



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

Facultad de Química - Farmacia
Departamento de Ingeniería Química

Trabajo De Diploma.

Título: “Obtención de maltina a partir de sorgo malteado para niños celíacos”.

Autor: Yoandry Ozuna Roque.

Tutora: Dra. Irenia Gallardo Aguilar.

“Año 50 de la Revolución”
2008.







En la tierra, hacen falta personas que trabajen más y que critiquen menos, que construyan más y que destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y den más, que digan mejor ahora, que mañana.

che



Dedicataria

A la memoria de mi abuelo materno; que vivo hoy se sentiría satisfecho y feliz de ver mi sueño realizado. A mis padres y hermanos, por brindarme siempre su voto de confianza, A un ángel con nombre de mujer, por demostrarme, que aunque las olas se desvanecen en la arena... el mar existe,

A todos ellos se la dedico.



Agradecimientos

- ♥ *A Irenia Gallardo Aguilar por su esfuerzo, dedicación y entrega. Gracias por confiar en mí.*
- ♥ *A mi hermano, eslabón importante en este trabajo. Todas las gracias del mundo no alcanzarían para ti.*
- ♥ *A mis padres y mi hermana, que gracias a su educación, dedicación y apoyo hoy estoy aquí.*
- ♥ *A Maray por estar en cada momento y brindarme tanto amor.*
- ♥ *A mi familia por su apoyo incondicional tanto en las buenas como en las malas.*
- ♥ *A Yaiilet Albernas Carvajal por su sacrificio y dedicación en este trabajo.*
- ♥ *A la familia de mi novia por apoyarme y brindarme su afecto.*
- ♥ *A mis compañeros y amigos (Javier, Lester, Yenier, Osvaldo y Yosvany) por estos cinco años maravillosos.*
- ♥ *A Margarita por su apoyo y ayuda en toda la elaboración de este trabajo.*
- ♥ *A Hanna y Bracco por todos ratos de estrés que me liberaron con sus juegos incansables.*
- ♥ *A Iván, Luís Ernesto y Reina por su asesoramiento en la estadística.*
- ♥ *A Randy, Alexis y Eduardo por su ayuda desinteresada.*
- ♥ *A Yenlys, Nancy, Miguel y todos aquellos que siempre me apoyaron.*
- ♥ *A la Revolución por haberme dado la oportunidad de realizarme como profesional.*

A todos, muchísimas gracias.



Resumen.

En el presente trabajo se hace una propuesta de variante a seguir para la producción de maltina a partir de sorgo. Se presenta una revisión bibliográfica en la cual se abordan 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 estos pacientes. También se abordan otros aspectos relacionados con el sorgo por ser la materia prima seleccionada para la elaboración de la maltina, así como algunos aspectos económicos relacionados con el tema. Se hicieron varios experimentos a nivel de laboratorio basados en resultados obtenidos anteriormente por el propio autor donde se determinaron las mejores relaciones de Malta Clara/Solución, Malta Clara/Malta total y Caramelo/Malta Total. Se propone un diseño preliminar de una planta para la producción de malta y se hace un análisis que demuestra que esta variante no es factible desde el punto de vista económico. Además se realiza además un análisis de sensibilidad para la variación del precio del producto que demuestra que la variante seleccionada es factible para precios mayores que $2124 \text{ } \$/\text{Ton}$.

El trabajo a pesar de estar en sus comienzos y de no ser rentable tiene un gran impacto desde el punto de vista social, pues se presenta una alternativa para la alimentación de niños celíacos.

Palabras claves.

Celíaco.

Sorgo.

Malta.

Maltina.



Abstract.

In the present work a proposal is made of variant follow for the production of drink without ethanol from sorghum. A bibliographical study appears in which the main aspects related to the celiac disease are approached, which is the one that causes that it is needed to work in the search of alternatives for the food production from other sources that are not the traditional cereals like the wheat, oats, the barley and the rye, by the high present contents of gluten in them, who aren't compatible with the food of these patients. Also other aspects related to the sorghum are approached for being the selected raw material for the drink without ethanol production, as well as some economic aspects related to the subject. Several experiments concerning laboratory were made previously based on results obtained by the own author where the best relations of Clear Malt were determined/Solution, Clear Malt/total Malt and Candy/Total Malt. A preliminary design of a plant for the Malt production sets out and an analysis becomes that demonstrates that this variant is not feasible from the economic point of view. An analysis to sensitivity for the variation of the price of the product is made in addition that demonstrates that the selected variant is feasible for prices greater than 2124 \$/Ton.

The work in spite of being in its beginnings and of being profitable does not have a great impact from the social point of view, because an alternative for the feeding of celiac children appears.

Key words.

Celiac.

Sorghum.

Malt.

Drink without ethanol.



Índice.

	Pág.
Introducción	1
Capítulo I: Revisión bibliográfica	3
1.1. Enfermedad Celíaca	3
1.1.1. Enfermedades Asociadas.....	4
1.2. Sorgo	5
1.2.1. Origen histórico del sorgo.....	6
1.2.2. Ventajas de la siembra de sorgo.....	6
1.2.3. Ventajas del Sorgo en la Conservación de los Suelos.....	7
1.2.4. Usos del Sorgo.....	8
1.3. Definición de maltina	9
1.3.1. Generalidades sobre el proceso de Fabricación de maltina.....	9
1.3.2. Características e Identidad de la maltina.....	10
1.4. Sacarificación Enzimática	11
1.4.1. ¿Qué es una enzima?.....	12
1.5. Procesos de malteado	14
1.5.1. Malta de los granos utilizada como enzima.....	14
1.6. Preparación de la maltina	20
1.7. Almidón	21
1.7.1. Partes que componen el almidón.....	23
1.8. Análisis de tendencias en los precios de algunos cereales	25
1.9. Conclusiones Parciales	27
 Capítulo II: Desarrollo Experimental	 28
2.1. Variables y niveles a analizar en los experimentos	28
2.2. Desarrollo experimental	29
2.2.1. Malteado del grano de sorgo.....	29
2.2.2. Clasificación del grano.....	31
2.2.3. Proceso de remojo.....	31
2.2.4. Etapa de germinación.....	32
2.2.5. Etapa de secado.....	34
2.2.6. Influencia del espesor de la malta en el tiempo de secado.....	34
2.3. Técnicas experimentales para obtención de maltina	37
2.4. Preparación de las muestras y resultados obtenidos	38
2.4.1 Aspectos físicos obtenidos.....	43
2.4.2. Experimentos adicionales realizados con malta caramelo.....	43
2.5. Análisis estadístico de las variables de influencia	45

2.6. Conclusiones Parciales.....	47
 Capítulo III: Diseño y evaluación económica de una planta de malteado de sorgo.....	 48
3.1. Introducción al capítulo.....	48
3.2. Selección del equipamiento.....	49
3.2.1. Tanques de almacenamiento.....	49
3.2.2. Tanques de remojo.....	50
3.2.3. Germinador.....	50
3.2.4. Secadero.....	51
3.3. Dimensionamiento de los equipos principales.....	51
3.4. Balance de materiales.....	56
3.5. Sistemas auxiliares.....	57
3.5.1. Sistema de calentamiento e impulsión de Aire.....	58
3.5.2. Sistema de bombeo.....	58
3.5.3. Tuberías.....	60
3.6. Cálculo de los Indicadores económicos.....	60
3.6.1. Estimado del Costo total de Inversión.....	60
3.6.2. Estimado del Costo de Producción.....	62
3.7. Indicadores de rentabilidad. VAN, TIR y PRD.....	64
3.8. Análisis de Sensibilidad Variando el precio del Producto.....	65
3.9. Conclusiones Parciales.....	67
 Conclusiones.....	 68
Recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	70
Anexos	



Introducción

Introducción.

El concepto de la seguridad nacional es hoy en día centro de discusión en el mundo. Para el caso concreto de Cuba el concepto de la seguridad nacional está indisolublemente ligado a su lucha por la independencia y soberanía nacional, por tanto se define como la condición necesaria alcanzada por el país como resultado de las acciones que se realizan en el proceso de construcción y defensa de la sociedad socialista en dos grandes direcciones: el interés **del desarrollo sostenible y la defensa de la Revolución.**

Al ser el desarrollo sostenible una de las grandes direcciones de acción para alcanzar la seguridad nacional, se comprende la importancia de la dimensión económico-social para lograr esa condición "*sin economía no hay Socialismo*" expresó el comandante en Jefe en el Congreso de la ANEC el 28 de noviembre del 2005.

Por otro lado el potencial económico - social es la capacidad máxima del Estado, de emplear el conjunto de recursos humanos, naturales, del entorno geográfico, materiales, financieros, científicos, técnicos, productivos, entre otros, que permitan junto a un conjunto de medidas, garantizar el desarrollo sostenible del país.

En la esfera social, la política es la de impulsar la formación y desarrollo del capital humano, en mantener los elevados avances en la educación, la salud, la cultura general integral y la ciencia entre otros logros.

Considerando los aspectos anteriores y teniendo en cuenta que los cereales son una de las fuentes de nutrientes más importantes de la humanidad, que históricamente han estado asociados al origen de la civilización y cultura de los pueblos, por constituir un producto básico en la alimentación, por sus características nutritivas y su costo, así como por su preparación agroindustrial y tratamiento culinario, tan sencillos y de gran versatilidad, desde el pan o una pizza hasta innumerables dulces en la repostería, es que se enmarca este trabajo.

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

que les permita el necesario cumplimiento de su dieta. Sobre esa base se soporta la presente tesis.

Es por ello que se plantea la siguiente **problemática científica**:

Las proteínas presentes en el gluten contenido en la mayoría de los cereales empleados en la alimentación humana como el trigo, la cebada y la avena, provocan en algunos enfermos la enfermedad denominada “celíaca” por lo que la alimentación de esas personas resulta cada vez más difícil dado el número elevado de alimentos que contienen dicho gluten en proporciones elevadas.

La **Hipótesis** que se tomó como punto de partida para el trabajo es la siguiente:

“Es posible la producción de maltina empleando la malta de sorgo sola mejorando así la dieta de los enfermos celiacos”.

Objetivo general.

- Obtener una tecnología para la obtención de maltina para enfermos celiacos a partir de malta de sorgo.

Objetivos específicos.

1. Continuar el estudio de las etapas para el malteado del sorgo, para ser empleado como materia prima en la producción de maltina.
2. Adaptar la tecnología del proceso de producción de cerveza a la de fabricación de maltina a partir de sorgo.
3. Profundizar el estudio experimental del proceso de producción de maltina empleando sorgo malteado, considerando algunas variables del proceso.
4. Diseñar una planta para la obtención de malta de sorgo para la producción de maltina a pequeña escala.
5. Analizar la factibilidad económica y social de la implantación de una tecnología para la obtención de maltina para niños celiacos a partir de sorgo.



Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

1.1. Enfermedad Celíaca.

Según la revista (***Medline Plus, 2007***) la enfermedad celíaca es una enfermedad auto inmune caracterizada por una inflamación crónica de la parte proximal del intestino delgado o yeyuno, causada por la exposición de gliadina, una proteína vegetal de algunos cereales en la dieta, llamada gluten (proteína presente en el trigo, cebada, centeno, triticale, espelta y posiblemente avena). Es un trastorno que aparece en personas genéticamente predispuestas, de todas las edades a partir de la infancia, al ser expuesto a la gliadina, la enzima transglutaminasa tisular modifica la proteína y el sistema inmune del individuo hace una reacción cruzada en contra del intestino delgado, causando una reacción inflamatoria que causa aplanamiento de las vellosidades que recubren el intestino e interferencias en la absorción de nutrientes. El péptido 33 mer, rico en aminoácidos glutamina y prolina, que resiste la acción de todas las enzimas del borde en cepillo; parece ser definitivamente la fracción del gluten ciertamente tóxica para el celíaco, que inicia el proceso de desajuste inmunológico en el intestino delgado. (***Budnik y Col, 2003***), (***Shan y Col, 2002***), (***Qiao, 2004***).

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

- Siglo II a.C: primera descripción de la enfermedad por parte de un contemporáneo de Galeno, Aretaeus de Capadocia. En esta época a las personas que la padecían se les conocía con la palabra *koliacos*, de la cual deriva celíacos, y que significaba “aquellos que sufren del intestino”.
- 1856: Francis Adams traduce y edita los trabajos de Aretaeus.
- 1908: Herter (pediatra) escribe un libro sobre la enfermedad en niños. La afección fue conocida como enfermedad de Gee-Herter.

- 1950: Dicke demostró como los niños celíacos mejoraban cuando se excluía de sus dietas el trigo, el centeno y las harinas de avena. Otros investigadores descubren que el gluten de estos alimentos era su parte dañina. A partir de esta fecha el tratamiento de los pacientes celíacos se basa precisamente en la dieta sin gluten, proteína presente en los compuestos nombrados anteriormente.
- 1950: Paulley describe una anomalía de la mucosa del intestino delgado en un paciente celíaco.

Así mismo se reporta internacionalmente que Arateus de Capadocia en el siglo II a.c. habla por primera vez de pacientes que deben suprimir los cereales de la dieta para “curarse”. En 1980, Samuel Gee escribe el tratado de la “afección celíaca” en el que define y describe con precisión esta enfermedad. Sin embargo, nos es hasta 1950 que el holandés Dike descubre que es el gluten el agente causante de dicha enfermedad. **(Saucedo, O. 2006).**

1.1.1. Enfermedades Asociadas.

Las siguientes enfermedades han sido descritas como posibles asociadas a la condición celíaca: diabetes mellitus Tipo 1, dermatitis herpetiforme, tiroiditis autoinmune, hipoesplenismo, deficiencia de Ig A, gastritis atrófica, síndrome de Down, epilepsia, ataxia, neuropatía periférica, hepatitis autoinmune, cirrosis biliar primaria, alopecia areata, colitis colágena, trombosis venosa. Así mismo las personas celíacas tienen más probabilidades de sufrir linfomas y cáncer de esófago sobre todo si se incumple la dieta libre de gluten. **(www.es.wikipedia.org/wiki/Celiacu%C3%ADa)**

La dieta estricta sin gluten ha constituido la esencia del tratamiento de esta enfermedad, pues además de ser segura y eficiente, restablece inequívocamente la integridad estructural al intestino dañado. Sin embargo, la práctica clínica ha demostrado que la adherencia terapéutica no solamente es

complicada, sino que repercute negativamente desde el punto de vista psíquico y social, por lo difícil que resulta en los hábitos alimentarios rechazar obligadamente el gluten, constituyente básico en una gran variedad de productos cotidianamente consumidos, como el pan, las galletas, las pastas alimenticias y la mayoría de las golosinas, entre otros. **(Molberg, 2005).**

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

1.2. Sorgo.

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

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

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

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

1.2.1 Origen histórico del sorgo.

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

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

1.2.2. Ventajas de la siembra de sorgo.

- Tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales y crece bien bajo una amplia gama de condiciones en el suelo.
- Responde favorablemente a la irrigación, lográndose excelentes resultados bajo riego. Requiere un mínimo de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse buenos rendimientos con 350 mm, dependiendo del ciclo del híbrido elegido y las condiciones ambientales.
- El consumo de Nitrógeno del cultivo y la temporaria inmovilización del mismo provocada por el aporte de rastrojo, pierde toda importancia si en la rotación suceden al sorgo especies leguminosas como soja o maní. Si después de

sorgo se siembran especies no leguminosas como trigo, maíz o girasol entre otras, deben ser adecuadamente fertilizadas.

- En la rotación conviene que el sorgo se ubique preferentemente después de especies leguminosas para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados. Por ello, posturas de alfalfa o cultivos como maní o soja son excelentes antecesores. **(Alemán L, 2007).**

1.2.3 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, realizan 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 celiaca, y tiene 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 **(Fermentación, pdf. 2004), (Rodríguez L, 2005).**

Tabla 1.1. Composición de algunos cereales.

Contenidos	Trigo	Maíz	Cebada	Avena	Sorgo
Humedad %	10,0	15,0	10,6	9,8	10,6
Almidón %	68,6	67,0	66,0	57,1	69,3
Proteína %	14,3	10,2	13,0	12,0	12,5
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

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 es el cereal se trata de sustituir, para el mejoramiento de la dieta de los enfermos celiacos. Aquí se puede observar que el contenido de fibra tiene un valor inferior al de la cebada. Por esta razón es que se puede decir que el sorgo puede ser empleado en la elaboración de alimento.

1.2.4. Usos del Sorgo.

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

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

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. **(León, 2003), (Altmann R. 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 2001).**

1.3 Definición de maltina.

Bebida alimenticia y nutritiva, obtenida de un mosto preparado a base de la cebada malteada oscura, sometido previamente a un proceso de cocción y aromatizado con flores de lúpulo, sus extractos y sus concentrados. Se diferencia de la cerveza en que no es sometida a fermentación, por lo que carece de graduación alcohólica. **(Rodríguez, 2007).**

1.3.1 Generalidades sobre el proceso de Fabricación de Maltina.

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

etapa es donde se le adicionan las materias primas restantes. Una última etapa del proceso sería el enfriamiento del licor y la clarificación, para luego ser almacenada en frío. En la **Figura 1.1** se muestran las principales corrientes involucradas en el proceso. (González y Ozuna, 2007).



Figura 1.1. Corrientes involucradas en el proceso de obtención de Malta.

1.3.2. Características e Identidad de la maltina.

Las principales características que identifican a una maltina son:

El Color: Lo determinan las materias primas, especialmente la maltina 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 maltina puede deberse a deficiencias en la filtración, contaminación microbiológica por bacterias o levaduras salvajes, presencia de proteínas pesadas que no fueron retiradas durante el proceso, desgasificación o contaminación con oxígeno por fisuras en el tapado, reacciones fotoquímicas por sobre exposición a la luz solar

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

En la **Tabla 1.1** se reportan los contenidos para la malta producida en la Cervecería Tínima.

Tabla 1.1 Contenidos de la Malta producida en la Cervecería Tínima.

Contenido	Valor	UM
Vitamina B-1	0,01	mg/100 ml
Vitamina B-6	0,04	mg/100 ml
Valor Calórico	55	Kcal/100 ml
Proteínas	0,2	%
Calcio	18	mg/100 ml
Fósforo	60	mg/100 ml
Hierro	0,3	mg/100 ml

1.4. Sacarificación Enzimática.

Con la sacarificación o hidrólisis enzimática, como bien lo indica su nombre, se realiza la conversión de los carbohidratos presentes en el material amiláceo a través de las enzimas. Durante el proceso de fabricación de alcohol o cerveza, se transforma el almidón que contienen los granos en maltosa, glucosa, etc. que luego, serán eliminadas durante el proceso de fermentación. Sin embargo, los granos como tal no contiene las enzimas necesarias que harían falta para poder llevar a cabo esta transformación del almidón, por lo que se deben tratar previamente y transformarlos en malta para conseguir así una actividad enzimática adecuada que la lleve a cabo.

Una de las enzimas muy empleada para este proceso es la malta producida por la germinación de los propios granos, donde la empleada tradicionalmente ha sido la malta de cebada.

1.4.1. ¿Qué es una Enzima?

Los enzimas son proteínas complejas que tienen en común la particularidad de catalizar reacciones biológicas en otras palabras son catalizadores biológicos. **(Bairoch A, 2000).**

Los enzimas como catalizadores son capaces de acelerar reacciones en factores de 10^{12} - 10^{20} sobre la reacción no catalizada en igualdad de condiciones.

Diastasas: Se denominan *diastasas* a los enzimas que degradan el almidón como la *alfa amilasa* y la *beta amilasa*.

Ambas son producidas durante la germinación del grano de cebada cuando se realiza el proceso de malteo.

La *alfa amilasa* es generada en el embrión y la capa aleurona del grano mientras que la *beta amilasa* ya se encuentra presente en forma inactiva en el grano y es activada en el malteado.

Beta Amilasa: Su actividad enzimática es optima entre los 60 y 65 °C (su actividad arranca desde los 52 °C), tiene la habilidad de cortar (hidrolizar) las moléculas de amilosa desde el extremo no reductor e inclusive las cadenas antes de los enlaces alfa 1- 6 de la amilopectina partiendo del extremo no reductor, corta las cadenas en los enlaces alfa 1- 4 cada 2 unidades de glucosa, formando Maltosa. No puede atacar los enlaces alfa 1- 6 de las ramificaciones de la molécula de amilopectina por lo tanto está limitada a cortar cadenas lineales (desde extremo no reductor). En la **Figura 1.2** se muestra el rompimiento de la cadena de amilosa por esta enzima. **(Eggert T, 2004).**

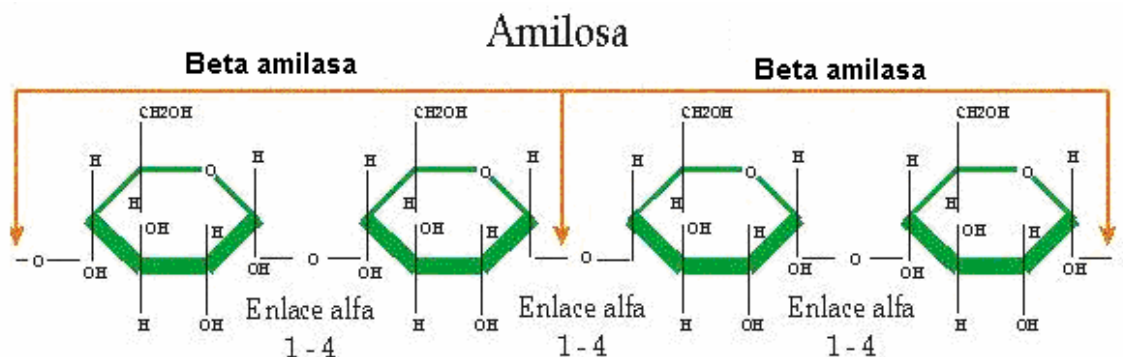


Figura 1.2. Representación gráfica de la hidrólisis de la amilosa por la beta amilasa.

Como resultado de la hidrólisis se obtiene un disacárido fermentable, la maltosa que no es más que dos moléculas de glucosa, unidas por enlaces alfa 1-4. En la **Figura 1.3** aparece la representación de la misma.

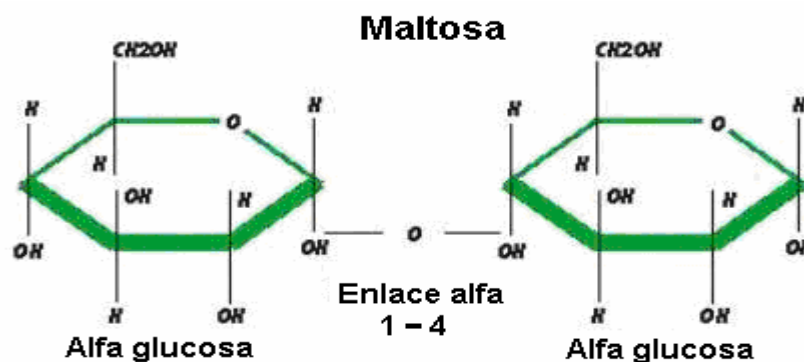


Figura 1.3. Representación esquemática de una molécula de maltosa.

Alfa amilasa: Su actividad enzimática es optima entre los 68 a 70 °C, tiene la habilidad de cortar (hidrolizar) las cadenas tanto lineales de la *amilosa* como las ramificadas de la *amilopectina* en cualquier punto al azar transformándolas en varias cadenas más cortas.

A esta enzima se la denomina enzima de Liquefacción, ya que ataca las cadenas al azar. También se le suele llamar enzima dextrinogénica ya que en forma muy lenta puede transformar dextrinas en maltosa y glucosa.

1.5. Procesos de malteado.

El malteado es un proceso aplicado a los granos de cereal, en el cual dichos granos se hacen germinar y se secan rápidamente tras el desarrollo de la planta. La malta se usa para fabricar cerveza, whisky y maltina. Los granos malteados desarrollan las enzimas que se necesitan para convertir el almidón del grano en azúcares más simples. La cebada es el cereal comúnmente malteado debido a su alto contenido en enzimas. Se pueden maltear otros granos, aunque la malta resultante puede que no tenga el contenido enzimático suficiente para convertir su propio contenido de almidón completa y eficientemente. (www.nh.co.cu/webcidtur/productos/boletines/horizonte/3-07/ARTICULOS.html)

1.5.1. Malta de los granos utilizada como enzima.

Las enzimas se pueden encontrar de forma industrial como se utilizan en la actualidad, pero se pueden obtener también debido a los cambios que ocurren en un grano germinado. De ahí que se utilicen como agentes enzimáticos maltas de granos germinados como la cebada, el trigo, sorgo, centeno, etc.

El proceso de malteado consta de las siguientes etapas:

Selección: Esta etapa es fundamental para que el grano no llegue con una carga microbiana alta, no llegue ya en proceso de germinación, por lo que hay que controlar la humedad y la cantidad de proteínas. (*Alfa-Laval, 1989*).

Almacenaje: El grano es más estable seco y mantenido a baja temperatura. Si ha sido recolectado con un contenido de humedad superior al 15%, suele secarse. El proceso de secado tiene que llevarse a cabo de tal manera que permanezca viable la planta embrionaria contenida en cada grano, por lo tanto

es necesario evitar el uso de temperaturas demasiado altas y para aumentar la desecación, se debe recurrir a aumentar la velocidad de flujo del aire y a un calentamiento gradual del mismo. Si el grano está húmedo es fácilmente atacado por insectos y hongos que causan su deterioro. El metabolismo de los insectos y el de los hongos, cuando se establecen, produce agua y eleva localmente la temperatura, lo que favorece la expansión de la infección.

Remojo: Típicamente las partidas de grano limpio se dejan caer a un tanque de remojo parcialmente lleno de agua, a unos 15 °C. Muchos tanques de remojo son simples cilindros verticales con base cónica. El contenido del tanque se airea intensamente insuflando aire a través del agua de remojo mediante el uso de tuberías perforadas o por succión, consiguiendo así el 100% de aire. La mayor parte de los tanques de remojo son tanques verticales de poca altura y de fondo plano. Esto permite que en el agua de remojo se puedan crear condiciones más aeróbicas. El contenido de agua de los granos aumenta rápidamente a partir de la inmersión, pero la velocidad del incremento del contenido del agua desciende luego de un modo progresivo. La velocidad de la rehumidificación es función de las condiciones en que haya crecido el grano, de la variedad de éste, del tamaño y de la temperatura del agua. Está también considerablemente influida por el daño mecánico que hayan podido sufrir los granos durante el remojo. El remojo se interrumpe por drenaje a las 12 - 24 horas. Cada grano permanece recubierto de una película de agua a través de la cual puede disolverse el oxígeno del aire del entorno. A esta condición se le conoce como descanso de aire. Cuando el grano se ha remojado, el agua penetra a través de la cascarilla y la cubierta del fruto y entra en el grano a través del micrópilo. (**Alfa-Laval, 1989**).

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 anaeróbicamente las reservas, pero de un modo energéticamente poco eficaz, convirtiéndolas en dióxido de carbono y alcohol. A medida que la concentración de alcohol aumenta su toxicidad va creciendo, por lo que se hace necesario cambiar el agua de remojo cada cierto tiempo. **(Pargas M, 1994).**

En el caso del sorgo el tiempo de remojo es más prolongado, todo depende de las condiciones físicas en que se encuentre este sorgo, de la cosecha y de la humedad inicial que contiene. **(González Y y Ozuna Y, 2007).**

Germinación: El remojo suele completarse en un par de días; en las modernas técnicas de malteado los granos dan al término de las mismas muestras claras de que han comenzado a germinar, se transfieren entonces al equipo de germinación. En la mayor parte de los casos el contenido de humedad se halla en el entorno del 42 % y permanece constante durante la etapa de germinación. **(Pargas M, 1994).**

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. (**Pargas M, 1994**).

El crecimiento embrionario se inicia durante el remojo y como las reservas de nutrientes inmediatamente disponibles son limitadas, resulta necesario movilizar las del endospermo. Por si sólo todo esto resultaría insuficiente para satisfacer las necesidades del embrión en crecimiento rápido. Se subvienen éstas mediante la movilización de la capa de aleurona que produce enzimas a partir bien de precursores complejos o bien de aminoácidos. Desencadenan esta movilización una o más hormonas vegetales llamadas giberelinas que son segregadas por el embrión y se difunden a la aleurona. La degradación enzimática del endospermo avanza, por tanto, del extremo embrionario del grano al extremo distal del mismo y de las capas externas a la interna. El debilitamiento físico de la estructura del endospermo y las degradaciones bioquímicas son conocidos en su conjunto con el término de "desagregación". Los granos malteados pueden por tanto clasificarse en subdesagregados, desagregados o sobre desagregados, según hasta donde haya avanzado esta desagregación enzimática. (**Pargas M, 1994**).

En trabajos realizados anteriormente se ha encontrado que el por ciento de germinación tiene una gran dependencia de la calidad del grano y de las condiciones en que este se encuentre. Aunque los granos fueron escogidos anteriormente siempre se iban algunos de menor tamaño, siendo esto quizás uno de los factores que afectan el rendimiento de la germinación. No obstante el por ciento de germinación de los granos obtenidos de la estación experimental es sumamente adecuado, como se muestra en la **Tabla 1.3**. Sin embargo otros tipos de granos de los cuales no se sabe en que tiempo fueron cosechados, ni tampoco fueron escogidos previamente el por ciento de germinación es de muy bajo rendimiento. (**González Y. y Ozuna Y, 2007**).

Tabla 1.3. Rendimiento de la Germinación.

Total de Granos	Granos Germinados
100	87
100	93
100	87
100	82
100	84
100	74
600	507
Promedio	84,5 %

Secado: El proceso de germinación es detenido desecando los granos de malta. En esta etapa se presentan distintas opciones; se puede obtener una malta poco desagregada (malta LAGER), más desagregada (ALE) para la producción de cerveza o malta muy desagregada para ser usada en destilerías o en la elaboración de vinagre. También puede elegir distintos procesos de secado; la deshidratación prolongada y a bajas temperaturas conduce a una malta clara, con gran contenido enzimático intacto, en tanto que una deshidratación rápida y a temperaturas altas rinde maltas oscuras, deficitarias en actividad enzimática.

Son numerosos los factores que afectan a la deshidratación del grano; cabe citar entre ellos:

- El volumen de aire que pasa a través del lecho del grano.
- La profundidad del lecho.
- El peso del agua a ser eliminado del lecho del grano.
- La temperatura del aire utilizado para la deshidratación.

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 la cebada 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 de la cebada 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 esta 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).**

El objetivo del secado es remover la humedad, prevenir posterior crecimiento y modificación, conseguir un producto estable que pueda ser almacenado y transportado, preservar las enzimas, desarrollar y estabilizar propiedades como el sabor y color, remover sabores indeseables, inhibir la formación de compuestos químicos indeseables y secar los brotes para permitir su remoción. **(Pargas M, 1994).**

El interés fundamental del malteado es obtener un grano que germine fácilmente y con uniformidad. La germinación uniforme o sincronizada es muy difícil si los granos no son de tamaño uniforme, entre otras cosas por que los de mayor tamaño se humedecen a un ritmo más lento que los pequeños. Por otra parte, resulta necesario que los granos que van a ser malteados no hayan 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. Lo que el malteado necesita es que en más del 98% de los granos se observe la

emergencia de la vaina de la raíz. El malteado requiere además, un contenido bajo en proteínas, entre el 9 y el 11.5 %. La idea de que menos contenido en almidón puede extenderse también a la cascarilla hace que el malteado busque un grano con un bajo contenido de proteínas y con poca cascarilla. Por último el malteado también busca que la malta se comporte adecuadamente en su uso posterior, ya sea en la fabricación de cerveza o de etanol, debe tener una dotación enzimática satisfactoria de manera que la extracción no plantee problemas. Por otro lado, es preciso que el mosto se separe fácilmente del grano agotado y con relación a esto, el grano debe ser pobre en ciertas gomas llamadas betaglucanos. **(Hough, 1990).**

En estudios ya realizados sobre el malteado del sorgo, se ha podido demostrar que la calidad del sorgo, es responsable del comportamiento de este durante el malteado, la cual esta en dependencia de varios factores, como por ejemplo: una adecuada etapa de cosecha, si fue abonado con productos químicos que hayan influido en el periodo de siembra, también pudo haber sido secado previamente para eliminar insectos y hongos. El sorgo empleado en trabajos anteriores fue desarrollado en la estación experimental (CIAP), el cual se encontraba en óptimas condiciones y sin embargo durante el malteado ambos trabajos arrojaron resultados diferentes, partiendo desde la etapa de remojo hasta la de secado. **(Rodríguez 2005); (Alemán, 2007).**

El malteado corresponde a las primeras etapas de la germinación y su objetivo es la germinación controlada mediante la cual se producen las enzimas – amilasa, beta-glucanasas y proteasas-que sirven para hidrolizar materiales de reserva.

1.6. Preparación de la maltina.

Pasado el tiempo del malteado se procede a la preparación de la maltina mediante las etapas de molturación de la malta y las de maceración y lixiviación como se refiere a continuación:

Molturación de la malta: Se realiza en molinos para desmenuzar el endospermo, pero sin que se trituren las glumillas.

Maceración y lixiviación: Se añade la malta molida al agua y se calienta gradualmente hasta obtener el caldo (infusión) o bien se cuece una parte del caldo hasta 75 °C y luego se añade el resto no cocido (decocción). En algunas ocasiones se opta por ambas vías (procedimiento mixto). Para las cervezas de baja fermentación se suele emplear el procedimiento de decocción. El proceso de maceración marca las mayores diferencias entre los tipos de cerveza. En el mosto obtenido se encuentran las sustancias solubles, mientras que las insolubles quedan retenidas en el bagazo. La separación entre el mosto y el bagazo se realiza por lixiviación en dos etapas. Durante la primera se deja reposar el caldo en una cuba durante una hora y luego se separa un mosto claro. El bagazo que queda se somete a escurrido y a un lavado con agua a 80°C, esta agua ha de ser dura para evitar que pasen al mosto sustancias amargas como los taninos.

La lixiviación será más rápida si se trabaja con cierta sobre presión y la filtración se realiza con paños filtrantes

En el proceso de maceración ocurre la conversión de las sustancias amiláceas. 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 ó sacarificación de los puntos de unión (enlaces) de las moléculas de glucosa produciendo una mezcla de maltosa y dextrinas in fermentables. **(Rodríguez, 2000).**

1.7. Almidón.

El "almidón" es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas, y proporciona el 70 - 80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digestibles de la dieta habitual.

Del mismo modo, la cantidad de almidón utilizado en la preparación de productos alimenticios, sin contar el que se encuentra presente en las harinas usadas para hacer pan y otros productos de panadería. (www.es.wikipedia.org/wiki/Almid%C3%B3n).

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, maíz céreo, maíz rico en amilasa, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de patata, batata y tapioca. Tanto los almidones como los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante.

El trigo, el centeno y cebada tienen dos tipos de granos de almidón: los grandes lenticulares y los pequeños esféricos. En la cebada, los granos lenticulares se forman durante los primeros 15 días después de la polinización. Los pequeños gránulos, representando un total de 88 % del número de granos, aparecen a los 18-30 días posteriores a la polinización. (www.monografia.com)

Los almidones abundan en los alimentos amiláceos como son los cereales, de los que puede extraerse fácilmente y es la más barata de todas las sustancias con estas propiedades; el almidón más utilizado es el obtenido a partir del maíz. (**Los espesantes, 2006**).

Los almidones nativos se obtienen a partir de las fuentes de cereales (a partir de grano o subproductos) conservando la estructura nativa del almidón, su utilidad consiste en que regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades gelificantes y espesantes. (**Bello, 2006**).

Aproximadamente el 80 % del grano de cereales está compuesto por hidratos de carbono y dentro de ellos el almidón es el que en mayor proporción se encuentra lo cual puede ser observado en la siguiente tabla: ([www. qui.reduc.edu.cu](http://www.qui.reduc.edu.cu))

Tabla 1.4. Composición en hidratos de carbono de los cereales.

Cereal	Almidón	Celulosa	Hemicelulosa	b - glucanas	Pentosanas	Azúcares libres
Arroz elaborado	85	1	2	0,1	0,9	0,4
Avena entera	-	-	-	4,6	3,2	1,3
Cebada	-	-	-	5,8	7,5	3,5
Centeno	-	-	-	2,4	6,4	7,1
Maíz	70	2	3	-	6,2	1,9
Sorgo	75	2,5	2,5	-	-	2

1.7.1. Partes que componen el almidón.

La amilosa: es la cadena recta de los almidones está constituido por varios cientos de unidades de glucosa unidas entre sí por enlaces 1-4, como se muestra en la **Figura 1.4**, esta fracción es casi toda cuantitativamente hidrolizada a maltosa. (www.es.wikipedia.org/wiki/Amilasa)

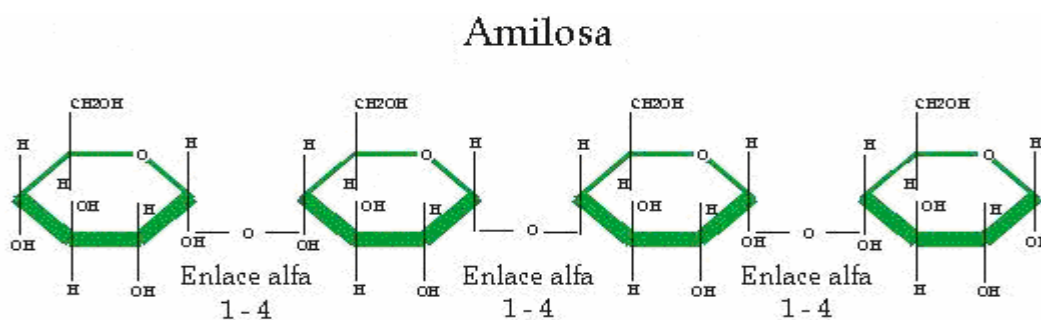


Figura 1.4. Representación gráfica de una molécula de Amilasa.

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

se encuentran entre los puntos de ramificación tienen 17-25 unidades de glucosa con enlaces semejantes a los de la amilasa, como se muestra en la **Figura 1.5**. Esta molécula es parcialmente hidrolizada, aunque pueden hidrolizarse en la etapa de fermentación. (es.wikipedia.org/wiki/Amilopectina)

En la **Tabla 1.5** se muestra la Relación entre Amilosa y Amilopectina en algunos cereales.

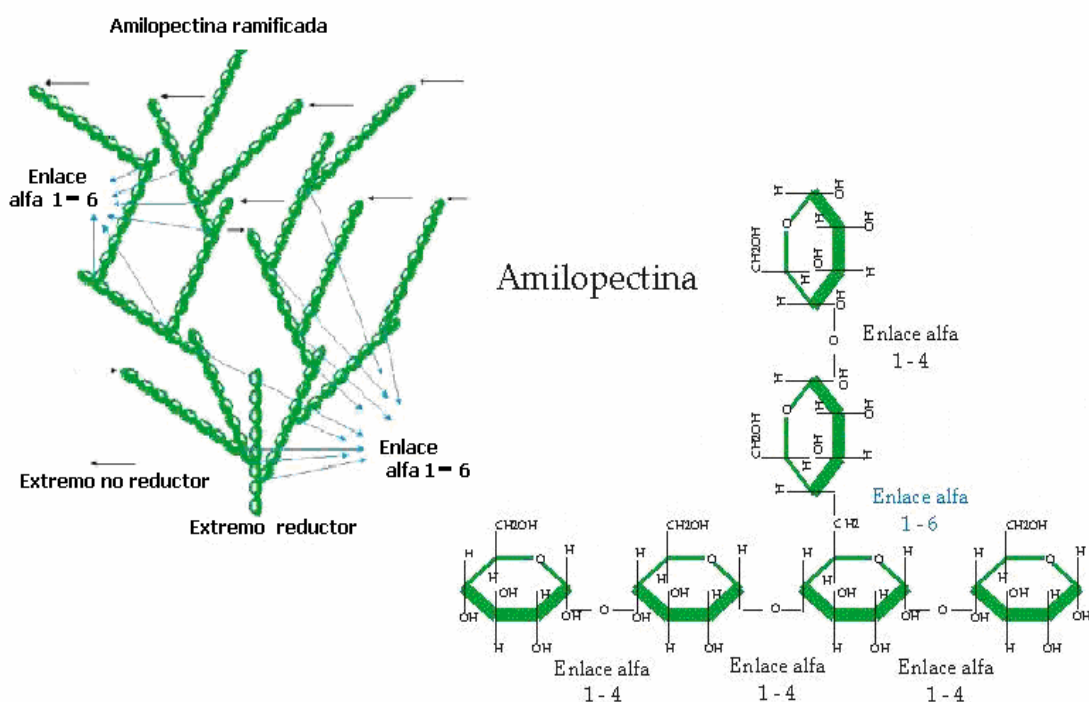


Figura 1.5. Representación gráfica de una molécula de Amilopectina.

Generalmente cuando se tratan granos crudos por separados se le agrega un porcentaje de harina de malta para que las enzimas de la misma hidrolicen una parte del total del almidón en azúcares haciendo la mezcla menos viscosa y más fluida antes que la misma pase al sacarificador y se transforme en su totalidad.

Tabla 1.5 Relación entre Amilosa y Amilopectina en algunos cereales.

Cereales	Amilosa	Amilopectina
Maíz	24	76
Maíz Ceroso	1	99
Maíz Alta Amilosa	75	25
Trigo	25	75
Arroz	18	82
Arroz Ceroso	1	99
Sorgo	25	75
Sorgo Ceroso	1	99

1.8. Análisis de tendencias en los precios de algunos cereales.

Los valores que ha alcanzado el sorgo en los últimos años han sido comparados con algunos cereales tales como el maíz, la soja y el girasol. En la **Tabla 1.6** se muestran los precios de mercado que se espera que alcancen estos cereales en el periodo 2007-2008.

De este modo se indican para el promedio de la primera quincena de agosto del 2007 los precios del Mercado en Buenos Aires para el maíz fue de 117,65 US/t en abril, para la soja fue de 219,95 US/t en mayo, y para el girasol fue de 309,2 US/t en marzo. En el caso de sorgo granífero se estimó un valor equivalente a 124,5 US/t en base a la relación actual de precios con maíz. También se detallan los componentes de los costos de comercialización, cosecha y el precio neto en establecimiento esperado para el nuevo período.

(www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php)

Tabla 1.6. Precio de algunos cereales en el período 2007-2008.

Precios	Maíz (US/q)	Soja (US/q)	Sorgo (US/q)	Girasol (US/q)
Mercado	11,76	21,89	12,45	30,92
Comercialización	2,08	2.32	2,10	2.62

Tomado de **(Peretti, 2006)**.

Por su parte la cebada ha elevado sus precios hasta niveles de $152 \frac{US}{t}$, valor que es 32 % mayor que en el 2006 y es uno de los más altos precios de los últimos años pues solo fue superado en el período de 1995 – 1996. Este incremento se ha debido fundamentalmente a la tonificación del mercado del trigo en función de los mecanismos de determinación de los precios establecidos en los contratos entre malhería y productores. **(Souto G, 2007)**.

1.9. Conclusiones Parciales.

- 1- La enfermedad celiaca afecta a una gran parte de la población; la misma disminuye en gran medida las posibilidades alimentarias de quienes la padecen, por lo que actualmente se está trabajando en busca de alternativas alimenticias para dichas personas.
- 2- 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; tal es el caso del pan, dulces y en la elaboración de maltina.
- 3- La eficiencia del malteado tiene una gran dependencia de las condiciones de calidad en que se encuentre el sorgo y del tipo de sorgo que vaya a ser empleado.
- 4- En los últimos años se han incrementado los precios de los cereales en general, en algunos casos hasta niveles no conocidos anteriormente; como ha ocurrido con la cebada que ha alcanzado precios de $152 \text{ US}/t$, mientras que el sorgo granífero oscila sobre los $124 \text{ USD}/t$ y puede llegar a los $42,07 \text{ USD}/t$ lo cual favorece la economía de los procesos que la empleen, además de las ventajas que presenta en cuanto a su cultivo.



Capítulo II

Capítulo II: Desarrollo Experimental.

2.1. Variables y niveles a analizar en los experimentos.

Para la realización de este trabajo se partió de los resultados obtenidos anteriormente, los cuales concluyeron con la necesidad de continuar el estudio de la producción de maltina analizando diferentes variables. Se realizaron ocho muestras y cuatro réplicas, en las cuales se analizaron tres variables: relación malta total/ solución, malta caramelo/malta total, caramelo/malta total. Para el desarrollo del trabajo se hizo un diseño experimental del tipo 2^{K-1} donde K sería el número de variables y para dos niveles en cada variable como se reporta en la **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1. Variables y niveles a estudiar.

Variables	Niveles	UM
Relación malta total/ solución (X1)	100 – 190	g/L
Malta caramelo/malta total (X2)	8 – 12	%
Caramelo/malta total (X3)	60 – 80	%

Los niveles para las variables fueron tomados sobre la base de lo reportado por la maltina Tínima, Cervecería Manacas, además de la bibliografía para el caso de cerveza y de los mejores resultados obtenidos en los trabajos preliminares realizados anteriormente. (**Reporte 2002**), (**González y Ozuna, 2006**).

Los experimentos fueron realizados al azar, los cuales se muestran en la **Tabla 2.2** así como los valores dados a cada variable.

Tabla 2.2. Orden de los experimentos y valores de las variables.

Orden de los experimentos	Variables		
	X1	X2	X3
E-1	190	12	80
R-1	190	12	80
E-6	100	12	60
E-4	100	8	80
E-2	100	12	80
R-2	100	12	80
E-7	190	8	60
E-8	100	8	60
R-8	100	8	60
E-5	190	12	60
E-3	190	8	80
R-3	190	8	80

2.2. Desarrollo Experimental.

El desarrollo experimental consta de dos etapas fundamentales:

1. Malteado del sorgo.
2. Producción de la Maltina.

2.2.1. Malteado del grano de sorgo.

El interés fundamental del malteado es obtener un grano que germine fácilmente y con uniformidad. La germinación uniforme o sincronizada 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. Lo

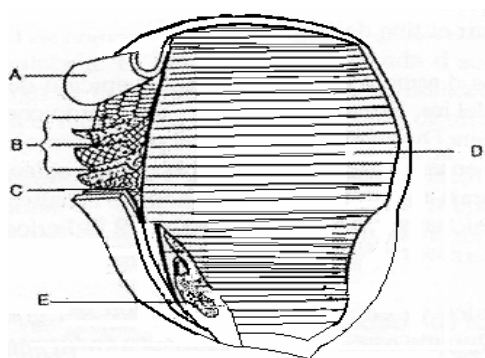
que se necesita es que en más del 98 % de los granos se observe la emergencia de la vaina de la raíz, además se requiere, un contenido bajo en proteínas, entre el 9 % y el 11,5 %

Esta etapa a su vez consta como se planteó en el Capítulo I de cuatro procesos fundamentales para llegar a obtener la malta:

- Clasificación del grano.
- Etapa de remojo.
- Etapa de germinación.
- Etapa de secado.

Para poder entender los procesos por los que pasa el sorgo para su conversión a malta, es necesario ver las diferentes partes del grano.

Como se puede apreciar en la **Figura 2.1** la parte fundamental del es el embrión que, bajo condiciones favorables de temperatura y de humedad, germina formando raíces y tallos.



Estructura del Grano

A. Cáscara B. Pericarpio o capa
C. Capa de aleurona D. Endospermo
E. Embrión (Raicillas)

Figura 2.1. Esquema de un grano de Sorgo.

El endospermo ocupa la mayor parte del grano y constituye la reserva alimenticia de la planta (almidón), la cual será la fuente de azúcares del mosto.

2.2.2. 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 y otras impurezas que puedan encontrarse en él; para lo cual se utilizó un tamiz malla de 9 mm.

2.2.3. Proceso de remojo.

Se realizaron dos templeas:

En la primera templea se pesaron dos kilogramos de sorgo clasificado y limpio y en un recipiente adecuado se añadió agua hasta llenar el mismo. El remojo se efectuó durante 60 horas que fue cuando se vio brotar la raicilla. Durante todo este tiempo se cambió y aireó el agua cada 6 horas, evitando así que ésta adquiriera olor desagradable, debido a la actividad de las bacterias que contiene el grano, además así se logran disolver sustancias que pueden ser perjudiciales para la etapa de germinación. Durante el remojo se determinó la humedad mediante desecación en una estufa a 100 °C midiendo la misma a las 48 y 60 horas tal y como se puede apreciar en la **Tabla 2.3**.

Tabla 2.3. Determinación de la humedad en la primera templea.

Tiempo (h)	Humedad (%)
0	7.6
48	37.5
60	41.3

En la segunda templea se pesaron también dos kilogramos de sorgo y se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente con la diferencia de que primero se le añadió agua hasta el mismo nivel de sorgo y cuando esta fue absorbida, se le adicionó el agua restante hasta alcanzar un nivel superior al del sorgo. También se controló el contenido de humedad alcanzado durante el remojo en el grano obteniéndose los resultados mostrados en la **Tabla 2.4** y en la **Figura 2.2**.

Tabla 2.4. Determinación de la humedad en la segunda templa.

<i>Tiempo (h)</i>	<i>Humedad (%)</i>
0	7,6
32	28,5
46	38
62	41,6
78	45,8

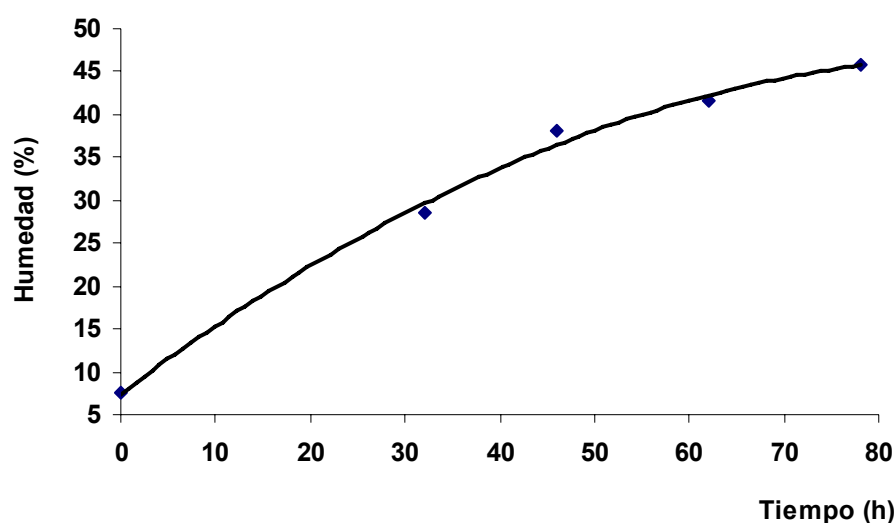


Figura 2.2. Variación del contenido de humedad en el remojo.

2.2.4. Etapa de germinación.

Para la primera templa, después que el sorgo alcanzó las 60 horas de estar en el remojo se colocó en una bandeja, cubierto por un paño húmedo y aireándose el mismo durante 64 horas a una temperatura de 16 °C, hasta que brotaron las raicillas o plumillas y estas alcanzaron más de las $\frac{3}{4}$ partes del tamaño del grano.

En esta etapa se determinó el rendimiento de la germinación, para lo cual se determinó en diferentes muestras de 100 granos los que habían germinado según la **Tabla 2.5**.

Tabla 2.5. Rendimiento de la Germinación.

Total de Granos	Granos Germinados
100	82
100	48
100	39
100	53
100	61
100	69
100	49
100	57
100	52
100	59
Promedio	56.9

Como se aprecia en esta etapa el rendimiento de la germinación no es el adecuado, pero tampoco es el deseado, dado por la calidad del grano, que no eran las más óptimas, puesto que este sorgo es cosechado por campesinos y no obtenido en la estación experimental bajo condiciones controladas como el empleado en trabajos anteriores, cuya germinación fue del 84.5 %.

En la segunda templa después que el sorgo alcanzó la humedad necesaria se colocó en la bandeja, aireándose a la misma temperatura que en la primera templa, pero en esta ocasión las raicillas brotaron a las 58 horas y alcanzaron un tamaño de dos veces el del grano. El rendimiento obteniendo fue un poco mayor que en la primera templa (63,2 %).

2.2.5. Etapa de secado.

En esta etapa se procedió a secar la muestra de la primera templa en una estufa de tiro de aire inducido, primeramente a 60 °C y durante 5 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 110 °C durante 30 minutos, el proceso termina cuando la malta tenga un por ciento de humedad inferior al 5 %. Como último paso se eliminó la máxima cantidad de raicillas de la malta seca porque contienen gran cantidad de proteínas.

Para la segunda templa como la malta que se quería obtener era malta caramelo se siguieron los mismos pasos que en la primera templa con la diferencia de que como las raicillas eran dos veces el tamaño del *grano* (*así se consigue la máxima desagregación del almidón*) se colocó la malta verde en un recipiente adecuado, para evitar la excesiva evaporación. Se llevó al horno precalentado a 65 °C y se mantuvo en esas condiciones durante media hora; luego se traspasaron una parte de los granos a un recipiente plano con un centímetro de espesor y la otra parte con dos centímetros de espesor, para la malta clara, esta vez se mantuvo una hora a la misma temperatura. El objetivo es favorecer la licuefacción del endospermo para la obtención del caramelo. Una vez seca la malta clara fue extraída de la estufa y en la tercera fase se incrementó la temperatura hasta 150 °C para lograr que el grano se seque hasta valores inferiores al 3 % del contenido de humedad y que también se tueste. Se repitió el último paso de la primera templa.

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

2.2.6. Influencia del espesor de la malta en el tiempo de secado.

Para corroborar la influencia del espesor de la malta en el tiempo de secado se hicieron mediciones de la humedad del grano en el tiempo con el objetivo de comparar los tiempos de secado entre la malta clara y la malta caramelo. En la

Tabla 2.6 y en la Figura 2.3 se muestran los resultados obtenidos en ambos casos. Para el caso de la malta Clara el espesor es de 2 cm y el de la Malta Caramelo es de 1 cm.

Tabla 2. 6 Influencias del espesor en la Malta Clara y Malta Caramelo.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Hdad Malta Clara (%)	Hdad Malta Caramelo (%)
90	65	28,6	28,6
130	120	27,45	9,3
170	120	14,7	3,12
200	120	4,6	0
220	150	2,13	0

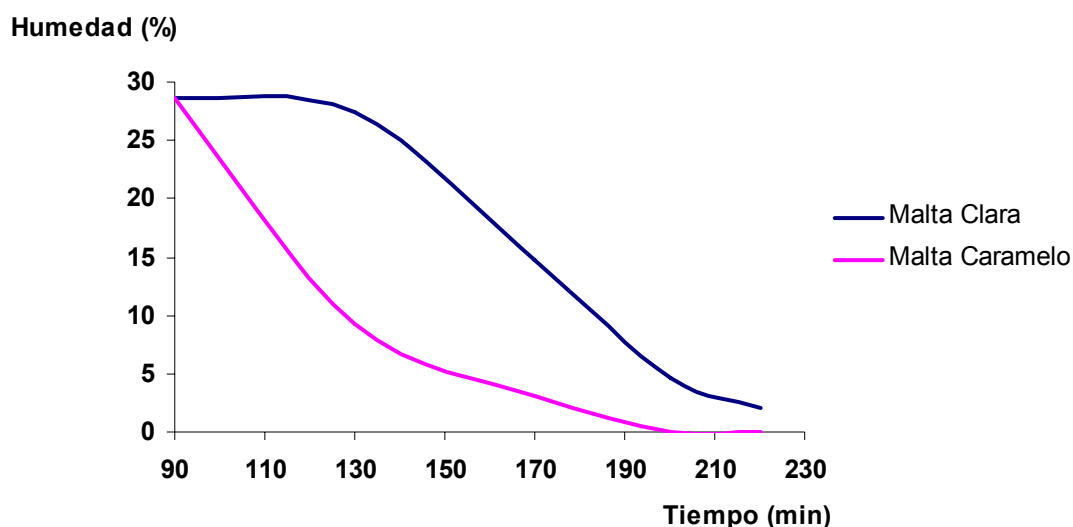


Figura 2.3 Curvas de influencias del espesor en la Malta Clara y Malta Caramelo.

Como que la conducción de calor ocurre a través del sólido, en la figura anterior se puede observar entonces que para la Malta Clara los tiempos de secado son mayores que para la Malta Caramelo, pues los valores de régimen de secado al aumentar el espesor del sólido son menores. El tiempo para el secado entre

contenidos fijos de humedad dentro del periodo de rapidez constante será entonces directamente proporcional al espesor.

De forma general el tiempo de secado de la malta de sorgo es muy inferior al reportado para la malta de cebada (**Ver Anexo # 1**), debido a la estructura del sorgo con una matriz proteica más dura y entrecruzada que rodea a los gránulos de almidón, no estando la humedad ligada tan profunda.

La malta fue guardada en una desecadora para ser usada como enzima en la realización de este trabajo. Estas maltas fueron caracterizadas en el Centro de Producciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, los resultados se muestran en la **Tabla 2.7**.

Tabla 2. 7. Caracterización de las materias primas empleadas en los Experimentos.

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

Como se puede apreciar en la **Tabla 2.7**, desde el punto de vista del contenido de los minerales analizados, la malta clara tiene mayor contenido de Potasio y de Magnesio, sin embargo la malta caramelo la supera ligeramente en Calcio, Hierro, Cobre, mientras que el contenido de Zinc es prácticamente similar en ambos casos, aunque las diferencias no son significativas entre ambas maltas, por lo que el proceso de secado no tiene gran efecto en estos resultados, que fue donde hubo diferencias en el tratamiento.

2.3. Técnica experimental para la obtención de la maltina.

Para la obtención de la maltina se siguió la siguiente técnica experimental:

Paso # 1: Molida del Grano.

Así es como comienza la producción, moliendo el grano en un molino doméstico, poniendo pocas cantidades y sin llegar a convertirlo en harina, sólo consiguiendo que los granos se rompan.

Paso # 2: Maceración o Mashing.

Luego, comienza un proceso llamado "Mashing", para el cual, se calienta el agua en una cacerola enlozada o de acero inoxidable (nunca de aluminio), hasta alcanzar los 49 °C. En ese punto, se agrega el grano, revolviendo, con un cucharón que no sea de madera ni de aluminio (plástico) para evitar que se formen grumos.

Se apaga el fuego y se espera que la temperatura se reduzca a 43 °C.

Posteriormente se comienza un proceso de elevación y mantenimiento de la temperatura escalonadamente, colocando la muestra en un termostato para regular la temperatura. Durante media hora se mantiene la temperatura entre los 43 °C y los 49 °C, agitando de vez en cuando para facilitar la disolución del almidón y azúcares en el agua.

Luego se eleva la temperatura al rango comprendido entre los 55 °C y 60 °C y se sigue cocinando durante treinta minutos. Durante este período, se continúa agitando espaciadamente.

La última etapa del proceso, se realizará en el rango de temperatura comprendido entre los 63 °C y 68 °C, esta vez, durante el lapso de una hora.

Todo este proceso es para lograr la sacarificación de los almidones.

Paso # 3: Extracción del Licor y Lavado.

En este punto, comienza la extracción del líquido que se convierte en maltina.

Con un colador grande, que es el mismo que se usa en casa, se coloca toda la mezcla, guardando el líquido en un recipiente y el grano en otro. Cuando se ha colado todo, se vuelve el grano a la cacerola y se le agrega más agua caliente, esta vez a unos 70 °C y se revuelve para que se siga disolviendo el azúcar. Luego de unos minutos se repite el paso anterior, colado del grano.

Se repite este paso tantas veces como haga falta, hasta obtener la cantidad de líquido deseada.

Paso # 4: Cocinado del Licor.

Luego, se limpia el recipiente y se coloca en ella todo el líquido. Éste deberá hervir durante media hora en la hornilla y en esta etapa, se le agregará el caramelo, el azúcar y el lúpulo.

Paso # 5: Enfriamiento y Clarificación.

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.

2.4. Preparación de las muestras y resultados obtenidos.

Se prepararon ocho muestras o experimentos y cuatro réplicas, como fue planteado al inicio del capítulo:

En la **Tabla 2.8** se muestran los datos de las preparaciones de las maltinas, en la **Tabla 2.9** los parámetros medidos al producto final y en la **Tabla 2.10** los parámetros de calidad medidos en las mismas. En todos los casos se tomó como muestra patrón (MP) la Maltina Bucanero, que es ampliamente comercializada en nuestro país, a la cual se le determinaron los mismos

parámetros que a cada una de las muestras a fin de poder hacer comparaciones con las mismas.

Tabla 2. 8. Datos de preparación de las maltinas.

Muestra	Rel.Mt/ Sol (g/L)	Rel.M Clo (%)	Agua Cocinado (mL)	Agua Lavado (mL)	Azúca r (%)	Cara melo (%)	T. Ebul. (°C)
1	190	12	1000	500	42	80	98
R-1	190	12	800	400	42	80	97
2	100	12	800	400	42	80	97
R-2	100	12	800	400	42	60	96
3	190	8	800	400	42	80	95
R-3	190	8	800	400	42	80	95
4	100	8	800	400	42	80	96
5	190	12	800	400	42	60	98
6	100	12	800	400	42	60	98
7	190	8	800	400	42	60	98
8	100	8	800	400	42	60	97
R-8	100	8	800	400	42	60	97

Mt: Malta total añadida **M Clo:** Malta caramelo (%de Mt) **Caramelo** (% de Mt)

Tabla 2.9. Parámetros medidos al producto final.

Muestra	°Ba	°Bx	$\rho_{exp.}$ (Kg./m³)	pH	$\rho_{referencia}$ (Kg./m³)	Viscosidad (cP)
E-1	12,14	21,9	1090	4,15	1091	1,624
R-1	12,74	23	1110	4,05	1096	1,702
E-2	7,96	14,3	1053	4,10	1058	0,939
R-2	8,34	15	1073	4,03	1061	1,001
E-3	14,66	26,5	1100	4,19	1112	2,000
R-3	15,75	28,5	1086	4,16	1121	2,208

E-4	8,78	15,8	1070	4,13	1065	1,072
E-5	13,57	24,5	1100	4,15	1103	1,821
E-6	11,04	19,9	1090	4,23	1082	1,433
E-7	12,52	22,6	1076	4,16	1095	1,674
E-8	7,79	14	1053	4,49	1057	0,913
R-8	7,57	13,6	1073	4,45	1055	0,878
MP	7,24	13	1040	4,06	1053	0,825

Existe una estrecha relación entre el Brix, Baumé, la densidad y la viscosidad (**Pedrosa Puertas R, 1974**). Como se puede apreciar en la **Tabla 2.9** los menores valores de estas variables corresponden como es lógico a las menores relaciones de Malta total/solución, es decir la variable X1 expresada en g/L del diseño de experimentos. Las densidades aparentes medidas experimentalmente están muy cercanas a las calculadas de acuerdo al Brix de referencia, estando todas en el rango de $1053 - 1100 \text{ Kg/m}^3$, valores ligeramente superiores a las tomadas como patrón ($\rho_{MP} = 1040 \text{ Kg/m}^3$). Por otra parte los valores de pH obtenidos están todos entre 4,05 – 4,55, siendo el de la patrón de 4,06, por lo que son valores aceptables.

Para el caso de la viscosidad se aprecia que los experimentos con mayor relación sólido/líquido (**Muestras 1, 3, 5 y 7**) dieron muy viscosas, al punto de que la muestra 3, la 5 y la 7 se gelificaron, pudiendo afectar la salida de componentes de la malta al extracto.

La muestra 3 fue la de peores condiciones de gelificación, pues la misma se congeló sin filtrarse y en consecuencia hubo que calentarla para poder realizar la filtración y ocurrió el fenómeno explicado por (**Rydings, M, 2006**) de que el almidón en procesos de calentamiento y enfriamiento pierde agua, como es un amilógrafo, se gelatiniza sobre los 65 °C, o sea cuando se calentó.

Este experimento fue repetido obteniéndose entonces un mejor valor de viscosidad (1,87 cP), pero aún superior a los valores de las demás muestras.

Sin embargo como se aprecia en la **Tabla 2.9**, las muestras con menores viscosidades (cercanas a la patrón, 0,825 cP) fueron la muestra 8 y su réplica, correspondiendo a los valores más bajos de las tres variables independientes estudiadas, seguidas de la muestra 2 y su réplica que tenían niveles altos de malta caramelo y de caramelo, por lo que indica que la mayor influencia la debe tener la cantidad de malta añadida. En la explicación de este comportamiento de la viscosidad puede plantearse que para el caso de menor cantidad de malta caramelo indica mayor cantidad de malta clara, que es la que tiene poder enzimático y puede hidrolizar la solución y hacerla menos viscosa.

Tabla 2.10 Parámetros de calidad medidos a las maltinas.

Muestra	Mg mg/ 100ml	Ca mg/ 100ml	Zn mg/ 100m	Cu mg/ 100ml	Fe mg/ 100ml	K mg/ 100ml	Color y sabor
E-1	2,03	2,01	0,023	0,015	0,107	2,3	Claro, falto de azúcar
R-1	1,14	1,14	0,012	0,011	0,217	1,22	Claro, falto de azúcar
E-2	2,2	1,94	0,021	0,056	0,204	1,8	Adecuado
R-2	1,65	1,4	0,017	0,011	0,075	1,56	Adecuado
E-3	2,2	1,8	0,016	0,011	0,116	3,38	Claro, acaramel ado
R-3	2,2	2,18	0,019	0,052	0,112	1,18	Claro, acaramel ado
E-4	2,28	2,00	0,018	0,054	0,109	2,56	Adecuado

							, falta de azúcar
E-5	1,65	1,56	0,013	0,055	0,056	0,82	Claro, falta de azúcar
E-6	2,28	2,28	0,026	0,017	0,138	3,2	Claro, acaramel ado
E-7	1,5	1,6	0,017	0,026	0,312	1,36	Claro, falta de azúcar
E-8	2,45	2,32	0,030	0,022	0,196	3,62	Adecuado
R-8	1,6	1,58	0,034	0,013	0,188	1,36	Adecuado
MP	0,141	9,82	0,035	0,013	0,25	19,86	Adecuado

En cuanto a los minerales, tal como se aprecia en la **Tabla 2.9** los valores de Calcio son muy inferiores a los reportados por la Tímina $\left(18\text{mg}/100\text{ml}\right)$, mientras que para el Hierro que es el otro mineral reportado por esta maltina es ligeramente inferior a la Tímina $\left(0,3\text{mg}/100\text{ml}\right)$. Estos valores están en correspondencia con el contenido de los mismos en la malta. En el resto de los minerales el Magnesio y Potasio son ligeramente superiores al Calcio mientras que el Zinc y el Cobre son inferiores. El comportamiento de estos extractos en cuanto a minerales es de forma muy parecida a los obtenidos a partir de algas.

Los parámetros de calidad de las muestras también fueron comparados con los analizados en el Centro de Producciones Agropecuarias (CIAP) para la maltina Bucanero. Los valores de Magnesio son ligeramente superiores a los de la muestra patrón, mientras que para Calcio y el Potasio los valores son sumamente inferiores a los reportados, para el Zinc los valores son ligeramente inferiores, excepto en el caso del experimento ocho y su réplica que se

encuentran en un rango muy adecuado. El resto de los minerales Cobre e Hierro están en un rango adecuado con respecto a la muestra patrón.

2.4.1. Aspectos físicos obtenidos.

En cuanto a los parámetros físicos visibles puede apreciarse que las maltinas con mejor color fueron las muestras 2 y 8, esto depende del color obtenido en el caramelo empleado.

En cuanto al sabor estas muestras tienen buenos sabores y olores, muy parecidos a las maltinas comercializadas, pero tienen bajos niveles de azúcar, inferiores a los que se reportan por la Tímina $\left(93 \frac{g}{l}\right)$. Se tomó un 42 % de la masa total y no en base a sólidos, lo cual si se compara con las muestras obtenidas en el trabajo preliminar (**González y Ozuna, 2007**), que fue el mismo valor de azúcar reportado por la Tímina, provoca un sabor menos azucarado por esos motivos.

2.4.2. Experimentos adicionales realizados con malta caramelo.

Adicionalmente se realizaron dos experimentos (A y B), con una relación malta caramelo/líquido de $\left(145 \frac{g \text{ Mt}}{l}\right)$, siendo esta malta sólo caramelo; con el fin de lograr un mejor color, más cercano a las maltas comerciales. Aunque en los experimentos anteriores los parámetros con mejores resultados son los de las mezclas de malta clara y malta caramelo. Estas muestras se diferenciaron entre si en cuanto al contenido de caramelo, para A fue un 80% de la relación malta total/líquido y para B fue de un 60 %. Los resultados obtenidos en estas muestras son alentadores y se pueden apreciar en las **Tablas 2.11 y 2.12**.

Tabla 2.11. Parámetros medidos en las muestras A y B.

Muestra	$^{\circ}Ba$	$^{\circ}Bx$	$\rho_{exp.}$ (Kg./m³)	pH	$\rho_{referencia}$ (Kg./m³)	Viscosidad (cP)
A	8,67	15,6	1070	4,47	1064	1,054
B	7,96	14,3	1060	4,55	1058	0,94

Tabla 2.12. Contenido de minerales en las muestras A y B.

Muestra	Mg mg/ 100ml	Ca mg/ 100ml	Zn mg/ 100ml	Cu mg/ 100ml	Fe mg/ 100ml	K mg/ 100ml	Color
A	0,1323	13,65	0,074	0,021	0,20	16,99	Oscuro
B	0,1293	14,21	0,073	0,017	0,18	15,65	Oscuro

Como se puede apreciar en la **Tabla 2.12** el contenido de Calcio de ambas muestras es adecuado pues está entre el rango de la Maltina Tímina $\left(18mg/100ml\right)$ y de la Bucanero $\left(9.8mg/100ml\right)$.

En cuanto al contenido de Hierro en ambas muestras está ligeramente por debajo de las maltinas comerciales, pues como se ha expresado anteriormente la Malta Bucanero tiene $\left(0.25mg/100ml\right)$ y la Tímina $\left(0,3mg/100ml\right)$, pero el resultado obtenido es aceptable para este caso.

El resto de los minerales se comportan en rangos cercanos a los reportados para la maltina Bucanero.

De todas las maltinas obtenidas las que mejores resultados brindaron en cuanto a sabor fueron las muestras A y B.

2.5. Análisis estadístico de las variables de influencia.

Para analizar desde el punto de vista estadístico la influencia de las principales variables en la calidad de las maltinas se empleó el Software Statgraphics.

Del procesamiento del diseño por el Software Statgraphics puede apreciarse que aunque se obtienen modelos para los minerales Calcio e Hierro, los valores del error p por lo general son superiores a 0,05; no siendo estadísticamente significativa ninguna de las tres variables independientes estudiadas; excepto en el caso del calcio, que la relación malta total/ solución (variable X1) tiene un valor inferior a 0,05, siendo esta significativa. Ver **Anexos # 2 y # 3**.

En los resultados obtenidos para el Brix se puede apreciar que hay cuatro valores que tienen significación, siendo estos la variable independiente X1 y la interacción entre las variables. Ver **Anexo # 4**.

Los resultados obtenidos para la densidad son parecidos a los reportados para el calcio, la única variable que es significativa es la relación malta total/solución, como es lógico ya que esta variable es la que se encuentra en mayor proporción en todos los experimentos. Ver **Anexo # 5**.

Por su parte la viscosidad no por ser la última analizada es la menos importante si no que por lo contrario, es una de las variables respuesta más interesantes desde el punto de vista de los análisis, puesto que da una medida de la calidad que tiene la maltina físicamente. Los valores arrojados en el programa para la viscosidad demuestran que la cantidad de malta caramelo/malta total y la cantidad de caramelo no es la adecuada. Es decir que solo X1 y las interrelaciones entre las variables son significativas para la viscosidad. Ver **Anexo # 6**.

En cuanto al caramelo que se emplee, debe estudiarse una técnica para su obtención y que este quede siempre con los mismos parámetros de color, viscosidad, densidad, etc. pues este no fue el mismo en todos los experimentos.

De todos los resultados puede concluirse que para emplear el sorgo malteado en la elaboración de maltinas, deben emplearse proporciones de malta total

alrededor de $145 \frac{g}{L}$ y mezclas de malta clara y malta caramelo, para garantizar la no gelatinización de las maltas, por el efecto enzimático de la malta clara en el proceso, añadir las cantidades de azúcar adecuadas, es decir sacar las proporciones sobre la base a sólidos totales y no en cuanto a la cantidad de malta, como se hizo en el trabajo y que si se tuvo en cuenta en las muestras A y B.

2.6. Conclusiones parciales.

1. Para el malteado de sorgo, el mismo debe encontrarse en óptimas condiciones de cosecha, para lograr así un buen rendimiento en la etapa.
2. Los niveles empleados en las variables (X2) y (X3) no son los adecuados para la obtención de la maltina.
3. De las variables estudiadas la de mayor influencia en el resultado de los experimentos fue la relación malta total/ solución (X1).
4. Por los resultados obtenidos en la caracterización de las maltinas, se demuestra que las mejores variantes fueron las empleadas en los experimentos dos y ocho, así como en sus réplicas trabajando con condiciones mínimas de relación malta total/solución.
5. Las muestras A y B fueron las de mejores resultados en cuanto a contenido de minerales y sabor.



Capítulo III

Capítulo III: Diseño y evaluación económica de una planta de malteado de sorgo.

3.1. Introducción al capítulo.

Como se ha visto en los capítulos anteriores, la materia prima más importante en la producción de maltina, es la malta, y dentro de la producción de ésta las etapas determinantes son la de germinación y la de secado.

De forma general el diagrama de flujo del proceso se presenta en el **Anexo # 7**. A continuación en la **Figura 3.1** se presenta el diagrama de los acoples entre cada una de las etapas del proceso.

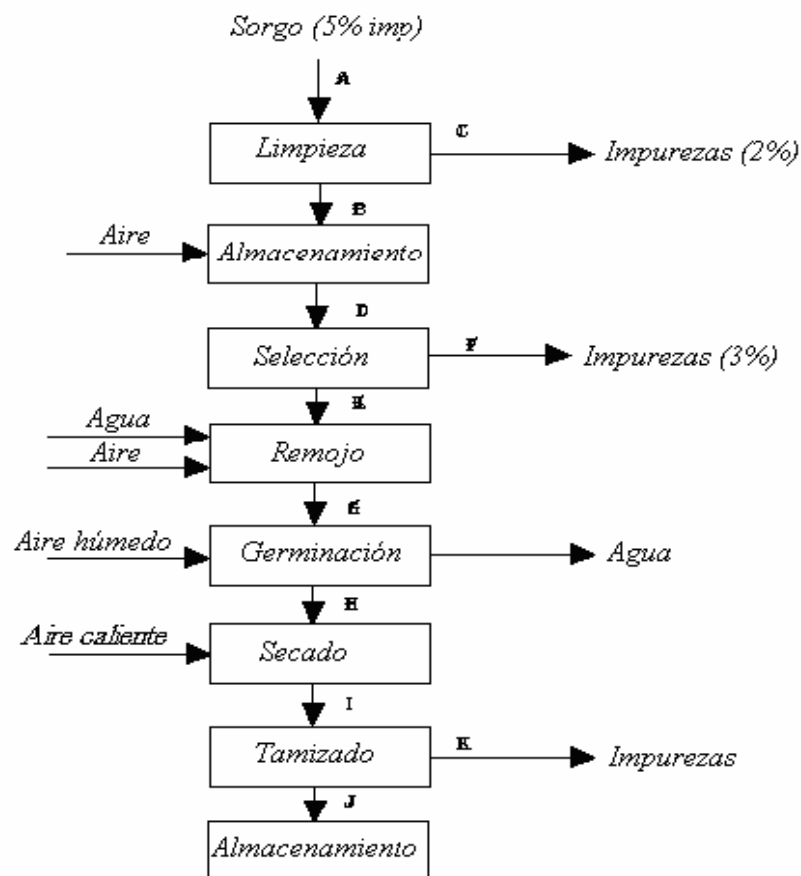


Figura 3.1. Relación de acoples y completamiento del esquema.

3.2 Selección del equipamiento.

3.2.1 Tanques de almacenamiento.

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

Tabla 3.1 Selección de Cribas

Aspectos	Cribas	Criba Vibratoria.	Exigencias
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 50000µm	50 a 50000 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 y 80 °C para el segundo.
Costo	Moderado	Moderado	El menor costo posible.

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

3.2.2. Tanques de remojo.

Tabla 3.2 Tanques de remojo.

Aspectos	Embudo	Tanque de fondo cónico	Exigencias
Volumen (m ³)	4000		
Medio a almacenar	Sólido	Líquido	Almacenar líquido que contiene sólido
Tiempo de retención.	8 h	30 días	Tiempo de retención debe ser de 60 horas aproximadamente.
Diámetro	10	90	-
Altura.	50	15	-

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

3.2.3. Germinador.

La germinación usualmente es conducida por uno o dos métodos:

1. Método de tambor
2. Método de compartimentos.

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

3.2.4. Secadero.

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

3.3. Dimensionamiento de los equipos principales.

Tabla 3.3 Dimensionamiento Tanques de almacenamiento (*silos*).

Ecuación	Datos	Resultados	Referencia
$V_o = B / \rho$	$B = 193290 \text{ Kg/a}$ $\rho_{\text{sorgo}} = 500 \text{ Kg/m}^3$	$V_o = 386.58 \text{ m}^3/\text{a}$	(Ulrich, G. D., 1985)
$V_{\text{cil}} = V_o / n$	$n = 6$ $V_o = 386.58 \text{ m}^3/\text{a}$	$V_{\text{cil}} = 64.43 \text{ m}^3$	
$V_{\text{cil}} = d^2 \cdot h \cdot \pi / 4$ $h = 2 \cdot d$ $d = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot V_{\text{cil}}}{\pi}}$	$V_{\text{cil}} = 64.43 \text{ m}^3$	$d = 3.5 \text{ m}$ $h = 7 \text{ m}$	

Tabla 3.4 Dimensionamiento de los tamices vibratorios.

Ecuación	Datos	Resultados	Referencia
$A_1 = \frac{Q_m}{K \cdot q \cdot \rho}$	$Q_m = 0.03 \text{ t/h}$ $dp_1 = 6 \text{ mm}$ $q_1 = 13 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ t/kg}$ $\rho_{\text{del sorgo}} = 500 \text{ kg/m}^3$	$A = 4.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$	(Rosabal J.M 1988)

$A_2 = \frac{Q_m}{K * q * \rho}$	$Q_m = 0.021 \text{ t/h}$ $dp_2 = 2 \text{ mm}$ $q_2 = 5.5 \text{ m}^3/\text{h-m}^2$ $k = 1*10^{-3} \text{ t/kg}$ $\rho_{\text{sorgo}} = 500 \text{ kg/m}^3$	$A = 7.6*10^{-4} \text{ m}^2$	
$A_3 = \frac{Q_m}{K * q * \rho}$	$Q_m = 0.025 \text{ t/h}$ $dp_3 = 6 \text{ mm}$ $q_3 = 5.5 \text{ m}^3/\text{h-m}^2$ $k = 1*10^{-3} \text{ t/kg}$ $\rho_{\text{sorgo}} = 500 \text{ kg/m}^3$	$A = 9*10^{-4} \text{ m}^2$	
	Criba 1 y 2	Criba 3	
Ancho	800 mm	800mm	
Longitud	1600 mm	1600 mm	
Área	1.28 m ²	1.28 m ²	
Nº de tamices	2	1	
Dimensiones de los agujeros Superior 3;5 Inferior 1.6	5 1.6	4	
Tamaño máximo de los pedazos en alimentación	100-150 mm	100-150 mm	
Capacidad	-	56 t/h	
Potencia del motor	2.8 KW	1.7 kw	

Tanques de remojo.

Durante el remojo hay un aumento del 30 % del sorgo y hay que tenerlo en cuenta en la cantidad de kg/templa para saber lo que se necesita.

La inclinación que se da para la descarga es de 25°

Tabla 3.5 Dimensionamiento de los tanques de remojo

Ecuación	Datos	Resultados	Referencia
$X=E/t$	$E = 625\text{kg/d}$ $t = 24\text{h}$	$X = 26\text{kg/h}$	(Pargas M. 1994)
$\text{Kg/templa} = 1.3 \cdot x \cdot t_r$	$t_r = 60\text{h}$ $x=26$	$\text{Kg/templa} = 2028$	
$\text{m}^3/\text{temp} = (\text{kg/templa})/\rho$	$\rho_{\text{del sorgo}} = 500\text{kg/m}^3$	$\text{m}^3/\text{temp} = 4$	
$V = (\text{m}^3/\text{temp})/n$	$n = 3$	$V = 1.3 \text{ m}^3/\text{tanque}$	
$V_t = V_{cil} + V_c$ $V_t = (\pi \cdot d^2 \cdot h_{cil})/4 + (\pi \cdot d^2 \cdot h_{cono})/12$ $d = \sqrt[3]{\frac{V_t}{1.854}}$	$h_{cono} = d/0.46 \cdot 2$ $h_{cil} = 2d$ $V = 1.3 \text{ m}^3$	$d = 1 \text{ m}$	
$h_{cil} = 2d$	$d = 1 \text{ m}$	$h_{cil} = 2 \text{ m}$	
$h_{cono} = d/0.46 \cdot 2$	$d = 1 \text{ m}$	$h_{cono} = 1.1 \text{ m}$	

Tabla 3.6 Dimensionamiento de los Germinadores.

Ecuación	Datos	Resultados	Referencia
$\text{kg/temp} = G \cdot t_r$	$G = 33.85 \text{ kg/h}$ $t_r = 54\text{h}$	$\text{Kg/templa} = 1827.9$	(Pargas M. 1994)
$\text{m}^3/\text{temp} = G/\rho$	$\rho_{\text{sorgo}} = 500\text{kg/m}^3$	$\text{m}^3/\text{temp} = 4$	
$V = (\text{m}^3/\text{temp})/n$	$n = 2$	$V = 2\text{m}^3$	
$V = a \cdot b \cdot z$	$z = 0.5$	$a = 1\text{m} \quad b = 1.5\text{m}$	

Tabla 3.7 Dimensionamiento del Secadero.

Ecuación	Datos	Resultados	Referencia
$s.s=s.t(1-0.03)$	$St=588\text{kg/d}$	$s.s=570\text{kd/d}$	(Treybal R E, 1980)
Datos obtenidos durante el experimento.	$T_G=30.3^\circ\text{C}$ $T_W=26.1^\circ\text{C}$ $T_{a.s}=60^\circ\text{C}$ $T_S=40^\circ\text{C}$		
Sobre la carta de humedad	$Y=0.02\text{kgv/kgas}$ $\% \text{de sat.}=65$ $H_{a.atm}=80\text{kJ/kgas}$ $V_{hum}=0.875\text{m}^3/\text{kg}$ $\lambda_s=2403\text{kJ/kg}$ $Y'_s=0.05$ a la $T_S=40^\circ\text{C}$ $\rho_{malta}=660\text{kg/m}^3$	$C_s=1.042\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	
$C_s=(1.884+1.005 Y)$			
Por el folleto de (Gallardo y Col.) se asume los datos de diseño de estos secaderos.	$z=25\text{mm}$ Espacio entre bandeja= 38mm $v_a=1\text{m/s}$ (el mejor valor $0.5\text{-}1.25\text{m/s}$) Recirculación del aire $70\text{-}80\%$ $A_b=0.60\text{m}^2$ (entre $0.37\text{-}0.74$) bandejas cuadradas de lado 0.7746m		
	$U_K=21.2\text{kJ/sm}^2\text{-}^\circ\text{C}$		
$h_R=(5.729*10^{-4})$	$T_R= T_G=333\text{K}$	$h_R=7.73\text{kJ/s-m}^2\text{-}$	

$\frac{h_c}{T_s} \cdot (T_R^4 - T_s^4) / T_R - T_s$	$T_s = 313K$	$^{\circ}C$	
$h_c = 24.2 G'^{0.37}$ $G' = v_a \cdot \rho_a$ $\rho_a = (1 + Y') / V_{hum}$	$v_a = 1m/s$ $Y' = 0.02kgv/kgas$ $V_{hum} = 0.875m^3/kg$	$\rho_a = 1.16kg/m^3$ $G' = 1.16kg/hm^2$ $h_c = 25.56 kJ/s \cdot m^2 - ^{\circ}C$	
$(Y_s - Y) \lambda_s / C_s = (1 + U_K / h_c) \cdot (T_G - T_s) + (h_R / h_c) \cdot (T_R - T_s)$	Están todos los datos por lo que se procede a comprobar.	Se obtiene 63.85 ~ 64 T_s era la medida	
$L_s = (s.s/16) \cdot 8$	16h/d de trabajo 8h que trabaja el secadero(2Turno) s.s=570kg/d	$L_s = 285 kg$	
$(L_s/A_s) = \rho_s \cdot z$ $A_s = L_s / \rho_s \cdot z$	$\rho_{malta} = 660kg/m^3$ $z = 25mm$ $L_s = 285 kg$	$A_s = 18m^2$	
$N_b = A_s / A_b$	$A_s = 18m^2$ $A_b = 0.60m^2$	$N_b = 36$	
$F_a = A_{EL} \cdot v_a \cdot (N_b - 1)$	$A_{EL} = 0.7746 \cdot 0.038$ $N_b - 1 = 35$	$F_a = 1.03m/s$	
$C_v = Q / \lambda_v$ $Q = G' \cdot C_s (T_{G2} - T_{G1}) \cdot F_a$	Vapor para calentamiento 1.4atm $\lambda_v = 2234kJ/kgK$ $T_{G2} = 60^{\circ}C$ $T_{G1} = 25^{\circ}C$ $C_s = 1.042kJ/kg^{\circ}C$	$Q = 156867.68kJ/h$ $C_v = 70 kgv/h$	

	$G'=1.16\text{kg/hm}^2$		
--	-------------------------	--	--

Tabla 3.8 Dimensionamiento de las cestas de almacenamiento.

<i>Ecuación</i>	<i>Datos</i>	<i>Resultados</i>	<i>Referencia</i>
$V_c = J / \rho$	$\rho_{\text{sorgo}} = 500 \text{ kg/m}^3$ $J = 159000\text{kg/a}$	$V_c = 318 \text{ m}^3/\text{a}$	(Pargas M, 1994)

3.4. Balance de materiales.

Para la realización de estos cálculos se partió de una demanda de 530 Kg/d de malta. Las etapas que se enumeran a continuación se corresponden con lo establecido en la **Figura 3.1**.

Etapas No 7

$$\begin{aligned}
 J &= 530 \text{ Kg/d} & J &= I - 10\%I & I &= J / 0.9 \\
 J &= I - K & J &= I(1 - .10) & I &= 530 / 0.9 \\
 K &= 10\%I & & & I &= 588 \text{ Kg/d} \\
 K &= 0.1 * 588 \\
 K &= 58.8 \text{ Kg/d}
 \end{aligned}$$

Etapas No 6

$$\begin{aligned}
 I(1 - 0.03) &= H(1 - 0.46) & H &= I * 0.97 / 0.54 \\
 & & H &= 588 * 0.97 / 0.54 \\
 & & H &= 1056.2 \text{ Kg/d}
 \end{aligned}$$

Etapas No 5

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

$$\begin{aligned}
 H &= 1.3G & G &= 1056.2 / 1.3 \\
 G &= H / 1.3 & G &= 812.5 \text{ Kg/d}
 \end{aligned}$$

Etapa № 4

$$G = 1.3E \quad E=812.5/1.3$$

$$E=G/1.3 \quad E=625 \text{ Kg/d}$$

Etapa № 3

$$D = E+F \quad D=E+3\%D \quad D=E/0.97 \quad D=644.3 \text{ Kg/d}$$

$$F = 3\%D \quad E=D(1-0.03) \quad D=625/0.97$$

$$F=0.03*644.3$$

$$F=19.3 \text{ Kg/d}$$

Etapa № 2

$$B = D$$

$$B=644.3 \text{ Kg/d}$$

Etapa № 1

$$A = B+C \quad A=B+2\%A \quad A=B/0.98 \quad A=657.4 \text{ Kg/d}$$

$$C = 2\%A \quad B=A(1-0.02) \quad A=644.3/0.98$$

$$C=0.02*657.4 \quad C=13.2 \text{ Kg/d}$$

3.5. Sistemas auxiliares.

Tabla 3.9 Sistemas de elevadores y esteras conductoras de sólidos.

Aspectos	Transportadores de banda.	Tornillo sinfín	Elevador de cangilones	Correa	Exigencia
Capacidad (m ³ /s)	0.06	0.07-0.08	0.02	1	0.0002m ³ /s
Costo relativo	Moderado	Alto	Moderado	Bajo	
Diámetro (m)	0.5-2	0.15-0.50	0.15-0.5	0.3-2	
Longitud (m)	10-50	5-25	8-25	10-50	De 10 a 20 m.

Se selecciona los elevadores de cangilones para transportar el grano de un piso a otro y los transportadores de correa para hacerlo en la dirección horizontal debido a que estos cumplen con las exigencias del proceso y tienen un costo relativamente aceptable.

3.5.1 Sistema de calentamiento e impulsión de Aire.

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

3.5.2 Sistema de bombeo.

Tabla 3.10 Sistema de bombeo de fluidos auxiliares.

<i>Factores tecnológicos y Características a tener en cuenta</i>	<i>Bomba centrífuga.</i>	<i>Bomba Reciprocante.</i>
Del fluido	Son para pasar fluidos de viscosidad moderada y los que lleven suspensión. Son más altos que las alternativas para manipular fluidos viscosos, aunque menos que las rotatorias. Poseen limitaciones con líquidos corrosivos y líquidos no Newtoniano.	Son recomendables par fluidos de baja viscosidad. No funcionan bien cuando trabajan con líquidos viscosos. Hay problemas cuando bombea líquidos que arrastran sólidos en suspensión. Están limitados para fluidos corrosivos y no Newtoniano.
Intervalo de temperatura (°C)	De -250 a 500	De -30 a 270

Presión máxima del sistema.	350 (bar) No son recomendables para presiones elevadas	350 (bar) Poseen limitaciones modestas para elevadas presiones
Viscosidad del fluido	Menor que 0,2 cP	0,001 – 100 cP
Capacidades	Muy elevadas para valores altos de flujo. Volúmenes grandes a presión moderada. Reducción del caudal al aumentar la resistencia del sistema.	Muy limitada para grandes caudales. Son recomendables para flujos pequeños.
Capacidad máxima de unidades de reserva	10 (m ³ /s)	0,06 (m ³ /s)
Intervalo de eficiencia.	50 – 85 %. Caídas bruscas del rendimiento al disminuir el caudal.	40 – 70 %
Flujo en la descarga.	Uniforme	Pulsante (baja descarga)
Condiciones de cavitación	Muy limitada	Limitaciones modestas
Presión de succión baja	Limitada	Limitaciones modestas
Servicio de presión var.	Limitada	Se pueden resolver las problemas con condición disponible
Materiales de construcción	Existen gran variedad de materiales que son adecuados para su construcción	Hay menor cantidad de materiales adecuados que para el caso de las centrífugas
Factores	Sencilla (construcción más	Posee muchas partes

especiales de disposición, estructura.	fácil)	móviles.
Estructura	Sencilla (construcción más fácil)	Posee muchas partes móviles
Mantenimiento	Fácil mantenimiento	Mantenimiento a intervalo frecuente
Precio a comprar	Bajo	Moderado

Se selecciona la bomba centrífuga ya que es la mas barata y además cumple con los requerimientos del proceso.

3.5.3. Tuberías.

Tabla 3.11 Tuberías.

Fórmula	Tipo de Fluido	Datos	Resultados
$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{3.14 * V}}$ Siendo: Q= flujo en m³/s V= velocidad recomendada del fluido (Pavlov K.F, 1981)	Aire para el secadero	$\rho = 1.16 \text{ Kg/m}^3$ $Q = 1.03 \text{ m}^3/\text{s}$ $V = 5 \text{ m/s}$	Tabla 10 (Rosabal J.M. 1988 TI) L= 15 m DI= 15.80mm Tub= estándar DN= 500mm DE= 21.34mm Espesor = 5.54 mm

3.6. Cálculo de los Indicadores económicos.

3.6.1. Estimado del Costo total de Inversión.

Para el estimado del costo total de Inversión, se determinó el costo del equipamiento, utilizado, el cual tiene gran incidencia en este, específicamente en los elementos que contiene la inversión fija, de esta manera se tiene que:

Costo Inversión Total = Inversión fija + Inversión de trabajo

Inversión fija = Costos directos + Costos Indirectos

A continuación en la **Tabla 3.12** se muestra el costo de adquisición del equipamiento, así como el número de equipos a instalar en cada caso.

Tabla 3.12 Costo de adquisición del equipamiento.

Nombre	Costo actualizado (\$)	Nº Equipos	Costo total (\$)
Tanque de almacenamiento	1716	6	10296
Elevadores	12727	4	50908
Cribas	5720	3	17160
Tanque de remojo	8580	3	25740
Germinadores	12870	2	25740
Secadero	10439	1	10439
Bomba centrífuga	1716	1	1716
Costo Total de adquisición			141999

El estimado del costo total de la inversión se realizó sobre la base del costo total del equipamiento, para el cual, se estimaron los aspectos que para la planta inciden en la Inversión fija y la inversión de trabajo. El estimado del costo de inversión para esta planta se presenta a continuación en la **Tabla 3.13**

Tabla 3.13 Estimado del Costo total de la Inversión.

Elementos del Costo de Inversión	Costo (\$)
Costos directos (CD)	
Costo del Equipamiento	141999
Instalación del Equipamiento	56799.60
Instrumentación y Controles (Instalado)	14199.90
Tuberías (Instaladas)	56799.60

Sistemas Eléctricos (instalados)	19879.86
Construcción (Incluye servicios)	56799.60
Movimiento de terrenos	8519.94
Servicios, Facilidades (Instalado)	92299.35
Costos totales directos	305297.85
Costos Indirectos (CI)	
Ingeniería y Supervisión	30529,79
Gastos de construcción	39688,72
Contingencias	30529,79
Costos totales indirectos	100748,29
Inversión fija (If) = CD + CI	406046,14
Inversión de trabajo (Itrab)	45116,24
Costo total de inversión = If + Itrab	451162,38

Tabla 3.14 Costos de Materias Primas.

Materia Prima	Masa (t/a)	Precio (\$/t)	Costo (\$ / a)
Sorgo	197.22	350	69027
TOTAL			69027

3.6.2. Estimado del Costo de Producción.

En el estimado del costo de Producción, para la obtención de los productos principales de la tecnología propuesta, se tuvo en cuenta, los gastos de materia prima, mano de obra y requerimientos del proceso como resultados de las necesidades y los demás elementos se determinaron, según la metodología expuesta por **(Peter's M, 2003)**.

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

Costos Totales de producción = Costos de Fabricación + Gastos generales

Empleado las mismas relaciones de costos, planteado en la metodología reportada por **(Peter's M, 2003)**, se estima el costo de total de producción, el cual se muestra en la **Tabla 3.15**.

Tabla 3.15. Costo de Producción de la planta.

Elementos de Costos	%	Base	Costo (\$/año)
Materias Primas	-	-	69027,00
Mano de Obra	-	-	50400,00
Supervisión	0,1	Mano de Obra	5040,00
Requerimientos del Proceso	-	-	2541,30
Mantenimiento y reparación	0,02	Inv. Fija	8120,92
Suministros	0,1	Mto y Rep.	812,09
Cargos de Laboratorios	0,05	Mano de Obra	5040,00
Costos Variables			140981,32
Impuestos	0,01	Inv. Fija	4060,46
Seguros	0,004	Inv. Fija	1624,18
Amortización	0,066	Inv. Fija	40604,614
Costos Fijos			46289,26
Costos exteriores	0,5	MO+Sup+ Mto	31780,46
Costos de Fabricación			219051,04
Administración	0,15	MO+Sup+ Mto	9534,14
Distribución y venta	0,02	C. Total Prod	4762,19
Investigación y Desarrollo	0,02	C. Total Prod	4762,19
Gastos Generales			19058,52
Costos totales de Prod.			238109,56

A continuación en las **Tablas 3.16** se muestra un resumen del producto obtenido con sus respectivos costos.

Tabla 3.16. Producto obtenido con su precio de venta.

Producto	Precio (\$/Ton)	Cantidad anual (Ton/a)	Valor de el productos (\$/a)
Malta	360,00	159,00	57240,00

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

Una valoración de la factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo de los indicadores dinámicos el VAN, la TIR y el PRD, tomando una tasa de interés del 15 %.

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

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

Los resultados obtenidos se determinaron por un programa realizado con la ayuda del Microsoft Excel, donde se evaluaron los indicadores económicos mediante la metodología planteada por **(Peter's M, 2003)**, los cuales, están en correspondencia con este tipo de planta en cuanto a su factibilidad teniendo en cuenta la venta del producto principal.

En la **Tabla 3.17** se muestran los resultados de la evaluación de los indicadores para el estudio de la factibilidad y en la **Figura 3.2** el perfil del VAN para estas las condiciones.

Tabla 3.17. Indicadores de factibilidad.

Indicador	Valor
Valor Actual neto (VAN)	-\$1 349 729,75
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	-
Plazo de Recuperación al descontado (PRD)	-

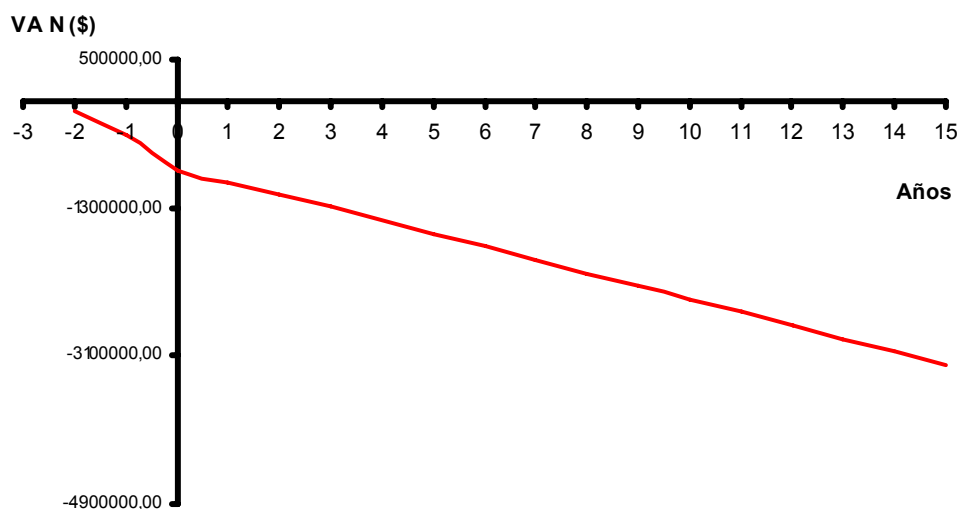


Figura 3.2. Perfil del VAN.

3.8. Análisis de sensibilidad variando el precio del producto.

Como se puede apreciar en la tabla y figura anterior la inversión propuesta no es factible desde el punto de vista económico, además es una característica atípica el hecho de invertir en una planta para la venta de malta de sorgo existiendo proveedores de malta de cebada que es la de excelencia. Dada la gran importancia de este producto para las personas con padecimientos celíacos se justifica entonces desde el punto de vista social la inversión, además sería de producción nacional.

No obstante se hizo un análisis de sensibilidad variando el precio del producto para de esta manera ver el comportamiento y analizar cuál sería el precio de la malta que haría rentable dicha inversión, pues no existe ninguna referencia sobre los precios en el mercado de la malta. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3.18** y la **Figura 3.3**.

Tabla 3.18. Resultado del análisis de sensibilidad variando el precio de la malta.

Precio (\$/t)	VAN (\$)
360	-1349729,75
800	-1012798,42
1200	-706840,86
1500	-477237,68
2000	-94565,72
2100	-18031,33
2124	336,92
2200	58503,06
2300	135037,45

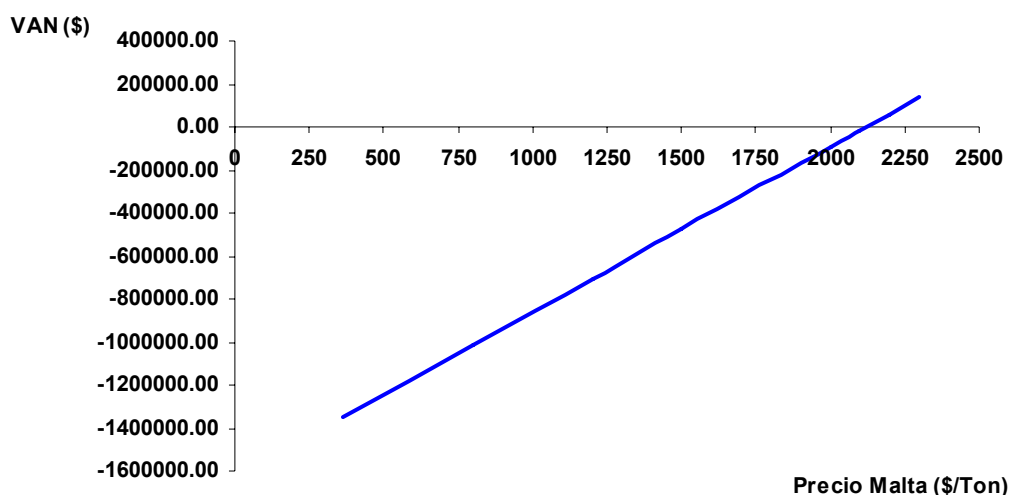


Figura 3.3. Perfil del análisis de sensibilidad variando el precio de la Malta.

El análisis sensibilidad realizado demuestra que la inversión propuesta es factible para precios de la Malta que estén por encima de 2124 $\$/_{Ton}$, o sea este es el valor mínimo que puede alcanzar el producto para garantizar la factibilidad de la inversión. Lo cual es excesivamente elevado y sobre todo si se tiene en cuenta que la tendencia de los precios de malta de cebada en los últimos años es de bajar.

3.9. Conclusiones Parciales.

1. La variante evaluada para la obtención de Malta a partir de sorgo no es factible desde el punto de vista económico pues la misma tiene un costo de la inversión de \$ 451162,38 y un costo total de producción de 238109,56 \$/año y un VAN de \$ - 1349729,75.
2. El análisis de sensibilidad variando el precio de la Malta demostró que la inversión propuesta es factible para precios muy elevados de la misma por encima de 2124 \$/Ton .
3. La inversión de la planta se justifica desde el punto de vista social, pues esto permite obtener un producto para niños con enfermedades celiacas, mejorando así su dieta alimenticia y de producción nacional.



Conclusiones.

1. Para lograr altos niveles de germinación del sorgo UDG-110 y con ello un malteado favorable, es obligatorio la selección previa del mismo.
2. Las maltinas elaboradas según diseño con las relaciones de $100 \frac{g}{L}$ de Malta total/Solución, 8 % de Malta caramelo/ Malta total y 8 % de relación Caramelo/Malta total; son las que reportan los mejores resultados en cuanto a minerales y demás parámetros establecidos, aunque puede llegarse a valores de malta total hasta $145 \frac{g}{L}$, como se apreció en las maltas A y B.
3. La proyección de la planta para la obtención de Malta a partir de sorgo no es factible desde el punto de vista económico, la misma presenta un VAN de \$ -1 349 729,75. costo de la inversión de \$ 451162,38 y un costo total de producción de $238109,56 \frac{\$}{año}$.
4. La inversión propuesta es factible para precios de la Malta por encima de $2124 \frac{\$}{Ton}$ de acuerdo con los resultados del análisis de sensibilidad, pero extremadamente elevados.
5. La obtención de Maltina a partir de sorgo presenta un elevado impacto social, dada la importancia de encontrar nuevos alimentos compatibles con la dieta de los niños celíacos.



Recomendaciones.

1. Emplear un sorgo con mejor calidad y que sea brindado por una empresa estatal, de ser posible la Estación Experimental perteneciente a la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, que es a quien tributa este trabajo.
2. Realizar las pruebas organolépticas apoyados en un panel de catadores profesionales con el objetivo de tener más criterios desde este punto de vista sobre la calidad de las maltinas obtenidas.
3. Una vez probadas todas las propiedades de la Maltina (*contenido de gluten*), establecer contactos con las autoridades médicas con el fin de probarlas en los pacientes celíacos.



Bibliografía

Bibliografía.

1. Aguirre-Arenas J, Escobar Pérez M, Chávez Villasana A. "Evaluación de los patrones alimentarios y la nutrición en cuatro comunidades rurales". Salud Publica Mex [serie en Internet]. 1998 [citado 4 Nov 2005]; 40: [aprox. 9 p.]. Disponible en: <http://www.insp.mx/salud/40/405-3.html>
2. Alemán, L. "Estudio de la Obtención de alcohol etílico a partir de sorgo". Trabajo Diploma. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 2007.
3. Altmann, R. "Uso de sorgo granero en la producción de alcohol carburante y alimento animal en Costa Rica." 2004.
4. Alfa-Laval. Manual de elaboración de cerveza. 1989.
5. ARIAS, I.; LÓPEZ, G. y AURRECOCHEA, P.1980 "Ganancia de peso en Bovinos en pastoreo continuo de restos de cosecha y soca de Sorgo en el Oriente de Guárico" Agron. Trop. Maracay (Ven.) XXX pp:269-279.
6. Bairoch A. (2000). "The ENZYME database in 2000". Nucleic Acids Res 28: 304-305.
7. Bello, L. Contreras, S. y Col. "Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de Plátano musa paradisíaca I". (var. Macho). Agrociencia. [Online]. Marzo-Abril. Vol. 36, 002 [Octubre 2006]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.30230236204.pdf>.
8. Canet R, Chaviano M, Alemán L, Cabello R. "Guía técnica para la producción del sorgo" (Sorghum bicolor L. Moench). La Habana: Ministerio de la Agricultura; 2003.
9. Eggert T. (2004). "Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution." Curr Opin Biotechnol. 15(4): 305-313. PMID 15358000
10. "El sorgo y el mijo en la nutrición humana" [artículo en Internet].2005 [citado 4 Nov 2005]; [aprox. 10 p.]. Disponible en: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/T0818S/T0818S00.htm
11. Fermentación. Pdf 2004.

12. Fernández, C. G., O (2004). "Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación." Comunicaciones científicas y tecnológicas.
13. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias "El Cultivo del Sorgo Granífero. CENIAP. Serie P.T. No 4-02, Venezuela 114p. 1986.
14. Gallardo I. y Col. "Guía de Clases prácticas de OPU IV". 1985.
15. Gonzáles y Ozuna. "Estudio preliminar de la obtención de Maltina para niños celiacos a partir de sorgo malteado". Proyecto de curso. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 2007.
16. Hough, J. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Zaragoza.
17. Kramer. "Producción del Sorgo y su Utilización". 1969.
18. León. "Tratamiento de la enfermedad celíaca". Bol Pediatr Asturias. 2003.
19. LLorca M, M. "Modelización de la operación de secado de malta, por aire caliente, en lecho fijo y cama profunda". ISBN: 84-89727-64-3. Universidad de Lleida. Salamanca. 2003.
20. Matysiak-Budnik T, Candalh C, Dugave C, Namane A, Cellier C, Cerf-Bensussan C, et al. Alterations of the intestinal transport and processing of gliadin peptides in celiac disease. Gastroenterology. 2003; 125(3):696-707.
21. Melone N. y Welcomme C. "La opción de la harina de sorgo". Agricultura / Industrialización. Año VII No 82. Julio. 2001.
22. MedlinePlus (agosto 2007). Enfermedad celíaca (celiaquía) (en español). Enciclopedia médica en español. Consultado el 18 de febrero. 2008.
23. Molberg O, Uhlen AK, Jensen T. "Mapping of gluten T-cell epitopes in the bread wheat ancestors: implications for celiac disease". Gastroenterology 2005; 128:393–401.
24. Pargas Morales M. "Estudios de germinación del sorgo para producir malta". Trabajo de Diploma. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 1994.
25. Pavlov K. F. "Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química". Tomo I. Editorial MIR. Moscú. 1981.
26. Pedrosa Puerta R. "Manual para el laboratorio azucarero". Editorial Pueblo y Educación. 1974.

27. Peretti M. "Análisis de costo beneficio en cultivos de verano" 2006.
28. Peters, Max. S; Timmerhaus, Klaus D and West, Ronald E. "Plant Design and Economics for Chemical Engineers". Fifth Edition. McGraw-Hill. 2003.
29. Qiao S, Bergseng E, Molberg O, Xia J, Fleckenstein B, Khosla C, et al. "Antigen presentation to celiac lesion-derived T cells of a 33-mer gliadin peptide naturally formed by gastrointestinal digestion". J Immunol; 173:1757–6. 2004.
30. Richard R. Hahn "Usos del Sorgo Granífero en la Alimentación Humana y Otros". 2007.
31. Rosabal Vega, J. M. "Hidrodinámica y separaciones mecánicas". Editorial Pueblo y Educación. T – II y II. 1988.
32. Rydings, Mari. "Fundamentos de la harina de trigo". BSIMagazine.com [Online]. 01 August 2002. [Octubre 2006]. Disponible en: < http://www.bsimagazine.com/Feature_Stories>.
33. Rodríguez, L Estudio de la obtención de alcohol etílico a partir de sorgo" Trabajo de Diploma 2005
34. Rodríguez Y. "Los cereales en la elaboración de Bebidas". 2007.
35. S. Appa Rao, et al. "Recolección y evaluación de germoplasma del sorgo en Rwanda". Genetic Resources Center, Material en html. 2000.
36. Sánchez, M. "Cultivo de sorgo granífero." 2003.
37. Saucedo, O. "Utilización del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) en la alimentación de los niños celíacos". Proyecto Territorial de Ciencia e Innovación. Tecnológica (PTCIT).
38. Serna S.O, "Utilización del Grano de Sorgo para Obtener Otros Productos Industriales". 2007.
39. Souto G. "Cebada cervecera y malta: informe semestral". Informe de Coyuntura, julio de 2007.
40. Shan L, Molberg O, Parrot I, Hausch F, Filiz F, Gray GM, et al. "Structural basis for gluten intolerance in coeliac sprue". Science. 2002; 19:2275-9.
41. TECNI-FENALCE- Boletín Informativo N° 10 Año3 Agosto 2001. Publicado por la FAO 2002

42. Tinima. Reporte de accesoria sobre producción más limpia realizado en la cervecería Tinima septiembre 2002.
43. Treybal R.E., "Operaciones de Transferencia de Masa", Editorial Mc Graw-Hill, 3^{ra} Ed, New York, 1980.
44. Ulrich D. G. "Diseño y economía de los procesos de la Ingeniería Química". 2^{DA} edición. 1985.

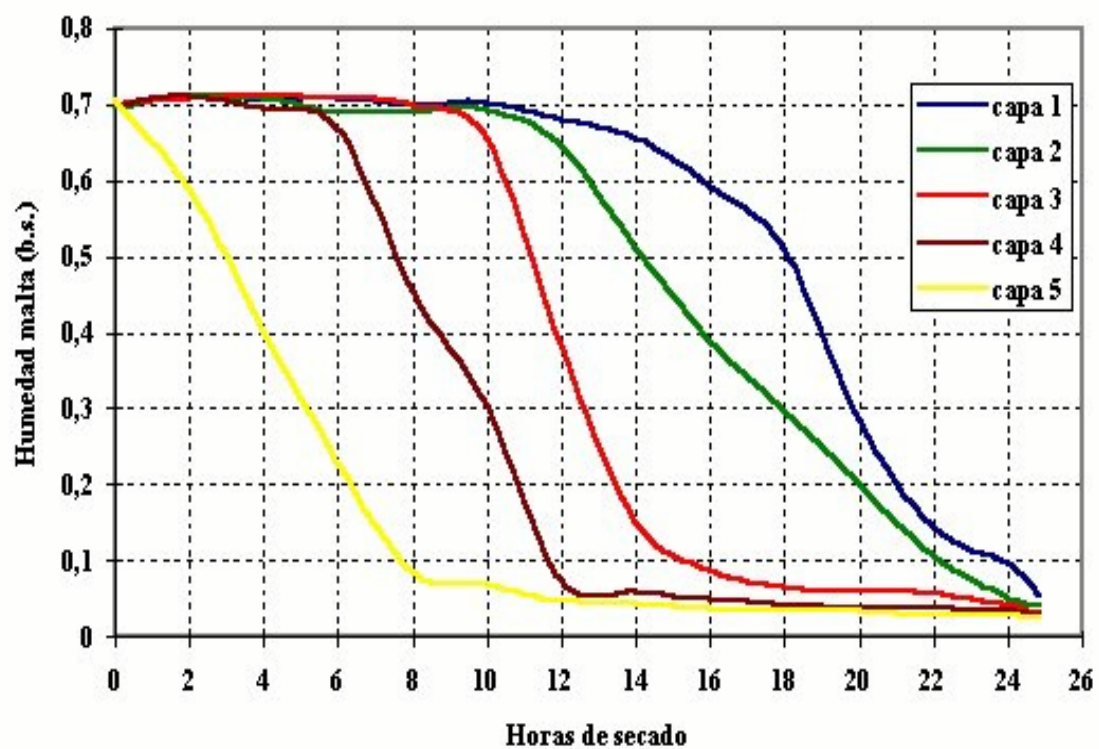
Sitios Web consultados.

1. <http://es.wikipedia.org/wiki/Celiaqu%C3%ADa>
2. <http://es.wikipedia.org/wiki/Sorgo>
3. <http://www.cosemex.com/Sorgo.HTM>
4. <http://www.nh.co.cu/webcidtur/productos/boletines/horizonte/3-07/ARTICULOS.html>
5. <http://es.wikipedia.org/wiki/Almid%C3%B3n>
6. <http://www.mografias.com>
7. <http://www. qui.reduc.edu.cu>
8. <http://es.wikipedia.org/wiki/Amilosa>
9. <http://es.wikipedia.org/wiki/Amilopectina>
10. <http://www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php?id1=23929&publi=&idSec=8&id2=23932>
11. http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/alimentacion_alternativa/2005
12. <http://www.pasqualinonet.com> Los espesantes. [Online]. [Octubre 2006].



A nexos

Anexo # 1: Influencia del espesor de la Malta de Cebada.



Anexo # 2. Análisis estadístico para el Calcio.

Analysis Summary

Estimated effects for Ca

average = 1.85125 +/- 0.0856143

A:X1+block = 0.4325 +/- 0.152352

B:X2 = 0.1425 +/- 0.152352

C:X3 = -0.175 +/- 0.16017

AB+block = -0.1475 +/- 0.152352

AC+block = 0.315 +/- 0.16017

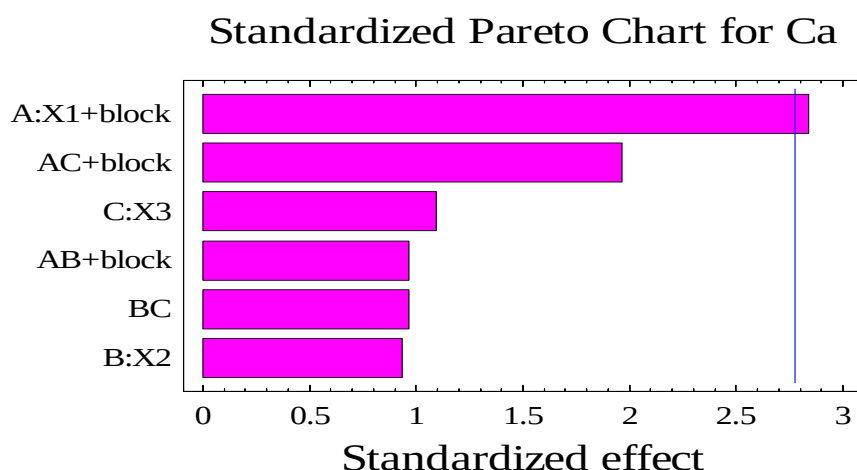
BC = -0.155 +/- 0.16017

block = 0.195 +/- 0.171229

Standard errors are based on total error with 4 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.



Analysis of Variance for Ca

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:X1+block	0.511943	1	0.511943	8.06	0.0469
B:X2	0.055575	1	0.055575	0.87	0.4026
C:X3	0.0758333	1	0.0758333	1.19	0.3360
AB+block	0.0595434	1	0.0595434	0.94	0.3878
AC+block	0.2457	1	0.2457	3.87	0.1206
BC	0.0594905	1	0.0594905	0.94	0.3880
blocks	0.0823875	1	0.0823875	1.30	0.3183
Total error	0.2541	4	0.063525		
Total (corr.)	1.48682	11			

R-squared = 82.9099 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 62.4018 percent

Standard Error of Est. = 0.252042

Mean absolute error = 0.125

Durbin-Watson statistic = 2.09435

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Ca into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 1 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 82.9099% of the variability in Ca. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 62.4018%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.252042.

The mean absolute error (MAE) of 0.125 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Anexo # 3. Análisis estadístico para el Hierro.

Analysis Summary

Estimated effects for Fe

```

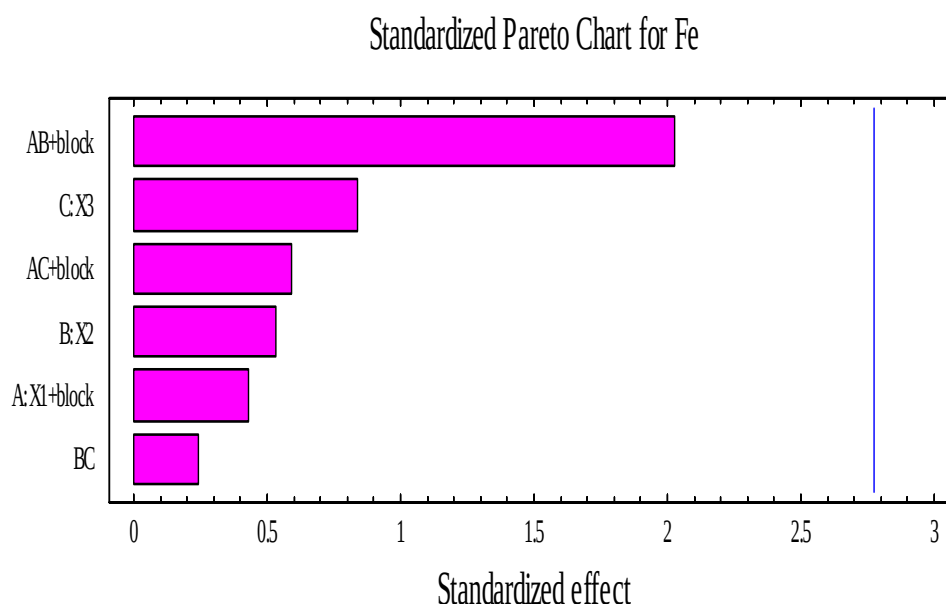
-----
average   = 0.164269 +/- 0.0197137
A:X1+block = -0.0150192 +/- 0.0350808
B:X2      = 0.0187308 +/- 0.0350808
C:X3      = 0.0308654 +/- 0.036881
AB+block  = -0.0710192 +/- 0.0350808
AC+block  = -0.0218846 +/- 0.036881
BC        = 0.00886538 +/- 0.036881
block     = 0.0795385 +/- 0.0394274
-----

```

Standard errors are based on total error with 4 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.



Analysis of Variance for Fe

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:X1+block	0.000617369	1	0.000617369	0.18	0.6906
B:X2	0.000960198	1	0.000960198	0.29	0.6217
C:X3	0.002359	1	0.002359	0.70	0.4497
AB+block	0.0138039	1	0.0138039	4.10	0.1129
AC+block	0.00118594	1	0.00118594	0.35	0.5849
BC	0.000194616	1	0.000194616	0.06	0.8219
blocks	0.0137071	1	0.0137071	4.07	0.1138
Total error	0.0134725	4	0.00336813		
Total (corr.)	0.057869	11			

R-squared = 76.7189 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 48.7816 percent

Standard Error of Est. = 0.0580356

Mean absolute error = 0.0299103

Durbin-Watson statistic = 2.56215

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Fe into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 0 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 76.7189% of the variability in Fe. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 48.7816%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0580356. The mean absolute error (MAE) of 0.0299103 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Anexo # 4. Análisis estadístico para el Brix.

Analysis Summary

Estimated effects for Y4

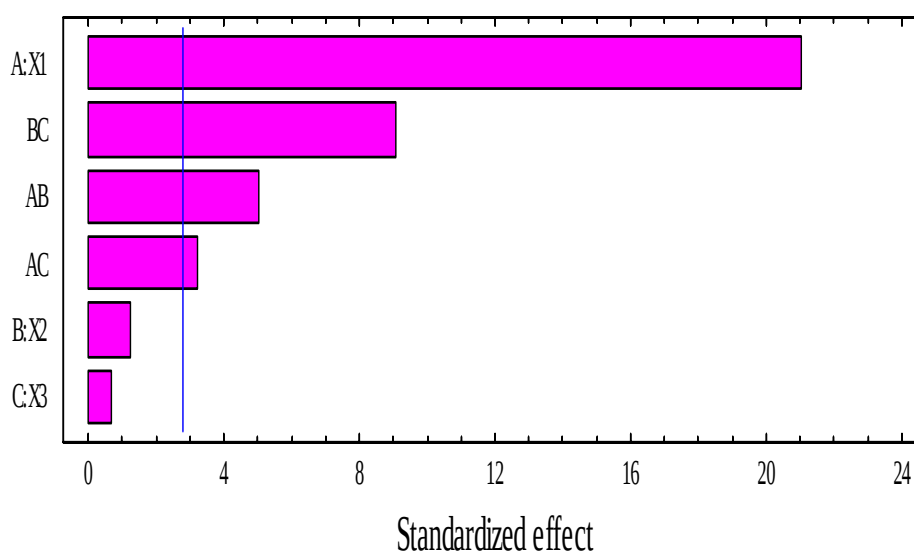
average = 20.3183 +/- 0.220694
A:X1 = 8.26923 +/- 0.392727
B:X2 = 0.494231 +/- 0.392727
C:X3 = -0.290385 +/- 0.41288
AB = -1.98077 +/- 0.392727
AC = 1.33462 +/- 0.41288
BC = -3.74038 +/- 0.41288
block = 0.761538 +/- 0.441387

Standard errors are based on total error with 4 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.

Standardized Pareto Chart for Y4



Analysis of Variance for Y4

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:X1	187.146	1	187.146	443.35	0.0000
B:X2	0.668512	1	0.668512	1.58	0.2767
C:X3	0.2088	1	0.2088	0.49	0.5206
AB	10.7379	1	10.7379	25.44	0.0073
AC	4.41059	1	4.41059	10.45	0.0319
BC	34.6431	1	34.6431	82.07	0.0008
blocks	1.25654	1	1.25654	2.98	0.1596
Total error	1.68846	4	0.422115		
Total (corr.)	306.207	11			

R-squared = 99.4486 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 98.7869 percent

Standard Error of Est. = 0.649704

Mean absolute error = 0.301923

Durbin-Watson statistic = 2.14105

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Y4 into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99.4486% of the variability in Y4. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 98.7869%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.649704.

The mean absolute error (MAE) of 0.301923 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Anexo # 5. Análisis estadístico para la Densidad.

Analysis Summary

Estimated effects for Y5

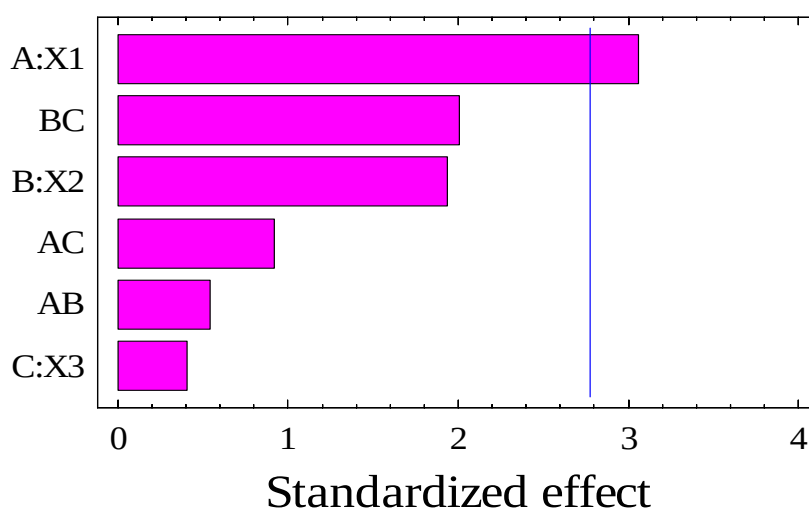
average = 1083.65 +/- 4.01366
A:X1 = 21.8462 +/- 7.14236
B:X2 = 13.8462 +/- 7.14236
C:X3 = -3.07692 +/- 7.50887
AB = 3.84615 +/- 7.14236
AC = 6.92308 +/- 7.50887
BC = -15.0769 +/- 7.50887
block = 9.30769 +/- 8.02732

Standard errors are based on total error with 4 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.

Standardized Pareto Chart for Y5



Analysis of Variance for Y5

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:X1	1306.17	1	1306.17	9.36	0.0377
B:X2	524.696	1	524.696	3.76	0.1246
C:X3	23.4432	1	23.4432	0.17	0.7030
AB	40.4858	1	40.4858	0.29	0.6188
AC	118.681	1	118.681	0.85	0.4087
BC	562.872	1	562.872	4.03	0.1151
blocks	187.705	1	187.705	1.34	0.3108
Total error	558.462	4	139.615		
Total (corr.)	3591.67	11			

R-squared = 84.4512 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 65.7926 percent

Standard Error of Est. = 11.8159

Mean absolute error = 6.07692

Durbin-Watson statistic = 2.60447

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Y5 into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 1 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 84.4512% of the variability in Y5. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 65.7926%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 11.8159.

The mean absolute error (MAE) of 6.07692 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Anexo # 6. Análisis estadístico para la Viscosidad.

Analysis Summary

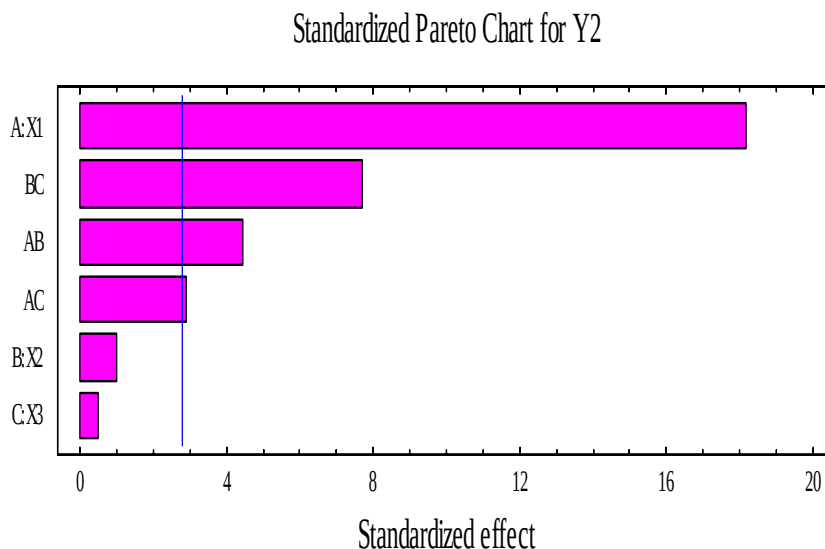
Estimated effects for Y2

average = 1.46863 +/- 0.0225015
A:X1 = 0.727865 +/- 0.0400418
B:X2 = 0.0403654 +/- 0.0400418
C:X3 = -0.0206923 +/- 0.0420965
AB = -0.177385 +/- 0.0400418
AC = 0.122558 +/- 0.0420965
BC = -0.323942 +/- 0.0420965
block = 0.0682692 +/- 0.0450031

Standard errors are based on total error with 4 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.



Analysis of Variance for Y2

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:X1	1.44995	1	1.44995	330.43	0.0001
B:X2	0.00445931	1	0.00445931	1.02	0.3704
C:X3	0.00106023	1	0.00106023	0.24	0.6488
AB	0.0861156	1	0.0861156	19.62	0.0114
AC	0.0371933	1	0.0371933	8.48	0.0436
BC	0.259848	1	0.259848	59.22	0.0015
blocks	0.0100982	1	0.0100982	2.30	0.2039
Total error	0.0175524	4	0.0043881		
Total (corr.)	2.37859	11			

R-squared = 99.2621 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 98.3765 percent

Standard Error of Est. = 0.0662427

Mean absolute error = 0.0302308

Durbin-Watson statistic = 2.31784

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in Y2 into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99.2621% of the variability in Y2. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 98.3765%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.0662427. The mean absolute error (MAE) of 0.0302308 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Anexo # 7. Diagrama de flujo de la planta de obtención de malta de sorgo.