

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Química-Farmacia

Departamento de Ingeniería Química



Trabajo de Diploma

Título: *Obtención de maltina a partir de sorgo malteado como materia prima fundamental.*

Autor: *José Fermín González Chávez*

Tutora: *Dra. C. Irenia Gallardo Aguilar*

2014-2015



Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

A mi abuela Nereida por brindarme tanto Amor

A mi mamá por educarme y estar siempre a mi lado.

A mis tíos Teresita y Castellano gracias a su educación, dedicación y apoyo.

A mi amiga Ester y familia por su ayuda incondicional.

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

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

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

A Eduardo, por aguantar tantas molestias en su laboratorio.

A los profesores, que de una forma u otra me ayudaron en mi formación.

A todos mis amigos por los buenos momentos que compartimos.

A todos mis compañeros de aula por estos 5 años

A todos ustedes muchas gracias



Dedicatoria

DEDICATORIA

A mis abuelos por brindarme tanto amor y cariño.

A mi madre y hermano por estar a mi lado y apoyarme en todo momento.

A mis tíos Teresita y Castellano por su apoyo y cariño incondicional.

A mi tío Roberto por su comprensión y ayuda.

A mi padre y esposa que a pesar de la distancia siempre lo tengo presente en mi vida.

The image features a light blue background with several glowing, thin blue lines that crisscross and curve across the frame. A large, faint, semi-transparent letter 'R' is visible in the upper right quadrant. The word 'Resumen' is centered in a dark blue, cursive font.

Resumen

RESUMEN

En el presente trabajo se seleccionó la mejor variante de los trabajos anteriores para la producción de maltina a escala de banco. Se presenta una revisión bibliográfica en la cual se abordaron los principales aspectos relacionados con la enfermedad celíaca, la cual es la que provoca que se necesite trabajar en la búsqueda de alternativas para la producción de alimentos a partir de otras fuentes que no sean los cereales tradicionales como el trigo, la avena, la cebada y el centeno, por los altos contenidos de gluten presentes en ellos, que son incompatibles con la dieta de los enfermos celíacos. También se abordan otros aspectos relacionados con el sorgo por ser la materia prima seleccionada para la elaboración de la maltina. Se realizó el malteado del cereal y la caracterización de las maltas obtenidas. Se seleccionaron de forma preliminar los principales equipos de una planta para la producción de maltina y se escaló el equipo principal, el macerador para la conversión de los azúcares. Se efectuó el análisis económico que demuestra que esta variante no es factible desde el punto de vista económico. Además se realizó un análisis de sensibilidad para la variación del precio del producto. El trabajo tiene un gran impacto desde el punto de vista social, pues significa una alternativa para la alimentación de los niños celíacos.



Summary

SUMMARY

In this work the best variant of the earlier work to produce Maltina bench scale was selected. A literature review in which one the main aspects of celiac disease is addressed. Therefore, it can cause them to need to work on finding alternatives for food production from other sources like traditional cereals presented such as wheat, oats, barley and rye, by high levels of gluten presents in them, which are incompatible with the diet of celiac patients. Other aspects of sorghum can be the raw material selected for making the Maltina are also addressed. Malting of grain and malt obtained characterization was performed. Preliminarily, they selected major equipment of a plant for the production of Maltina and the main computer, the macerator for converting sugars escalated. Economic analysis shows that this variant is not feasible from an economic point of view is performed. In addition, a sensitivity analysis to the change in price of the product was made. The work has a big impact from the social point of view, as an alternative means for feeding celiac children.

INDICE

Pág.

Introducción	1
Problema científico	2
Hipótesis	2
Objetivo General.....	2
Objetivos específicos:	2
Tareas a desarrollar:	3
Capítulo 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
1.1 Sorgo.....	5
1.1.1 Origen del sorgo _____	5
1.1.2 Usos del Sorgo _____	6
1.1.2.1 En la alimentación humana _____	6
1.1.2.2 En la alimentación animal (pienso) _____	7
1.1.2.3 En la industria cervecera _____	7
1.1.3 Taxonomía y Morfología _____	8
1.1.4 Propiedades del sorgo. _____	9
1.1.5 Producción de Sorgo _____	10
1.1.5.1 Principales productores de sorgo _____	11
1.1.6 Ventajas de la siembra de sorgo. _____	12
1.1.7 Ventajas del Sorgo en la Conservación de los Suelos. _____	12
1.1.8 Composición del sorgo _____	14
1.2 Propiedades medicinales del sorgo.....	14
1.3 Enfermedad Celíaca	14
1.4 Bebidas a partir de sorgo	15
1.5 Características e Identidad de la Maltina	16
1.5.1 Componentes de la maltina _____	17
1.5.2 Parámetros de calidad de la malta _____	18
1.6 Malteado del cereal	18
1.6.1 Selección del grano _____	19
1.6.2 Remojo del grano _____	19

1.6.3 Germinado	20
1.6.4 Secado del grano	21
1.6.5 Limpieza del grano.....	22
1.7 Preparación de la maltina	22
1.7.1 Molida del grano	22
1.7.2 Maceración (masching).....	22
1.7.3 Filtración	23
1.7.4 Cocinado.....	23
1.7.5 Clarificación y Enfriamiento	24
1.8 Enzimas.....	25
1.9 Adjuntos.....	26
1.10 Escalado.....	27
1.10.1 Principios del escalado	27
1.10.2 Principios de similitud	28
1.10.3 Problemas más comunes del escalado:	29
1.10.4 Metodología para el escalado.	29
Conclusiones Parciales	31
Capítulo 2: Desarrollo Experimental.....	33
2.1 Desarrollo Experimental	33
2.1.1 Malteado del grano de sorgo	33
2.1.2 Clasificación del grano	34
2.1.3 Etapa de remojo	35
2.1.4 Etapa de germinación	35
3.1.5 Etapa de secado	38
2.1.6 Tamizado y Pulido.....	41
2.1.7 Almacenamiento	41
2.2 Caracterización de la materia prima.....	41
2.3 Proceso de obtención de Maltinas	42
2.3.1 Molida del grano	43
2.3.2 Maceración o Mashing	44
2.3.3 Extracción del licor y lavado	46
2.3.4 Cocinado del licor	47
2.3.5 Reposo y Filtrado	47

2.3.6 Pasteurización	47
2.3.7 Enfriamiento y Clarificación	47

Análisis de los resultados 50

Capítulo 3: Escalado y selección del equipamiento del proceso. Análisis económico 53

3.1 Escalado..... 53

3.1.1 Selección del tipo de reactor	53
3.1.2. Selección del medio de suministro de calor	54
3.1.3 Selección del tipo de agitador	55

3.2 Metodología para el escalado..... 56

3.2.1. Parámetros más usados para el escalado de sistemas de mezclado.	57
3.2.2 Escalado del reactor tipo tanque agitado.	58
3.2.3. Metodología de escalado	60
3.2.4 Criterio de similitud geométrica	60
3.2.5 Criterio P/V constante.	61
3.2.6 Criterio $N \cdot D_i$ constante.	62
3.2.7 Consecuencias del criterio sobre P/V.	62

3.3 Selección de los equipos..... 64

3.3.1 Tanques de almacenamiento	64
3.3.2 Cribas	65
3.3.3 Tanques de remojo	66
3.3.4 Germinador	66
3.3.5 Transportadores	67
3.3.6 Molinos	67
3.3.7 Filtros	68
3.3.8 Sedimentador	70
3.3.9 Intercambiador de calor	70
3.3.10 Tanque de almacenamiento de la maltina	71
3.3.11 Bombas	72

3.4 Análisis Económico 73

3.4.1 Costo de Inversión	73
3.4.2 Costo del equipamiento	74
3.4.3 Costos totales de Producción	77
3.4.4 Análisis de Ganancia	80

3.4.5 Análisis de sensibilidad	80
Conclusiones.....	83
Recomendaciones.....	85
Bibliografía	87
Anexos	91

The background features a complex pattern of glowing, light blue lines that intersect and curve across the frame. A prominent circular shape is visible in the upper right quadrant, partially obscured by the lines. The overall aesthetic is clean and modern, with a soft, ethereal glow.

Introducción

INTRODUCCIÓN

El sorgo es un cereal con un contenido de nutrientes elevado, que se ha subestimado su empleo en la alimentación humana, pero que presenta muchas propiedades beneficiosas sobre todo para aquellos países que carecen de otros cereales tradicionales como el trigo, el maíz el arroz etc. y se ha demostrado, que su cultivo es económicamente rentable, basado en su bajo costo de producción, dada sus características de rusticidad, resistencia a la sequía, la realización de varias cosechas o cortes y no contiene las proteínas que afectan a los enfermos celíacos. En la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas se ha trabajado por varios años en el desarrollo de productos a partir del sorgo, entre estos están la producción de cerveza, maltina y etanol.

La celiaquía es un proceso frecuente de naturaleza autoinmune y con afectación sistémica. Es la única enfermedad dentro de un amplio grupo de procesos auto inmunitarios, que presenta un origen bien definido y conocido, producido por una intolerancia permanente al gluten, que aparece en individuos genéticamente susceptibles. Es inducido por la ingesta de gluten, un conjunto de proteínas contenidas en la harina de diversos cereales, fundamentalmente el trigo, pero también el centeno, la cebada y la avena, o cualquiera de sus variedades

En la actualidad la humanidad enfrenta una situación importante debido al elevado costo de los cereales en el mercado mundial, estos representan un producto básico en la alimentación ya que son una fuente de nutrientes. Dentro de los principales está la cebada que se ha empleado tradicionalmente en la obtención de bebidas, como cerveza, maltinas y etanol, aunque para muchos países como el nuestro es una materia prima de importación, por lo que se ha trabajado en pos de buscar una nueva fuente para la obtención de estas bebidas, para disminuir importaciones y que no afecten a los celíacos.

Problema científico

El cultivo de sorgo se ha generalizado en Cuba para la alimentación animal, pero aún no se utiliza en producciones industriales con destino al consumo humano. Actualmente se comercializan alimentos de repostería en algunas provincias para los enfermos celíacos, sin embargo en las cervecerías cubanas las bebidas producidas son a partir de la cebada, cereal que contiene gluten. Por tanto, no se encuentran al alcance de las personas que padecen de la enfermedad celiaca.

Hipótesis

Es posible desarrollar la tecnología de producción de maltina de sorgo dado los resultados obtenidos en su estudio de laboratorio y a escala piloto.

Objetivo General

Perfeccionar el proceso de obtención de maltina con vistas a realizar la prueba con los niños celíacos.

Objetivos específicos:

1. Realizar el malteado del sorgo para la producción malta clara y caramelo a partir de sorgo, caracterizándola para su empleo en la elaboración de maltina a escala de laboratorio.
2. Efectuar la producción de maltina a escala de banco determinado las propiedades de calidad a las maltinas obtenidas, para la prueba con niños celíacos de la provincia.
3. Realizar el escalado a nivel de planta piloto del equipo principal del proceso (macerador) a partir de los mejores resultados experimentales obtenidos.
4. Analizar la factibilidad económica del diseño de una tecnología para la obtención de maltina para los niños celíacos.

Tareas a desarrollar:

1. Realización de una exhaustiva búsqueda bibliográfica sobre la temática en estudio, priorizando los trabajos realizados en la facultad.
2. Malteado del sorgo y caracterización de la malta obtenida de acuerdo a los estudios de optimización realizados anteriormente, evaluando la calidad de la malta obtenida.
3. Ejecución de los experimentos para la obtención de la maltina a escala de banco y probarla con los niños celíacos. Caracterización de la misma.
4. Realización del escalado del equipo principal del proceso (macerador), de acuerdo a los resultados obtenidos experimentalmente y selección de los restantes de acuerdo a la capacidad de producción.
5. Análisis de la factibilidad económica del diseño de una tecnología para la producción de maltina a escala piloto para los niños celíacos.



Capítulo 1

CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Sorgo

El sorgo es un género botánico de unas 20 especies de gramíneas oriundas de las regiones tropicales y subtropicales de África oriental, la India y Asia; con cañas de dos a cuatro metros de altura, llenas de un tejido blanco, algo dulce y vellosas en los nudos; hojas lampiñas y ásperas en los bordes; flores en panoja floja, grande y derecha, o espesa, arracimada y colgante. Lleva semillas dispuestas en panículas apicales. El grano de sorgo varía en el color que va desde el blanco a tonalidades oscuras de rojo y pardo, pasando por el amarillo pálido, hasta pardo púrpura profundo. Los colores más comunes son el blanco, el bronce y el pardo. Los granos son por lo general esféricos, pero varían en dimensión y forma. La cariopsis puede ser redondeada y con puntas romas, de 4-8 mm de diámetro. El peso de 1 000 granos de sorgo tiene un amplio margen de variación, de 3 a 80 g, pero en la mayoría de las variedades va de 25 a 30 g. El grano está cubierto parcialmente de glumas. Para el consumo humano se suelen preferir los granos largos con endospermo córneo. El endospermo amarillo con caroteno y xantofila aumenta el valor nutritivo del cereal.

El grano de sorgo con testa contiene tanino en diversas proporciones según la variedad, lo que algunos como los saturados favorecen desde el punto de vista de la salud.(www.es.wikipedia.org/wiki/Sorgo).

1.1.1 Origen del sorgo

Los primeros informes muestran que el sorgo existió en India en el siglo I d. C. Las esculturas que lo describen se hallaron en ruinas asirias de 700 años a. C. Sin embargo, el sorgo quizás sea originario de África Central (Etiopía o Sudán), pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad. Esta disminuye hacia el norte de África y Asia. Existen, sin embargo, ciertas evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India. El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente hacia el año 60 d. C. pero nunca se extendió mucho en este continente. No se sabe cuándo se introdujo la planta por primera vez en América. Las primeras semillas probablemente se llevaron al hemisferio Occidental en barcos de esclavos procedentes de África. Los primeros sorgos dejaban mucho que desear como cultivo granífero. Eran muy altos y, por lo tanto, susceptibles al vuelco y difíciles de

cosechar. Además, maduraban muy tardíamente. El desarrollo posterior de 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.(**Ozuna. 2007**).

1.1.2 Usos del Sorgo

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

El sorgo se emplea en la alimentación animal como ingrediente principal de dietas para porcinos, aves y bovinos engordados en corral. La harina de sorgo tiene un amplio uso alimentario, en la elaboración de cereales de desayuno, en la industria cervecera, botanas y panificación. Los almidones se emplean en jarabes, edulcorantes, como adjunto cervecero, alcohol industrial y en la producción de materiales de envasado biodegradables.(**S.O 2007**).

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

Se emplea también en la producción de alcohol para la producción de bebidas alcohólicas y como combustible. (**Altmann 2004**),(**Fernández 2004**).

El sorgo azucarado contiene en el tallo un jugo dulce, y se cultiva para obtener jarabes y como planta forrajera. Los llamados sorgos de hierba, como el sorgo sudanés y los híbridos de éste con el sorgo azucarado y con el de grano, se cultivan como plantas de forraje y pasto. El potencial del sorgo azucarado como cultivo para obtener energía produce hasta 7 000 litros de alcohol etílico por hectárea (**TECNI-FENALCE 2002**).

1.1.2.1 En la alimentación humana

En el período 1992-94, se destinaron a la alimentación humana 27 millones de toneladas anuales de sorgo, aproximadamente, a nivel mundial, casi en su totalidad en África y Asia. El sorgo es un alimento básico esencial en muchas partes del mundo en desarrollo, especialmente en las zonas más áridas y marginales de los trópicos

semiáridos. El consumo de sorgo como alimento es más estable y mucho más elevado en las zonas productoras rurales que en los núcleos urbanos. Dentro de las zonas rurales, el consumo tiende a ser mayor en las regiones más pobres aquejadas de una mayor inseguridad alimentaria. El sorgo se consume en formas diversas, que varían de una región a otra. En general, se consume como grano entero o como harina, con la que se preparan platos tradicionales. Existen básicamente cuatro alimentos elaborados a base de sorgo. (**Kramer. 1969**).

- Pan plano, generalmente sin levadura y preparado con masa fermentada o sin fermentar en Asia y en algunas partes de África.
- Gachas consistentes o delgadas, fermentadas o sin fermentar, que se consumen principalmente en África.
- Productos cocidos similares a los que se preparan con sémola de maíz o con arroz;
- Preparados fritos en aceite.

1.1.2.2 En la alimentación animal (pienso)

Alrededor del 48 por ciento de la producción mundial de sorgo se utiliza como pienso y al consumo humano se destina el 42 por ciento. A diferencia de lo que ocurre en el caso del consumo como alimento, relativamente estable, la utilización del sorgo como pienso experimenta oscilaciones notables en función de dos factores, el aumento de ingresos, que estimula el consumo de productos pecuarios, y la competitividad de los precios del sorgo frente a otros cereales, especialmente el maíz. Si bien es cierto que el sorgo se considera generalmente como un cereal inferior cuando se destina a la alimentación humana, la elasticidad de la demanda de productos pecuarios en función de los ingresos (y, por tanto, la demanda derivada de piensos) se considera positiva y elevada. (**S.O 2007**).

1.1.2.3 En la industria cervecera

Otro importante mercado para el sorgo, especialmente en África, es la fabricación de bebidas alcohólicas. El grano se utiliza para obtener malta o como ingrediente en la fabricación de dos tipos de cerveza, la cerveza clara y la cerveza opaca, una cerveza

tradicional africana de bajo contenido de alcohol que contiene finas partículas en suspensión. Aunque faltan estadísticas para muchos países sobre la cantidad de sorgo utilizada para fabricar cerveza, los datos de que se dispone indican que la mayor parte se utiliza para producir cerveza opaca. Tradicionalmente, el sorgo es un ingrediente básico en la fabricación de cerveza, cuya creciente demanda ha originado en algunos países una industria comercial, que produce cerveza opaca y cerveza en polvo para la venta al por menor. Se produce también cerveza clara, en mucha menor cantidad, principalmente en Nigeria y Ruanda. La prohibición de importar cebada que se decretó en Nigeria a finales de los años ochenta y comienzo de los noventa impulsó la aparición de un mercado de bebidas de malta a base de sorgo. En Nigeria se utilizan también pequeñas cantidades de sorgo para producir edulcorantes. **(León 2003)**.

Fuera de África, el sorgo se utiliza en pequeñas cantidades en las industrias cerveceras de México y los Estados Unidos. En China, alrededor de la tercera parte de la producción de sorgo se destina a la fabricación de bebidas alcohólicas, principalmente un fuerte licor tradicional.

1.1.3 Taxonomía y Morfología

Familia: *Poaceae*.

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

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

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

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

Hojas: se desarrollan entre 7 y 24 hojas dependiendo de la variedad, alternas, opuestas, de forma lineal lanceolada, la nervadura media es blanquecina o amarilla en los sorgos de médula seca y verde en los de médula jugosa. Tiene lígula en la mayoría

de los casos. El borde de las hojas presenta dientes curvos, filosos y numerosas células motoras ubicadas cerca de la nervadura central del haz facilitando el arrollamiento de la lámina durante períodos de sequía.



Figura 1. Detalle del tallo y las hojas de la planta de sorgo.
Universidad de Puerto Rico. Recinto Universitario de Mayagüez

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

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

1.1.4 Propiedades del sorgo.

- El sorgo es un cereal de múltiples propiedades que nos puede ayudar a mejorar nuestra ingesta diaria. Normalmente se usa como pienso para los animales, pero no tiene por qué no usarse en la cocina diaria.

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

1.1.5 Producción de Sorgo

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

Los cinco productores mayores de sorgo del mundo son los Estados Unidos (25 por ciento), la India (21.75 por ciento), México (casi el 11 por ciento), China (9 por ciento) y Nigeria (casi el 7 por ciento). Estos cinco países representan juntos el 73 por ciento de la producción mundial total.

1.1.5.1 Principales productores de sorgo

Tabla 1.1 Países productores de sorgo

País	Superficies		Producción	
	(10 ³ t)	(% del total)	(10 ³ t)	(% del total)
Estados Unidos	3 674	8,3	14 516	25,0
India	15300	34,5	12500	21,5
México	1 830	4,1	6 230	10,7
China	1900	4,3	5 310	9,1
Nigeria	6 000	13,5	4 000	6,9
Argentina	688	1,6	2 016	3,5
Sudán	2 925	6,6	1 502	2,6
Etiopía	870	2,0	1 000	1,7
Australia	406	0,9	933	1,6
Burkina Faso	1 250	2,8	917	1,6
Total	34 843	78,6	48 924	84,1
Total mundial	44 352	100	58190	100

1.1.6 Ventajas de la siembra de sorgo.

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

1.1.7 Ventajas del Sorgo en la Conservación de los Suelos.

- Aporte de materia orgánica.
- Eficiencia en el uso y conservación del agua.
- Aumento de rendimientos.
- Mejora las condiciones físicas y químicas.
- Disminuye los riesgos de la erosión.
- Favorece a otros cultivos en las rotaciones. (Sánchez 2003).

Científicos del ARS (*Asociación de Investigación de los Estados Unidos*) y en Oncativo, Córdoba, Argentina, han realizado investigaciones sobre el cultivo del sorgo y su incorporación en alimentos humanos, como cereales de desayuno, pastas, etc., demostrándose que el mismo ofrece la ventaja de no contener gluten por lo que no presenta problemas para personas con la intolerancia celíaca, y tienen algunas variedades fenoles y taninos, que son sustancias que previenen de la formación de

radicales libres y la aparición del cáncer, así como su elevado contenido de fibras. Según los estudios realizados, el sorgo podría ser panificable, a pesar de su ausencia de gluten, y también usarse en galletas apta para celíacos. En la **Tabla 1.1** se reportan las composiciones de algunos cereales empleados como alimentos (**Rodríguez 2005**).

Tabla 1.2 Composición de algunos cereales.

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

En la tabla anterior se puede observar que, la composición del sorgo se encuentra en un rango asequible, comparado con los demás cereales y en especial con la cebada y el trigo que son los cereales que se tratan de sustituir, para el mejoramiento de la dieta de los enfermos celíacos.

1.1.8 Composición del sorgo

Carbohidratos: igual que todos los frutos de las gramíneas, el almidón es el componente principal del grano.

Proteína: el sorgo es relativamente bajo en su contenido poético (8-13 por ciento), parecido al contenido de los demás cereales, y más importante como fuente de energía.

Grasa: tiene bajo contenido de grasa, y las que nos aporta son de tipo poli saturadas.

Minerales: destaca su contenido en zinc, minerales antioxidantes muy importantes para el organismo.

Vitamina: solo las variedades que tienen un endospermo amarillo contienen vitamina A. Igual que los demás cereales, es rico en vitaminas del grupo B, especialmente niacina.

1.2 Propiedades medicinales del sorgo

Celiaquía: la principal aplicación del sorgo ha sido en dietas para personas alérgicas al gluten, igual que el maíz y el arroz. Se puede usar en la elaboración de bechameles, natillas, galletas y algunas bebidas.

Afecciones respiratorias: el sorgo es un cereal demulcente (que protege las mucosas o piel interior de los órganos), pudiendo ayudar a suavizar la tos.

Anti diarreico: la decocción de los granos de sorgo es aconsejable para personas con estreñimiento por tener propiedades emolientes y laxantes.

1.3 Enfermedad Celíaca

La enfermedad celíaca, o enteropatía sensible al gluten, es un desorden intestinal con una etiología multifactorial donde se desarrolla un síndrome de mal absorción, entre otras complicaciones, producido por el daño en las vellosidades intestinales del intestino delgado cuando se ingiere gluten. Las personas con enfermedad celíaca tienen un

trastorno que hace que su cuerpo reaccione al gluten. Cuando estas personas comen gluten, la reacción del sistema inmune a la proteína erosiona y destruye gradualmente las vellosidades del intestino delgado. Cuando se dañan las vellosidades, el cuerpo no puede procesar las vitaminas, los minerales y otros nutrientes que necesita para mantenerse saludable. Por lo tanto las personas con enfermedad celíaca corren el riesgo de sufrir desnutrición y pueden desarrollar anemia (disminución de la cantidad de glóbulos rojos debido a la falta de hierro) u osteoporosis (huesos quebradizos debido a la falta de calcio). 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 es reemplazar la Cebada por otro producto apto para estos enfermos.(www.alimentosalud.com).

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

1.4 Bebidas a partir de sorgo

Cerveza:

La cerveza es la bebida alcohólica más consumida mundialmente; y es la tercera más popular después del agua y el té (**Nelson 2005**). La cerveza es hecha a partir de malta de cereales como cebada, arroz, maíz, sorgo. El proceso de producción involucra la sacarificación del almidón por enzimas durante el malteado, y la fermentación de los azúcares resultantes por las levaduras (**Aastrup, Sten et al. 2004**). De ella se conocen múltiples variantes con una amplia gama de matices debidos a las diferentes formas de elaboración y a los ingredientes utilizados. Generalmente presenta un color ambarino con tonos que van del amarillo oro al negro pasando por los marrones rojizos. Puede

alcanzar una graduación alcohólica hasta cerca de los 30% en volumen aunque principalmente se encuentra entre los 3 y los 9% en volumen.

Etanol:

Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación o descomposición de los azúcares contenidos en distintas frutas, y la destilación, la cual consiste en la depuración de las bebidas fermentadas.

Maltina:

Es una bebida alimenticia y nutritiva, obtenida de un mosto preparado a base de granos malteados, sometidos previamente a un proceso de cocción y aromatizados con o sin flores de lúpulo. Se diferencia de la cerveza en que no es sometida a fermentación, por lo cual está considerado dentro de las bebidas no alcohólicas ya que carece de graduación alcohólica. **(Rodríguez 2007)**.

1.5 Características e Identidad de la Maltina

Las principales características que identifican a una maltina son:

- *El Color:* Lo determinan las materias primas, especialmente la malta que debe ser tostada, puesto que el color del Mosto determina el color del producto, junto con la adición de caramelo.
- *La Espuma:* debe tener una espuma estable. La formación de la espuma depende del contenido de gas carbónico y de las proteínas que al final contiene en suspensión la maltina.
- *Brillo:* la maltina debe ser brillante. La turbidez en una malta puede deberse a deficiencias en la filtración, contaminación microbiológica por bacterias o levaduras salvajes, presencia de proteínas pesadas que no fueron retiradas durante el proceso, desgasificación o contaminación con oxígeno por fisuras en el tapado, reacciones fotoquímicas por sobre exposición a la luz solar.
- *Especificaciones de calidad:* en la maltina debe especificarse el complejo vitamínico, formado por vitaminas B-1 y B-6, proteínas, valor calórico y contenido en minerales

1.5.1 Componentes de la maltina

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

Malta caramelo: Elaborada bajo un proceso especial de secado y tostación. Las maltas caramelo son producidas con maltas de un contenido normal de proteínas. El remojo y la germinación son muy intensivos. Dando como resultado una alta actividad enzimática en la malta verde. Durante la sacarificación a 65 – 75 °C se forman azúcares por la degradación de las proteínas en almidón y aminoácidos. Ambos productos reaccionan entre sí en la etapa de tostado para formar el color y aroma característico. Estos azúcares son caramelizados en cadenas más largas que no son convertidas en azúcares simples por las enzimas durante el macerado. Actúan como antioxidante retardando el proceso de oxidación en el envase, por lo cual favorecen la estabilidad de la cerveza, la desnaturalización de las proteínas favorecen la formación de espuma en la maltina.

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

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

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

1.5.2 Parámetros de calidad de la malta

El proceso de malteo trata fundamentalmente de solubilizar el almidón, proteínas, productos de degradación enzimáticos, vitaminas, minerales, componentes responsables del color y del aroma, y enzimas. En este sentido la calidad de la malta será adecuada si presenta:

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

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

1.6 Malteado del cereal

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); (Bofill 2009).**

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

1.6.1 Selección del grano

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

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

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

1.6.2 Remojo del grano

Para iniciar la germinación, se requiere humedad de 40% por lo cual antes de germinar es necesario remojar el grano para obtener este grado de humedad, el proceso se puede lograr en uno ó 2 días, según la temperatura del agua; generalmente se usa a 40 ó 45 °C. En la industria se alternan períodos con y sin agua, pero es indispensable airear para que el grano no se ahogue. El grano flotante se elimina. El remojo se detiene cuando el grano ha comenzado a puntear, es decir, cuando las raicillas empiezan a aparecerse se pone a remojar el cereal en diferentes ciclos de remojo llegando a reblandecer e hinchar el grano por la absorción del agua. Durante el primer remojo se suele añadir algo de cal con el objetivo de desinfectar y limpiar el cereal.

El embrión toma rápidamente agua, en cambio el endospermo se hidrata más lentamente, cualquier fractura sufrida por la cascarilla o las cubiertas del fruto y la

semilla facilita el humedecimiento del endospermo o el embrión y, desde luego la fuga de sustancias solubles del endospermo. Éste constituye uno de los sumandos que dan cuenta de las pérdidas sufridas durante el malteado; otro es el representado por la respiración del embrión, que consume reservas de nutrientes, liberando energía, dióxido de carbono y agua. La respiración aumenta significativamente cuando el embrión se activa, lo que crea una demanda de oxígeno en el agua de remojo. En ausencia de oxígeno el embrión puede metabolizar anaeróticamente las reservas, pero de un modo energéticamente poco eficaz, convirtiéndolas en dióxido de carbono y alcohol. A medida que la concentración de alcohol aumenta su toxicidad va creciendo, por lo que se hace necesario cambiar el agua de remojo cada cierto tiempo. (Morales 1994).

1.6.3 Germinado

Este debe ser rápido, vigoroso y uniforme. La humedad ambiental debe ser de 92% y es necesario mover el grano del fondo a la superficie de los contenedores, periódicamente para oxigenarlo; generalmente se usan volteadores, para ello. Si es necesario, se riega también. En esta etapa la humedad sube a 45% en unos 3 o 4 días. Por el extremo opuesto al de las raicillas, es decir por el lado dorsal, sale la plúmula en la germinación; cuando ésta ha alcanzado el largo del grano se ha obtenido la “malta verde”, la planta emite una enzima que convierte el almidón en azúcar para alimentarse, en este justo instante se interrumpe el germinado.

Los modernos equipos permiten la germinación en tres o cuatro días. El tipo de germinador más común es una caja de base rectangular o circular provista de un falso fondo perforado. Sobre el falso fondo se deposita un lecho de malta con una profundidad de 1 a 1,5 metros. A través del lecho y habitualmente de abajo a arriba se hace pasar una corriente de aire saturado de agua a unos 15 °C, con lo que se asegura la disponibilidad de oxígeno por parte de los embriones, la eliminación del dióxido de carbono y el mantenimiento de una temperatura constante en todo el lecho. Al objeto de evitar el enraizamiento, un volteador mecánico separa los granos en germinación lo que ayuda también a airear y mantener una temperatura uniforme.

A veces se emplea un recipiente único para el remojo y la germinación, evitando así la transferencia del grano, sin embargo con frecuencia los tanques de remojo se sitúan

encima de los de germinación. Desde el punto de vista fisiológico existe una continuidad entre el remojo y la germinación. (*Morales 1994*).

1.6.4 Secado del grano

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

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

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

La deshidratación se comienza con temperaturas de 50 – 60 °C, que inicialmente calientan el secadero y el lecho del grano. Más adelante las capas superiores comienzan a deshidratarse y el contenido de agua en el sorgo empieza a descender progresivamente desde el fondo a la superficie del lecho del grano. En esta etapa de deshidratación libre se extrae sin restricciones el agua del sorgo y por razones económicas se ajusta el flujo de aire de manera que su humedad relativa sea de 90 - 95 % en el aire del extremo de salida. Cuando se ha eliminado aproximadamente el 60% del agua, la deshidratación subsiguiente se ve dificultada por la naturaleza del agua residual. Llegado este punto de ruptura se sube la temperatura del aire de entrada y se reduce el flujo. La estabilidad térmica de las enzimas es ahora mayor que cuando la malta contenía un 45 % de agua. Cuando el contenido de agua llegue a ser del 12 %, toda el agua que permanece en el grano está ligada, por lo que se sube la temperatura del aire de entrada a 65 – 75 °C y se reduce aún más la velocidad del flujo. La extracción del agua es lenta y por razones económicas se recircula gran parte del aire. Finalmente a una humedad de 5 - 8%, dependiendo de la variedad del grano, la temperatura del aire de entrada se eleva a 80 – 100 °C, hasta que se alcanza el color y la humedad requeridos. La maltas Lager típicas se secan hasta una humedad de 4.5 %,

pero las maltas Ale se deshidratan hasta un contenido de agua de un 2 – 3 %. **(Alfa-Laval 1989)**.

1.6.5 Limpieza del grano

Después de la etapa de secado es necesario limpiar el grano, lo cual se realiza mediante la eliminación de las raicillas. Estas deben ser eliminadas por soplado o por aspiración.

1.7 Preparación de la maltina

Después de la etapa de malteado se procede a la preparación de la maltina mediante las diferentes:

- Molida del grano.
- Maceración o Mashing.
- Filtración.
- Cocinado del licor.
- Enfriamiento y Clarificación

1.7.1 Molida del grano

Esta etapa se realiza en molinos para desmenuzar el endospermo, pero sin que se trituren las glumillas.

1.7.2 Maceración (masching)

El objetivo de esta etapa es realizar el desdoblamiento o hidrólisis del almidón a maltosa, la que pasa más fácilmente a la forma más simple de azúcar, la glucosa, por la acción de las enzimas.

Este proceso se conoce como sacarificación, la cual se puede realizar por medio de procesos ácidos o preferentemente biológicos (Enzimas Amilolíticas). El proceso de desdoblamiento del almidón envuelve la hidrólisis o sacarificación de los puntos de unión (enlaces) de las moléculas de glucosa produciendo una mezcla de maltosa y dextrinas fermentables. **(Rodríguez 2007)**.

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

Para todas las fases se logra el aumento de la temperatura en un intervalo de tiempo de 15 minutos y se mantiene la misma durante 30 minutos. Primeramente se aumenta la temperatura hasta 38°C, temperatura de acidificación, para que se activen los fosfatos orgánicos, disminuyendo el pH, y la enzima endobeta-glucanasa que cataliza la disminución de las gomas beta-glucano, Posteriormente se eleva la temperatura hasta 55-60°C, temperatura en que ocurre la proteólisis para degradar las proteínas en proteínas más sencillas y aminoácidos.

1.7.3 Filtración

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

1.7.4 Cocinado

Luego de esto se hierva todo el líquido obtenido en la tina con el objetivo de inactivar las enzimas del macerado, esterilizar el mosto, solubilizar e isomerizar las sustancias amargas del lúpulo, sobre todo los alfa-ácidos que forman complejos tanino-proteínas solubles a temperaturas altas e insolubles a temperaturas inferiores y concentrar el mosto, ya que producto del lavado en la tina se incorpora al proceso una cantidad

adicional de agua, la cual se elimina mediante la evaporación. Durante el proceso de hervidura se añade al mosto lúpulo amargo, azúcar refinado, caramelo y lúpulo aromático.

1.7.5 Clarificación y Enfriamiento

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

Tabla 1.3 Función y Parámetros a controlar en cada etapa

Operación	Función	Parámetros a controlar
Molienda	Disminución del tamaño de partícula.	Tamaño de la partícula a la salida.
Maceración	Favorecer el ataque de las enzimas sobre el almidón.	Velocidad de agitación. Temperatura. Tiempo de contacto.
Filtración	Separar los sólidos del mosto.	Grado de separación.
Cocinado o Hervidura	Elaboración de la maltina.	Temperatura. Concentración de sacarosa en el mosto.
Clarificación	Eliminar el lodo.	Calidad de la maltina a la salida.
Enfriamiento	Disminuir la temperatura de la maltina	Temperatura de entrada del agua 30 °C. Agitación. Temperatura de salida del producto final 10 °C.

1.8 Enzimas

Las enzimas son proteínas que actúan como aceleradores de las reacciones químicas, de síntesis y degradación de compuestos se encuentran en todos los seres vivos y son piezas esenciales en su funcionamiento.

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 cereal sometido a la germinación y posterior deshidratación y tostado.

En la elaboración de malta, el proceso de maceración es el encargado de que las moléculas de almidón sean transformadas en azúcares, este proceso es llevado a cabo por dos tipos de enzimas las alfa-amilasas y las beta-amilasas (**EGGERT 2004**).

En la obtención de la malta 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.
 - 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.
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**).

Estas enzimas actúan cuando el pH es de 5.6, para la beta-amilasa alrededor de 65°C y para las alfa-amilasas 72°C. 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**).

1.9 Adjuntos

Se consideran adjuntos a los cereales, malteados o no, aptos para el consumo humano, a excepción de los productos definidos en los numerales. También se consideran adjuntos a los almidones y azúcares de origen vegetal. Su empleo no podrá ser en su conjunto superior al 45% en relación al extracto primitivo.

Los principales adjuntos son:

- El sorgo es principalmente utilizado como un adjunto porque proveen extracto con un costo inferior que el de la malta de cebada, además de que es fácilmente disponible. Además es consistente en el término de composición, disponibilidad y produce un espectro de azúcar fermentable y la dextrina parecido al producido por la malta de cebada. Tiene el sabor dulce y fino, es utilizado como adjuntos porque baja la proteína y el polifenol contenido en la malta.(**Ogbeide 2011**)
- El maíz es amplia mente utilizado porque brinda grandes cantidad de azúcares fermentables al mosto sin utilizar maltas para reducir costos de producción. La composición química del grano de maíz se ve afectada por el genotipo, medioambiente y condiciones de siembra. En promedio, el contenido de proteína es de 10 % y más de 60 % son proláminas y se conocen como zeínas. Existen ciertos estilos donde el maíz es aceptado a cierto rango para brindarle al estilo un carácter único, por ejemplo una Crean Ale puede tener hasta un 20% de maíz. El maíz no puede ser utilizado solo así como sale del campo. Para que pueda ser de ayuda tiene que estar pre-gelatinizado, aplastado y cocido a cierto punto. Un ejemplo perfecto de cómo debe estar son los "Corn Flakes" o más bien dicho Hojuelas de maíz.
- El arroz negro como adjunto le aporta a la malta desde el punto de vista nutricional casi dos veces más polifenoles que una malta tradicional por esto se considera como una alternativa promisoría a ser utilizada en este proceso.(**Batista 2008**)

1.10 Escalado

Este se utiliza cuando estamos trabajando a pequeñas escalas y se quiere aumentare la producción o trabajar a una escala mayor, esta modificación de pasar de una escala a otra es a lo que se llama escalado.

El escalado en reactores, es utilizados en la industria de procesos químicos y biológicos, pueden escalarse por dos vías principales: el diseño y el escalado propiamente dicho. Para el diseño, no siempre se cuenta con suficiente información cinética y termodinámica del sistema de reacción y es por eso que cada día se usa más el escalado.

En el diseño: se usan correlaciones bien establecidas y propiedades físicas estimadas o medidas.

El escalado: se hace modificando un resultado medido por un factor que involucra, entre otras cosas, la relación de las dimensiones lineales del modelo y el prototipo.

1.10.1 Principios del escalado

A continuación tomando en consideración lo reportado por (Cárdenas 1996), se realiza un análisis de los principios fundamentales a tener en cuenta en el desarrollo del procedimiento a seguir para el escalado de tanques agitados, consta de los siguientes pasos:

1. Definición del problema de mezclado:
 - Definir la clase de mezclado y determinar el resultado deseado
 - Establecer los requerimientos del ciclo de mezclado
 - Caracterizar todos los fluidos (componentes iniciales, intermedios y productos finales)
2. Determinar una solución aproximada mediante:
 - La identificación y determinación aproximada del tamaño del equipo comercial debe ser usado.
 - El scaling down o escalado inverso al equipo de tamaño piloto

3. Realizar las pruebas mediante corridas de los experimentos evaluando los resultados. Repetir si es necesario.
4. Definir los requerimientos de escalado de los equipos de mayor tamaño.

1.10.2 Principios de similitud

Para desarrollar el escalado de equipos es necesario tener en cuenta principios de similitud. Así considera que en Ingeniería Química existen tres tipos, estos son:

- Similitud mecánica
- Similitud térmica
- Similitud química

La similitud mecánica requiere de similitud geométrica, cinemática y dinámica. En los trabajos de Ingeniería Química, los sistemas en los cuales hay similitud mecánica, están sujetos a formas, movimientos y fuerzas similares. La similitud térmica está definida para sistemas en los cuales existe un flujo de calor y una temperatura determinada. La similitud química no es de gran importancia en los procesos de escalado. **(Walas 1965)**.

La similitud cinemática requiere que la velocidad de flujo de los fluidos en los dos sistemas tenga una razón constante y un punto correspondiente. La similitud dinámica requiere que las formas creadas o impuestas por el fluido al sistema tengan una razón constante, así como un punto correspondiente en el sistema.

En principio la similitud geométrica es fácil de ejecutar, simplemente porque se basa en un modelo al cual se le conoce su forma y geometría, parámetros que en el prototipo deben ser similares, especialmente si la razón de escalado es grande, es prácticamente imposible.

La similitud química conduce a varias conclusiones interesantes, según (114), parece ser que para todos los tipos de reacciones las temperaturas o los perfiles de temperatura tiempo deben ser los mismos en las instalaciones grandes que en las pequeñas. En los sistemas homogéneos, los tiempos de reacción y las concentraciones iniciales deben ser los mismos; en los sistemas heterogéneos, el producto del tiempo de reacción por el área de interface de la unidad de volumen del reactor ha de ser el mismo para ambas.

1.10.3 Problemas más comunes del escalado:

- Cambios en la temperatura pueden afectar la selectividad y el rendimiento.
- Cambios en el coeficiente de transferencia de calor pueden afectar el perfil de temperatura y la degradación de los productos.
- Cambios en la relación área de transferencia de calor / volumen, alteran el potencial de eliminación del calor y puede traer como consecuencia situaciones de peligro.
- La ecuación general del escalado entre dos sistemas similarmente geométricos de diámetros D1 y D2 es: $R = D_2/D_1 = [(P/V)_2 / (P/V)_1]^{1/(3m-1)} = [N_2/N_1]^{1/(m-1)}$ [1]

Donde:

P/V: es la potencia por unidad de volumen y N: es la velocidad de agitación.

1.10.4 Metodología para el escalado.

(Cañizares 1997) plantea, que cuando se procede al escalado de un reactor discontinuo, si el diseñador está seguro de que el problema de la transferencia de calor y el mezclado son solubles, no debe existir dificultad para desarrollar el mismo, por lo cual no es necesario la determinación de la cinética ni del mecanismo de reacción. Así mismo el tiempo de reacción en el reactor de mayor escala tiene que ser el mismo que en el de menor escala. Esta simple regla de escalado depende del grado de mezclado y de la transferencia de calor. Para un buen escalado, la velocidad e intensidad de mezclado, así como la capacidad de transferir calor deben ser los mismos en ambas escalas, aspecto que no siempre se cumple.

(Bissio 1985) Reporta que existen varias formas de relacionar el diámetro del agitador D con la velocidad de agitación N como aparece en la tabla que a continuación se muestra.

Tabla 1.4 Relación del diámetro del agitador D con la velocidad de agitación N.

Regla de escalado	h'/h	Observaciones
1. Similitud dinámica (número de Re constante)	D/D'	No es muy usada
2. Tipo de agitador y velocidad de agitación constante	$(D/D')^{1-a}$	$a = 0.67$
3. Coeficiente constante	1	$N'/N = (D/D')^{(a-1)/a}$
4. Flujo de calor por unidad de volumen constante	D/D'	$N'/N = (D/D')^{(2a-2)/a}$
5. Potencia por unidad de volumen constante	$(D/D')^{(1.3-1)}$	Poco cambio en el coeficiente h $a = 0.67$

Donde h'/h es la relación de los coeficientes de transferencia de calor entre el prototipo y el modelo respectivamente.

Conclusiones Parciales

- 1- El sorgo puede ser empleado como materia prima para la elaboración de alimentos tradicionales para personas con padecimientos celíacos ya que el mismo presenta un bajo nivel de gluten que no afecta a dichas personas.
- 2- Los estudios realizados sobre la influencia del tiempo y la temperatura de remojo en la calidad de la malta han demostrado que los valores más adecuados oscilan entre 12 y 24 h, y entre 20 y 30°C, respectivamente.
- 3- Mediante un estricto control de los intervalos de tiempo y el aumento de la temperatura se puede obtener una maceración óptima para la elaboración de la maltina.



Capítulo 2

CAPÍTULO II: DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Desarrollo Experimental

Partiendo de los mejores resultados obtenidos por (**Ozuna 2008; Boffill 2009; Contino 2012**), en la obtención de maltinas a partir de sorgo malteado, los cuales estudiaron la influencia de varias variables en la calidad de las maltas obtenidas, se realizó un estudio experimental a escala de laboratorio, con el fin de producir mayor cantidad de maltina para probarla en los niños celiacos de la provincia.

2.1.1 Malteado del grano de sorgo

El malteado se realiza con el objetivo de obtener un grano que germine fácilmente y con uniformidad. La germinación uniforme es muy difícil de lograr si los granos no son de tamaño uniforme, entre otras cosas, porque los de mayor tamaño se humedecen a un ritmo más lento que los pequeños. Por otra parte, resulta necesario que el cereal que va a ser malteado no haya germinado antes de la recolección y que ninguno de los granos haya muerto a causa de haber secado el grano tras una recolección en circunstancias insatisfactorias.

El sorgo empleado para este estudio es el UDG-110, sorgo blanco con poco contenido de taninos, cultivados en la provincia, por ser entre otros, uno de los que mejores resultados y cosechas ha brindado por su doble condición de ser granífero y forrajero.

Para llevar a cabo esta etapa se tomaron los mejores resultados de un estudio de perfeccionamiento del malteado UDG-110, realizado anteriormente, donde los valores óptimos de las variables estudiadas fueron concentración de hidróxido de 0,1 %, la cual sirve para incrementar el poder diastático en los granos y para evitar la contaminación por microorganismos no deseados, tiempo de remojo de 12 horas y tiempo de germinación de 72 horas.

En la figura 2.1 se plantean las etapas para el malteado.

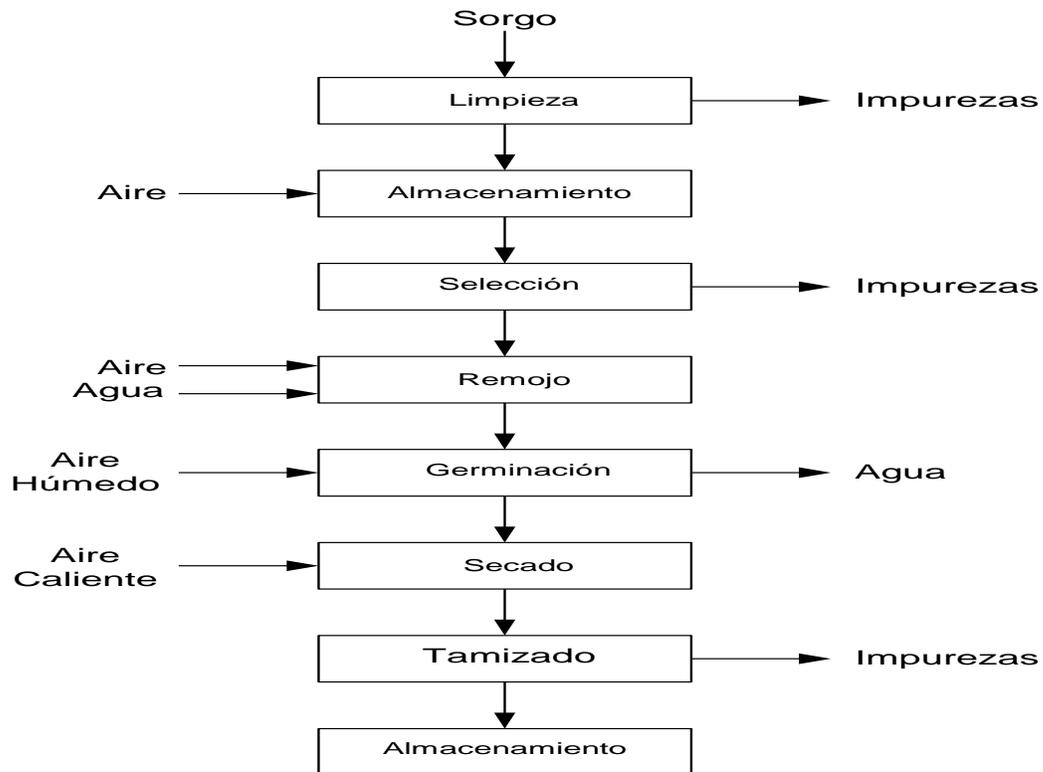


Fig. 2.1 Etapas para el Malteado.

2.1.2 Clasificación del grano

Esta etapa se realiza con el objetivo de hacer una limpieza y selección del grano. Primeramente se tamizó el sorgo para separar el polvo, las impurezas y las partículas extrañas de mayor tamaño que puedan encontrarse en él, para lo cual se utilizó un tamiz de 2,5 mm y luego mediante la escogida del cereal, se retiran los granos partidos, semillas y otros tipos de granos.

En esta etapa se procesaron 5,76 kg después se determinó el porcentaje de merma, obteniéndose los siguientes resultados:

Muestra

Peso inicial = 5,76 kg

Peso limpio = 5,10 kg

Peso sucio = 0,66 kg

Merma = 11,5 %

2.1.3 Etapa de remojo

En esta etapa se pesaron 5,1 kilogramos de sorgo clasificado y limpio, colocándose en un recipiente adecuado y añadiéndole la solución de hidróxido de sodio, hasta cubrir los granos. Esta etapa duro 12 horas, alcanzándose una humedad de 45% aproximadamente. El remojo se efectuó hasta que se ve brotar la raicilla y el grano alcanza la humedad necesaria. Durante toda la etapa se cambió y aireó el agua cada tres horas, evitando así que ésta adquiriera olor desagradable debido a la actividad de las bacterias que contiene el grano, además, de esta forma se logran disolver sustancias que pueden ser perjudiciales para la etapa de germinación.

En esta etapa se siguió el mismo procedimiento utilizado en los trabajos de tesis anteriores, el que consta de los siguientes pasos:

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

Durante el remojo se determinó la humedad mediante desecación en una estufa a 100°C siguiendo la técnica Determinación de la humedad (Anexo 1). Los valores de humedad se tomaron cada 2 horas tal y como se puede evaluar en la Tabla 2.1 y en la figura 2.2.

En esta etapa se pudo observar que a medida que transcurría el tiempo de remojo el grano iba creciendo, producto de la absorción del agua en el seno del mismo, lo cual provoca una hinchazón (elongación de la semilla).

2.1.4 Etapa de germinación

En esta etapa el tiempo de germinación de la malta clara fue de 72 h y un tiempo de 86 horas a la malta caramelo. El sorgo se colocó en bandejas sobre un paño húmedo,

durante la operación el mismo se aireó a una temperatura de 30°C aproximadamente.

Tabla 2.1. Resultados en la determinación de la humedad

Tiempo (h)	Humedad (%)
0	12,3
2	20,74
4	25,89
6	35,36
8	40,54
10	44,69
12	46,87

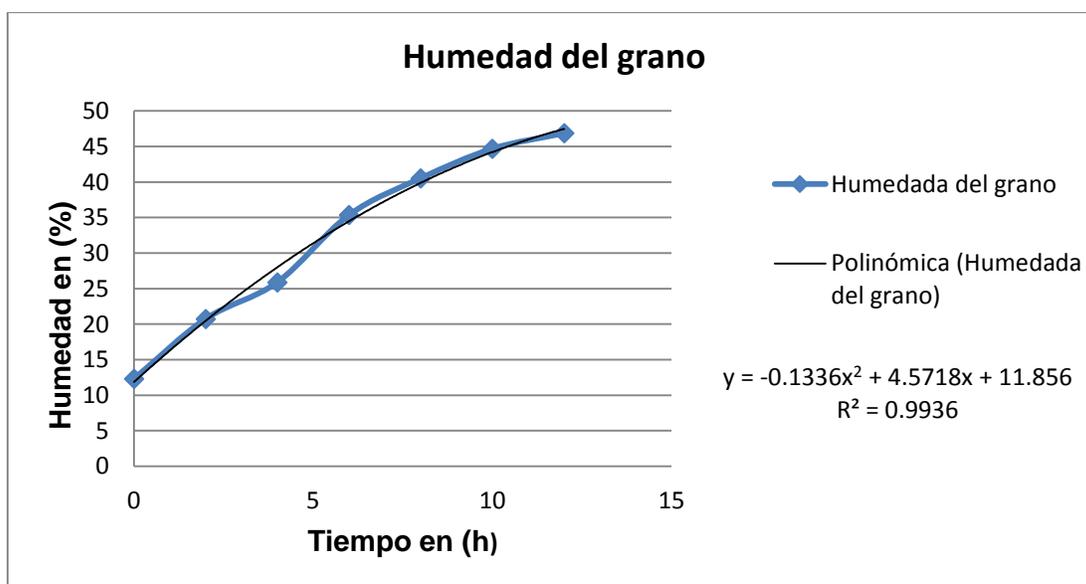


Figura 2.2. Contenido de humedad del grano en el remojo

En el proceso de germinación, el grano produce alfa-amilasa, enzima que transforma el almidón insoluble en azúcares solubles, lo cual tiene el efecto de aclarar la pasta hecha, calentando una mezcla de almidón en agua, a su vez esto permite una mayor densidad

calorífica en una pasta de una determinada viscosidad. En esta etapa se determina el rendimiento de la germinación, para lo cual se tomaron 10 muestras de 100 granos c/una, para un total de germinado según se muestra en la Tabla 2.2 y 2.3

Tabla 2.2. Rendimiento de la germinación para la Malta Clara

Total de granos	Granos germinados
100	84
100	80
100	87
100	85
100	84
100	87
100	91
100	90
100	87
100	85
Promedio %	86.0

Tabla 2.3. Rendimiento de la germinación para la Malta Caramelo

Total de granos	Granos germinados
100	86
100	85
100	88
100	89
100	90
100	88
100	90
100	93
100	89
100	89
Promedio %	88.7

Como se aprecia en esta etapa en el rendimiento de la germinación no hay grandes diferencias en el poder germinativo con un día de diferencia, entre una y otra malta.

3.1.5 Etapa de secado

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

Para obtener malta clara, se comienza el secado con la temperatura a 60 °C durante 4 horas con el objetivo de garantizar que no se destruyeran las enzimas y así evitar la vitrificación del grano, luego la temperatura es elevada hasta 100°C durante 1 h y posteriormente se sigue elevando la temperatura hasta que la malta alcanza un porcentaje de humedad menor de 5.

Para obtener malta caramelo, se comenzó con la temperatura a 65°C la que se mantuvo durante cinco horas, luego la temperatura se elevó a 105 °C durante 30 minutos, el proceso terminó cuando la malta alcanzó un porcentaje de humedad inferior al 2 %. En esta etapa las maltas adquirieron un olor característico.

En la tabla 2.4 se muestra la cantidad de muestras tomadas para cada una de las maltas, y el porcentaje de humedad para cada una de estas.

Tabla 2.4. Resultados del secado

Malta Clara	X (%)	Malta Caramelo	X (%)
0	45.25	0	46.98
1	38.58	1	41.25
2	34.65	2	36.52
3	27.78	3	28.63
4	23.58	4	20.98
5	17.85	5	16.25
6	14.10	6	12.36
7	11.47	7	8.68
8	6.46	8	6.36
9	4.1	9	4.65
10	3.98	10	2.36
		11	1.69
		12	1.48

Las muestras fueron tomadas cada 30min, en las figuras 2.5 y 2.6 se observa el comportamiento de la humedad a medida que aumenta el tiempo de secado.

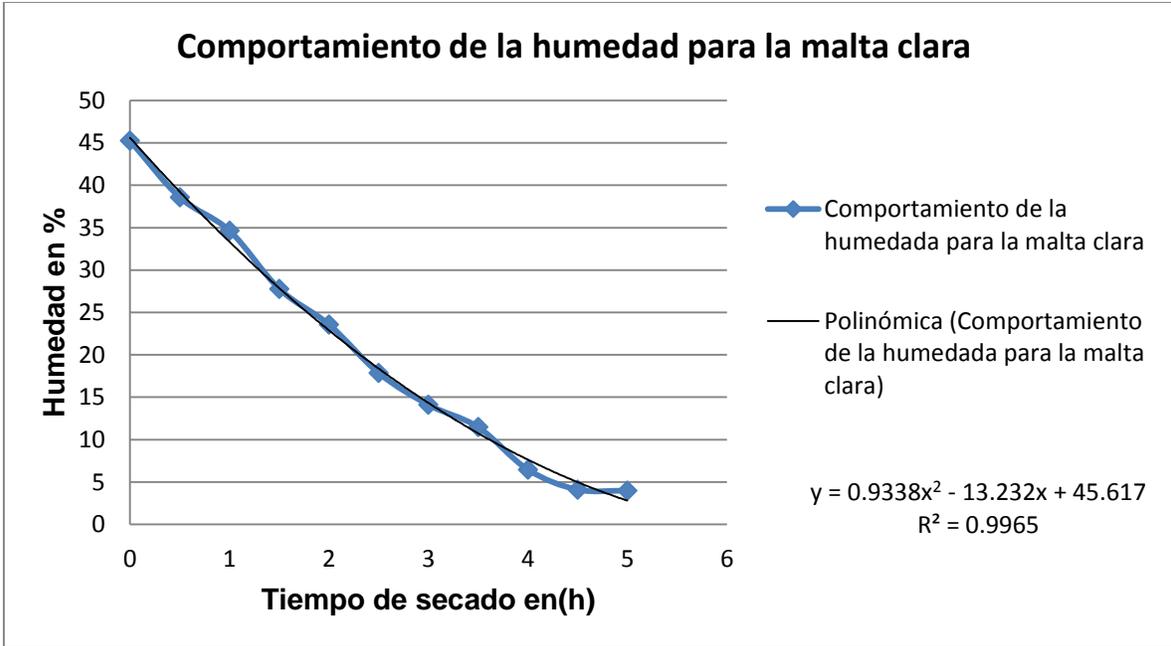


Figura 2.3 Prueba de secado para malta clara

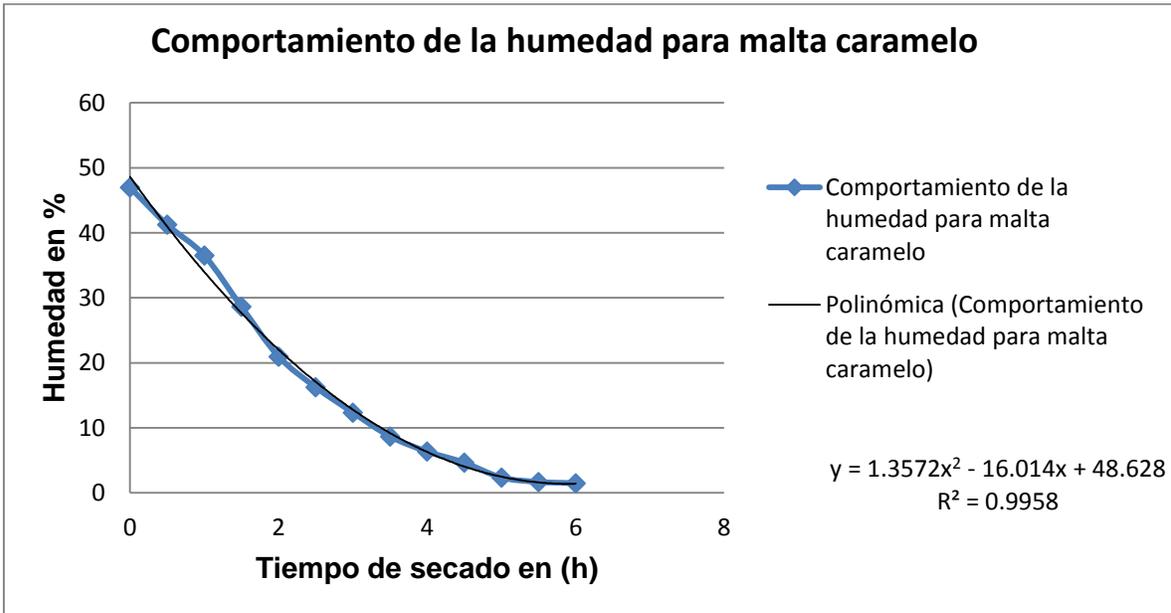


Figura 2.4 3 Prueba de secado para malta caramelo

2.1.6 Tamizado y Pulido

Por último se tiene que las raicillas de los brotes que se producen durante el malteado deben retirarse o de lo contrario perjudicarán la calidad del producto final. Esto se efectúa en el limpiador de malta. Debe hacerse cuando termine el secado, debido a que las raicillas son fuertemente higroscópicas y es más fácil retirarlas cuando están secas.

2.1.7 Almacenamiento

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

2.2 Caracterización de la materia prima

La malta fue caracterizada en el Centro de Producciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, los resultados se muestran en la **Tabla 2.5**.

Tabla 2.5. Caracterización de la materia prima empleada en los experimentos

Muestras	Humedad %	Minerales					Ceniza %
		Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	
Malta Clara	4,22	0,0169	0,0260	0,00319	0.0025	0,00062	1.42
Malta Caramelo	1,48	0,0322	0,0261	0,00344	0.0027	0,00067	1.44
Malta de Sorgo (SO)	-	0,0162	0,0256	0,0554	0,0073	0,0342	-
Malta de Sorgo 1	-	0,0602	0,0304	0,0108	0,00437	0,00092	-

Malta de Sorgo (SO): Malteado de sorgo sin optimizar.

Malta de Sorgo 1: Malteado de sorgo optimizar

En la tabla 2.5 se muestra como la malta obtenidas en este trabajo (malta caramelo y malta clara) presenta mayor contenido de Ca y Mg que la malta de sorgo (SO) reportada por Díaz 2014, no siendo así para los minerales restantes.

Tabla 2.6 Comparación de experimentos.

Exp	NaOH (%)	TR (h)	TG (h)	Germ (%)	PM (%)	DP (°L)	C. Extracto (g/100sln)
1	0,1	12	72	98	13,54	147,20	0,889
2	0,1	12	72	87	10.85	140.25	0.805

En la tabla 2.6 se realizó una comparación entre los resultados obtenidos por **(DÍAZ 2014)**, y los obtenidos en este trabajo, para las mismas condiciones. Observando que los resultados obtenidos en este trabajo son inferiores, debido a que, la calidad del sorgo utilizado no es la mejor.

2.3 Proceso de obtención de Maltinas

Para la obtención del producto final, se tomó la mayor variante en cuanto a las relaciones estudiadas en trabajos anteriores (120 g/L de malta de sorgo)(**Boffill 2009**; **Contino 2012**), que tuvo resultados satisfactorios. Se realizaron dos tandas de 10 litros cada una, las cantidades de materia prima a emplear en cada tanda se muestran en la **tabla 2.7**.

Tabla 2.7. Cantidades de materias primas.

Materia prima		Cantidades		Unidades
Malta de sorgo	Malta clara	0,84	1,2	Kg
	Malta caramelo	0,36		
Azúcar		1,1		Kg
Caramelo		0,8		Kg
Lúpulo		10		G

La producción de maltina cuenta con 6 etapas fundamentales

- ✓ Molido del grano
- ✓ Maceración o Mashing.
- ✓ Extracción del licor y lavado.
- ✓ Cocinado del licor.
- ✓ Reposo y Filtrado.
- ✓ Pasteurización
- ✓ Enfriamiento y Clarificación

2.3.1 Molido del grano

En esta etapa se realizó la molienda en un molino de laboratorio, poniendo pocas cantidades llegando a harina similar a como lo hace la fábrica.

2.3.2 Maceración o Mashing

Luego, comienza el llamado proceso de "Mashing" o cocinado, para el cual, se utilizó un reactor enchaquetado de vidrio, el cual presenta un volumen de 10L. Pasando por la chaqueta agua de un termostato, para regular la temperatura. Se calienta el agua destilada hasta alcanzar los 40 °C, en ese punto se agrega el grano y se comienza a agitar, utilizando un agitador de tipo hélice para evitar que se formen grumos. Se mantiene la temperatura durante 30min entre un rango de 40°C a 45°C. Posteriormente se comienza un proceso de elevación y mantenimiento de la temperatura escalonadamente. Durante media hora se mantiene la temperatura entre los 50 °C y los 55°C, manteniendo la agitación constante para facilitar la disolución del almidón y azúcares en el agua. Luego se eleva la temperatura al rango comprendido entre los 60 °C y 65 °C y se sigue cocinando durante 45 minutos con agitación constante. La última etapa del proceso, se realizará en el rango de temperatura comprendido entre los 70 °C y 75 °C, esta vez, durante el lapso de 45min hora. Por último se eleva la temperatura hasta los 78 °C durante 15min. Todo este proceso es para lograr la sacarificación de los almidones.

En la tabla 2.8 se muestran los valores de los grados Brix obtenidos en la etapa de maceración para las diferentes temperaturas y a los diferentes intervalos de tiempo.

Tabla 2.8 Brix en la maceración.

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Experimento 1	Experimento 2
40-45	30	1.4	1.3
50-55	60	2.6	2.4
60-65	105	3.9	3.7
70-75	150	5.6	4.9
78	165	7.0	6.5

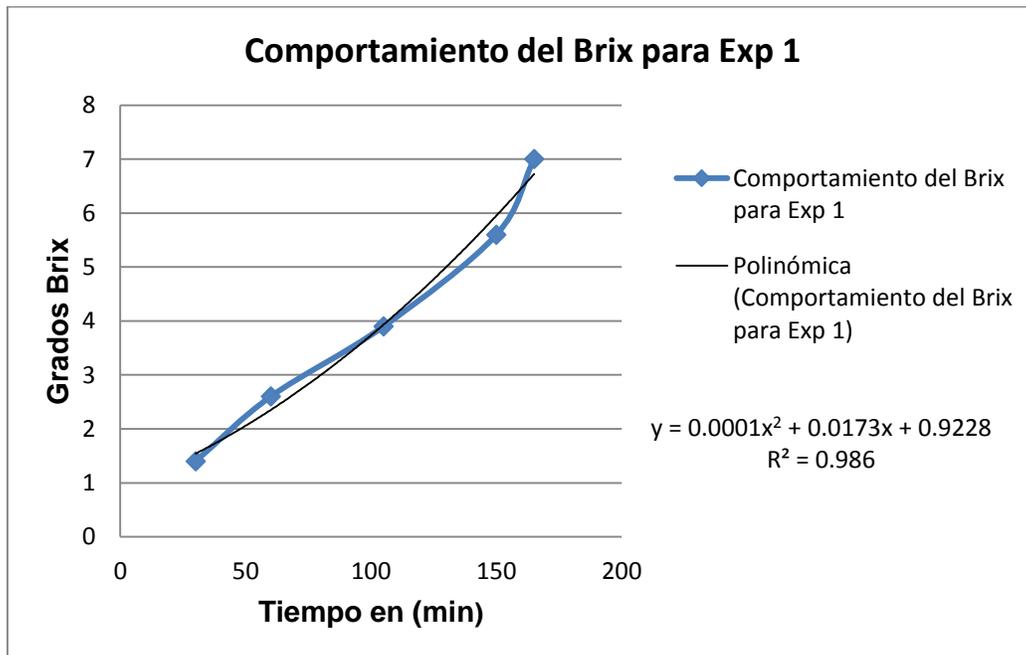


Figura 2.5 Desarrollo del Brix en la maceración Experimento 1

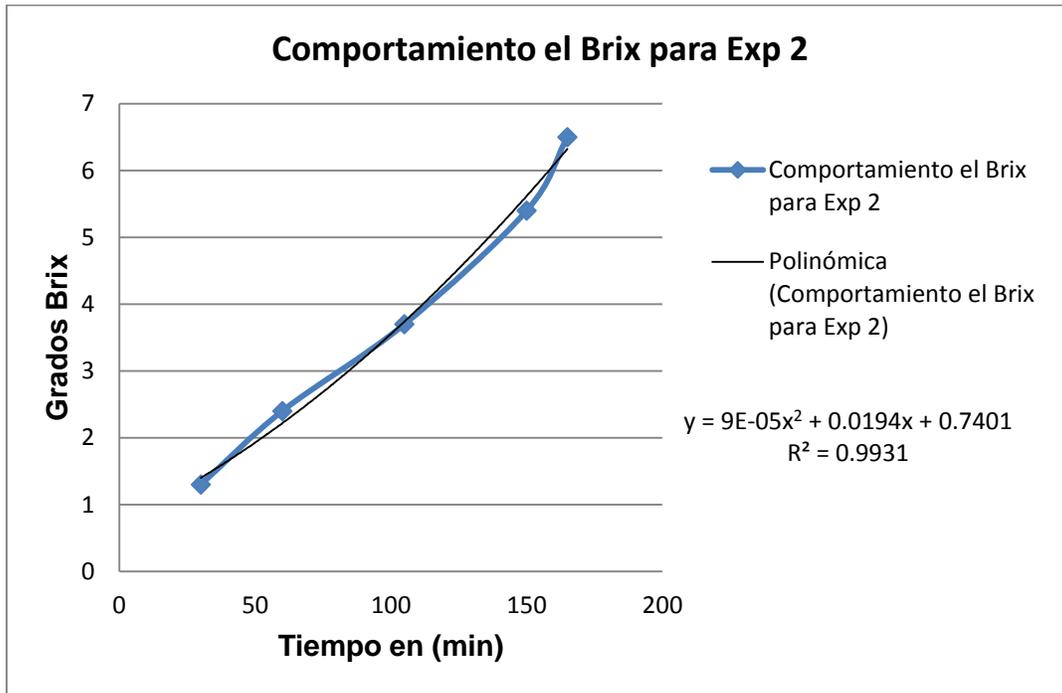


Figura 2.6 Desarrollo del Brix en la maceración Experimento 2

En las figuras 2.5 y 2.6 se muestra el comportamiento del Brix contra el tiempo en la etapa de maceración, a medida que aumenta el tiempo de maceración, aumenta el grado Brix.

2.3.3 Extracción del licor y lavado

Después de la maceración se deja decantar durante 30min y comienza la extracción del líquido que se convierte en maltina, este se realiza con un colador grande y un paño para evitar que pasen sólidos. Cuando se ha colado todo, se vuelve el grano al reactor y se le agrega más agua caliente, esta vez a unos 78 °C y se revuelve para que se siga disolviendo el azúcar. Luego de unos 5min se repite el paso anterior, se repite este paso tantas veces como haga falta, hasta obtener la cantidad de líquido deseada.

2.3.4 Cocinado del licor

Para el cocinado se utilizaron dos beaker de 5L cada uno, estos deben hervir durante dos horas en una hornilla, en esta etapa se agrega el azúcar a los 20 min después que comience hervir, el color caramelo 30 min después haber agregado la azúcar y el lúpulo 15 min antes de terminar el cocinado.

2.3.5 Reposo y Filtrado

En esta etapa se deja reposar la maltina aproximadamente 7 días, a una temperatura de 10°C, después es filtrada por una bomba a vacío, para así eliminar todas las sustancias solidas presentes en esta,

2.3.6 Pasteurización

La muestra se esterilizó en una autoclave a bajas presiones y temperatura de 121°C con el objetivo de matar los microorganismos adquiridos en la etapa de filtrado, por lo difícil de esta operación.

2.3.7 Enfriamiento y Clarificación

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

En la siguiente tabla se muestra la comparación entre las maltas obtenidas en este trabajo y las maltas Timina y Bucanero que se expenden en la red de divisa.

Tabla 2.9 Parámetros medidos a las muestras

Muestras	°Bx	pH	ρ(kg/m³)	Visc. (cP)	Acidez (%)	Vfinal (L)	Color y sabor
M.1	21.3	4.8	1058	2,046	2.0	9.7	Buenos
M.2	21.7	4.7	1062	2.082	2.0	9.8	Buenos
M.T	14,5	4,78	1050	1,631	-	-	Opt
M.B	13	4,06	1040	1,659	-	-	Opt

Malta 1 Y 2 son las obtenidas en este trabajo.

M.T Malta Timina

M.B Malta Bucanero

A la Malta se le realizó diferentes tipos de análisis, físicos, químicos y microbiológicos. Estos fueron realizados en el CNICA y los resultados se muestran en la **tabla 2.10**

Tabla 2.10 Informe de los resultados de análisis físico químicos y microbiológicos practicados a las muestras de Malta de sorgo de la UCLV

Método de ensayo	Determinación	Expresión de los resultados	Resultados (M-1)	Resultados (M-2)
NC 623: 2008	Extracto real (método rutinario de areómetro)	% v/v a 25°C	21,3	21,7
NC 623: 2008	Acidez total	% (ml de NaOH 1N/ 100 ml de la muestra)	2,0	2,0
NC 623: 2008	Índice de pH	u de pH	4,8	4,7
NC ISO 4833: 2011	Conteo de m.o aerobios mesófilos viables a 30°C	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10
NC ISO 4832: 2010	Conteo de organismos coliformes totales	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10
NC 38-02-14	Conteo de coliformes fecales	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10
NC ISO 6888-1: 2003	Staphylococcus aureus	ufc/ml	Menor de 10 ²	Menor de 10 ²
NC 1004: 2014	Conteo de Hongos	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10
NC 1004: 2014	Conteo de levaduras	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10

Análisis de los resultados

Se realizó el malteado del sorgo el cual es una de las principales etapas del proceso ya que constituye la materia prima para la obtención de maltinas de sorgo para los enfermos celíacos.

En la tabla 2.1 y figura 2.2 se presenta el comportamiento de la humedad en la etapa de remojo donde se puede corroborar que a medida que aumenta el tiempo aumenta también el porcentaje de humedad, lo que es debido a que el grano va absorbiendo agua, así como que el aumento en el tiempo es menor a partir de las 12 horas, ya que los granos están próximos a la saturación de la solución alcalina (NaOH) y aunque se dejaran por más tiempo en remojo no aumentaría su % de humedad.

Por los resultados obtenidos en la etapa de germinación, se considera que la calidad del sorgo utilizado no es la mejor, siendo la etapa principal dentro del malteo, pues ahí es donde se lleva a cabo la transformación del grano, como se aprecia los valores obtenidos para la malta clara son aproximados a los que se establecen para que la malta sea idónea, siendo estos valores mayores del 85 % de granos germinados para que se desarrollen las enzimas y la actividad diastásica, Estos resultados son superiores a **(Ozuna 2008; Contino 2012)** e inferiores a **(DÍAZ 2014)**.

El secado se realizó con el objetivo de detener la germinación, retener enzimas activas y permitir el almacenamiento sin las raicillas secas, reduciéndose la humedad de la malta hasta 4 ó 5 % para la malta clara y menos del 3% para la malta caramelo, con un tiempo de secado entre 4-5 h y 5-6 h respectivamente. Valorando los aspectos físicos se debe mejorar en el color y el sabor mediante un tostado más prolongado de la malta caramelo y en la obtención del color caramelo a emplear.

El contenido de minerales mostrado en la tabla 2.5, es ligeramente superior a la malta de sorgo sin optimizar obtenida por **(DÍAZ 2014)**, pero inferior a la malta optimizada.

La caracterización realizada a las maltinas indican que el Brix tiene un comportamiento alto, debido a que se añadió la cantidad de caramelo reportado en trabajos anteriores para esta relación Malta/Solución pero se empleó un caramelo aportado por la fábrica con una concentración alta y color muy oscuro y viscoso, pero también debido a condiciones de capacidad de equipamiento en el cocinado no se lavó el grano y la cantidad de licor fue inferior que el volumen planificado, el cual siempre merma por evaporación en el cocinado de ahí la elevación del Brix.

Los parámetros físicos determinados a la maltina en cuanto a densidad, viscosidad, acidez, pH y características organolépticas (color, sabor y olor) están dentro de los parámetros reportados para esta bebida, aunque debido al alto brix, las viscosidades también dieron algo elevadas, comparadas con los patrones.

Para determinar la viscosidad, fue empleada la ecuación de la curva ajustada en función del Brix para las soluciones azucaradas por Boffill. El valor de este parámetro en las maltinas elaboradas está entre 2.046-2.082 cP, algo superiores a los de las maltas patrones aunque su comportamiento no guarda una relación estable con la relación Sólido/Líquido.

Se realizaron análisis microbiológicos, dando buenos resultados según la norma cubana de contaminantes microbiológicos en alimentos 585 del 2015, las que aparecen reflejadas en la tabla 2.10 y certificadas por el CENICA en el anexo #6, lo cual había sido un problema en trabajos anteriores y por los cuales no se ha podido probar la maltina con los niños celíacos.



CAPÍTULO III: ESCALADO Y SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DEL PROCESO. ANÁLISIS ECONÓMICO

3.1 Escalado

Una vez determinadas las óptimas condiciones de operación para el desarrollo del proceso de obtención de maltinas empleando malta de sorgo, es preciso realizar el diseño y selección de los equipos a escala piloto de acuerdo con las características del proceso.

3.1.1 Selección del tipo de reactor

Tabla 3.1. Base de datos para la selección del tipo de reactor a utilizar en la etapa de maceración en la obtención de maltina.

Aspectos a considerar	Reactor tanque agitado	Reactor tubular
Técnicos y tecnológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1) Necesita de un agitador 2) Es perfectamente agitado 3) Trabaja a condiciones finales, la composición es la misma en cada punto del reactor 4) Menor transferencia de calor 5) Necesita mayor tiempo para la uniformidad de la temperatura 6) Trabaja a presiones moderadas 7) Puede tener operación continua o discontinua 	<ol style="list-style-type: none"> 1) El flujo de fluido es ordenado 2) Puede haber mezclado radial del fluido pero no longitudinal 3) Tiempo de residencia igual para todos los elementos del fluido 4) Mayor uniformidad en el calentamiento 5) Trabaja a altas presiones 6) Mayor transferencia de calor 7) Operación continua
Espaciales	Su construcción es más fácil	Son más difíciles de construir
Económicos	Cuando trabaja en operación discontinua el costo de operación es más elevado que cuando trabaja en operación continúa.	Mayor costo de construcción y mantenimiento.

Cuando se trabaja en procesos a pequeñas escalas de forma discontinua, se utilizan reactores de tipo tanque agitado. Se seleccionó un reactor de este tipo para la etapa de maceración.

3.1.2. Selección del medio de suministro de calor

Tabla 3.2. Base de datos para la selección del medio de suministro de calor.

Criterios	Tipo de Equipos	
	Chaqueta	Serpentín
Consumos de energía	–	Altos
Área de transferencia de calor	Mayor	Menor
Costo de Fabricación	Mayor	Menor
Mantenimiento	Difícil	Fácil
Fluidos de intercambio	Aceites, vapor, agua	Vapor, agua

Se selecciona la chaqueta como medio de calentamiento, los tanques enchaquetados son los más efectivos en cuanto al área de transferencia de calor, sin importar el alto costo de las chaquetas frente a su gran eficiencia.

3.1.3 Selección del tipo de agitador

Tabla 3.3. Base de datos para la selección del tipo de agitador a utilizar en el reactor.

		Tipo de agitador	
Aspectos	Índices	Placas	Hélice
Técnicos y Tecnológicos.	Aplicaciones	Se usan para viscosidades menores de 50 cP o cuando la intensidad de agitación requerida es pequeña y se necesita intensificar las operaciones de intercambio de calor.	Se usan para viscosidades menores de 4000 cP o cuando se agitan volúmenes grandes de líquidos (en el orden de 1500 m ³) o cuando se debe mantener en suspensión partículas sólidas pesadas.
	Velocidad	Iguales o menores de 150 r.p.m.	Altas velocidades en el orden de los 300 a los 1000 rpm
	Tipo de flujo	Aseguran un flujo tangencial y radial. No provocan corrientes verticales.	Aseguran un flujo axial y provocan gran turbulencia e intensas corrientes verticales.
	Suspensiones	Bajo contenido de sólidos.	Hasta 50% masa de sólidos.
	Facilidad de construcción	Son sencillos en su estructura.	Estructura complicada
Datos económicos	Costo de construcción	Bajo	Bajo
		Gasto energético pequeño en	

	Consumo de energía	comparación con otros tipos	Consumen poca energía
--	--------------------	-----------------------------	-----------------------

Se selecciona un agitador de hélice, teniendo en cuenta las propiedades de la mezcla que se va a agitar: su viscosidad y densidad y los requerimientos del proceso. Estos agitadores utilizan un flujo axial y provocan gran turbulencia, producen un movimiento de la mezcla en todo el recipiente. El líquido entonces es elevado a lo largo de las paredes y una vez en la parte superior del recipiente es succionado hacia el centro antes de descender.

3.2 Metodología para el escalado.

(Cañizares 1997) plantea, que cuando se procede al escalado de un reactor discontinuo, si el diseñador está seguro de que el problema de la transferencia de calor y el mezclado son solubles, no debe existir dificultad para desarrollar el mismo, por lo cual no es necesario la determinación de la cinética ni del mecanismo de reacción. Así mismo el tiempo de reacción en el reactor de mayor escala tiene que ser el mismo que en el de menor escala. Esta simple regla de escalado depende del grado de mezclado y de la transferencia de calor. Para un buen escalado, la velocidad e intensidad de mezclado, así como la capacidad de intercambio de calor deben ser los mismos en ambas escalas, lo cual no siempre es posible lograr.

En sistemas en los cuales la transferencia de calor y el mezclado juegan un papel muy importante se adoptan reglas que contemplan ambos efectos. Según (Jordan 1955; Rose 1981) ;existen varias formas de relacionar el diámetro del agitador D con la velocidad de agitación N como aparece en la tabla que a continuación se muestra.

Donde h'/h es la relación de los coeficientes de transferencia de calor entre el prototipo y el modelo respectivamente.

(') se refiere a los parámetros del prototipo.

Tabla 3.4. Reglas y relaciones de escalado para reactores discontinuos.

Regla de escalado	h'/h	Observaciones
1.Similitud dinámica (número de Reynold constante Re)	D'/D	Poco usado
2.Tipo de agitador y velocidad de agitación constante	$(D'/D)^{1-a}$	$a = 0,67$
3.Coeficiente constante	1	$N'/N = (D'/D)^{2-(1/a)}$
4. Flujo de calor por unidad de volumen constante.	D'/D	$N'/N = (D'/D)^{\frac{(2a-2)}{a}}$
5.Potencia por unidad de volumen constante	$(D'/D)^{1,33a-1}$	Poco cambio en el coeficiente h, $a=0,67$

3.2.1. Parámetros más usados para el escalado de sistemas de mezclado.

(Shuici, Arthur et al. 1965) Plantean que los parámetros más importantes a considerar en el escalado de los sistemas de mezclado son los que se reportan a continuación.

Tabla 3.5. Parámetros más usados para el escalado de sistemas de mezclado.

Parámetros	Ecuación
Potencia / volumen	$\frac{(P * N^3 * D^5)}{V}$
Torque / volume	$\frac{(N^2 * D^5)}{V}$
Número de Reynold	$\frac{(N * D^2 * \rho)}{\mu}$
Número de Froude	$\frac{(N^2 * D)}{g}$
Flujo	$N_a * N * D * \rho$
Número de Weber	$\frac{(\rho * N^2 * D^3)}{\sigma}$
Número de mezclado	N
Velocidad de cizallamiento	$\pi * N * D$

3.2.2 Escalado del reactor tipo tanque agitado.

(Bissio and Kabel 1985) Sugiere razones de escalado y escalas de operación en laboratorios, plantas pilotos y unidades comerciales; lo que no cumple necesariamente con la idea general de un cambio de escala de 5 a 10 veces en las dimensiones como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.6. Relaciones entre escala de operación y razón de escalado para el sistema en cuestión.

Sistema	Escala de operación		Razón de escalado	
	Laboratorio	Planta Piloto	Laboratorio a Planta Piloto	Planta Piloto a Comercial
Reactantes líquidos Productos sólidos o líquidos viscosos	0,005-0,2	1-20	20-200	20-200

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado se escalará el proceso a una capacidad de 100 litros.

Sobre la base del estudio realizado en el reactor de 10 litro se comienza el escalado del equipo. Según **(Bissio and Kabel 1985; Curbelo Garnica 1993; Cañizares 1997)**, el criterio de escalado más usado para procesos controlados por carga y en los que la tarea fundamental es el mezclado de los líquidos, es el de potencia por unidad de volumen constante; sin embargo en el proceso en cuestión es necesario considerar además el criterio de velocidad en la punta del agitador constante ($N \cdot D_i$ cte).

En la siguiente tabla se muestran los datos del reactor modelo, adquiridos a partir de pruebas realizadas a escala de laboratorio.

Tabla 3.7. Datos del modelo obtenidos en pruebas de laboratorio.

Volumen total (V_t)	10 L
Volumen efectivo (v)	9 L
Diámetro del reactor (D_t)	0,22 m
Diámetro del impelente ($D_i = 0,45 \cdot D_t$)	0,10 m
Velocidad de agitación (N)	150 rpm
Altura total del tanque (H)	0,45 m
Altura de llenado del tanque (h)	0,405 m

3.2.3. Metodología de escalado.

Partiendo de los criterios P/V y $N \cdot D_i$ constantes y de que existirá similitud geométrica entre el modelo y el prototipo se desarrolla la siguiente metodología de escalado.

3.2.4 Criterio de similitud geométrica.

De acuerdo al criterio de similitud geométrica se mantendrá la relación H/D constante para las dos escalas.

Tabla 3.8. Datos de ambas escalas para el criterio de similitud geométrica.

	Datos	Ecuaciones utilizadas
Modelo	$V = 10L$ $H_t = 2 * D_t$ $D_i = 0,45 * D_t$	$V = \left(\frac{\pi * D_t^2}{4} \right) * H_t \text{ (1)}$
Prototipo	$V = 100L$ $H_t' = 2 * D_t'$ $D_i' = 0,45 * D_t'$	$V = \left(\frac{\pi * D_t'^2}{4} \right) * H_t' \text{ (2)}$
Ambos		$\frac{D_t'}{D_t} = \frac{D_i'}{D_i} = \left(\frac{V_t'}{V_t} \right)^{1/3}$ $\frac{D_t'}{D_t} = \frac{D_i'}{D_i} = 2,15 \text{ (3)}$

Dividiendo (1)/(2) y sustituyendo en ambas ecuaciones la relación $D_t = 2.2 * D_i$ **(4)** se llega a la expresión $D_i = 2.15 * D_i'$ **(5)**, que constituye la expresión matemática de la similitud geométrica.

3.2.5 Criterio P/V constante.

Para desarrollar este criterio se tiene en cuenta que:

$$(P/V)' = (P/V) = (N^3 * D_i^2)' = (N^3 * D_i^2) \text{ (6)}$$

Si se despeja la velocidad de agitación (N) del prototipo, la expresión quedaría de la siguiente forma: $N^3 = (N^3 * D_i^2) / D_i'^2$ **(7)**.

Luego se sustituye en la ecuación (7) la expresión $D_i' = 2,15 * D_i$, quedando finalmente la expresión del criterio $N' = 0,6 * N$ **(8)**

Consecuencias del criterio sobre el Re.

Sustituyendo la ecuación (8) y (3) en $Re' = (N' \cdot Di'^2 \cdot \rho) / \mu$ (9); la expresión que relaciona el Re de mezclado en el modelo y el prototipo quedaría de la forma $Re' = 2.77 \cdot Re$ (10)

Consecuencias del criterio sobre N.

Teniendo en cuenta la ecuación 6 y sustituyendo en la misma la ecuación 3, la relación entre las velocidades de agitación para ambas escalas, quedaría $N' = 0,6 \cdot N$ (11).

Consecuencias del criterio sobre $N \cdot Di$.

Desarrollando la ecuación (6) y sustituyendo en la misma las ecuaciones (11) y (3) y despejando $N' \cdot Di'$, la expresión que relaciona ambas velocidades en la punta del agitador queda $N' \cdot Di' = 1,29 \cdot N \cdot Di$ (12).

3.2.6 Criterio $N \cdot Di$ constante.

En este criterio se tiene en cuenta que $N' \cdot Di' = N \cdot Di$ (13)

Además se considera que el Re de mezclado no es constante y como $Re = (N \cdot Di^2 \cdot \rho) / \mu$ (14), se procede a desarrollar la expresión del Re para el prototipo, quedando de la siguiente forma:

$$Re' = (N' \cdot Di'^2 \cdot \rho) / \mu = (N' \cdot Di' \cdot Di' \cdot \rho) / \mu = (N' \cdot 2,15 \cdot Di \cdot Di' \cdot \rho) / \mu = (2,15 \cdot N \cdot Di^2 \cdot \rho) / \mu$$

Del análisis anterior se llega a la expresión del criterio: $Re' = 2,15 \cdot Re$ (15)

3.2.7 Consecuencias del criterio sobre P/V.

Para el prototipo la expresión quedaría de la siguiente forma:

$(P/V)' = N^3 \cdot Di^2 = N' \cdot Di' \cdot N' \cdot Di' \cdot N'$ (16), considerando que $N' \cdot Di' = N \cdot Di$ y $N' = (N \cdot Di) / Di'$ y haciendo las sustituciones pertinentes, la ecuación (16) se transforma a $(P/V)' = 2.15 \cdot (P/V)$ (17).

Consecuencias del criterio sobre N.

$$N' \cdot D_i' = N \cdot D_i$$

$$N' \cdot 5 \cdot D_i = N \cdot D_i$$

$$N' = 2.15 \cdot N \text{ (18)}$$

Tabla 3.9. Datos del prototipo.

Volumen total (V't)	100 L
Volumen efectivo (V')	95 L
Diámetro del reactor (D'r)	0.47 m
Diámetro del impelente (D' = 0.5.D'r)	0.22 m
Altura total del tanque (H')	0.95 m
Altura de llenado del tanque (h')	0.86 m
Temperatura del sistema de reacción (T'r)	78 °C
Área de transferencia de calor (A'TC)	1.58 m ²

Para evitar que la suspensión se desborde durante el proceso, se determina la altura real del reactor, realizándole un sobre diseño a la altura efectiva, quedando $H_{real} = 10\% \cdot H =$

Tabla 3.10. Cálculo del Ud de la chaqueta

Nomenclatura	Datos	Ecuación	Resultado	Ref
Coeficiente de TC medio (hj)	J=850 Cp=3.81 kJ/kg°C μ = 2.45*10 ⁻³ Pas Dj=0.406 m K=38.74 kcal/h*m ² *°C/m	$h_j = \frac{J * k}{D_j} * \left(\frac{C_p * \mu}{k} \right)^{1/3}$	5189	Kern
Uc	Hio=1500kcal/hm ² °C	Uc=hj*hio/hj + hio	1163	Kern
Ud	Rd=0.005 hd=200	Ud=Uc*hd/Uc+hd	170	Kern

3.3 Selección de los equipos

Se realiza una selección de los principales equipos presentes en el proceso de obtención de matina.

3.3.1 Tanques de almacenamiento

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

3.3.2 Cribas

Tabla 3.11 Selección de las cribas.

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

Se selecciona las cribas vibratorias, debido a su mayor capacidad y menor gasto de energía.

3.3.3 Tanques de remojo

Tabla 3.12 Selección del tanque de remojo.

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

Se selecciona el tanque de fondo cónico que cumple con las exigencias del proceso.

3.3.4 Germinador

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

1. Germinador de tambor
2. Germinador de compartimentos.

Se seleccionó el germinador de compartimentos tiene menor costo de inversión inicial, menores costos de operación y mantenimiento, y la calidad de la malta es la misma en ambos casos.

3.3.5 Transportadores

Tabla 3.13 Selección de los transportadores.

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

Se escogió el transportador de tornillo sin fin, porque no tiene limitaciones para el tipo de material a transportar, es de bajo costo y un consumo de potencia bajo.

3.3.6 Molinos

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

Tabla 3.14 Selección de los molinos.

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

Finalmente se llegó a la conclusión de que un molino de martillo sería más adecuado, ya que cumple con todas las condiciones para el proceso.

3.3.7 Filtros

Para la selección del filtro se tuvo en cuenta primeramente el tipo de filtro, siendo de acción periódica, aunque se valoró las ventajas que brinda el filtrado continuo, en cuanto a productividad, pero también su alto costo y las particularidades del proceso,

que es completamente a batch en las etapas anteriores nos lleva a la decisión de seleccionar un filtro de acción periódica.

Tabla 3.15 Selección de los filtros.

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

El filtro de marcos y placas se escoge porque sus especificidades son compatibles con la operación y aunque tiene un costo elevado, comparado con otros, es de fácil construcción.

3.3.8 Sedimentador

Tabla 3.16 Selección del sedimentador.

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

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

3.3.9 Intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor son importantes en la industria de los procesos químicos, ya que son fundamentales para la conservación y transferencia de energía. Para este caso de estudio particular, se selecciona un intercambiador de Tubo y coraza ya que cumple con las condiciones aunque es más caro.

Tabla 3.17 Selección del Intercambiador de calor.

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

3.3.10 Tanque de almacenamiento de la maltina

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

equipo para la instalación del mismo, se llega a la conclusión que los tanques de fondo cónico, a pesar de que son más costosos, cumplen con el requisito indispensable para lograr un buen almacenamiento del producto final.

Tabla 3.18 Selección del Tanque de almacenamiento de la maltina.

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

3.3.11 Bombas

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

Tabla 3.19 Selección de bombas

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

Al comparar las distintas variantes de bombas seleccionadas se determina que el tipo adecuado para el proceso, son las bombas centrífugas de flujo axial, ya son las más baratas y trata fluidos pocos viscosos.

3.4 Análisis Económico

Este se realiza con el objetivo de demostrar que la planta diseñada es factible económicamente. Se ha comprobado que los costos de mayor significación, dentro del proceso son los costos del equipamiento y de la materia prima.

3.4.1 Costo de Inversión

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

inversión total de la planta que permanecerán constantes para las dos alternativas, ya que la tecnología es común para ambas.

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

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

3.4.2 Costo del equipamiento

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

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

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

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

Tabla 3.20 Costo del equipamiento

Nombre de equipo	Costo actualizado	No Equipos	Costo total \$
Tanques de cocción	13701,49	1	13701.49
Cribas	246,63	1	246.63
Molinos de martillos	267,18	1	267,2
Sedimentador	870,04	1	870,0
Filtro	1903,14	2	3806,3
Intercambiador de calor	1322,19	1	1322,2
TK de Almacenamiento de agua	5508,00	2	11 016,0
Silos de Almacenamiento de MP	2166,21	2	4332,4
TK de Almacenamiento de	8631,94	2	17 263,9

Azúcar			
TK de Almacenamiento de PF	6702,77	2	13405.54
Elevador de sorgo	726,18	1	726,2
Bombas de Afrecho	1344,12	1	1344.12
Bombas de agua	1252,32	1	1252,3
Bombas de maltinas	1252,32	1	1252,3
Costo total del equipamiento			70 806.58

Tabla 3.21 Costos Directos

Costos Directos		
Indicadores	Fórmula	Costo \$
Equipamiento	100%	70 806.58
Instalación de Equipos	45% del Cequip	31862.96
Aislamiento	1% del Cequip	708.1
Instrumentación y Control	18% del Cequip	12745.18
Tuberías	16% del Cequip	11329.1
Instalaciones eléctricas	10% del Cequip	7080.7
Edificaciones	25 % del Cequip	17701.6
Servicios		

Generación de vapor	2% de la IF	0,02*IF
Distribuidor del Vapor	1% de la IF	0,01*IF
Suministro de agua	1% de la IF	0,01*IF
Distribución de la electricidad	0,4% de la IF	0.004*IF

Tabla3.22 Costos Indirectos

Costos Indirectos	Fórmula	Costos \$
Supervisión e Ingeniería	4% de la IF	0,04*IF
Gastos de construcción	2% de la IF	0,02*IF
Gastos de puesta en marcha	1% de la IF	0.01*IF
Imprevistos	2% de la IF	0.02*IF

$$Inversión Fija = 81\ 427.64 + 0.044 * IF + 0.09 * IF$$

$$Inversión Fija = \$ 94\ 027.3$$

Como la *Inversión de trabajo* = 10% *Inversión Total*

Sustituyendo en:

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

$$Costo de Inversión = \$ 94027.3 + 0.10 * I$$

$$Costo de Inversión (I) = \$ 104\ 474. 78$$

3.4.3 Costos totales de Producción

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

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

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

Tabla 3.23 Costos de la materia prima

Materia Prima	Precio (\$/kg)	Cantidad (kg/año)	Costo (\$/año)
Malta de sorgo	0,60	3960	2 376
Azúcar Refino	0,52	2970	1544.4
Color Caramelo	0,47	1650	775.5
Costo Total de la Materia Prima			4 695.9

Tabla 3.24 Costos de la mano de Obra

Indicadores	Cantidad
Obreros por turnos	3
Turnos por días	3
\$/horas, operador	1.8
días al año	330
Costo Total de Mano de Obra \$/año	38 880

Tabla 3.25 Costos de requerimientos de electricidad

Requerimientos	Precio		Cantidad		Resultado	
	Valor	UM	Valor	UM	Valor	UM
Electricidad	0.09	$\frac{\$}{kw - h}$	20 000	$\frac{Kw}{año}$	1 800	$\frac{Kw}{año}$
Vapor	0.008	$\frac{\$}{kg \text{ de vapor}}$	10 500	$\frac{kg \text{ de vapor}}{año}$	84	$\frac{\$}{año}$
Agua	0.32	$\frac{\$}{m^3}$	165	$\frac{m^3}{año}$	52.8	$\frac{\$}{año}$
Costo Total					1 936.8	$\frac{\$}{año}$

Tabla 3.26 Costos de Fabricación

Indicador	Fórmula	Costo \$/año
Costos Directos		
Materias Primas	-	4 695.9
Mano de Obra	-	38 880
Supervisión	0,1*MO	3 388
Requerimientos de electricidad, vapor y agua	-	1 936.8
Mantenimiento y reparaciones	0,05*IF	4 701.4

Laboratorio	0,1*MO	3 388
Costos Fijos		
Depreciación	IT/Vida útil	696.5
Seguros	0,04*IF	3 761.1
Impuestos	0,1*IF	9 402.73
Costos Indirectos		
Otros Costos	0,5*(MO+Sup+Mtto)	23 484.7
Costos Total de fabricación		94 835.13

Tabla 3.27 Gastos generales

Gastos Generales		
Indicador	Fórmula	Costo \$/año
Administración	0,15*MO+Sup+Mtto	7 045.41
Distribución y venta	0,02*CTP	2 122.5
Investigación y desarrollo	0,02*CTP	2 122.5

Costo total de producción = Costos de Fabricación + Gastos generales

*Gastos Generales = 7 045.41 + 0.04 * CTP*

Por lo que

*Costo total de producción = 94 835.13 + 7 045.41 + 0.04 * CTP*

$$CTP = 106\,125.56 \frac{\$}{\text{año}}$$

3.4.4 Análisis de Ganancia

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

Tabla 3.28 Datos y resultados

Productos	Precio de venta	UM	Cantidad	UM	Valor del Producto \$/año
Maltina	1.75	\$/L	33 000 L	kg/año	57 750
Afrecho	0.9	\$/L	21 000 L	kg/año	18 900
Valor total de la Producción \$/año					76 650
Ganancia \$/año					-29 475.56

3.4.5 Análisis de sensibilidad

Al no ser rentable la planta se propone realizar un análisis de sensibilidad con el fin de variar el precio del producto final hasta alcanzar la rentabilidad, siempre que los precios sean adecuados. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.30.

Tabla 3.30 Variación del precio del producto analizando la ganancia

Precio del producto \$/kg	Ganancia \$/año
1.75	-29 475.56
2.0	-21 225.56
2.5	-4 725.56
3.0	11 774.4

3.5	28 274.4
4.0	44 774.4

El análisis de sensibilidad demuestra que la inversión propuesta es factible para precios de la maltina que estén por encima de \$ 3.0 kg, o sea, este es el valor mínimo que puede alcanzar el producto para garantizar la factibilidad de la inversión, lo cual es elevado y sobre todo si se tiene en cuenta que se comercializa a menores precios que las maltinas a base de malta de cebada.



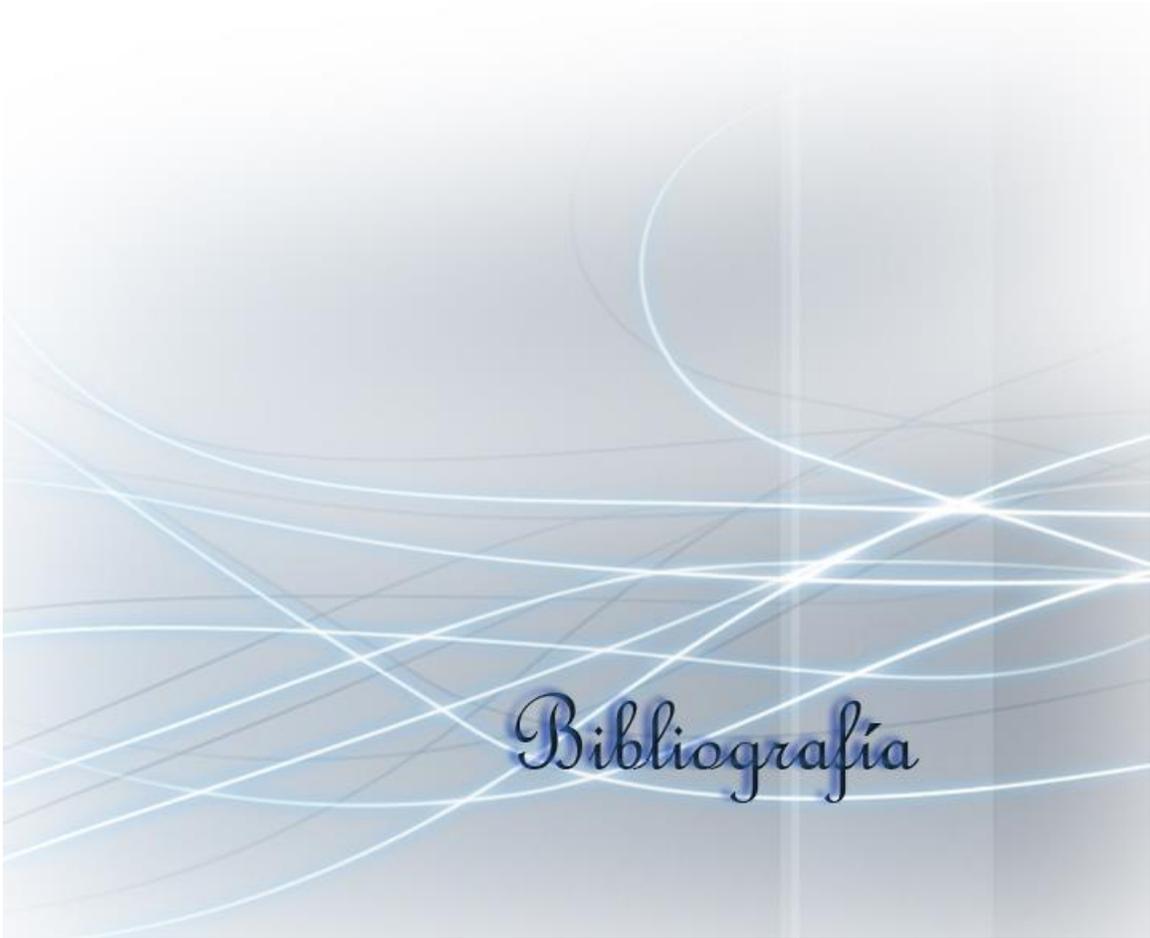
CONCLUSIONES

1. Se lograron altos niveles de germinación del sorgo UDG-110 y de Poder diastático con ello un malteado favorable para la conversión de los almidones, esto se debe a la selección de la mejor variante de malteado reportado en trabajos anteriores.
2. La maltina obtenida en este trabajo presenta una buena calidad, tanto en parámetros físicos, organolépticos y microbiológicos. La cual esta apta para el consumo humano.
3. Los resultados alcanzados permiten establecer en forma de carta tecnológica una tecnología para la producción de maltina de sorgo.
4. La proyección de una planta para la obtención de Maltinas a escala de planta piloto a partir de sorgo, no es factible desde el punto de vista económico.
5. El análisis de sensibilidad mostró como resultado que se puede obtener una ganancia de 11 774.4 \$/año a partir de un precio de venta de la maltina de sorgo de 3.0 \$/kg.
6. Con la implementación de este trabajo se pudiera lograr que las personas que padecen de enfermedades celiacas tengan una mayor variedad en su alimentación, y probar una bebida no apta para ellos.



RECOMENDACIONES

1. Continuar el estudio del malteado de sorgo con otras variedades de este grano.
2. Emplear un sorgo con mejor calidad y que sea brindado por una empresa estatal de nuestro país.
3. Estudiar con precisión el punto de conversión del sorgo, ya sea modificando tiempos y temperaturas, determinar si es necesario incorporar enzimas exógenas y en qué proporción, para la conversión de los almidones presentes en el sorgo.
4. Implantar la planta de obtención de maltina y una de malta de sorgo anexo a la cervecería, para ahorrar en sistemas auxiliares de la misma y algún equipo que pudiera aprovecharse.



Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

1. Aastrup, Sten, et al. (2004). Choice of enzyme solution should determine choice of raw materials and process. Presentation given at World Brewing Conference., San Diego, USA.
2. 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": 140.
3. Alemán, L. (2007). Estudio de la Obtención de alcohol etílico a partir de sorgo". Ingeniería Química Santa Clara, uclv.
4. Alfa-Laval (1989). ". Manual de elaboración de cerveza."
5. Altmann, R. (2004). ""Uso de sorgo granero en la producción de alcohol carburante y alimento animal en Costa Rica." ".
6. Batista, J. (2008). "ARROZ NEGRO COMO ADJUNTO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA."
7. Bissio (1985). ". "Scaleup of chemical processes : conversion from laboratory scale test to successful commercial size desing"."
8. Bissio, A. and R. L. Kabel (1985). Scaleup of chemical processes: Conversión from laboratory scale test to successful comercial size desing. New York.
9. Boffill (2009). "Incremento del valor agregado del sorgo mediante procesos biológicos industriales.". Ingeniería Química. Santa Clara., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
10. Cañizares (1997). ""Aplicación del análisis de proceso al escaldo del reactor" ".
11. Cañizares, T. (1997). Aplicación del análisis de proceso al escalado del reactor G-O. Villa Clara, Santa Clara, UCLV.
12. Cárdenas, Y. (1996). ""Estudio preliminar de la etapa de blanqueo de la cera refinada de caña de azúcar".".
13. Contino, Y. (2012). Propuesta tecnológica de una planta piloto de obtención de maltinas de sorgo destinadas a enfermos celíacos Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
14. Curbelo Garnica, A. (1993). Estudio preliminar para el escalado de la reacción de G-O. Ingeniería Química. Villa Clara, Santa Clara, UCLV.
15. DíAZ, Y. (2014). Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo para la producción de maltinas para enfermos celíacos.". DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA, UNIVERSIDAD CENRAL" MARTA ABREU"DE LAS VILLAS.
16. EGGERT, T. (2004). ""Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution." ".
17. Fernández, C. (2004). "Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación.". Santa Clara.

18. FLORIO, E. D. (2005). "Elaboración de chicha de jora a nivel de planta piloto utilizando tecnología cervecera".
19. HAHN, R. (2007). "Usos del Sorgo granífero en la Alimentación Humana y Otros."
20. HERNÁNDEZ, R. (2007). "Enzimas."
21. Jordan, D. G. (1955). "Chemical pilot plant practice." Interscience: 403.
22. Kern, D. Q., (1979). "Procesos de transferencia de calor". La Habana
23. Kramer. (1969). "Producción del Sorgo y su Utilización" . .
24. Levenspiel, O. (1985). "Chemical Reaction Engineering." Edición Revolucionaria. La Habana.
25. León (2003). "Tratamiento de la enfermedad celíaca".
26. Molberg (2005). "Mapping of gluten T-cell epitopes in the bread wheat ancestors: implications for celiac disease".
27. Morales, P. (1994). "Estudios de germinación del sorgo para producir malta". Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
28. Nelson, M. (2005). "The Barbarian's Beverage: A History of Beer in Ancient Europe. ." Routledge publication 1.
29. Ogbeide, S. O. (2011). "Investigating the Use of Sorghum as Malted Barley Adjunct in Brewing Process." Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences 2: 521-524.
30. Ozuna, Y. (2008). "Obtención de maltina a partir de sorgo malteado para niños celíacos". Departamento de Ingeniería Química, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
31. Ozuna., G. y. (2007). "Estudio preliminar de la obtención de Maltina para niños celíacos a partir de sorgo malteado". Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
32. OKOLO, B. N. & EZEUGU, L. I. 1996. Duration of final warm water steeping as a crucial factor in protein modification in sorghum malts. *J. Inst. Brew.*, 102, 167-177.
33. OWUAMA, C. I. & ASHENO, I. 1994. Studies on malting conditions for sorghum. *Food Chem.*, 49, 257-260.
34. PETERS, M. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.*, United States.
35. Perry, R. H. (1989). Chemical Engineering Handbook.
36. Rodríguez (2007). "Los cereales en la elaboración de Bebidas".

37. 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": 81.
38. ROSABAL, J. & V., M. 1989. "*Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas*".
39. Rose, L. M. (1981). "Chemical design in practice." Chemical Engineering: 378.
40. S.O, S. (2007). ""Utilización del Grano de Sorgo para Obtener Otros Productos Industriales". "
41. Sánchez, M. (2003). ""Cultivo de sorgo granífero." "
42. Shuici, A., E. H. Arthur, et al. (1965). Biochemical Engineering: 333.
43. TECNI-FENALCE (2002). "Características del sorgo."
44. Treybal R.E., "Operaciones de Transferencia de Masa", Editorial Mc Graw-Hill, 3^{ra} Ed, New York, 1980
45. ULRICH, G. 1985. "*Diseño y Ecocomía de los Procesos de Ingeniería Química*".
46. Walas, S. M. (1965). ""Cinética de las reacciones químicas". "
47. www.agropanorama.com.
48. www.alimentosalud.com.
49. www.es.wikipedia.org/wiki/Sorgo.



ANEXOS

Anexo #1 Determinación de la Humedad

Fundamento del método

La determinación de la humedad por este método se basa en la diferencia de pesadas después de estar expuesta la muestra a la deshidratación.

Procedimiento

1. Se pesan aproximadamente 5 g de la muestra que se va a analizar y se introducen en una cápsula previamente tarada.
2. Se coloca la cápsula en una estufa a 100 ° C durante 1 h.
3. Se coloca la muestra en la desecadora para que se enfríe, y luego se pesa.
4. El procedimiento se repite hasta que el peso sea constante.

Cada determinación de humedad debe realizarse con una réplica.

Expresión de los resultados

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{A-B}{A-C}$$

Donde:

A – Peso de la cápsula más el peso de la muestra.

B – Peso constante final

C – Peso de la cápsula

Anexo #2 Técnica de laboratorio para la determinación del contenido de extracto.

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

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

Donde

A: peso picnómetro vacío

B: peso picnómetro con agua destilada.

C: peso picnómetro con la solución.

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

Anexo #3 Técnica Operatoria para la determinación del poder diastático.

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

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

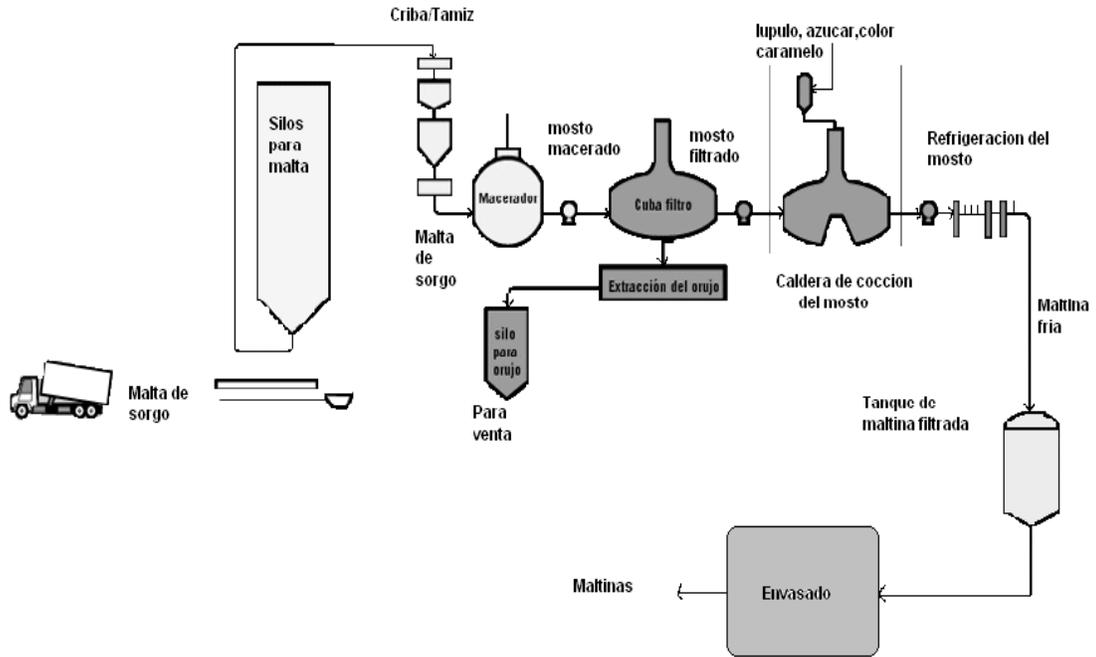
Preparación de blancos

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

Valoración de las soluciones y el blanco.

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

Anexo #4 Diagrama de cada una de las operaciones



Anexo #5 CARTA TECNOLÓGICA

MALTINA

MACERADOR

Malta de sorgo clara.....	8,4KGS
Malta de sorgo caramelo-----	3,6 KGS
TOTAL -----	12 KGS
AGUA.....	100 L

- ✓ Bajar la masa a 38° C en 15 minutos. Mantener ½ horas.
- ✓ Subir a 55° C en 10 minutos. Mantener 45 minutos.
- ✓ Subir a 63° C en 10 minutos. Mantener 45 minutos.
- ✓ Subir a 71° C en 15 minutos. Mantener ½ horas.

Subir a 78° C en 10 minutos.

TACHO:

- Llenar a **100 L**.
- Hervir durante 2 horas.

Azúcar Crudo: 11KGS



**MINISTERIO DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA
CENTRO NACIONAL DE INSPECCIÓN DE LA CALIDAD**

Laboratorio CNICA Territorial Villa clara

Informe de los resultados de análisis físico químicos y microbiológicos practicados a las muestras de Malta de sorgo de la UCLV

Método de ensayo	Determinación	Expresión de los resultados	Resultados (M-1)	Resultados (M-2)
NC 623: 2008	Extracto real (método rutinario de areómetro)	% v/v a 25°C	21,3	21,7
NC 623: 2008	Acidez total	% (ml de NaOH 1N/ 100 ml de la muestra)	2,0	2,0
NC 623: 2008	Índice de pH	u de pH	4,8	4,7
NC ISO 4833: 2011	Conteo de m.o aerobios mesófilos viables a 30°C	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10
NC ISO 4832: 2010	Conteo de organismos coliformes totales	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10

NC 38-02-14	Conteo de coliformes fecales	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10
NC ISO 6888-1: 2003	Staphylococcus aureus	ufc/ml	Menor de 10 ²	Menor de 10 ²
NC 1004: 2014	Conteo de Hongos	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10
NC 1004: 2014	Conteo de levaduras	ufc/ml	Menor de 10	Menor de 10

MSc. Idaymi Espinosa Plasencia
Jefe Laboratorio