamental de esta etapa. El modelo responde a la ecuación:

ART = 242,683 + 12,9825*Malta + 7,7875*Amilasa - 15,2925*Malta*Amilasa

Con R^2 = 100 %

De acuerdo a los coeficientes de regresión la interacción entre ambas variables es la que tiene mayor influencia en los valores de ART seguido por el porciento de malta y por último la enzima amilasa añadida, siendo el efecto de las dos variables positivos mientras que el de las interacciones es negativo. Como se aprecia un nivel alto de la enzima amilasa reporta mayores valores de ART, aunque como en estos experimentos los valores de ART son tan elevados es mejor trabajar con niveles más bajos de la enzima, incluyendo su interacción con menos malta. Los diagramas que representan este comportamiento se presentan en la figura 2.7

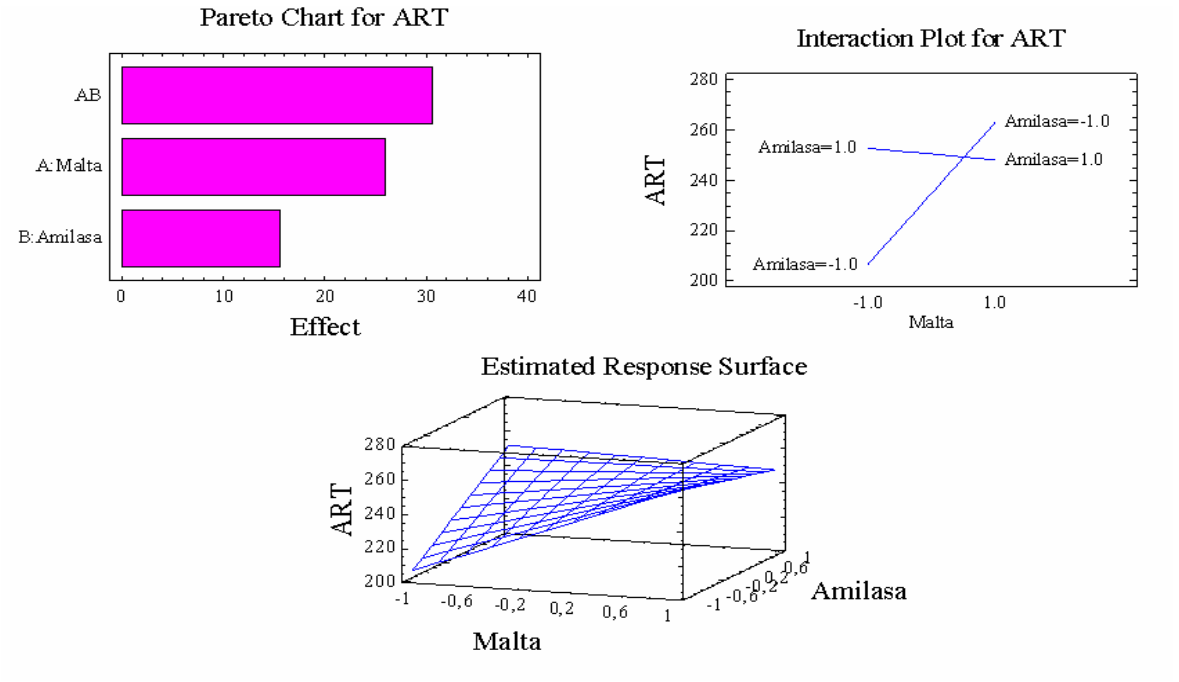


Figura 2.7 Comportamiento estadístico para los ART en la sacarificación

Para la etapa de fermentación los resultados aparecen reportados en la tabla 2,12

Para esta etapa el factor de dilución para la determinación de los ART finales osciló ente (1/10) (1/100) y (1/1000).

Como puede observarse en la tabla 2.12 al igual que en la etapa anterior la enzima tiene un efecto importante en los resultados, obteniéndose mejores valores de grado alcohólico que cuando se trabajó con malta sola, por lo que se aprecia que existe una mayor preparación del material para ser asimilado por la levadura, sin embargo se aprecia en todas las variables respuesta que son el grado alcohólico, el rendimiento en la fermentación, el rendimiento total y la productividad que los mejores resultados se obtienen cuando menor es el contenido de enzima amilasa, correspondiente a los experimentos 1 y 3. Los rendimientos de producto sustrato son aun bajos, lo que parece indicar que existe una inhibición por producto, al igual que los rendimientos en base a materia prima, en esto influye la forma y el tiempo de cocción, al dar volúmenes muy bajos de producto en el rango de 36-41% referidos al volumen inicial.

Para analizar el efecto de las variables en la etapa de fermentación se utiliza el Software ya mencionado, para obtener los modelos de predicción, que relacionan la influencia de las variables estudiadas, con las variables respuesta.

Tabla 2.12 Resumen de los Resultados de la Fermentación

Exp	°Brix f	Tiempo (h)	pH	ARTi (g/L)	Abs. f	ARTf (g/L)	Consumo ART (%)
1	12,2	64	4,49	206,62	0,190	2,23	98,92
2	15	64	4,55	252,78	0,329	38,01	84,96
3	14	68	4,44	263,17	0,337	38,93	85,21
4	20,5	89	4,68	248,16	0,118	136,22	45,11

Tabla 2.12 (Continuación)

Exp	Vol.Licor (L)	°GL (pign)	Rend. Ferm. Yp/s (%)	Rend Total L a.a/Kg sorgo)	Prod (g/L-h)
1	0,320	8,98	29,15	0,18	1,11
2	0,330	7,99	29,39	0,165	0,78
3	0,310	10,06	30,61	0,195	1,17
4	0,295	4,51	31,83	0,083	0,40

Para el grado alcohólico el modelo de predicción responde a la ecuación:

Grado Alc. = 7,885 - 0,6*Malta - 1,635*Amilasa - 1,14*Malta*Amilasa

Dando los resultados analizados anteriormente. Los que también se aprecian en la figura 2.8

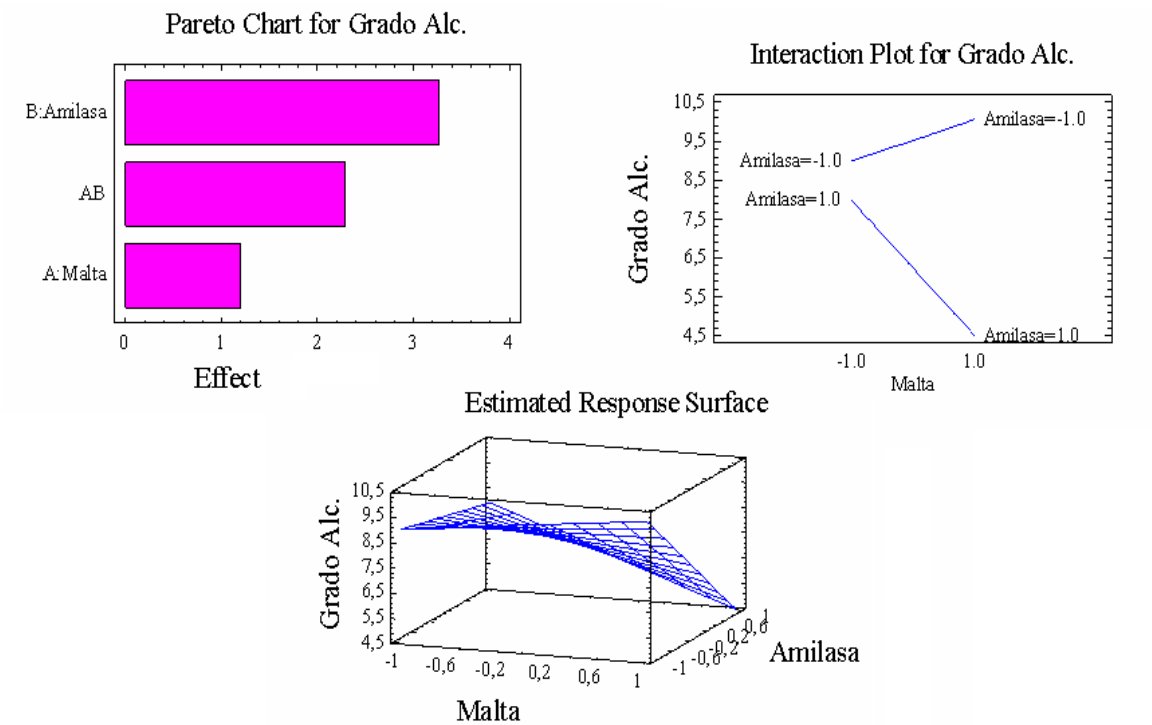


Figura 2.8 Comportamiento estadístico para el grado alcohólico

Para el consumo de ART, rendimiento en sustrato, rendimiento total expresado en litros de alcohol por cantidad de sorgo consumido y productividad. Los modelos son similares existiendo correspondencia en cuanto a la significación de las variables independientes. Predominando, la cantidad de enzima amilasa añadida en su menor nivel y la interacción entre ambas variables. Estos modelos son:

Consumo ART = 78,545 - 13,385*Malta - 13,51*Amilasa -6,54*Malta*Amilasa
Rend Sust = 32,8425 + 0,7925*Malta - 2,2325*Amilasa + 0,4275*Malta*Amilasa
Rend. Total = 0,155625 - 0,016575*Malta - 0,031625*Amilasa -0,024225*Malta*Amilasa
Product. = 0,9275 - 0,1225*Malta - 0,2125*Amilasa -0,1525*Malta*Amilasa

Y los diagramas que responden a estos modelos aparecen de las figuras 2.9-2.11
En el experimento cuatro, en donde las variables independientes están en sus máximos valores, son los resultados más deficientes para todas las variables respuesta, lo que evidencia que esta combinación no es adecuada, en los rangos estudiados en este trabajo.

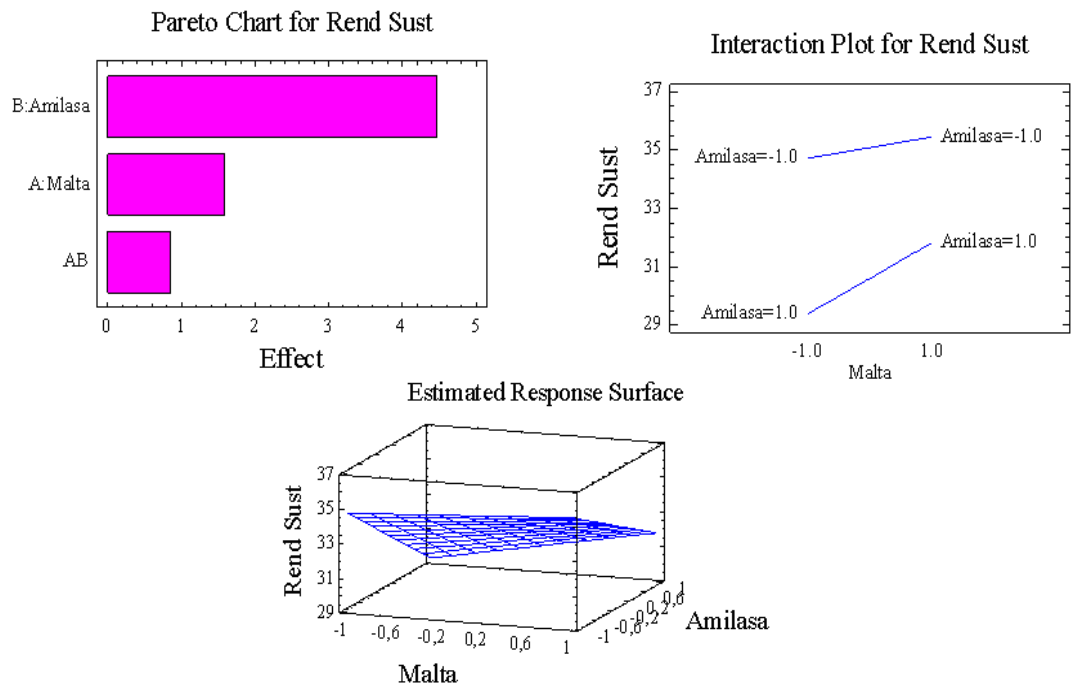


Figura 2.9 Comportamiento estadistico para el rendimiento en sustrato

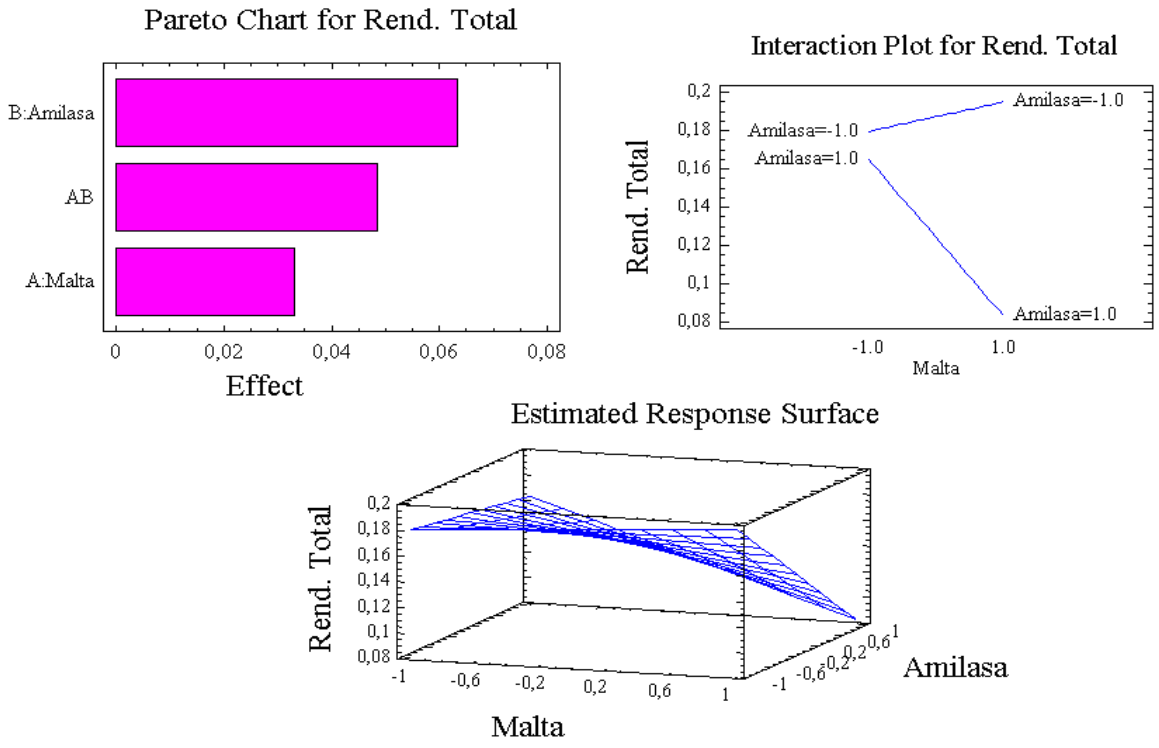


Figura 2.10 Comportamiento estadístico para el rendimiento Total

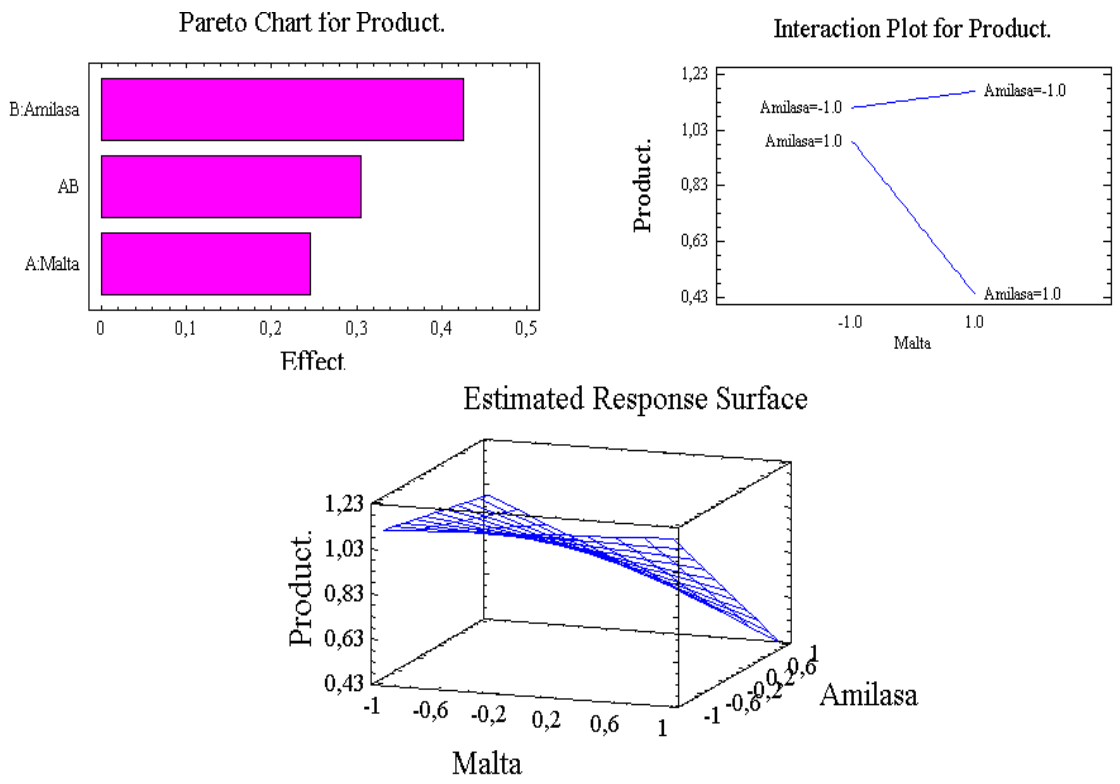


Figura 2.11 Comportamiento estadístico para la productividad

2.3. Conclusiones parciales.

1. Los extractos de las maltinas obtenidas a partir de sorgo se caracterizan por ofrecer valores de Brix, densidades y viscosidades superiores a las de soluciones azucaradas de sacarosa, mientras que las de malta de cebada son inferiores para los mismos grados Baumé, pero en rangos cercanos a las tomadas como patrón.
2. Las dos variables estudiadas, tienen influencia significativa en los parámetros de calidad determinados a las maltinas, presentándose con mayor predominio la relación Malta caramelo / MaltaTotal.
3. La caracterización realizadas a las maltinas indican, que la mejor variante en cuanto a los parámetros físicos medidos, fue la del experimento 3 menor relación sólido/líquido y mayor relación de M caramelo/M. Total, no así en cuanto al contenido de minerales, seguida por el 1 con condiciones máximas de las dos

variables, aunque aun hay que mejorar en el color y el sabor mediante un tostado mas prolongado de la malta caramelo.

4. Se aprecia un efecto significativo al añadir la enzima Amilasa, combinada con la malta de sorgo en la obtención del etanol, al obtenerse valores superiores a los obtenidos con el tratamiento con malta de sorgo solamente, en todos los parámetros medidos de calidad, ya que esta aporta las enzimas que le faltan a la malta de sorgo, sin embargo esta variable debe estar en los niveles más bajos estudiados.
5. Las curvas de Brix y viscosidad obtenidas para las maltinas, así como las de ART – Brix en los alcoholes nos permiten poder determinar parámetros de calidad y/o de operación en estos procesos.

Capítulo III

3.1 Esquema Tecnológico del Proceso y Funciones de las Etapas.

3.1.1 Introducción

En este capítulo se plantea el diseño de una planta para la producción de licores de sorgo, mediante la sacarificación enzimática del grano y tratamientos de cocción para la conversión de los almidones en azucares fermentables, el cual es capaz de fermentar con levaduras tradicionales, para la producción de etanol. Este licor será uno de los sustratos a emplear, combinado con otros, como licor de la sacarificación del bagazo, mieles etc. Se seleccionó una capacidad de producción de bioetanol de 1.5 HL/día, por lo que aplicando balances de materiales (ART) y teniendo las características de los licores que serían empleados como sustratos, obtenidos a escala de laboratorio se determinó la cantidad de licor (sustrato) que tendría que entregar cada una de las plantas individuales a la etapa de fermentación y de esta a la de obtención final de un alcohol de 95°GL.

Para la sacarificación se emplearan enzimas obtenidas del grano de sorgo malteado, complementado con enzima Amilolíticas comerciales (Amilasa), por la baja actividad diastásica que tiene la malta de sorgo, pero que su uso permite la reducción de los costos de producción.

El proyecto preliminar de la planta desarrollado por (Boffill, 2009), será reajustado con los resultados obtenidos en la presente investigación y son los resultados que serán reflejados en el presente capítulo.

Para la planta piloto de obtención de licores de sorgo corresponde una capacidad de producción de la planta de 1000 L de licor diarios ó 944,01 Kg/día, trabajando en tres batch de cuatro horas cada uno y 300 días al año.

3.1.2 Esquema del Proceso

El proceso consta de las siguientes etapas:

1. Molienda
2. Pre-tratamiento ácido

- Cocción de la harina y el ácido.
- Cocción de la masa gelatinizada a presión.

3. Sacarificación
   - Adición de enzimas amilasa y malta de sorgo
4. Filtrado
5. Neutralización

En la figura 3.1 aparecen las etapas del proceso completo de obtención del licor de sorgo.

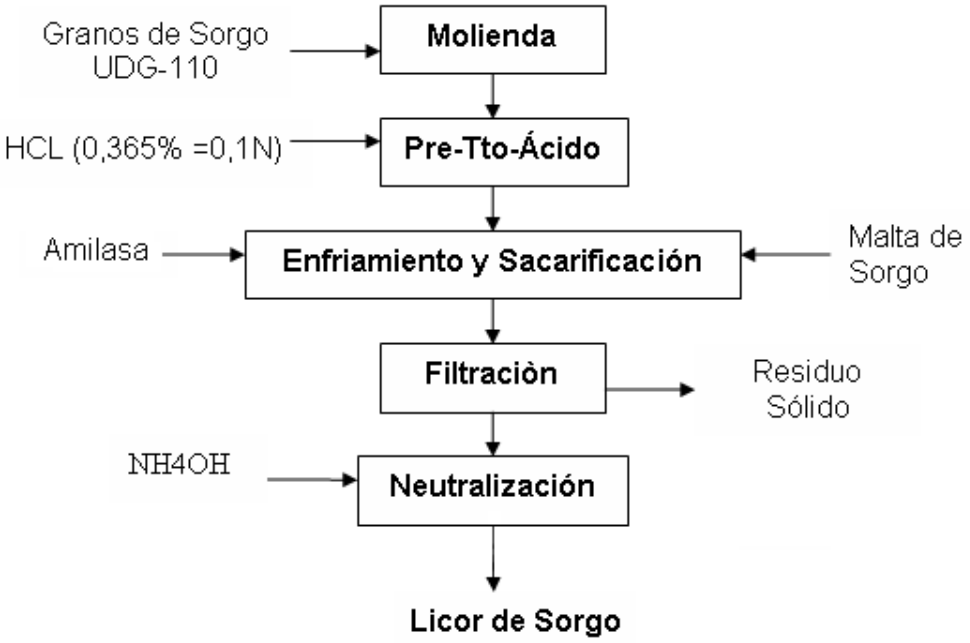


Figura 3.1 Etapas del proceso de obtención de licor de grano de sorgo

El objetivo principal es producir licor de sorgo, por ello deben cumplirse los siguientes parámetros:

- El ácido clorhídrico que se utiliza en la etapa de pre-tratamiento debe tener una concentración de 0,365% (0.1N).
- Las enzimas industriales utilizadas en la etapa de sacarificación deben tener de 2-5% y la malta de sorgo de 5-20% de la masa a hidrolizar, respectivamente.

- El agua de enfriamiento debe estar a una temperatura de 25 ° C.
- El producto final debe tener una concentración de 90-130 g/L de ART
- La levadura a utilizar debe ser la Saccharomyces.Cerevisiae.

3.1.2.1 Funcion Total del Proceso

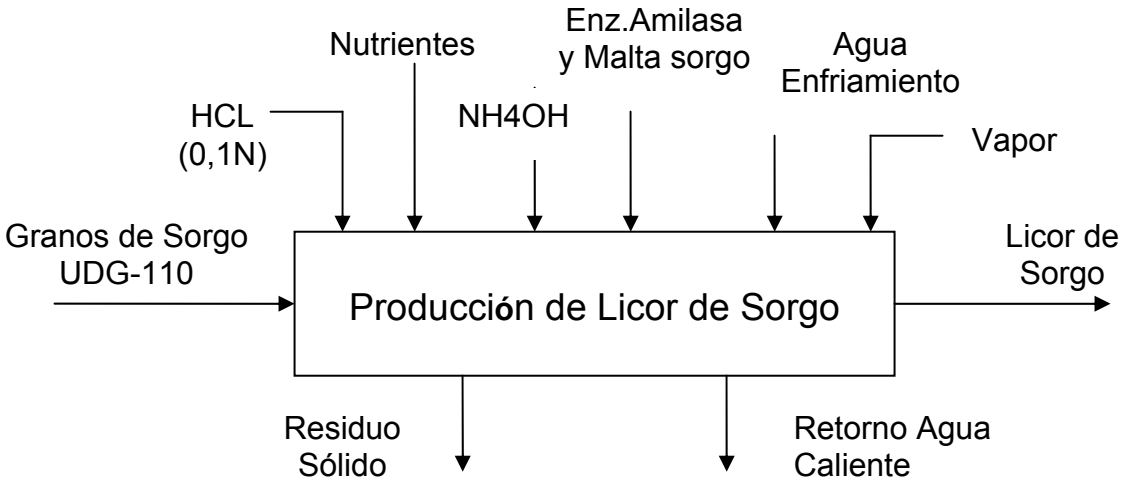


Figura 3.2 Función Objetivo Total de la planta de Licor

3.1.2.2 Funciones Parciales.

1. Etapa de Molienda

En esta etapa la variable a controlar es el tamaño del grano triturado.

2. Etapa de Pre-Tratamiento Ácido

Cocción de la harina y el ácido clorhídrico. Las variables a controlar son:

- La concentración de HCL (0,1N)
- La agitación
- La relación Tiempo/Temperatura

Cocción a presión. Las variables a controlar son:

- Presión del vapor (1.4 a.m.)

- Temperatura (110°C)
- Tiempo (30 min.)

3. Etapa de Sacarificación

Las variables a controlar son:

- Temperatura de la mezcla: 37°C
- La agitación
- Concentración de Amilasa y su pH óptimo (5,3)
- La concentración de la malta de sorgo 0.02 Kg/Kg de mezcla alimentada.

4. Etapa de Filtración.

La variable a controlar es el grado de separación.

5. Etapa de Neutralización

Las variables a controlar son:

- La concentración de Hidróxido de Amonio
- La Agitación.
- El pH del licor previo a la fermentación de 4 – 5,2

3.2 Selección de los Equipos (Ulrich)

Se deben seleccionar los equipos que garanticen las siguientes operaciones unitarias:

- Reducción de tamaño del grano
- Transporte de sólidos
- Calentamiento y cocción a presión de la masa
- Enfriamiento y sacarificación de la masa
- Filtración
- Neutralización

En el anexo 3.1 aparecen las tablas con la selección de los diferentes equipos

Molino

La selección del molino para la operación de reducción de tamaño, se realizó por la tabla 4.5 (Ulrich). Atendiendo a los diferentes parámetros de esta tabla, como son la relación de reducción, la capacidad (Kg/s), el costo, el consumo de potencia, la compatibilidad con diferentes materiales y por último los materiales específicos del tipo de molino. Se analizaron molinos rotatorio de bolas, de Martillos y de Energía de Fluidos, entre ellos se seleccionó un molino de martillos porque además de que fue el que mejor resultado proporcionaba por la tabla, toda la bibliografía sobre el proceso propone este tipo de equipo para la etapa de reducción de tamaño.

Transportador

Para el transportador de sólidos se tuvieron en cuenta los parámetros tales como diámetro o anchura, longitud, capacidad máxima de sólidos m^3/s compatibilidad de los sólidos fibrosos, el transporte hacia arriba en un plano inclinado, la elevación vertical, el ángulo de inclinación limitado, el costo relativo anual y el consumo de potencia. Se analizaron transportadores de banda, de tornillo sin fin, elevador de cangilones y de cadenas y paletas en flujo continuo. De acuerdo a que el sólido que se necesita transportar es un sólido granular (sorgo) y considerando que debe introducirse en el tanque de cocción, se ha escogido el tornillo sin fin, a pesar de ser el transportador con mayor costo y consumo de potencia, pero es el más eficiente para este tipo de material.

Equipos de calentamiento y enfriamiento

Para el calentamiento y enfriamiento por las características de dichas etapas, que son grandes volúmenes a batch, se había pensado en tanques agitados con medios de calentamiento y se compararon las opciones de si calentar con una chaqueta o serpentín. Para estas dos etapas del proceso se escogieron tanques enchaquetados con agitación, Por las cantidades de calor que habría que manejar, a pesar de ser

recipientes relativamente pequeños, no importó el alto costo de las chaquetas, frente a su gran eficiencia en dicho proceso.

Filtro

Para la selección del filtro se tuvo en cuenta primeramente el tipo de filtro, de acción periódica o continua.

Se valoraron las ventajas que brinda el filtrado continuo, en cuanto a productividad, pero por el alto costo de este y la particularidad del proceso, que es completamente a batch, en las etapas anteriores, se valoraron los filtros de marcos y placas, filtro prensa y de criba

Se seleccionó el filtro de marcos y placas ya que sus especificidades son compatibles con la operación y aunque tiene un costo elevado comparado con otros, es de fácil construcción.

Agitadores

En la selección de los agitadores se tuvieron en cuenta características tales como, velocidad de rotación, velocidad circunferencial en función de la viscosidad, costo, consumo energético, volumen de agitación, tipo de suspensión, la cantidad de impelentes en el mismo eje y otras, se consideraron los de Hélice o propela, de Turbina y de Paletas, resultando seleccionado el agitador de tipo paletas, ya que el mismo tiene bajo costo y porque el mezclado que se necesita no es tan grande e intenso. Además se recomienda para grandes volúmenes, con respecto al tamaño de los agitadores. También se tuvieron en cuenta las propiedades de la mezcla que se va a agitar, su viscosidad y densidad, e incluso se reporta en el diseño.

3.3 Balances de Masa y Energía

3.3.1 Datos Usados en los Balances

Capacidad de la planta – 1000 L de licor diarios ó 314,67 Kg/batch

Duración de un batch – 4 h

Total de batch en la jornada -3

Tiempo de trabajo de la planta 12 h

Relación de ácido de HCL por Kg de sorgo – 6 Kg de HCL/Kg de sorgo

Densidad del sorgo -0.7 Kg/l

Densidad del HCL -1.85 Kg/l

Densidad del agua -1.0 Kg/l

Densidad de la mezcla – 0.944 Kg/l

Cp del sorgo -1.68 KJ/Kg °C

Cp del HCL -0.1 KJ/Kg °C

Cp del agua -4.18 KJ/Kg °C

Cp de la mezcla -3.81 KJ/Kg °C

Relación de separación en la etapa de filtración por cada 2 L que se alimentan se obtienen 1.3 L de licor filtrado (Rodríguez, 2005)

Para realizar los balances de masa se fijó un valor de licor neutralizado (314,67 Kg), para saber qué cantidad de granos de sorgo se debe alimentar. Esta interpolación se realizó en Microsof Excel

Base de cálculo - 1 batch

3.3.2 Balances de Masa

Tanque de Pre-Tto-Ácido

El ácido se adiciona a razón de 6 Kg de acido por cada Kg. de sorgo.

Msorgo +MHCL= Menfriada

Msorgo + 6*(Msorgo)= Menfriada

Msorgo= 61,94 Kg/batch

Tanque de Sacarificación

Se adicionan 0.04 Kg de malta /Kg. de masa que se enfría

Menz.indust= 8,67L

Mco= Menfr= 433,55 Kg

Mmalteada= Menz.indust + Mmalta + Mco

Mmalteada= 459,57 Kg/batch

Filtro

Por cada Kg de masa malteada se obtienen 0.32 Kg de residuo sólido y 0.68 Kg. de licor filtrado.

Mmalteada= Mlicor Ácido + Mresiduo S

Mmalteada= 312,50 + Mmalteada*(0,32)

Mmalteada= 459,57 Kg/batch

Tanque de Neutralización

Si se quiere producir 314,67 Kg/batch

MnaOH + Mlicor Ácido= Mlicor Nuetraliz
2,17 + Mlicor Ácido= 314,67 Kg

Mlicor Ácido= 312,50 Kg/batch

3.3.3 Balances de Energía

Balances de energía en la camisa del tanque de Pre-Tto-Ácido

Esta etapa consiste en realizar el mezclado de los granos de sorgo triturado con el ácido y calentar la mezcla hasta 50° C, luego se necesita guardar relación entre el tiempo y la temperatura. Este calentamiento se puede realizar en un tanque con chaqueta, utilizando vapor de baja presión 1.4 atm.

Datos

Masa de mezcla = 433,55 Kg/ batch

Calor especifico de mezcla = 3.81 Kj/ Kg °C

La solución del ácido entra a temperatura ambiente al tanque, por lo que hay que calentar la mezcla desde 25 a 50 °C

El calor que hay que transferirle a esa mecha para que alcance la temperatura deseada es de:

$Q = mCp\Delta t = 41295,83$ KJ/ batch

Para calcular en que tiempo se realiza este proceso se utiliza como referencia las ecuaciones de la sección 10.38 del Perry para procesos a batch:

$$Ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}\right) = \frac{UA\theta}{MC_p}$$ Donde

T_1: Temp que entra la mezcla = 25°C

T_2: Temp hasta donde se lleva la mezcla = 50°C

t_1: Temp del medio calefactor = 110°C

U_d: Es el coeficiente total de transferencia de calor que será calculado, según la metodología que plantea Kern Cap 20, la cual se explicará detalladamente en el diseño del equipo.

U_d = 762 J/sm^2°C

A: El área de transferencia se calcula como propone Kern Cap 20, (Kern, 1988)

$$A = \pi dz + \frac{\pi d^2}{4}$$

A = 3 m^2

El tiempo que se demora en calentar la masa hasta la temperatura deseada a esas condiciones se define:

$$\theta = \frac{Ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}\right) MC_p}{U_d A}$$

θ= 251,68 seg = 4,19 min

Entonces la cantidad de calor Q en ese tiempo se convierte en el flujo calórico

Q'= 41295,83 KJ/251,68 seg

Q'=164,08 KJ/s

Realizando un balance de energía entre la mezcla y el medio calefactor:

$$Q' = MC_p \Delta T$$

$MC_p \Delta T = M_v \lambda$ donde λ es el calor latente del vapor e igual a 2228.5 KJ/Kg

M_v= 0,074Kg/s ó 17,67 Kg de vapor/batch

<u>0.074 Kg/s* 4h/batch*3600s/h =17,67 Kg de vapor/batch</u>

Luego es necesario cocinar la masa desde 50 hasta 96 °C en un tiempo de 3 horas

El calor necesario es Q = mCpΔt = 75984,32 KJ/batch que en el intervalo de tiempo dado será:

Q' = 5,28 KJ/s

Entonces $MC_p \Delta T = M_v \lambda$

M_v= 2,36*10^{-3} Kg/s = 34,10 Kg de vapor/batch

2,36*10^{-3} Kg/s* 4h/batch*3600s/h= 34,10 Kg de vapor/batch

La masa de vapor necesaria para esta etapa es la suma de estos balances y con un monto de 51,77 Kg de vapor de 1.4 atm de presión por cada batch.

Balance de energía para la cocción a presión.

Esta etapa consiste en aumentar la temperatura de la mezcla en el tanque del pre-tto-àcido hasta 110°C que es la temperatura del vapor a 1.4 atm y mantenerla durante 30 min.

Esto se logra en el mismo equipo cerrando la válvula de la tapa y haciendo presión en su interior por un aumento sucesivo de temperatura en la camisa.

La temperatura de la masa debe aumentar desde 96 hasta 110°C, el calor necesario para esto seria:

Q = mCpΔt = 23125,66KJ

El tiempo que se demora en realizar esta operación en la chaqueta a vapor de 1.4 atm es:

$$\theta = \frac{Ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}\right) MC_p}{U_d A}$$

θ= 1051,57seg =17,53 min

La cantidad de calor Q en ese tiempo se convierte en el flujo calórico

Q'= 21,99 KJ/seg

El balance de energía entre la mezcla y el medio calefactor:

$Q' = MC_p \Delta T$

$MC_p \Delta T = M_v \lambda$ donde λ es el calor latente del vapor e igual a 2228.5 KJ/Kg

M_v= 0,010 Kg/s = 2,37 Kg de vapor/batch

Mλ =7.18*10^{-5} Kg/s= 0.13 Kg/batch

Para esta etapa la masa de vapor necesaria es de 3.13 Kg de vapor / batch

Antes de pasar a la siguiente etapa, fue necesario realizar un cálculo para determinar los vapores de expansión al despresurizar el tanque enchaquetado de cocción para determinar la corriente de salida, siguiendo la siguiente metodología:

1. En el nomograma de la Fig. 4/2 (Hernández, 2009) se lee a la derecha arriba, para una temperatura dada del vapor de calentamiento y de la masa cocida, la temperatura del condensado t_1 y se determina la diferencia de temperatura $t_1 – t_2$.
2. En el nomograma principal debe unirse por una recta la escala "diferencia de temperatura con la escala '*condensado".
3. Desde el punto de intersección sobre la línea de ayuda y por medio de una segunda recta que pasa por la escala "temperatura del condensado expandido", se puede leer el resultado sobre la escala "vapor de expansión.

Cálculo

Se expande una cantidad de condensados de 12,48 Kg./100 Kg. de masa cocida desde la presión de 1,4 atm hasta una presión de 1,0 atm. La temperatura de la masa cocida en el tanque de cocción es de 96 ^{o}C.

De acuerdo a las tablas de vapor, la temperatura del vapor saturado a 1,4 atm es de 110 ^{o}C y a 1,0 atm de 100 ^{o}C.

El nomograma, a la derecha arriba, entrega una temperatura del condensado antes de la expansión de 109 ^{o}C. La diferencia de temperatura es 109 - 96 = 13°C.

La cantidad de vapor de expansión obtenido es de. 0,25 Kg vapor/100 Kg. de Mco

Se expanden por batch 1,0839 Kg. vapor/ 433,55 Kg. de Mco, por lo que pudiera despreciarse este valor a los efectos del balance.

Balance de Energía en el Tanque de Enfriamiento

Primeramente se determina el calor a extraer en el fluido:

Q = mCpΔt = 132146,65 KJ tratando de enfriar la mezcla desde hasta 30 °C

Luego se calculo el tiempo que tardaría en enfriarse bajo las condiciones del proceso, utilizando agua de enfriamiento con 25 °C

θ= 2047,24 seg = 34,12 min

Por tanto Q'= 64,55 KJ/s

El área de transferencia también fue calculada siendo de 3 m^2

Se puede plantear el siguiente balance, considerando que el medio enfriante varíe en 8 °C su temperatura.

$$M_m C_p \Delta t = M_{H2O} C_p \Delta t$$

M_{H2O} **= 1, 93 Kg/s =463, 27 kg/batch**

3.4 Diseño de los Equipos

En el anexo 3.2 aparece el dimensionamiento de los equipos necesarios para la planta.

3.5 Análisis Económico

En la producción de Etanol se discute la factibilidad de las materias primas. Está demostrado que los costos de mayor significación, dentro de un proceso son los de la materia prima. En este trabajo se comparan dos alternativas de producción para el licor de sorgo, utilizando diferentes materias primas. Las alternativas consisten en comparar económicamente el efecto de la utilización como agente enzimático de la malta de sorgo y la malta de cebada con enzimas comerciales.

Tabla 3.1 Alternativas para el análisis económico

Alternativas	Materias Primas
I	Malta de Sorgo + Amilasa
II	Malta de Cebada + Amilasa

El costo de inversión, la inversión fija, la inversión total y el costo del equipamiento de la planta permanecen invariables para las diferentes alternativas, ya que es común la

tecnología, solo cambian los costos de fabricación debido al cambio de las materia primas.

Costo de Inversión = Inversión fija + Inversión de trabajo

Inversión fija = costos directos + costos indirectos

Costos del equipamiento:

Costo actual = costo original * índice actual / índice original

Índice Original: 35,7 (Max and Klaus, 1991)
Índice Actual: 525,4 (Marshall., 2007)

3.5.1 Costo de Inversión (Max and Klaus, 1991)

Tabla 3.2 Costo del Equipamiento

Equipo	Costo Original ($)	Costo Actual($)	Referencia
Molino De Martillo	1000,00	1469,24	Fig.14-81
Tornillo Sin Fin	300,00	440,77	Fig.14-93
Tanque de Cocción	4645,00	6824,72	Fig.16-35
T. De Enfriamiento	4645,00	6824,72	Fig.16-35
Filtro	10000,00	14692,39	Fig.14-65
T. De Neutralización	1400,00	2056,94	Fig.14-56
Bombas Centrifuga (L-1 y L-2)	1380,00	2027,50	Fig.14-40
Total	**32420,00**	**34336,12**	

Tabla 3.3 Tabla de Inversión Fija

Indicador	Fórmula	Costo
Costos Directos		
Equipamiento	100%	34336,12
Instalación de equipos	30% del Costo de Equipamiento	11330,92
Instrumentación y control	10% del Costo de Equipamiento	3776,97
Tuberías	30% del Costo de Equipamiento	11330,92
Instalaciones eléctricas	10% del Costo de Equipamiento	3776,97
Edificaciones (incluido servicios)	18% del Costo de Equipamiento	6798,55
Perfeccionamiento o urbanización	6% del Costo de Equipamiento	2266,18
Servicios básicos Instalados	65% del Costo de Equipamiento	24550,33
Total		**101600,58**
Costos Indirectos		
Supervisión e Ingeniería	10% de Costos directos	10160,06
Gastos de construcción	10% de Costos directos	10160,06
Imprevistos	30% de Costos directos	3776,97
Total		**24097,09**
IF	CD+CI	**125697.67**
Capital de trabajo (WC)	0,1*(TCI)	**13966.41**
Capital de Inversión Total (TCI)	IF/0,9	**139664.08**

3.5.2 Costos de Producción

Costos Totales de Producción (CTP) = Costos de Fabricación (CF) + Gastos Generales (GG)

Costos de fabricación (CF) = Costos Directos (CD) + Costos Fijos (CF) + Costos Indirectos (CI)

Tabla 3.4 Costos de las Materias Primas

Materia Prima	Precio ($/Kg)	Consumo (Kg/Año)	Costo ($/Año)
Sorgo	0,13	55742,400	7358,00
Hcl	0,84	1220,400	1025,14
Malta De Sorgo	0,30	15606,000	4681,80
Amilasa	1,90	7803,000	14825,70
Total			**27890,63**

Costos de la mano de obra

La cantidad de obreros en relación a la cantidad de operaciones unitarias es de 2 obreros por turno (tabla 21 del Peter).

Tabla 3.5 Costo de la Mano de Obra

Obrero/Turno	Turno/día	Pago ($/h)	Costo Mano de Obra ($/año)
3	3	2. 00	**43000**

Costo de los sistemas auxiliares

Tabla 3.6 Costo de la Electricidad

Costo Electricidad ($/Kw-h)	Requerimientos (Kw-h/año)	Requerimientos ($/año)
0,06	43200,00	2592,0

Tabla 3.7 Costo del Vapor

Costo Vapor ($/1000kg)	Requerimientos (Kg/año)	Requerimientos ($/año)
2,0	54000	**108,0**

Tabla 3.8 Costo del Agua Destilada

Costo Agua ($/m^3)	Requerimientos (m^3/año)	Requerimientos ($/año)
0,90	333	**299,91**

Tabla 3.9 Agua Enfriamiento

Costo Agua ($/m^3)	Requerimientos (m^3/año)	Requerimientos ($/año)
0,08	417	**33,35**

Costos de los sistemas auxiliares ($/año): 3033,26

Tabla 3.10 Costos de Producción

Indicador	Fórmula	Costo ($/Año)
Costos Variables		
Materias Primas	-	27890,63
Mano De Obra	-	43000,00
Supervisión	10% Mano De Obra	4300,00

Utilidades		3033,26
Mantenimiento	2% Inversión Fija	2513.95
Suministro	10% Mantenimiento	251,40
Laboratorio	10% Mano De Obra	4300,00
Total		**33689,30**
Costos Fijos		
Impuestos	1% Inversión Fija	1256,98
Seguros	0,04% Inversión Fija	502,79
Depreciación	10% Inversión Fija	1256,98
Total		**3016.74**
Gastos Generales	0.1*Ctp	**1257,00**
Costos De Fabricación		**37963,04**
Otros Costos	0,15*(M.Obra+Sup.+ Mtto)	1974,61
Costo De Producción		**39937,65**

Alternativa II

Para la segunda alternativa solo hay cambios en el costo total de la materia prima, por tanto los valores de la inversión fija y total permanecen constantes.

Tabla 3.12 Costos de las Materias Primas

Materia Prima	Precio ($/Kg)	Consumo (Kg/año)	Costo ($/año)
Sorgo	0,13	55742,400	7358,00
Hcl	0,84	1220,400	1025,14
Malta De Cebada	0,52	15606,000	8146,33
Amilasa	1,90	7803,000	14825,70
Total			**31355,16**

Tabla 3.13 Costos de Producción

Indicador	Fórmula	Costo ($/Año)
Costos Variables		
Materias Primas		31355,16
Mano De Obra		43000,00
Supervisión	10% Mano De Obra	4300,00
Utilidades		3033,26
Mantenimiento	2% Inversión Fija	2513.95
Suministro	10% Mantenimiento	251,40
Laboratorio	10% Mano De Obra	4300,00
Total		**37153,83**
Costos Fijos		
Impuestos	1% Inversión Fija	1256,98

Seguros	0,04% Inversión Fija	502,79
Depreciación	10% Inversión Fija	1256,98
Total		**3016,74**
Gastos Generales		1257,00
Costos de Fabricación		**41427,57**
Otros Costos	0,15*(M.Obra+Sup.+ Mtto)	**2118,96**
Costo De Producción		**43546,53**

Tabla 3.14 Comparación de las Alternativas

Indicadores	Alternativa I	Alternativa II
Costo de Materia Prima ($/año)	27890,63	31355,16
Costo de Fabricación ($/año)	37963,04	41427,57
Costo de Producción ($/año)	39937,65	43546,53
Total	**105791,32**	**116329,26**

El ahorro que se logra al sustituir la malta de cebada por malta de sorgo es 10537,94 $/año

3.5.3 Valor de la producción

Si se tuviera en cuenta la venta del licor de sorgo y del residuo sólido, al tener éste, características para ser empleado como un pienso para animales monogástricos (Alemán,

2007), reportaria un valor de la producción mostrados en la tabla 3.11 y la recuperación de la inversión sería algo menor de cinco años empleando malta de sorgo y casi seis empleando malta de cebada, valores algo elevados, pero adecuados para plantas de pequeña escala.

Tabla 3.11 Valor Total de la Producción

Producto	Precio ($/Kg)	Producción (Kg/año)	Valor ($/año)
Licor De Sorgo	0,25	283206,85	70801,71
Residuo Sólido	0,12	132354,00	15882,48
Total			**86684,19**

Figura 3.1. Perfil del VAN para la Alternativa I

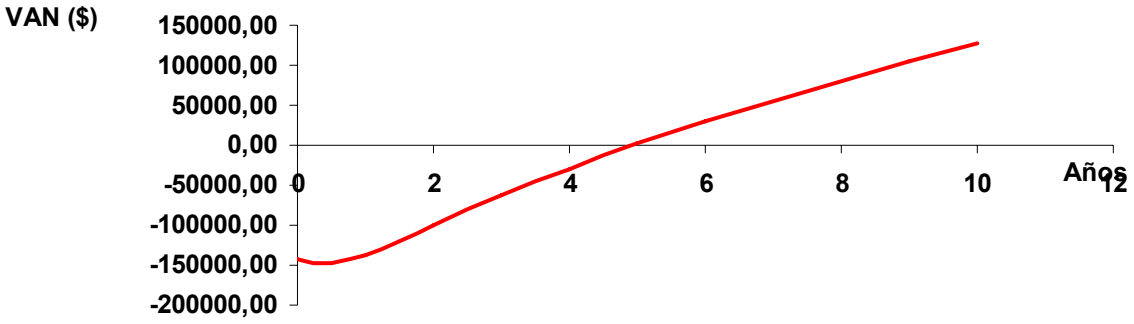
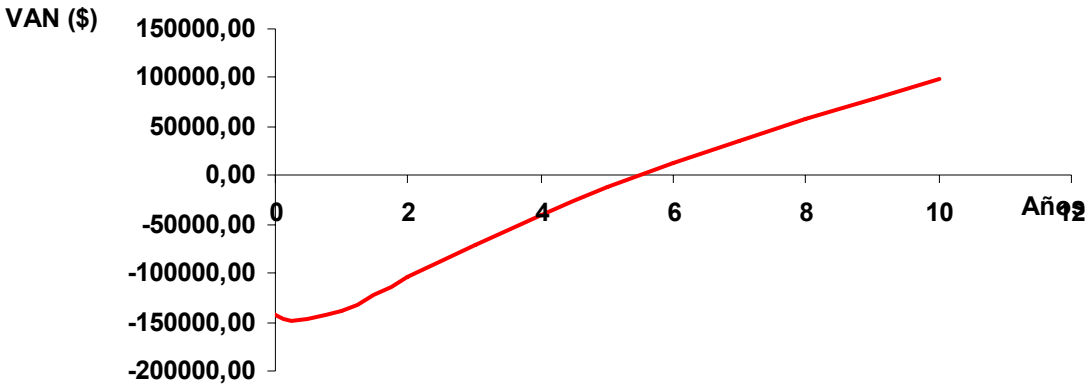


Figura 3.2 Perfil del VAN para la Alternativa II



3.6. Conclusiones Parciales

1. La planta de producción de licores a partir de sorgo, aunque un poco elevada su recuperación en años, puede ser considerada como una opción para la producción de bioetanol a nivel de planta piloto combinándolos con otros sustratos

2. Es factible económicamente la sustitución de la malta de cebada por la malta de sorgo, utilizando además enzimas comerciales, ya que se ahorrarían 10537,94 $/año en los costos de fabricación y producción.

Conclusiones

1. El sorgo es una materia prima amilácea que tiene múltiples propósitos, por su alto valor nutritivo en la alimentación animal y también en la humana. Su cosecha es ventajosa en cuanto a condiciones económicas y ambientales, además que mejora las condiciones de desarrollo de otros cultivos.
2. Los estudios realizados sobre las diferentes etapas de la producción de malta a partir de sorgo, permiten establecer los parámetros y condiciones de operación para su producción, las cuales no aparecen reportadas en la literatura, sino solamente para la malta de cebada.
3. El estudio realizado, en la obtención de Maltina a partir de sorgo malteado en este trabajo, unido a los de Ozuna, permiten proponer una tecnología, no reportada en la literatura para esta bebida y que presenta un elevado impacto social, dada la importancia de encontrar nuevos alimentos compatibles con la dieta de los enfermos celíacos.
4. Los resultados a que se arriban con el efecto de la enzima amilasa combinada con la malta de sorgo, en todas las variables respuesta estudiadas para la producción de etanol, permiten acotar los valores en que deben moverse o combinarse estas variables, de la cual no se tenían referencias, al dar valores superiores a los obtenidos en estudios anteriores, empleando la combinación ácido-malta.
5. La tecnología propuesta para la obtención de licores de sorgo, sustituyendo la malta de cebada por malta de sorgo, brinda resultados adecuados teniendo en cuenta el ahorro que se obtiene por concepto de sustituir una materia prima de importación por otra que puede ser de producción nacional.

Recomendaciones

1. Publicar los resultados que se han obtenido en la producción de malta a partir de sorgo blanco UDG-110, por no aparecer hasta el momento ningún trabajo que refleje los parámetros que se obtienen para este tipo de producto y que difieren de los de la malta de cebada.
2. Realizar un estudio de estabilidad y condiciones de producción acepticas, para la producción de maltinas a partir de sorgo malteado, con vistas a proponer una tecnología para la producción de esta bebida para los enfermos celíacos.
3. Continuar el estudio del empleo de enzimas comerciales combinadas con las maltas de sorgo para la producción de etanol y cervezas, ahorrando recursos por sustitución de materias primas de importación por una de producción nacional.
4. Realizar un estudio económico que comprenda las plantas de producción de malta de sorgo y las plantas de producción de maltina y de alcohol de sorgo, con vistas a valorar las potencialidades de este cereal en producciones biotecnológicas industriales, importantes para nuestro país

Bibliografía

1. ALEMÁN, L. (2001) Principales Enzimas Antioxidantes. Licenciatura en Biología
2. Núcleo de Sucre-Cumaná, Venezuela Universidad de Oriente,.
3. ALEMÁN, L. (2007) Estudio de la obtención de alcohol etílico a partir de sorgo Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu de las Villas".
4. ANAHITE, C. (2007) Significado de los Requisitos de Calidad del Alcohol Carburante. Bio Etanol, Ingenio Pantaleón S.A.
5. BAIRGIAN, A. J. (2006) Enzimas utilizadas en la industria alimenticia. Asociaciòn de Cerveceros Artesanales de la Repùblica Argentina. Argentina
6. BENITEZ, J. C. (2006) Aplicaciòn Industrial de las Enzimas.
7. BITTER, R. (1993) Distillation some new data. Chemical Engineering, 100.
8. BOFFILL, Y. (2009) Proyecto de Curso "Diseño de una Planta Piloto de Obtención de Licor de Sorgo por Vía Enzimática". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Cuba.
9. COUNCIL., G. (2008) Sorghum. U.S. Grains Council. Washington.
10. CHAVARRÍA, J. C. (2008) Etanol una Solución para la Industria Azucarera. Praj. España.
11. EGGERT, T. (2004) Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution. Curr Opin Biotechnol, 4**,** 305-313.
12. ETHANOL, K. (2009) Evaluation of Analytical Methods for Analysis of Dried Distillers Grains whit Solubles. KANSAS. United States, University of Minnesota Distiller Grain Site.
13. FABELO, J. (1999) Estudio de la etapa de fermentación alcohólica utilizando diferentes sustratos. Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu de las Villas".
14. FEDNA (2003) Normas FEDNA para la formulaciòn de piensos compuestos. Madrid. C. de Blas, G.G. Mateos y P.Gª. Rebollar
15. FLORIO, E. D. (2005) Elaboraciòn de chicha de jora a nivel de planta piloto utilizando tecnologìa cervecera. Perù.
16. GÓMEZ, L. (2008) Estudios demuestran que la malta posee propiedades de gran valor nutritivo. Grupo RPP. Perù.

17. GONZÁLEZ, G. & MOLINA, M. (2006) Estudio de los factores que afectan la hidrólisis enzimática y el proceso fermentativo para la producción de alcohol a parti de papa (solanum tuberosum). Costa Rica, Ingeniería.
18. HERNÁNDEZ, J. P. (2009) Cálculo de Vapores de Expanción. IN VILLAS, U. C. M. A. D. L. (Ed.) Cálculo de Vapores de Expanción.
19. HERNÁNDEZ, R. (2007) Enzimas. Universidad de los Andes-Mérida-Venezuela.
20. HORRI, J. (1979) Biotechnology Bioengineering Symposium Biotechnology.
21. KERN, D. (1988) Procesos de Transferencia de Calor, México.
22. MARSHALL., R. (2007) Economic Indicators Chemical Engineering. Economic Chemical Engineering, 844.
23. MATHEWSON, S. (1980) The Manual for the Home and Farm Production of Alcohol Fuel. , United Stated.
24. MAX, P. & KLAUS, T. (1991) Plant Desing and Economics for Chemical Engineers., United States.
25. MELONE, N. (2001) La opción de la harina de sorgo. Agricultura e Industrialización., 82.
26. OCHOA, I. & MIRANDA, G. (2008) Bioetanol.
27. OZUNA, Y. (2008) Obtención de maltina a partir de sorgo malteado para niños celíacos. Ingeniería Química. Santa Clara, Uiversidad Central "Marta Abreu de las Villas".
28. P.CARTER (2009) Sorghum Milo. UTC. Madison, EDT.
29. PRESCOT, S. (1952) Microbiologia Industrial. Madrid.
30. PUERTAS, R. P. (1974) Manual para el Laboratorio Azucarero, Las Villas.
31. QIAO, S., E, B., O, M., J, X. & B, F. (2004) Antigen presentation to celiac lesion-derived T cells of a 33-mer gliadin peptide naturally formed by gastrointestinal digestion. J Immunol.
32. R.HAHN, R. (2007) Usos del Sorgo grànifero en la Alimentaciòn Humana y Otros. INTA-Estaciòn Experimental Agropecuaria Rafaela
33. Informaciòn Técnica Cultivos de Verano. 108, 11.
34. R.NIELSEN & JOHNSON, B. (2008) Grain Sorghum Considerations for Late Planting in Southern Indiana. Purdue Univ. Extension Specialists. Indiana.
35. RAMÌREZ, E., ANAYA, A. M. & MARISCAL, G. (2005) Predicting the Chemical Composition of Sorghum grain by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). Tec Pecu.

36. RIDGELEY, B. (1996) Sorghum Beer. United States.
37. RIVERA, A., CARRILLO, R. & GONZÁLEZ, G. (2002) Reporte de Asesoria sobre Producción más Limpia Ralizada en la Cervecería Tínima. Cuba, Red Nacional de Producción Más Limpia.
38. ROAD, I. (2007) Brewing Gluten-Free Beer with BriesSweet™ White Sorghum Syrup. Natural Since United State.
39. RODRÍGUEZ, L. (2005) Estudio de la obtención de alcohol etílico a partir de sorgo. Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central"Marta Abreu de las Villas". Cuba
40. RODRÍGUEZ, Y. (2007) Los cereales en la elaboración de Bebidas.
41. ROSABAL, J. & VALLE, M. (1998) Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas, Cuba, ENPES.
42. SÀNCHEZ, M. A. (2005) Cultivo de Sorgo Granìfero. Argentina.
43. SERNA, S. O., URÍAS, D., POZO, D. D. & HERNÁNDEZ, C. (2005) Efecto de la adición de amiloglucocidasa en las propiedades de cervezas lager producidas a partir de sorgo. Transferencia.
44. SHAN, L., MOLBERG, O., PARROT, I., HAUSCH, F. & FILIZ, F. (2002) Structural basis for gluten intolerance in coeliac sprue. Science.
45. SMAGALSKI, C. (2009) Malting Sorghum for Bards Tale Gluten-Free Beer.
46. SOUTO, G. (2007) Cebada Cervecera y Malta.
47. ULRICH, G. Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química
48. UNDERKLOFLER, L. (1954) Industrial Fermentations .New York.
49. WAGNER, M. (2005) Cervezas sin malta de cebada. Còdigo Alimentario Argentino. Res. GMC N°014/01 ed. Argentina.
50. WIKIPEDIA (2009) Sorgo. Wikipedia, la enciclopedia libre.

Anexos

Anexo 2.1 Caracterización realizadas a las materias primas (Alemán, 2007)

Grano	% PB	Minerales						
		Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
Sorgo	12,5	0. 015	0,171	-	-	0,0042	0,00044	0,0025
Malta de Sorgo	11.01	0,0162	0,0256	0,0554	0,0342	0,0073	0,00090	0,0021
Malta. Cebada	13.56	0,0366	0,026	0,240	0,0217	0,0067	0,00065	0,0020

Anexo 2. 2 Parámetros de calidad medidos a las maltinas Ozuna 2008

Parámetros físicos y de calidad medidos a las maltinas

Muestra	X_1	X_2	X_3	^0Ba	^0Bx	$\rho_{exp.}$ (Kg./m^3)	*pH*	$\rho_{referencia}$ (Kg./m^3)	*Viscosidad (cP)*
M_2	-	+	-	7,96	14,3	1053	4,10	1058	1,654
RM_2	-	+	-	8,34	15	1073	4,03	1061	1,674
M_8	-	-	-	7,79	14	1053	4,49	1057	1,647
RM_8	-	-	-	7,57	13,6	1073	4,45	1055	1,639
MP				7,24	13	1040	4,06	1053	1,630

Muestra	*Mg*	*Ca*	*Zn*	*Cu*	*Fe*	*K*	*Color y sabor*
M_2	0,22	19,4	0,021	0,056	0,204	18,0	Adecuados
RM_2	0,165	14,0	0,017	0,011	0,075	15,6	Adecuados
M_8	0,245	23,2	0,030	0,022	0,196	36,2	Adecuados
RM_8	0,16	15,8	0,034	0,013	0,188	13,6	Adecuados
MP	0,141	9,82	0,035	0,013	0,25	9,86	Óptimos

R- réplicas de las muestras **MP** malta Bucanero usada como patrón

Anexo 2.3 Análisis estadístico para los Experimentos de las Maltinas

Analysis of Variance for Brix

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Mtotal	8.61125	1	8.61125	46.65	0.0064
B:MCaramelo	4.96125	1	4.96125	26.88	0.0139
AB	0.15125	1	0.15125	0.82	0.4321
blocks	0.10125	1	0.10125	0.55	0.5126
Total error	0.55375	3	0.184583		
Total (corr.)	14.3788	7			

R-squared = 96.1488 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 93.2605 percent
Standard Error of Est. = 0.429632
Mean absolute error = 0.21875
Durbin-Watson statistic = 1.30135

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Brix into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 2 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 96.1488% of the variability in Brix. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 93.2605%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.429632. The mean absolute error (MAE) of 0.21875 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is less than 1.4, there may be some indication of serial correlation. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern which can be seen.

Regression coeffs. for Brix

constant = 16.2625
A:Mtotal = 1.0375
B:MCaramelo = 0.7875
AB = -0.1375

The StatAdvisor

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

Brix = 16.2625 + 1.0375*Mtotal + 0.7875*MCaramelo - 0.1375*Mtotal*MCaramelo

R-squared = 96.1488 percent

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

DENSIDAD

Analysis of Variance for Densidad

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:M.Total	45,125	1	45,125	57,00	0,0048
B:M.Caramelo	66,125	1	66,125	83,53	0,0028
AB	36,125	1	36,125	45,63	0,0066
blocks	10,125	1	10,125	12,79	0,0374
Total error	2,375	3	0,791667		
Total (corr.)	159,875	7			

R-squared = 98,5145 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 97,4003 percent
Standard Error of Est. = 0,889757
Mean absolute error = 0,4375
Durbin-Watson statistic = 2,97368

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Densidad into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98,5145% of the variability in Densidad. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 97,4003%. The standard error of
the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,889757. The mean bsolute error (MAE) of 0,4375 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Regression coeffs. for Densidad
---
constant = 1076,38
A:M.Total = -2,375
B:M.Caramelo = 2,875
AB = 2,125

The StatAdvisor

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

Dens. = 1076,38 - 2,375*M.Total2,875*M.Caramelo+2,125*M.Total*M.Caramelo

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Viscosidad

Analysis of Variance for Viscosidad

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:M.Total	0,00005	1	0,00005	0,28	0,6360
B:M.Caramelo	0,01125	1	0,01125	61,98	0,0043
AB	0,0091125	1	0,0091125	50,21	0,0058
blocks	0,0007605	1	0,0007605	4,19	0,1332
Total error	0,0005445	3	0,0001815		
Total (corr.)	0,0217175	7			

R-squared = 97,4928 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 95,6124 percent
Standard Error of Est. = 0,0134722
Mean absolute error = 0,00675
Durbin-Watson statistic = 3,08264

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Viscosidad into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 2 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted

explains 97,4928% of the variability in Viscosidad. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 95,6124%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,0134722. The mean absolute error (MAE) of 0,00675 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the Residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious
autocorrelation in the residuals.

Regression coeffs. for Viscosidad
---
constant = 1,72275
A:M.Total = -0,0025
B:M.Caramelo = -0,0375
AB = 0,03375

The StatAdvisor

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

Visc.= 1,722 - 0,0025*MTotal - ,0375*MCaramelo+0,03375*M.Total*MCaramelo

R2=97,49%

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Baumé

Analysis of Variance for Ba

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:MTotal	0.08	1	0.08	1.45	0.3142
B:MCaramelo	3.125	1	3.125	56.82	0.0048
AB	1.62	1	1.62	29.45	0.0123
blocks	0.005	1	0.005	0.09	0.7827
Total error	0.165	3	0.055		
Total (corr.)	4.995	7			

R-squared = 96.6967 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 94.2192 percent
Standard Error of Est. = 0.234521

Mean absolute error = 0.1125
Durbin-Watson statistic = 2.45455

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Ba into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 2 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 96.6967% of the variability in Ba. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 94.2192%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.234521. The mean absolute error (MAE) of 0.1125 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

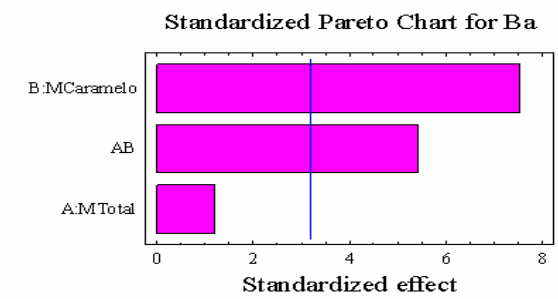
Regression coeffs. for Ba
---
constant = 8.875
A:MTotal = 0.1
B:MCaramelo = -0.625
AB = 0.45

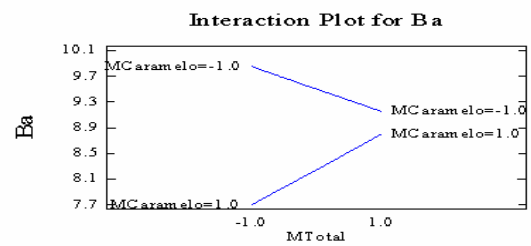
The StatAdvisor

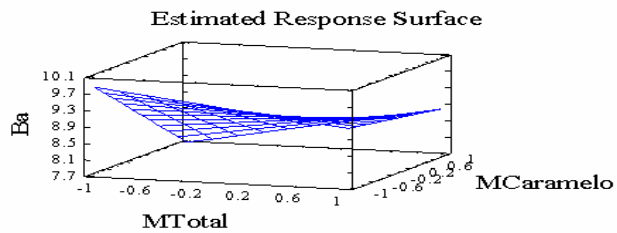
This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

Ba = 8.875 + 0.1*MTotal - 0.625*MCaramelo + 0.45*MTotal*MCaramelo

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.







Analysis of Variance for pH

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Mtotal	0.63845	1	0.63845	16.34	0.0273
B:MCaramelo	0.0288	1	0.0288	0.74	0.4538
AB	0.0578	1	0.0578	1.48	0.3109
blocks	0.11045	1	0.11045	2.83	0.1913
Total error	0.11725	3	0.0390833		
Total (corr.)	0.95275	7			

R-squared = 87.6935 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 78.4637 percent
Standard Error of Est. = 0.197695
Mean absolute error = 0.1175
Durbin-Watson statistic = 1.33518

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in pH into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 1 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 87.6935% of the variability in pH. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 78.4637%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.197695. The mean absolute error (MAE) of 0.1175 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is less than 1.4, there may be some indication of

serial correlation. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern which can be seen.

Regression coeffs. for pH
---
constant = 4.8025
A:Mtotal = 0.2825
B:MCaramelo = 0.06
AB = -0.085

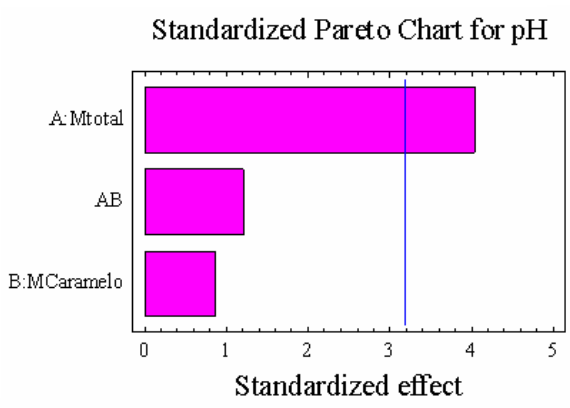
The StatAdvisor

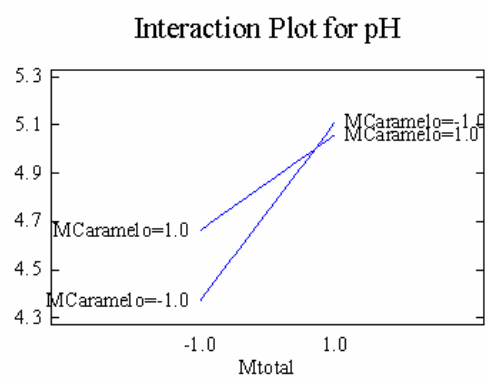
This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

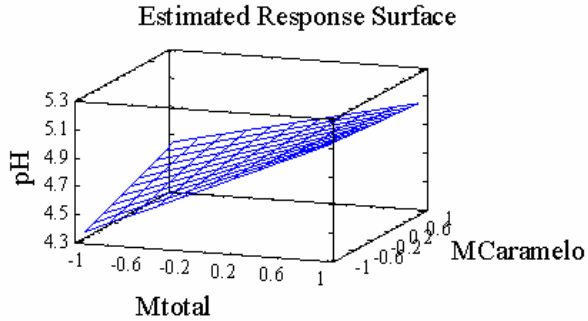
pH = 4.8025 + 0.2825*Mtotal + 0.06*MCaramelo - 0.085*Mtotal*MCaramelo

R-squared = 87.6935 percent

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.







Analysis of Variance for Mineral Ca

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value

A:Mtotal	0.9248	1	0.9248	126.68	0.0015
B:Mcaramelo	0.3528	1	0.3528	48.33	0.0061
AB	5.08805	1	5.08805	696.99	0.0001
blocks	0.1352	1	0.1352	18.52	0.0231
Total error	0.0219	3	0.0073		
Total (corr.)	6.52275	7			

R-squared = 99.6643 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.4124 percent
Standard Error of Est. = 0.08544
Mean absolute error = 0.045
Durbin-Watson statistic = 2.67009

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Mineral Ca into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains
99.6643% of the variability in Mineral Ca. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 99.4124%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.08544. The mean absolute error (MAE) of 0.045 is the average value of the residuals The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

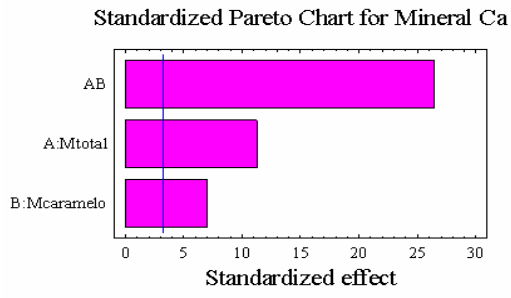
Regression coeffs. for Mineral Ca
---
constant = 4.7375
A:Mtotal = 0.34
B:Mcaramelo = -0.21
AB = 0.7975

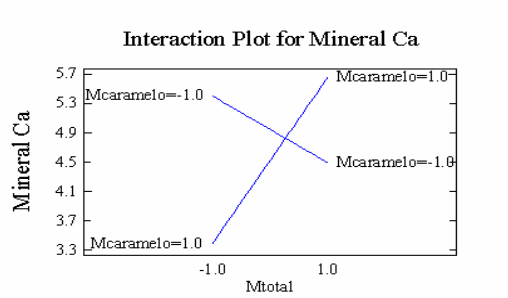
The StatAdvisor

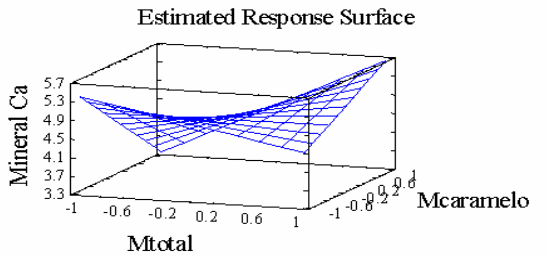
This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

Ca = 4.7375 + 0.34*Mtotal - 0.21*Mcaramelo + 0.7975*Mtotal*Mcaramelo

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.







Analysis of Variance for Mineral Fe

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Mtotal	0.000465125	1	0.000465125	316.77	0.0004
B:Mcaramelo	0.00007938	1	0.00007938	54.06	0.0052
AB	0.000262205	1	0.000262205	178.57	0.0009
blocks	0.000016245	1	0.000016245	11.06	0.0448
Total error	0.000004405	3	0.00000146833		
Total (corr.)	0.00082736	7			

R-squared = 99.4676 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.0683 percent
Standard Error of Est. = 0.00121175
Mean absolute error = 0.0005875
Durbin-Watson statistic = 2.82974

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in MineralFe into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99.4676% of the variability in MineralFe. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent

variables, is 99.0683%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.00121175. The mean absolute error (MAE) of 0.0005875 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the
Residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

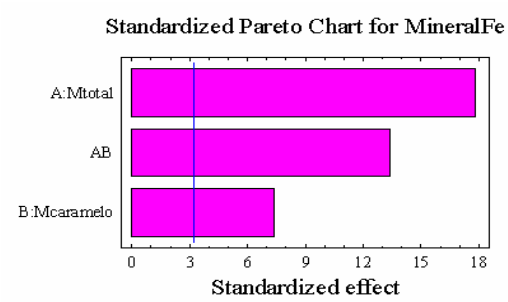
Regression coeffs. for MineralFe
---
constant = 0.0518
A:Mtotal = 0.007625
B:Mcaramelo = 0.00315
AB = 0.005725

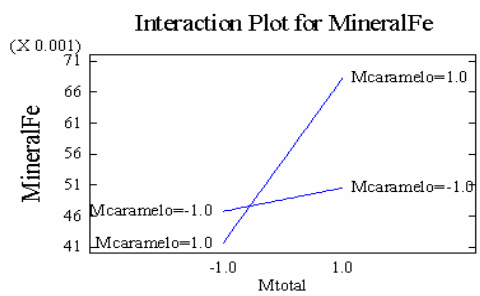
The StatAdvisor

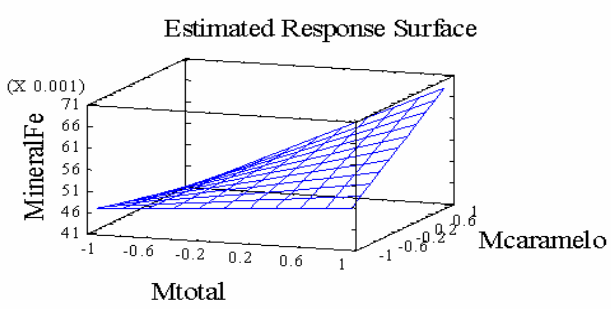
This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

Fe = 0.0518 + 0.007625*Mtotal + 0.00315*Mcaramelo +0.005725*Mtotal*Mcaramelo

Where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.







Anexo 2.4 Contenido de minerales en las maltas de Sorgo (Ozuna, 2008)

Maltas De Sorgo	MINERALES					
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
Malta Clara	6,19	0,089	6,38	0,48	0,146	0,276
Malta. Caramelo	7,71	0,0741	4,65	0,67	0,213	0,281

Anexo 2.5 Informe del CNICA

MINAL
CENTRO NACIONAL DE INSPECCION DE LA CALIDAD
Territorial Villa Clara
Carretera a Camajuaní No. 423 Sta. Clara Villa Clara
Teléfonos: 204231 y 205844
e-mail cnicavc@enet.cu

INFORME DE ENSAYOS

Referencia: **3-0759**
Producto: **Malta de Sorgo**
Cliente: **..Universidad Central de La Villas CAP**
Santa Clara . Villa Clara
Identificación: ----

Fecha de producción: ---
Fecha de muestreo: ---
Fecha de entrada: **18/06/09**
Fecha de emisión: **23/06/09**

Determinaciones	Resultados
Físico-Químico	
NC 623:2008 Determinación del Extracto Real.(Método de rutina) a 20°C(%)(de extracto real en la muestra)	15,5
NC 623:2008 Determinación del Color (Método de Rutina) (ml de Yodo 0,1 N()()	Menor 17,5
NC 623:2008 Determinación de la Acidez total.(ml Na OH 0,1N/100 de muestra)()	1,0
NC 623:2008 Determinación del Indice de pH.(u de pH)()	5,1
Microbiología	
ISO 4833:2003 Conteo de m.o. aerobios mesófilos viables. Método horizontal de conteo de colonias a 30ºC(ufc/ml)()	Más de $3,0 \times 10^3$
NC 38-02-14:89 Conteo de Org. Coliformes fecales(ufc/ml)()	Menor de 10
NC ISO 7954:2002Conteo de mohos. Técnica de placa vertida a 25°C(ufc/ml)()	Menor de 10
NC ISO 7954:2002Conteo de levaduras. Técnica de placa vertida a 25°C(ufc/ml)()	Más de $1,5 \times 10^3$
NC ISO 6888-1:2003Método horizontal para la enumeración de Staphylococcus coagulasa positiva. Técnica medio Baird Parker(ufcml)()	Menor de $1,0 \times 10^2$
NC ISO 4832:2002Conteo de organismos Coliformes Totales(ufc/ml)()	Más de $1,5 \times 10^3$

Observaciones:

Resultados referidos solamente al material ensayado.
Este documento solo tiene validez en su forma integra y original. No se permite su reproducción parcial sin la autorización escrita del Laboratorio.

Anexo 2.6 Resultados de la combinación Acido-malta de sorgo (Alemán, 2007).

Exp	Acido %	Malta %	P Atm.	º Brix	Consumo CTS (%)	ºGL	Rend. %	Product. g/L-h
I	0,365	10	1,4	16,5	83..32	6.16	12,4	1,106
II	0,146	10	1	14,5	61.95	2.37	3,5	0,448
III	0,365	4	1	23,3	73.76	5.25	6,74	1,01
IV	0,365	10	1,4	19,7	88.49	7.02	16,6	1,46
V	**0.365**	**10**	**1.4**	**19.7**	**72.83**	**1.36**	**V**	**0.365**

Anexo 2. 7 Determinación de Azúcares Reductores Totales

Fundamento del método

Este se basa en la relación lineal que existe entre la absorbancia y la concentración según la ley de Lamber - Beer, siendo la absorbancia medida proporcional a la concentración de azúcares reductores presentes en la muestra.

Procedimiento

1. Se añade a un tubo de ensayo 1 mL del sobrenadante centrifugado y se añaden 2 mL de la solución de reactivo 3,5 – Dinitrosalicílico mezclando bien.

2. Se colocan los tubos de ensayo en baño de agua hirviendo durante 5 minutos, extrayéndose posteriormente y dejándose enfriar hasta temperatura ambiente.

3. Se enrasan todos los tubos de ensayo hasta 10 mL con agua destilada y se lee en el espectrofotocolorímetro a 540 nm contra un blanco preparado con 1 mL de agua destilada el cual debe sufrir la misma técnica operatoria. (Herrera. 1989).

Para la confección de la curva de calibración se prepararon 12 soluciones a diferentes concentraciones de glucosa, midiéndose la absorbancia de las mismas, obteniéndose el siguiente resultado:

ART (g/L)	0,067	0,133	0,200	0.267	0.400	0.467	0.533
A	0.037	0.076	0.148	0.207	0.296	0.36	0.433

ART (g/L)	0,667	0,733	0,800	0,867	0,933
A	0.53	0,587	0,662	0,673	0,838

Expresión de los resultados

$$ART = ((A - m) * 1/d)/\xi \quad \text{[g / L]}$$

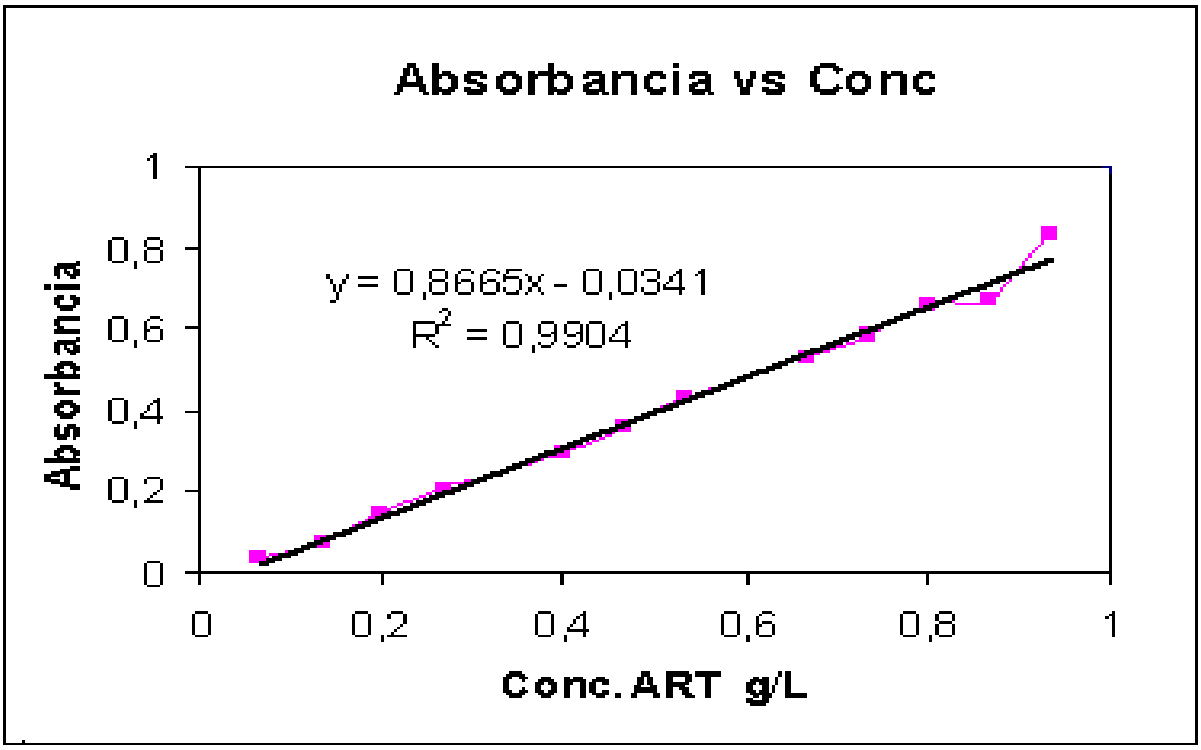
Donde:

ART azúcares reductores totales

A absorbancia

d dilución

ξ Pendiente de la recta de la curva de calibración



Anexo 2.8 Determinación del grado alcohólico en fermento

Método Picnométrico

Se toman 100 ml de fermento, más 50 ml de agua destilada y ambos son adicionados a un balón, se calienta y se hace que la mezcla ebulla, a través de un condensador, se recoge un volumen de 50 ml de destilado en un matraz de 100 ml y se enrasa con agua destilada.

Con este producto se procede a realizar los análisis de medición del grado alcohólico que consiste en realizar un conjunto de pesadas al picnómetro vacío, con agua destilada y hervida, y con el destilado. Entonces a través de la fórmula se obtiene la gravedad específica y con ese valor se va a la tabla "Determinación del alcohol en volumen y en peso por ciento según K. Windish, a 15 °C " Donde se obtiene el valor del grado °GL

Todo el procedimiento se realizó a 15 °C pues a esa temperatura es a la que viene referido el valor del grado alcohólico.

$$S = 0.99913(C - A)/(B - A)$$

S - gravedad relativa

A – peso del picnómetro vacío

B – peso del picnómetro con el agua destilada y hervida

C – peso del picnómetro con el destilado

Tabla para determinación del grado alcohólico por picnometría.

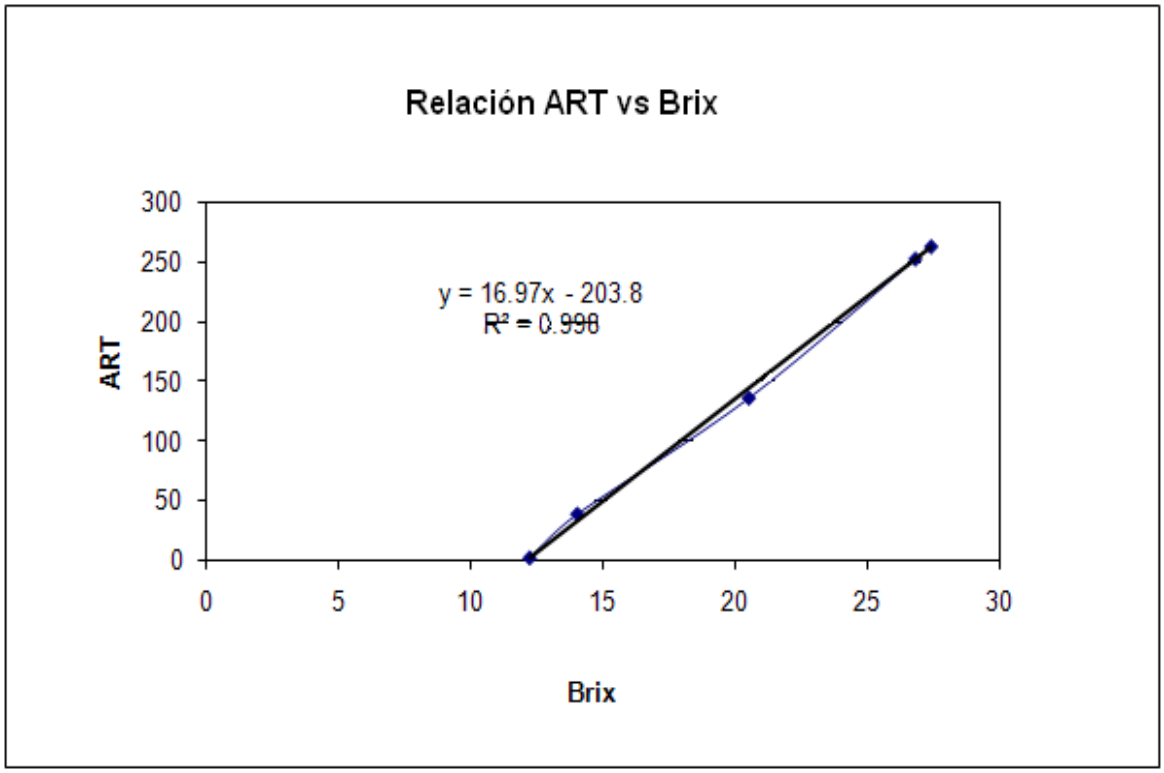
TABLA I. — *Determinación del alcohol en volumen y en peso por ciento,* según K. Windisch, a 15° C.

Peso específico $d\left(\frac{15^\circ}{15^\circ}\right)$	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso específico $d\left(\frac{15^\circ}{15^\circ}\right)$	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso específico $d\left(\frac{15^\circ}{15^\circ}\right)$	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.
1,0000	**0,00**	**0,00**	**0,00**	0,9685	22,49	27,42	21,76	0,9370	41,36	48,80	38,[illegible]
0,9995	0,25	0,33	0,26	0,9680	22,87	27,87	22,12	0,9365	41,61	49,06	38,[illegible]
0,9990	0,53	0,67	0,53	0,9675	23,25	28,32	22,47	0,9360	41,85	49,33	39,1
0,9985	0,80	1,00	0,80	0,9670	23,63	28,76	22,82				
0,9980	1,06	1,34	1,06	0,9665	24,00	29,20	23,17	**0,9355**	**42,10**	**49,59**	**39,4[illegible]**
0,9975	1,34	1,68	1,33	0,9660	24,37	29,64	23,52	0,9350	42,34	49,85	39,[illegible]
0,9970	1,61	2,02	1,60					0,9345	42,59	50,11	39,[illegible]
0,9965	1,89	2,37	1,88	**0,9655**	**24,73**	**30,06**	**23,86**	0,9340	42,83	50,37	39,9
0,9960	2,17	2,72	2,16	0,9650	25,09	30,49	24,19	0,9335	43,07	50,62	40,1
				0,9645	25,45	30,91	24,51	0,9330	43,31	50,88	40,3
0,9955	**2,45**	**3,07**	**2,43**	0,9640	25,81	31,32	24,85	0,9325	43,55	51,14	40,5
0,9950	2,73	3,42	2,72	0,9635	26,16	31,73	25,18	0,9320	43,79	51,39	40,7
0,9945	3,02	3,78	3,00	0,9630	26,51	32,14	25,50	0,9315	44,03	51,64	40,9
0,9940	3,31	4,14	3,29	0,9625	26,85	32,54	25,82	0,9310	44,27	51,89	41,1
0,9935	3,60	4,51	3,58	0,9620	27,19	32,93	26,13				
0,9930	3,90	4,88	3,87	0,9615	27,53	33,33	26,45	**0,9305**	**44,51**	**52,14**	**41,[illegible]**
0,9925	4,20	5,25	4,17	0,9610	27,86	33,74	26,75	0,9300	44,75	52,39	41,[illegible]
0,9920	4,51	5,63	4,47					0,9295	44,98	52,64	41,[illegible]
0,9915	4,81	6,01	4,77	**0,9605**	**28,19**	**34,10**	**27,06**	0,9290	45,22	52,89	41,93
0,9910	5,13	6,40	5,08	0,9600	28,52	34,47	27,36	0,9285	45,46	53,14	42,14
				0,9595	28,85	34,85	27,66	0,9280	45,69	53,39	42,37
0,9905	**5,44**	**6,79**	**5,38**	0,9590	29,17	35,22	27,95	0,9275	45,93	53,63	42,58
0,9900	5,76	7,18	5,70	0,9585	29,49	35,59	28,24	0,9270	46,16	53,88	42,78
0,9895	6,09	7,58	6,02	0,9580	29,81	35,95	28,53	0,9265	46,39	54,12	42,9[illegible]
0,9890	6,41	7,99	6,34	0,9575	30,12	36,31	28,82	0,9260	46,63	54,36	43,14
0,9885	6,75	8,40	6,66	0,9570	30,43	36,67	29,10				
0,9880	7,08	8,81	6,99	0,9565	30,74	37,02	29,38	**0,9255**	**46,86**	**54,60**	**43,3[illegible]**
0,9875	7,42	9,23	7,33	0,9560	31,05	37,37	29,66	0,9250	47,09	54,84	43,52
0,9870	7,77	9,66	7,66					0,9245	47,32	55,08	43,71
0,9865	8,12	10,09	8,00	**0,9555**	**31,36**	**37,72**	**29,93**	0,9240	47,55	55,32	43,9[illegible]
0,9860	8,48	10,52	8,35	0,9550	31,66	38,06	30,21	0,9235	47,78	55,56	[illegible]
				[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,9855	**8,84**	**10,96**	**8,70**	0,9540	32,25	38,74	30,74	0,9225	48,24	56,03	44,37
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,9220	48,47	56,27	[illegible]
0,9845	9,57	11,86	9,42	0,9530	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,9840	9,94	12,32	9,78	0,9525	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,9210	[illegible]	56,74	[illegible]
0,9835	10,32	12,78	10,14	0,9520	33,42	40,06	31,79				
0,9830	10,71	13,25	10,52	0,9515	33,71	40,38	32,05	**0,9205**	**49,16**	**56,97**	**45,21**
0,9825	11,09	13,72	10,89	0,9510	33,99	40,70	32,30	0,9200	49,39	57,21	45,40
0,9820	11,48	14,20	11,27					0,9195	49,61	57,44	45,58
0,9815	11,88	14,68	11,65	**0,9505**	**34,28**	**41,02**	**32,55**	0,9190	49,84	57,67	45,76
0,9810	12,28	15,16	12,03	0,9500	34,56	41,33	32,80	0,9185	50,07	57,90	45,95
				0,9495	34,84	41,64	33,05	0,9180	50,29	58,13	46,13
0,9805	**12,68**	**15,65**	**12,42**	0,9490	35,11	41,95	33,30	0,9175	50,52	58,36	46,31
0,9800	13,08	16,14	12,81	0,9485	35,39	42,26	33,54	0,9170	50,75	58,59	46,49
0,9795	13,49	16,64	13,20	0,9480	35,66	42,57	33,78	0,9165	50,97	58,82	46,67
0,9790	13,90	17,14	13,60	0,9475	35,94	42,87	34,02	0,9160	51,20	59,05	46,86
0,9785	14,32	17,64	14,00	0,9470	36,21	43,17	34,26				
0,9780	14,73	18,14	14,39	0,9465	36,48	43,47	34,50	**0,9155**	**51,42**	**59,27**	**47,04**
0,9775	15,15	18,64	14,79	0,9460	36,75	43,77	34,73	0,9150	51,65	59,50	47,22
0,9770	15,56	19,14	15,19					0,9145	51,87	59,72	47,[illegible]
0,9765	15,98	19,65	15,59	**0,9455**	**37,01**	**44,06**	**34,96**	0,9140	52,09	59,95	47,[illegible]
0,9760	16,40	20,15	15,99	0,9450	37,28	44,35	35,20	0,9135	52,32	60,17	47,75
				0,9445	37,54	44,64	35,43	0,9130	52,54	60,40	47,93
0,9755	**16,82**	**20,65**	**16,39**	0,9440	37,80	44,93	35,66	0,9125	52,76	60,62	48,11
0,9750	17,23	21,16	16,79	0,9435	38,07	45,22	35,88	0,9120	52,99	60,84	48,28
0,9745	17,65	21,66	17,19	0,9430	38,33	45,50	36,11	0,9115	53,21	61,06	48,46
0,9740	18,07	22,16	17,58	0,9425	38,59	45,79	36,34	0,9110	53,43	61,29	48,64
0,9735	18,48	22,65	17,98	0,9420	38,84	46,07	36,56				
0,9730	18,89	23,14	18,37	0,9415	39,10	46,35	36,78	**0,9105**	**53,65**	**61,51**	**48,81**
0,9725	19,30	23,63	18,76	0,9410	39,35	46,63	37,00	0,9100	53,88	61,73	48,99
0,9720	19,71	24,12	19,14					0,9095	54,10	61,95	49,16
0,9715	20,12	24,60	19,53	**0,9405**	**39,61**	**46,90**	**37,22**	0,9090	54,32	62,17	49,33
0,9710	20,52	25,08	19,91	0,9400	39,86	47,18	37,44	0,9085	54,54	62,39	49,51
				0,9395	40,11	47,45	37,66	0,9080	54,76	62,61	49,68
0,9705	**20,92**	**25,56**	**20,28**	0,9390	40,37	47,72	37,87	0,9075	54,98	62,82	49,86
0,9700	21,32	26,03	20,66	0,9385	40,62	47,99	38,09	0,9070	55,20	63,04	50,03
0,9695	21,71	26,50	21,03	0,9380	40,87	48,26	38,30	0,9065	55,43	63,26	50,20
0,9690	22,10	26,96	21,40	0,9375	41,11	48,53	38,51	0,9060	55,65	63,47	50,37

TABLA I. — (Continuación)

Peso específico $d\left(\frac{15^\circ}{15^\circ}\right)$	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso específico $d\left(\frac{15^\circ}{15^\circ}\right)$	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso específico $d\left(\frac{15^\circ}{15^\circ}\right)$	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.
0,9055	**55,87**	**63,69**	**50,54**	0,8740	69,43	76,40	60,63	**0,8425**	**82,43**	**87,44**	69,39
0,9050	56,09	63,91	50,71	0,8735	69,64	76,59	60,78	**0,8420**	**82,63**	**87,60**	69,52
0,9045	56,31	64,12	50,89	0,8730	69,85	76,78	60,93	**0,8415**	**82,83**	**87,76**	69,64
0,9040	56,52	64,34	51,06	0,8725	70,06	76,97	61,08	0,8410	83,03	87,92	69,77
0,9035	56,74	64,55	51,23	0,8720	70,27	77,15	61,23				
0,9030	56,96	64,76	51,39	0,8715	70,48	77,34	61,38	**0,8405**	**83,23**	**88,08**	**69,90**
0,9025	57,18	64,98	51,56	0,8710	70,70	77,53	61,52	0,8400	83,43	88,23	70,02
0,9020	57,40	65,19	51,73					0,8395	83,63	88,39	70,15
0,9015	57,62	65,40	51,90	**0,8705**	**70,91**	**77,71**	**61,67**	0,8390	83,83	88,55	70,27
0,9010	57,84	65,61	52,07	0,8700	71,12	77,90	61,82	0,8385	84,03	88,71	70,40
				0,8695	71,33	78,08	61,97	0,8380	84,22	88,86	70,52
0,9005	**58,06**	**65,82**	**52,24**	0,8690	71,54	78,27	62,11	0,8375	84,42	89,02	70,65
0,9000	58,27	66,03	52,40	0,8685	71,74	78,45	62,26	0,8370	84,62	89,18	70,77
0,8995	58,49	66,24	52,57	0,8680	71,95	78,64	62,40	0,8365	84,82	89,38	70,89
0,8990	58,71	66,45	52,74	0,8675	72,16	78,82	62,55	0,8360	85,01	89,48	71,01
0,8985	58,93	66,66	52,90	0,8670	72,37	79,00	62,69				
0,8980	59,15	66,87	53,07	0,8665	72,58	79,18	62,84	**0,8355**	**85,21**	**89,64**	71,14
0,8975	59,36	67,08	53,23	0,8660	72,79	79,37	62,98	0,8350	85,41	89,79	71,26
0,8970	59,58	67,29	53,40					0,8345	85,60	89,94	71,38
0,8965	59,80	67,50	53,56	**0,8655**	**73,00**	**79,55**	**63,13**	0,8340	85,80	90,09	71,50
0,8960	60,02	67,70	53,73	0,8650	73,21	79,73	63,27	0,8335	85,99	90,24	71,62
				0,8645	73,42	79,91	63,41	**0,8330**	**86,19**	**90,40**	71,74
0,8955	**60,23**	**67,91**	**53,89**	0,8640	73,63	80,09	**63,56**	**0,8325**	**86,38**	**90,55**	71,85
0,8950	60,45	68,12	54,05	0,8635	73,83	80,27	63,70	**0,8320**	**86,58**	**90,70**	71,97
0,8945	60,66	68,32	54,22	0,8630	74,04	80,45	63,85	0,8315	86,77	90,84	72,09
0,8940	60,88	68,53	54,38	0,8625	74,25	80,63	63,99	0,8310	86,97	90,99	72,21
0,8935	61,10	68,73	54,54	0,8620	74,46	80,81	64,13				
0,8930	61,31	68,94	54,71	0,8615	74,67	80,99	64,27	**0,8305**	**87,16**	**91,14**	**72,33**
0,8925	61,53	69,14	54,87	0,8610	74,87	81,17	64,41	0,8300	87,35	91,29	72,44
0,8920	61,75	69,34	55,03					0,8295	87,55	91,45	72,56
0,8915	61,96	69,55	55,19	**0,8605**	**75,08**	**81,35**	**64,55**	0,8290	87,74	91,58	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,8285	[illegible]	[illegible]	[illegible]
				0,8600	75,30	81,50	64,84	0,8280	88,19	91,87	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,8275	88,31	92,01	73,02
0,8900	62,63	70,16	55,67	0,8595	75,51	82,05	[illegible]	0,8270	88,50	92,15	[illegible]
0,8895	62,82	70,36	55,83	0,8590	75,72	82,23	[illegible]	0,8265	88,69	92,30	73,24
0,8890	63,04	70,56	55,99	0,8585	75,92	82,40	65,39	0,8260	88,88	92,44	73,36
0,8885	63,25	70,76	56,15	0,8580	76,53	82,57	65,53				
0,8880	63,47	70,96	56,31	0,8665	76,74	82,75	65,67	**0,8255**	**89,07**	**92,58**	**73,47**
0,8875	63,68	71,16	56,47	0,8660	76,94	82,92	65,81	0,8250	89,26	92,72	73,58
0,8870	63,90	71,36	56,63					0,8245	89,45	92,86	73,69
0,8865	64,11	71,56	56,79	**0,8555**	**77,15**	**83,10**	**65,94**	0,8240	89,64	93,00	73,80
0,8860	64,33	71,76	56,94	0,8550	77,35	83,27	66,08	0,8235	99,83	93,14	73,91
				0,8545	77,56	83,44	66,22	0,8230	90,02	93,28	74,02
0,8855	**64,54**	**71,96**	**57,10**	0,8540	77,76	83,61	66,36	0,8225	90,20	93,41	74,13
0,8850	64,75	72,15	57,26	0,8535	77,97	83,78	66,49	0,8220	90,39	93,55	74,24
0,8845	64,97	72,35	57,42	0,8530	78,17	83,96	66,63	0,8215	90,58	93,68	74,35
0,8840	65,18	72,55	57,57	0,8525	78,38	84,13	66,76	0,8210	90,76	93,82	74,45
0,8835	65,40	72,74	57,73	0,8520	78,58	84,30	66,90				
0,8830	65,61	72,94	57,88	0,8515	78,79	84,47	67,03				
0,8825	65,82	73,14	58,04	0,8510	78,99	84,64	67,16	**0,8205**	**90,95**	**93,95**	**74,56**
0,8820	66,04	73,33	58,19					0,8200	91,13	94,09	74,66
0,8815	66,25	73,53	58,35	**0,8505**	**79,20**	**84,80**	**67,30**	0,8195	91,32	94,22	74,77
0,8810	66,46	73,72	58,50	0,8500	79,40	84,97	67,43	0,8190	91,50	94,35	74,87
				0,8495	79,60	85,14	67,57	0,8185	91,68	94,48	74,98
0,8805	**66,67**	**73,92**	**58,66**	0,8490	79,81	85,31	67,70	0,8180	91,87	94,61	75,08
0,8800	66,89	74,11	58,81	0,8485	80,01	85,47	67,83	0,8175	92,05	94,75	75,19
0,8795	67,10	74,30	58,96	0,8480	80,31	85,64	67,96	0,8170	92,23	94,87	75,29
0,8790	67,31	74,49	59,12	0,8475	80,42	85,81	68,09	0,8165	92,41	95,00	75,39
0,8785	67,52	74,69	59,27	0,8470	80,62	85,97	68,23	0,8160	92,59	95,13	75,49
0,8780	67,74	74,88	59,42	0,8465	80,82	86,14	68,36				
0,8775	67,95	75,07	59,57	0,8460	81,02	86,30	68,49	**0,8155**	**92,77**	**95,26**	**75,59**
0,8770	68,16	75,26	59,73					0,8150	92,96	95,38	75,69
0,8765	68,37	75,45	59,88	**0,8455**	**81,22**	**86,46**	**68,62**	0,8145	93,13	95,51	75,79
0,8760	68,58	75,64	60,03	0,8450	81,43	86,63	68,75	0,8140	93,31	95,63	75,89
				0,8445	81,63	86,79	68,88	0,8135	93,49	95,76	75,99
0,8755	**68,60**	**75,84**	**60,18**	0,8440	81,83	86,95	69,00	0,8130	93,67	95,88	76,09
0,8750	69,01	76,02	60,33	0,8135	82,03	87,11	69,13	0,8125	93,85	96,00	76,19
0,8745	69,22	76,21	60,48	0,8430	82,23	87,28	69,26	0,8120	94,03	96,13	76,29

Anexo 2.9 Relación entre los ART con el Brix para las muestras analizadas



Anexo 3.1 Tablas de Selecciòn de los Equipos (Ulrich)

Molino

	Tipo de Equipo: Trituradoras		
Criterios	Molinos de rotaciòn de bolas	Martillos de alta velocidad	Energìa de fluidos
Relaciòn reduciòn	10 cm a 1 mm	10 cm a 10 µm	1 mm a 1µm
Cap. màxima, m(kg/s)	0,1	2	1
Cons. potencia(KW)[a]	0.007 m/Dp	40 m	Alto
Compatibilidad materiales (sòl pegajosos)	Limitado	Excelente	Limitado
Costo	Bajo costo	Costo moderado	Alto

Transportador

	Tipo de Equipo: Transportador			
Criterios	Banda	Sinfìn(Tornillo helicoidal)	Elevador de cangilones	Flujo continuo (cadena, paleta)
D(m) Longitud, L(m)	0,5-2 10-50	0,15-0,50 5-25	0,15-0,50 8-25	0,2-1,0 10-50
Cap.màxima de sòl(m^3/s)	0,06	0,007-0,08[a]	0,02	0,01
Transporte hacia arriba plano inclinado	Limitaciones modestas	Excelente	Excelente	Limitaciones modestas
Elevaciòn vertical	inaceptable	Costo mayor para reducir los problemas al mìnimo	Excelente	Excelente
Àng. inclinaciòn limitado	30°	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Costo relativo actual	Moderado	Alto	Moderado	Moderado
Consumo de potencia(KW)[b]	$0,006m^{0,82}L$	$0,07m^{0,85}L$	$0,07m^{0,63}L$	$0,07m^{0,85}L$
Compatibilidad con sòl fibrosos	Limitaciones modestas	Excelente	Limitaciones modestas	Limitaciones modestas

Equipos de calentamiento y enfriamiento

Parámetros	Chaqueta	Serpentín
Volumen del Recipiente	No ocupa	Ocupa volumen del recipiente
Consumos	Bajos	Altos
Área de transferencia para un mismo volumen	Mayor	Menor
Costo de fabricación	Mayor	Menor
Mantenimiento	Mas difícil	Fáciles de limpiar
Cantidad de calor a extraer	Mayor	Menor
Fluidos medio enfriante o calefactor.	Aceites, Vapor, Agua etc.	Vapor, Agua, etc....

Filtro

Parámetros	**Tipos de Filtro**		
	Marco y placa	Prensa	De Criba
Tamaño de las partículas disueltas	Pequeñas	Pequeñas	Grandes
Caída de presión	Grandes	Mas Grandes	Bajas
Costo	Altos	Altos	Bajo costo
Contenido de sólidos	No depende	Medio	Alto
Volumen de filtrado	Relativamente	Relativamente	Grandes

	pequeños	pequeños	volúmenes
Suspensiones	Cualquier rango	Hasta 80% masa de sólidos	Admite solo altos contenidos de sólidos
Jarabes Aceites Pulpas alimenticias	Jarabes, licores, suspensiones concentradas	Aceites , sustancias viscosas	Suspensiones con partículas de tamaño considerable.

Agitadores

Parámetros	Tipo de agitador		
	Hélice o propéla	Turbina	De Paleta
Velocidad de rotación	300-1000 rpm	300 rpm máx	150 rpm máx
Velocidad circunferencial en función de la viscosidad	3.8-16 (100 Cp) 3.8-10 (4000 Cp)	2.5-10 (100 Cp) 2.5-7 (4000Cp)	1.5-5 (500 Cp) 1.5-3 (3000Cp)
Costo	Bajo costo	Costo moderado	Bajo costo
Consumo energético	Bajo consumo energético (el más bajo)	Alto consumo de energía	Bajo consumo energético
Volumen de agitación	Grandes volúmenes	Volúmenes menores de 2.5 m^3	Grandes volúmenes
Suspensiones	Hasta 50% masa de sólidos	Hasta 80% masa de sólidos	Admite solo bajos contenidos de sólidos
Cantidad de impelentes en el mismo eje	Pueden usarse varios	Pueden usarse varios	Pueden usarse varios
Otras características	Crea un flujo ascendente o descendente	Crean un flujo radial y son muy eficaces en mezcla de gas – líquido	Frecuentemente en reactores discontinuos con reacción química lenta, y donde se requiera un grado de agitación pequeño

Anexo 3.2 Tablas de Dimensionamiento de los Equipos (Rosabal and Valle, 1998) (Kern, 1988)

Molino de Martillo

Nomenclatura	Datos	Resultados	Referncia
Potencia del motor (N)	Q_m=0.045t/h W=14,38Kw/t	0,65 Kw-h	Rosabal
Trabajo	W_i=10.6 (Tabla 10 Rosabal) Dpe=3.12 Dpj =1.58	14,38	Rosabal
Dpe	Tamaño las partículas que entran 4 mm	3,12	Rosabal
Dpj	Tamaño las partículas que salen 1.98 mm	1,58	Rosabal

Tanque de Pre-tratamiento ácido

Nomenclatura	Datos	Resultado	Referencia
Diámetro(D)	V_t= 0,46m^3 $\beta = H_c / r = 2.4$ $\alpha = H_f / r = 0.3$	0,75 M	Ulrich
Altura Total(H)	Con 20% Sd	1.25 M	Ulrich
Largo Del Rodete(D)		0.5 M	Rosabal
Ancho Del Rodete		0.06 M	Rosabal
Altura Desde El Fondo Del Recipiente Hasta El Agitador		0.31 M	Rosabal
Arquímedes (Ar)	Dp=0.00198 M P_l =1000 Kg/M^3 P_s = 700 Kg/M^3 M = 2.45 Pas	2,84*10^6	Rosabal
Reynol Modificado (Re_m)	C = 14.8 K = 0 Constantes Tabla 9.1 D = 0.45 Dp= 0.00198	6,21*10^5	Rosabal

Revoluciones Del Agitador(N)		2,5	Rosabal
Factor De Potencia De Agitación (Kn)	Re_m Y Fig. 20.2 Rosabal	0.18	Rosabal
Consumo De Potencia Del Agitador(N)		925,07 W 0,925 Kw-H	Rosabal
Área De Transferencia De Calor De La Camisa.(A)	D=0,75 M Z=1.06 M Altura Del Líquido En El Tanque	3,00 M^2	Kern
Reynol Modificado	N =2.5 Rps D =0.5 M P =944 Kg/M^3 M = $2.45*10^{-3}$ Pas	2.31 $*10^5$	Kern
J	Gráfica	850	Kern
Coeficiente De Transferencia De Calor De Medio(Hj)	Cp= 3.81kj/Kg°C M = $2.45*10^{-3}$ Pas K = 0.38 Btu/Hp^{2}°F Dj= 0.778 M	560.6	Kern
Uc	H_{io}= 1500 Btu/Hp^{2}°F	408.1	Kern
Coeficiente Total De Transferencia De Calor(Ud)	Rd = 0.005 Hd=1/Rd= 200	134.2 Btu/Hp^{2}°F 762 J/Sm^{2}°C	Kern

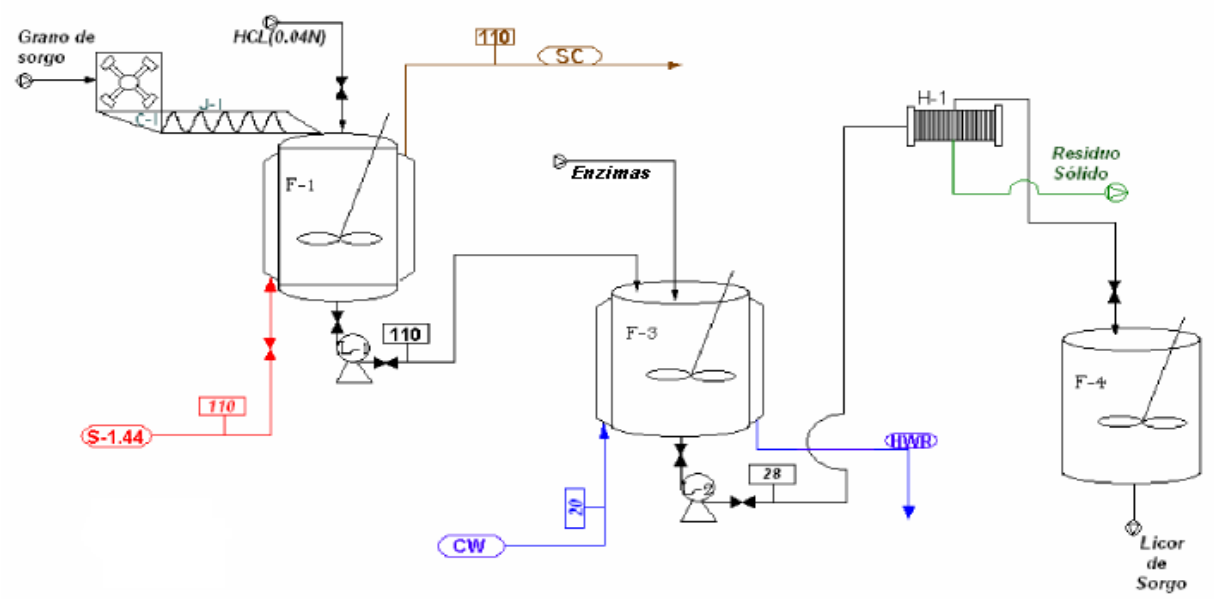
Tanque de Enfriamiento y Sacarificaciòn

Nomenclatura	Datos	Resultado	Referencias
Diámetro(D)	V_t=0,359 M^3 $\beta = H_c / r = 2.4$ $\alpha = H_f / r = 0.3$	0,75 M	Ulrich
Altura Total(H)	Con 20% Sd	1.25 M	Ulrich
Reynol Modificado	N =2.5 Rps D =0.5 M P =944 Kg/M^3 M = 2.45*10^{-3} Pas	2.31 *10^5	Kern
J	Gráfica	850	Kern
Coeficiente De Transferencia De Calor De Medio(Hj)	Cp= 3.81kj/Kg°C M = 2.45*10^{-3} Pas K = 0.38 Btu/Hp^2°C Dj= 0.778 M	476.9	Kern
Uc	H_{io}= 1500 Btu/Hp^2°C	361.8	Kern
Coeficiente Total De Transferencia De Calor(Ud)	Rd = 0.005	128.8 Btu/Hp^2°C 731.3 J/Sm^2°C	Kern
Área De Transferencia De Calor.(A)	D,Z	3,00 M^2	Kern

Filtro

Área (m^2)	Longitud del Marco (cm)	Ancho del Marco (cm)	Área de un Marco Lm *Am *2 (m^2)	N° De Marcos Area /Area (m)
4,5	40	37,5	0,3	15

Tanque de Neutralización

Nomenclatura	Datos	Resultado	Referencias
Diámetro(D)	V_t=0,338 m^3 $\beta = H_c / r = 2.4$ $\alpha = H_f / r = 0.3$	0,682 m	Ulrich
Altura Total(h)	hc=1,2d=0,818 hf=0,15d=0,102	1.104 m	Ulrich
Largo del rodete(d)		0,443 m	Rosabal
Ancho del rodete		0.055 m	Rosabal
Altura desde el fondo del recipiente hasta el agitador		0.276 m	Rosabal
Arquímedes (Ar)	Dp=0.00198 m P_L = 1000 Kg/m^3 P_s = 700 Kg/m^3 μ = 2.45 PaS	$2.28*10^6$	Rosabal
Reynol Modificado (Re_m)	C = 14.8 k = 0 constantes Tabla 9.1 d = 0.443 Dp= 0.00198	$5.74*10^5$	Rosabal
Revoluciones del agitador(n)		0,3	Rosabal
Kn factor de potencia de agitación	Re_m y Fig. 20.2 Rosabal	0.18	Rosabal
Consumo de potencia del Agitador(N)		678 W ó 0.678 Kwh	Rosabal

Anexo3.3 Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Licor de Sorgo.