

***Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Química***



## ***Trabajo de Diploma***

***Título: Estudio del proceso de maceración de cereales, con  
vistas a la utilización de óxido de azufre soluble en la UEB  
Glucosa Cienfuegos a escala de Planta Piloto***

***Autora: Arianna Rivero Zayas***

***Tutores: M. Sc. Fernando L. Sarria Quesada  
M. Sc. Johanka Vivian Moya Monteagudo***

***Consultante: Dr.C. Rafael Antonio Goytisoló Espinosa***

***Junio 2015  
"Año 57 de la Revolución"***

*Pensamiento*



*“Para realizar una investigación son necesarias dos cosas: una de ellas es persistencia infatigable; la otra, habilidad para desechar algo en lo que se ha invertido mucho sudor y muchas ideas”*

*Albert Einstein*

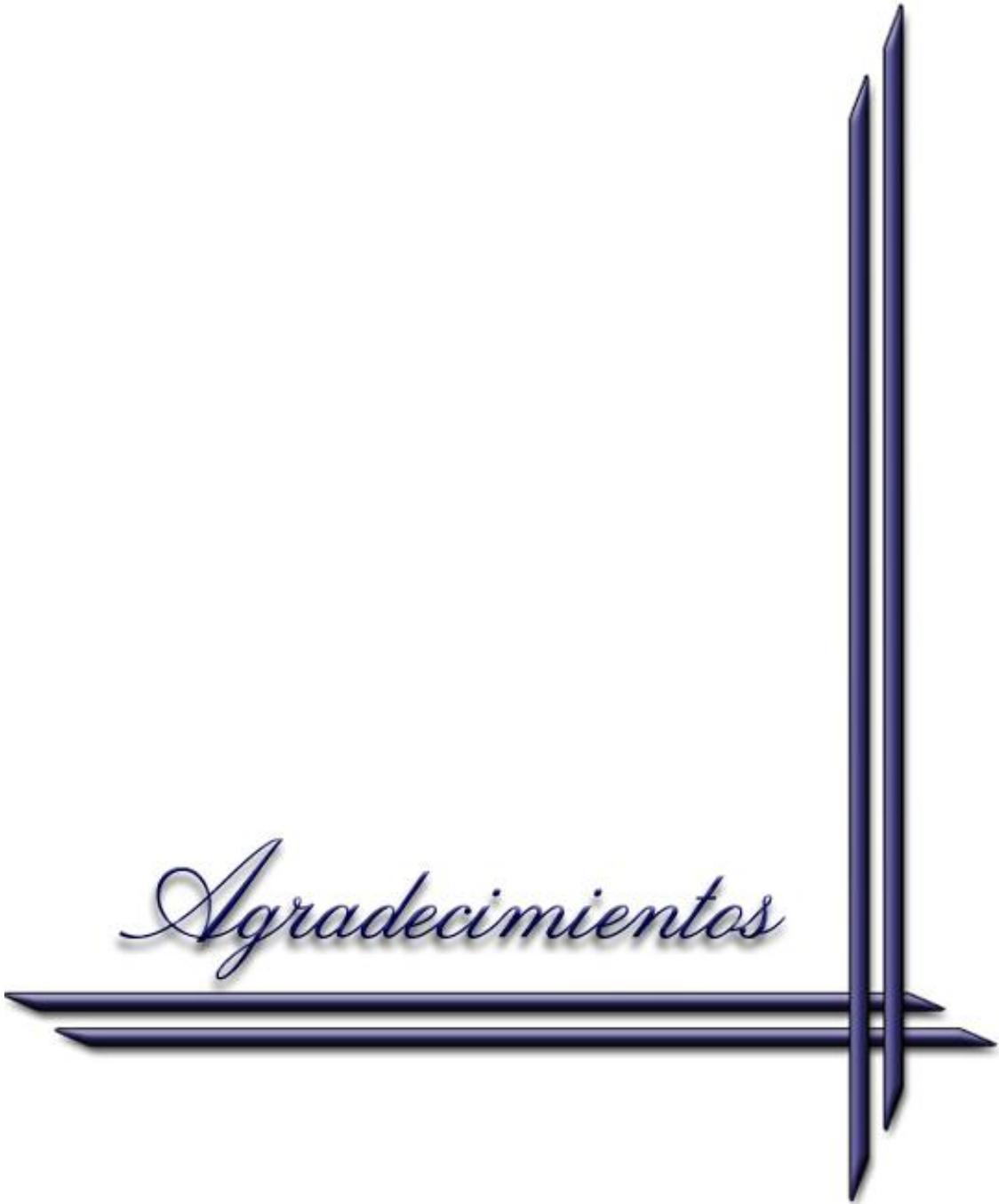
*Dedicatoria*



*A mis abuelos que siempre me han estado presentes*

*A mi madre por haberme apoyado en todo este tiempo*

*Agradecimientos*



*A mis padres y hermano por su cariño y apoyo incondicional*

*A mis abuelos*

*A mis tíos y primos por estar cerca*

*A la familia en general*

*A todos los compañeros de la UEB Glucosa Cienfuegos que me ayudaron en esta investigación*

*A mis compañeros de aula*

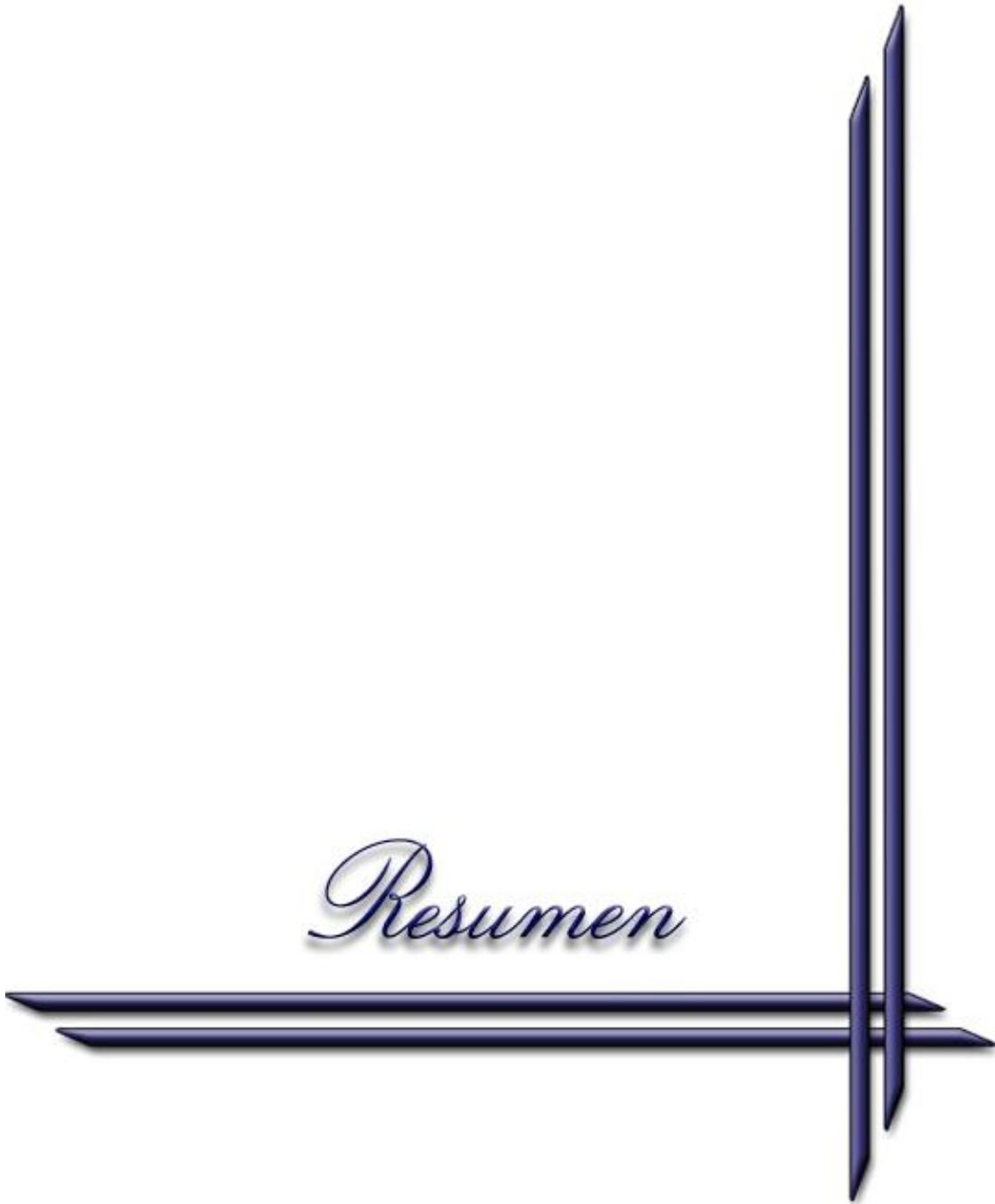
*A mis amigos Lázaro, Patri, Diana, Alexis, Liván, a las Tripas, Yoanete, Elizabeth, Leidy y en especial a Mamitis por aguantarme todos estos años y por apoyarme en todo*

*A todos los profesores en especial a Goytisolo que me ha ayudado mucho*

*A mi tutor Fernando por demostrarme de lo que soy capaz y por confiar en cada una de las decisiones tomadas.*

*A todos..... ¡Muchas Gracias!*

*Resumen*



### RESUMEN

El presente trabajo titulado "Estudio del proceso de maceración de cereales, con vistas a la utilización de óxido de azufre soluble en la UEB Glucosa Cienfuegos a escala de Planta Piloto" tiene como objetivo principal realizar una evaluación a escala de planta piloto del proceso de maceración de cereales como el maíz y el sorgo en la UEB Glucosa Cienfuegos, para la producción de almidón y siropes de glucosa utilizando el Greensulf a diferentes concentraciones, así como establecer los parámetros de operación del proceso para ambos cereales, proponer la tecnología adecuada para llevar a cabo la mejora y evaluarla económicamente. Para el desarrollo de la investigación se aplicó una metodología de evaluación, utilizando las técnicas de recopilación de información y datos, métodos de análisis de procesos, programas estadísticos, entre otros. La misma comprendió la realización de un diseño  $2^3+5$  factorial a escala de planta piloto con las mejores condiciones de maceración dentro del rango establecido, empleando el Greensulf. El agua de maceración de ambos procesos se sometió a una serie de análisis químicos y estadísticos donde el mejor resultado obtenido fue a 2000 ppm a 52° C en un período de 52 horas. La nueva propuesta tecnológica sugerida alcanza mejoras técnicas y económicas dando una ganancia de 7 323 955.00 \$/ año.

## SUMMARY

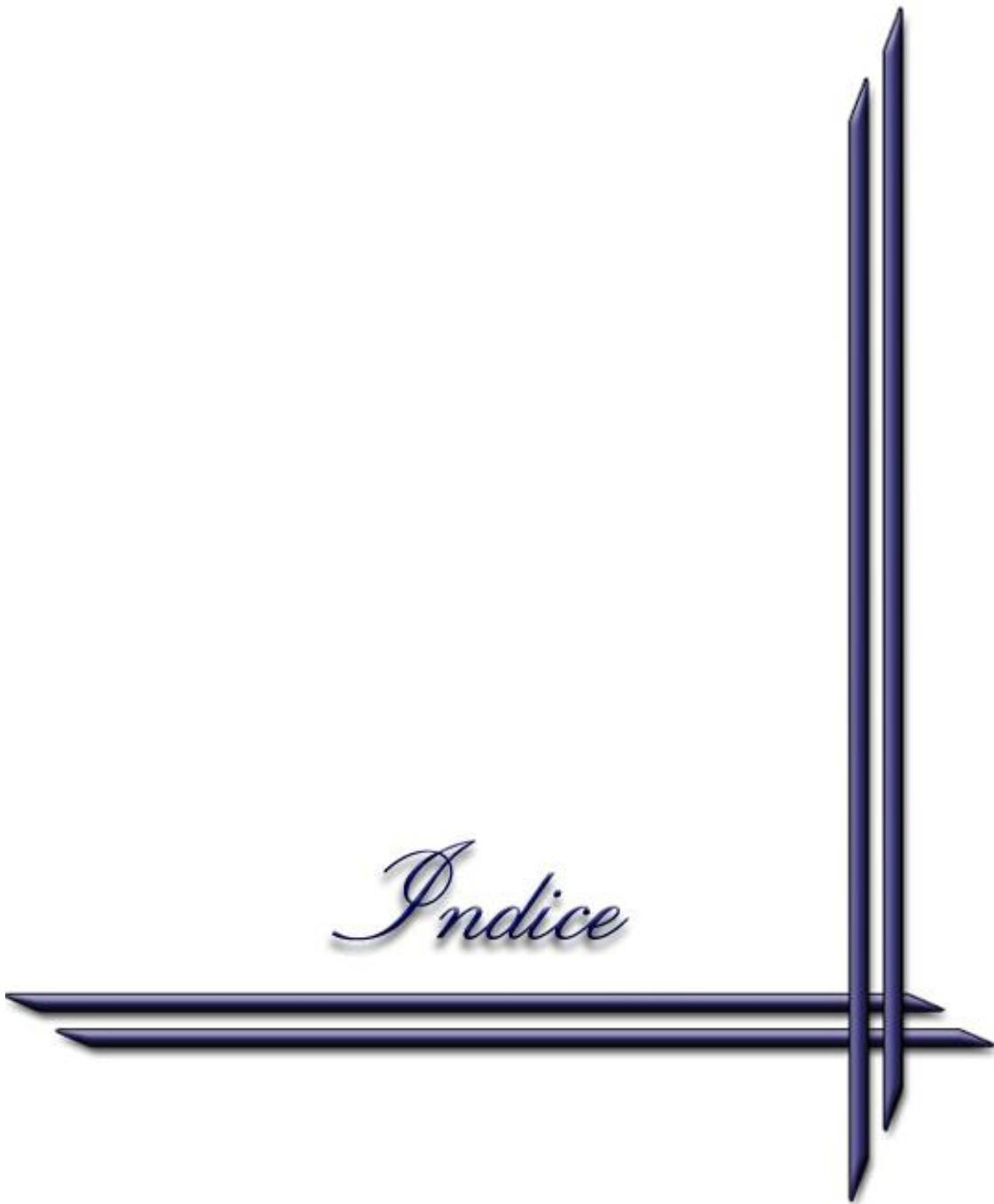
---

### SUMMARY

The present work titled “Study of the maceration process of cereals, with the purpose of the utilization of soluble sulfur oxide in the UBE Glucosa de Cienfuegos to the level of Pilot Plant. Having as main objective to make an evaluation to the level of pilot plant of the maceration process of cereals such as corn and sorghum in the UBE Glucosa Cienfuegos, to produce glucose starch and syrups using the Greensulf in different concentrations, also establish the parameters of operation in the process of both cereals, suggest the adequate technology in order to get better the process and do an economical evaluation. To the develop of the investigation was applied a methodology of evaluation , using the techniques of recompilation of information and data , analysis of processes , statistical programs among others. The same included the design 23 +5 factorial to the level of pilot plant in the best conditions of maceration inside the established range, using the Greensulf. The water of maceration in both of the processes was subjected to a

C in a period of 52 hours. The new technology suggested reach better condition (technical and economic) giving a profit of 7 323 955.00 \$ per year.

*Indice*



## ÍNDICE

□ <b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b> .....	4
1.1 Cereales. Generalidades.....	4
1.1.1 Componentes fundamentales del grano en los cereales .....	5
1.1.2 Tratamiento del grano y métodos de limpieza .....	6
1.2 Obtención de almidón a partir de cereales.....	6
1.2.1 Almidón. Generalidades.....	6
1.2.2 Maíz. Características Generales. ....	7
1.3 Tratamiento del grano de maíz .....	8
1.3.1 Sorgo. Características Generales.....	10
1.3.2 Tratamiento para el grano de sorgo.....	11
1.4 Proceso de molienda húmeda para la obtención de almidones .....	12
1.4.1 Maceración. Generalidades. ....	12
1.4.2 Utilización del azufre en la maceración .....	14
1.4.2.1 Impactos provocados por el uso del Azufre en el proceso de maceración.....	16
1.4.2.2 Nuevas tendencias en procesos de maceración.....	17
1.5 Greensulf.....	18
1.5.1 Ventajas del empleo del Greensulf .....	18
<b>CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	22
2.1 Caracterización de la Empresa Glucosa Cienfuegos .....	22
2.1.1 Características de las materias primas usadas en el proceso de maceración.....	22
Maíz.....	22
2.2 Características del proceso de obtención del agua sulfurosa.....	23
2.2.1 Proceso de obtención de agua sulfurosa.....	23
2.2.1.1 Especificaciones de calidad del agua sulfurosa. ....	25
2.3 Descripción del procedimiento para el estudio del Greensulf como sustituto del Azufre Sólido en la maceración de cereales. ....	25
<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b> .....	32
3.1 Aplicación de la metodología para la sustitución del azufre sólido por el Greensulf en la maceración de cereales.....	32
3.1.2 Diseño de experimento.....	32
3.2 Resultados de los análisis cuantitativos aplicados al licor de remojo en la maceración de maíz. ....	33
3.2.1 Resultado del procesamiento estadístico para el maíz. ....	34
3.3 Resultados de los análisis cuantitativos aplicados al licor de remojo en la maceración de sorgo. ....	38
3.3.1 Resultado del procesamiento estadístico para el sorgo.....	39

## ÍNDICE

---

3.3.2 Parámetros de operación para el proceso de maceración utilizando el Greensulf en la UEB Glucosa Cienfuegos.....	42
3.4 Propuesta tecnológica para la sustitución del azufre sólido por el Greensulf. .....	42
3.4.1 Evaluación Económica para la propuesta sugerida.....	44
<input type="checkbox"/> <b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	50
<input type="checkbox"/> <b>RECOMENDACIONES</b> .....	52
<input type="checkbox"/> <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	54
<input type="checkbox"/> <b>ANEXOS</b> .....	58

# *Introducción*



## • INTRODUCCIÓN

La química industrial influye de forma permanente en el aumento de la calidad de vida de nuestra sociedad, pero esta posee un aspecto negativo común a todas las actividades industriales; y es la generación de residuos en dependencia de las materias primas utilizadas y los productos a obtener.

Todas las industrias son dependientes de energía, pero en especial es la industria química la que gasta grandes cantidades de agua en sus procesos, debido a esto se provocan vertidos a la hidrosfera, llegando a verse afectadas por este hecho zonas alejadas del punto de partida.

Actualmente las industrias químicas se preocupan cada vez más de utilizar tecnologías ecológicas para proteger el medio ambiente. Éstas son menos contaminantes, utilizan los recursos en forma más sostenible, reciclan desechos y tratan los residuos en forma más aceptable.

Afortunadamente hay un gran conocimiento en la sociedad acerca de mantener el medio ambiente, donde la química tiene un fuerte papel, pues este campo es el encargado de analizar el origen de la polución, así como poder dar soluciones, aunque la última palabra la tiene siempre la sociedad que al final es la que lleva a cabo las medidas propuestas.

La industria alimenticia, es el sector económico más agresivo al medio ambiente tanto en la etapa constructiva como en la de explotación, estudios realizados de evaluación económica- ambiental muestran la alta incidencia en las afectaciones en la salud humana, a los ecosistemas, fundamentalmente a los frágiles, a las cuencas hidrográficas y al entorno social donde se encuentran localizadas, que no son contemplados en los costos de producción y por tanto no afectan al período de recuperación de inversiones ni a las ganancias (Isaac Godínez, 2008).

Actualmente en la UEB Glucosa Cienfuegos existen dificultades en la calidad del producto final debido a la rápida degradación de la lechada de almidón, provocado por el deterioro de la tecnología, por lo que se hace necesario el mejoramiento del proceso de obtención del agua sulfurosa utilizada para la maceración de cereales.

### **Problema científico**

El deterioro tecnológico del equipamiento en la etapa de maceración en la UEB Glucosa Cienfuegos provoca bajos rendimientos del proceso por lo que se hace necesario un cambio en la tecnología.

## INTRODUCCIÓN

---

### **Hipótesis**

Es posible, estudiando el proceso de maceración en la UEB Glucosa Cienfuegos para la producción de almidón, proponer un cambio en la tecnología, sustituyendo el dióxido de azufre por el Greensulf en la obtención de almidón y siropes de glucosa.

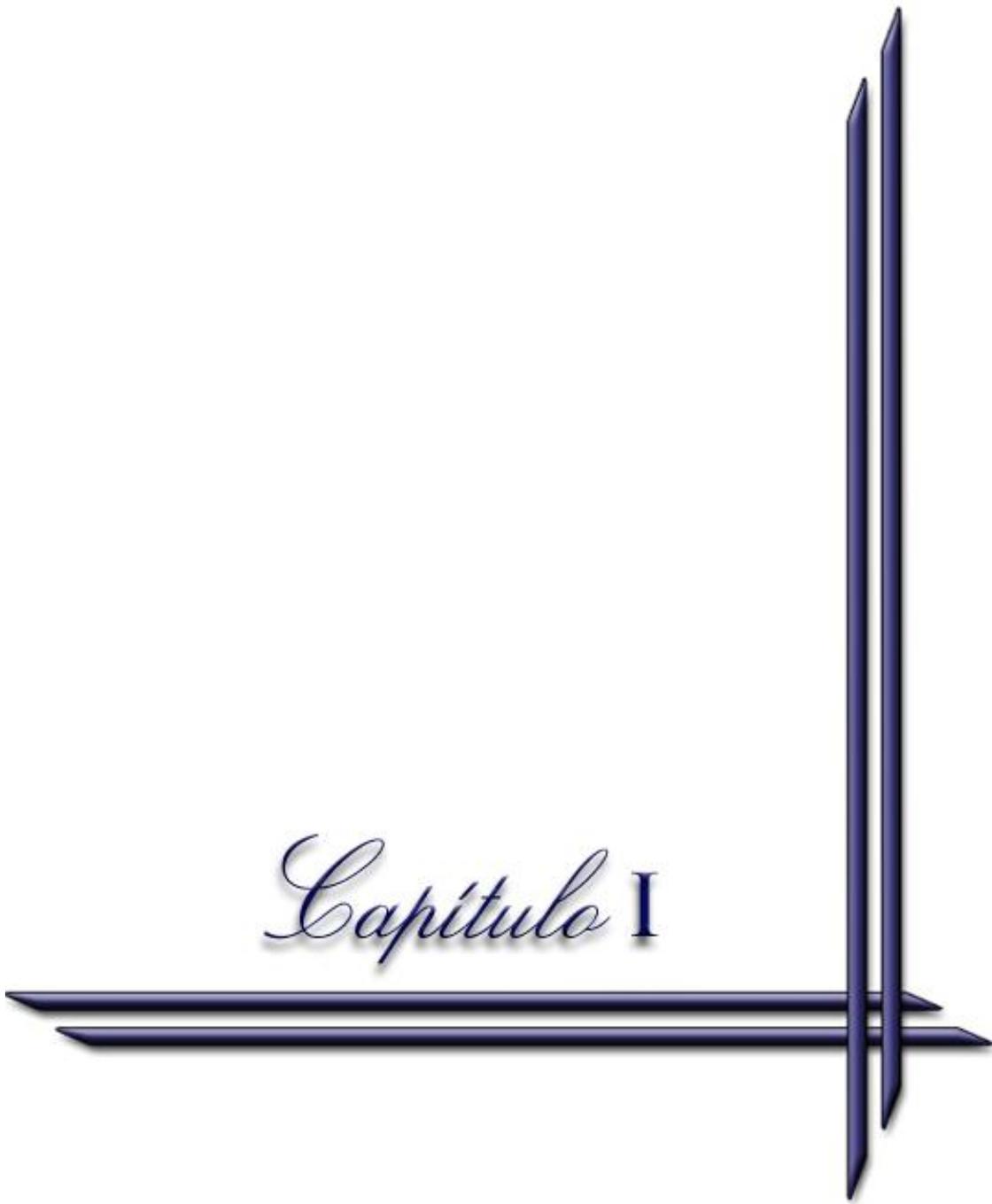
### **Objetivo general**

Realizar una evaluación a escala de planta piloto del proceso de maceración en la UEB Glucosa Cienfuegos para evaluar la posible producción de almidón y siropes utilizando el Greensulf en sus diferentes concentraciones.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el proceso de maceración del maíz para la obtención de almidón y siropes de glucosa con óxido de azufre soluble en agua.
2. Evaluar el proceso de maceración del sorgo para la obtención de almidón y siropes de glucosa con óxido de azufre soluble en agua.
3. Establecer los parámetros de operación para el proceso de maceración de ambos cereales.
4. Proponer un sistema tecnológico para la dosificación del óxido de azufre soluble en el proceso de maceración.
5. Evaluar técnica y económicamente la tecnología del Greensulf para la maceración de ambos cereales.

*Capitula* I



### CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Cereales. Generalidades.

El cultivo intencional de los cereales de grano probablemente comenzó en el Medio Oriente. Los arqueólogos que trabajan en la zona oeste del bajío de Jericó, la ciudad más antigua existente en el mundo, descubrieron un gran recipiente de almacenaje que data del año 6000 a. de J.C. Otros numerosos hallazgos de trigo y cebada permanecen en toda la región y provienen de fechas previas a la anterior hasta el inicio del registro de la historia. Algunos de los murales dentro de las tumbas más antiguas en Egipto representan la siembra y cosecha de granos y su conversión en pan (*Agricultura*, 1998)

El término cereales tiene su origen en las palabras *cerealia numera* que hacen referencia a las ofrendas a Ceres, diosa de la Agricultura y se usa normalmente para referirse al grupo de plantas herbáceas cultivadas que producen un grano rico en almidón y que ocupan el lugar más destacado en la agricultura mundial (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

Existen diferentes tipos de cereales, todos ellos presentan una serie de características comunes, son plantas herbáceas de tallos redondos y huecos, hojas estrechas, abrazadoras y flores en inflorescencias (espigas, panículas o racimos). Cada espiga consta de varias flores reunidas en espículas, carecen de pétalos. Poseen frutos secos indehiscentes, es decir que no se abren al madurar.

Se consideran el alimento arquetípico de la humanidad, pertenecen a la familia de las gramíneas y abarcan unas 10 mil especies que tejen la vestimenta verde de nuestro planeta. De las 30 especies existentes, las más usadas para la alimentación son el trigo, arroz y maíz- y la caña de azúcar (Jorge Vega Bravo, 2013).

Los cereales y sus derivados son ricos en carbohidratos. Su contenido es muy variable, dependiendo del tipo de cereal y de su procesamiento industrial. La composición en aminoácidos de las proteínas depende de la especie y variedad. Al principio el consumo de los cereales era de forma cruda, pero el hombre aprendió a realizar ciertas transformaciones con algunos de esos granos, para obtener alimentos más apetitosos, más digestibles, más nutritivos y de mejor conservación (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

---

Actualmente los cereales son la gran fuente de alimentación humana en todos los continentes, contienen hidratos de carbono, proteínas, grasas, sales minerales y proteínas, almacenando en su grano una gran cantidad de energía fácilmente asimilable (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

La principal producción de cereales en Cuba está guiada al cultivo de arroz, más de 50 variedades de arroz, con mejor resistencia y rendimiento productivos son desarrolladas, gracias al programa de mejoramiento genético que se implementa en la Isla desde 1969 (Ubeda, 2015)

A pesar de que el principal cultivo de cereal en Cuba es el arroz El Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) se dio la tarea de buscar alternativas que permitieran crear una base alimentaria con productos cosechados en el suelo nacional, entre ellos el sorgo.

### **1.1.1 Componentes fundamentales del grano en los cereales**

Aunque la forma y el tamaño de las semillas pueden ser diferentes, todos los granos de cereales tienen una estructura y valor nutritivo similar; 100 g de grano entero suministran aproximadamente 350 kcal, de 8 a 12 g de proteína, cantidades útiles de calcio y hierro (sin embargo el ácido fítico puede dificultar su absorción) y las vitaminas B. En su estado seco, los granos de cereales carecen completamente de vitamina C y excepto en el caso del maíz amarillo, no contienen caroteno (provitamina A). Para obtener una dieta balanceada, los cereales deben suplementarse con alimentos ricos en proteína, minerales y vitaminas A y C (FAO, 2006).

La estructura de todos los granos de cereales está compuesta por:

- la cascara de celulosa, la cual no tiene valor nutritivo para los seres humanos;
- el pericarpio y testa, dos capas bastante fibrosas que contienen pocos nutrientes;
- la capa de aleurona rica en proteínas, vitaminas y minerales;
- el embrión o germen rico en nutrientes, consiste de la plúmula y la radícula unidas al grano por el cotiledón;
- el endospermo que comprende más de la mitad del grano y consiste principalmente en almidón.

El embrión es la parte del grano que germina si se planta el grano o si se lo sumerge en agua. Es muy rico en nutrientes. Aunque pequeño en tamaño, el embrión generalmente contiene 50 por ciento de la tiamina, 30 por ciento de la riboflavina y 30 por ciento de la niacina del grano entero.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

---

La aleurona y otras capas externas contienen 50 por ciento de la niacina y 35 por ciento de la riboflavina. El endospermo, aunque en general es la parte más grande del grano, generalmente contiene una tercera parte o menos de las vitaminas B. Comparado con otras partes, es más pobre en proteínas y minerales, pero es la fuente principal de energía, en la forma de un carbohidrato complejo, el almidón(FAO,2006).

### **1.1.2 Tratamiento del grano y métodos de limpieza**

Cada tipo de cereal requiere de un tratamiento específico, hay algunos principios de carácter general que pueden ser aplicados, los cereales pasan por distintas etapas en una gran y a veces compleja cadena que se inicia en la cosecha y termina en el consumo (Coulson, J.M. y Richardson, J.F, 2002)

Comprende básicamente tres bloques separados: el primero cubre desde la cosecha hasta el almacenado del grano, y engloba todas las operaciones que permiten extraer y estabilizar el grano de cereal; el segundo, denominado procesado preliminar, comprende aquellas operaciones que permiten obtener productos intermedios, fundamentalmente harinas, que no pueden ser consumidos directamente por el hombre; el tercero, o procesamiento secundario, lo forman aquellas operaciones que transforman los productos intermedios en finales (por ejemplo, la fabricación de pan). Las operaciones incluidas en el procesado secundario pueden ser industriales o domésticas (Coulson, J.M. y Richardson, J.F, 2002).

### **1.2 Obtención de almidón a partir de cereales**

Los cereales son una fuente importante de almidones, en la actualidad coexisten en el mercado diversas fuentes comerciales de almidón de cereales entre las que se destacan maíz, trigo, arroz; siendo el maíz el más barato y abundante. Al año se manejan unos 60 millones de toneladas de maíz para fabricar almidón, bien para su uso como tal o como materia prima para la obtención de glucosa y fructosa (Calvo, Miguel, Octubre 2006).

#### **1.2.1 Almidón. Generalidades.**

El almidón es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas que proporciona del 70- 80% de las calorías consumidas por lo humanos de todo el mundo, tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del mismo constituyen la mayor parte de los carbohidratos digestibles de la dieta habitual.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

---

Tanto los almidones naturales como los modificados tienen un número formidable de posibles aplicaciones en los alimentos como son: Ahesivo, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizantes de espumas, agente anti- envejecimiento de pan, geleficante, glaseante, humectante, texturizante y espesante. El almidón es la sustancia con la que las plantas almacenan su alimento en raíces, como la yuca, tubérculos, como la patata, frutas y semillas (cereales). Pero, no sólo es una importante reserva para las plantas, también para los seres humanos tiene una alta importancia energética, proporciona gran parte de la energía que consumimos los humanos por vía de los alimentos (Moreno Rojo, Marzo 2013)

También pueden ser utilizados como materias primas, que sometidas a hidrólisis, dan lugar a dextrinas que tiene aplicaciones tales como: sustitución del azúcar (rebajar el dulzor); bebidas instantáneas (mejora la solubilidad y facilita la dispersabilidad); productos en polvo, salsas, sopas, postres (dispersa mejor el almidón); mayonesas y aliños (mejora la palatabilidad, intensifica el sabor); productos cárnicos curados (sustrato de fermentación); en dietética como fuente de carbohidratos(Bello, L. Contreras, S. Octubre 2006).

El almidón ha ocupado lugares cada vez más importantes en la industria química y farmacéutica. Para estos fines en muchos casos ha sido necesario modificar algunas de sus propiedades por vías químicas, físicas microbiológicas o por una combinación de ellas, con el objetivo de superar algunas de las limitaciones que posee. De este modo se obtienen compuestos de mayor utilidad en diferentes campos de la industria química, farmacéutica, alimentaria, entre otras (Durán E, 1986).

La producción de almidón a escala industrial utiliza como materia prima, fundamental el maíz y algunos tubérculos. Sin embargo, nuestro país y principalmente la provincia de Cienfuegos pretende cubrir la demanda de la producción de almidón a partir de otros cereales alternativos como el sorgo debido a sus propiedades y fácil obtención.

### **1.2.2 Maíz. Características Generales.**

El maíz (*Zea mays*) es un alimento muy importante en toda América y gran parte de África. Se cultivó por primera vez en el continente americano y fue un alimento importante entre las grandes civilizaciones azteca y maya, mucho antes de la llegada de Colón y los colonizadores. Las semillas fueron llevadas a Europa y más tarde a África, donde en estos momentos es la principal fuente de la dieta en muchas áreas. El maíz es popular debido a que tiene un alto rendimiento por

unidad de superficie, crece en áreas cálidas y moderadamente secas. Actualmente Estados Unidos es el más grande productor de maíz, pero gran parte de su cosecha es utilizada para la alimentación doméstica de animales (Araya, Julio.1996)

Las numerosas variedades de maíz presentan características muy diversas: unas maduran en dos meses, mientras que otras necesitan hasta once. El follaje varía entre el verde claro y el oscuro, y puede verse modificado por pigmentos de color marrón, rojo o púrpura. La longitud de la mazorca madura oscila entre 7,5 cm y hasta 50 cm, con un número de filas de granos que puede ir desde 8 hasta 36 o más. En el maíz de harina predomina el almidón blando o menos compacto, que facilita la molienda del grano. Se cultiva mucho en los Andes sudamericanos, en los territorios que ocupaba el antiguo Imperio Inca (Araya, Julio.1996).

Existen varios tipos de maíz entre los cuales se encuentran:

**Maíz Tunicado (Zeamays túnicaSturt):** Es un tipo escaso de maíz, cuyos granos están encerrados en una vaina. La mazorca está cubierta por una envoltura foliar como las de otros tipo de maíz. Normalmente no se cultiva en forma comercial.

**Maíz Reventón (Zeamays severataSturt):** Los granos son pequeños, redondeados, amarillo intenso o anaranjado, o aguzados y blanquecinos. Este maíz es una forma extrema del maíz duro, cuyo endospermo sólo contiene una pequeña parte de almidón blando.

**Maíz Cristalino (Zea may zindurataSturt)** Sus granos son córneos y duros, vítreos de forma redondeada o puntuda. El color del grano es amarillento o anaranjado y su velocidad de secado comparativamente más lenta

**Maíz Dentado (Zeamays indenataSturt):** Es el tipo más extensamente cultivado. Se caracteriza por una depresión en la corona del grano. El almidón corneo está acumulado en la periferia del grano, mientras que el blanco o harinoso llega hasta la corona, produciendo el indentado a la madurez.

**Maíz amiláceo (Zeamays amilácea Sturt):** Maíz harinoso o amiláceo, algo parecido al maíz cristalino en las características de las planta y de la mazorca. Los granos están constituidos principalmente por almidón blando y son escasamente o no dentados. Es uno de los tipos más antiguos de maíz. Es usado en la fabricación de harinas porque le confiere un color más blanco

### **1.3 Tratamiento del grano de maíz**

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

---

Para prevenir el ataque de insectos y hongos en los granos almacenados, deben ser tratados con un insecticida o protectores de granos. Estos protectores son insecticidas que cuando se aplican a los granos previenen el inicio de las infestaciones; sin embargo, no son adecuados para controlar infestaciones fuertes en el producto en el momento del tratamiento. En estos casos, los granos deben ser tratados con fumigantes (Jamieson, M. & Hubber, P. 1970).

Solamente aquellos insecticidas que han sido específicamente aprobados como protectores de los granos pueden aplicarse con seguridad. Para que un insecticida sea considerado un protector de granos debe presentar varias características: ser efectivo contra una amplia variedad de plagas a dosis económicas; ser de uso seguro y no dejar residuos peligrosos; no ser tóxico al grano y a los consumidores del grano, sin afectar la calidad, el gusto o el olor del mismo; ser aceptable en el comercio internacional, o sea no ser explosivo ni corrosivo (Jamieson, M. & Hubber, P. 1970)

En el maíz, especialmente en el germen, están presentes aceites, proteínas solubles, azúcares, sales minerales, enzimas. Esta composición de la sustancia favorece los procesos biológicos y bioquímicos. La actividad de estos procesos depende de la madurez del maíz, de la humedad y temperatura del almacenamiento y de los microorganismos presentes en él (Peter Zajac, 1989).

De todos los factores que influyen en la calidad del maíz durante su almacenamiento los más importantes son la humedad y temperatura (Peter Zajac, 1989). Cuando la humedad del grano se encuentra entre 45 y 60% puede tener lugar el proceso de germinación. Por debajo de 45% y entre 18 y 20%, la respiración de los granos y de los microorganismos es extremadamente alta y el calentamiento puede alcanzar temperaturas lo suficientemente elevadas como matar el germen

Cuando la humedad del grano se encuentra entre 14 y 20%, pueden crecer mohos y la infección es más severa en granos rajados. Los granos con menos de 10% de humedad no proporcionan un ambiente favorable para la reproducción y el desarrollo de los insectos de los granos almacenados (Peter Zajac, 1989).

La semilla y el grano de maíz deben ser llevados a un nivel de contenido de humedad que garantice un almacenamiento seguro. Esto puede ser hecho por los agricultores en sus propias fincas usando procesos de secados tradicionales, rústicos, más o menos económicos, o puede ser hecho con la ayuda de secadores mecánicos, con un mayor costo, pero con la posibilidad de obtener un producto de mejor calidad (Peter Zajac, 1989).

### 1.3.1 Sorgo. Características Generales.

El sorgo es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, después del trigo, el arroz, el maíz y la avena. Los principales lugares de producción de sorgo se encuentran en las regiones áridas y semiáridas de los trópicos y subtrópicos. El origen de este cultivo ha sido discutido a través de los años, ya que se plantea que procede del noreste de África, en la región ocupada por Etiopía, aunque se ubicó inicialmente en la India. Se introdujo en América en el siglo XVIII. Se considera que muchas especies distintas se cultivan de forma esporádica en países de América, y que los sorgos actuales son híbridos de esas introducciones o de mutantes que han aparecido (Duke, 1983).

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es uno de los cereales que por sus características agronómicas y nutricionales pudiera aportar grandes beneficios en la alimentación, tanto humana como animal, a nivel mundial, tropical y nacional.

Este cultivo se adapta bien a las condiciones de Cuba, el cual mostró un incipiente desarrollo que desapareció de forma paralela a la desintegración del CAME (Consejo de Ayuda Mutua Económica). Hoy no existe una amplia tradición y experiencia en cuanto a su producción; sin embargo, diferentes ensayos indican que los rendimientos son satisfactorios y que pudieran incrementarse si se contara con tecnologías apropiadas y sustentables que permitieran expresar todo su potencial (Duke, 1983).

Se conoce con varios nombres: mijo grande y maíz de guinea en África occidental, kafir en África austral, duro en el Sudán, iowar en la India y kaoliang en China (Duke, 1983). Es de gran importancia a escala mundial, pues está comprobado que puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de los usos de estos, tanto en la alimentación humana como en la producción de forraje o grano para la ceba de animales, y también en la industria.

Sus características de adaptabilidad en las condiciones climáticas de Cuba fueron estudiadas. Se plantea que este cultivo ofrece perspectivas favorables en relación con otros granos, debido a que tiene menos requerimientos agrotécnicos, en general, y presenta una mayor plasticidad respecto a la época de siembra y el tipo de suelo, además puede constituir una alternativa viable y factible en la reducción de importaciones. (Machado y Menéndez 1979).

El sorgo no solo se utiliza en la alimentación de los animales, sino también para fines industriales; en este aspecto tiene los mismos usos que el maíz. Se destaca en la producción de

almidón, dextrosa, miel de dextrosa, aceites comestibles y bebidas; en la elaboración de cervezas, bebidas locales y materias colorantes, cosméticos, papel, productos farmacéuticos, confituras, mezcla en café y cárnicos, entre otras (Saucedo, 2008). Constituye una alternativa viable y factible, dada la necesidad de reducir importaciones.

### 1.3.2 Tratamiento para el grano de sorgo

Las malezas son plantas indeseables que crecen como organismo macroscópico junto a las plantas cultivadas, a las cuales les interfieren su normal desarrollo. Son una de las principales causas de la disminución del rendimiento de diferentes cultivos, debido a que compiten por la luz solar, los nutrientes y el dióxido de carbono (Rodríguez, 2000).

Como las plántulas de sorgo son débiles y crecen lentamente durante las primeras semanas posteriores a la germinación, el efecto de la competencia con las malezas en las primeras 3 ó 4 semanas después de la emergencia puede ser devastador. Es el período en que debe mantenerse limpio el cultivo. El combate de malezas en el sorgo puede hacerse en forma mecánica o química, pero esta última es la más eficiente y oportuna para mantener una siembra limpia y a bajo costo. Si se hace en forma mecánica, son suficientes dos deshierbes con implementos manuales o cultivadoras para eliminar las malezas (Rodríguez, 2000).

Los métodos químicos de control en los barrenadores del tallo son poco efectivos, por lo que para disminuir su incidencia se recomiendan algunas de las prácticas culturales mencionadas anteriormente; una de las más usadas es la rotación de cultivos. De ser necesario pueden controlarse a través del método químico (Rodríguez, 2000).

Los sorgos sufren el ataque de enfermedades que perjudican su producción de grano y forraje, lo que además deteriora su valor nutritivo. Estas enfermedades varían en importancia, en cada área y de año en año, debido a diferentes condiciones ambientales, híbridos, prácticas culturales, variación en los organismos causales o a la interacción de cualquiera de estos factores. La siembra de las variedades resistentes es la mejor medida de combate contra las enfermedades fungosas y bacterianas que atacan el sorgo, por lo que el combate con fungicidas no se utiliza en este cultivo (Rodríguez, 2000).

El grano de sorgo se puede almacenar con 11-13% de humedad, pero si la aereación es apropiada resulta seguro hacerlo con un contenido mayor (alrededor del 15%). Para lograr un adecuado

almacenamiento de los granos se requieren depósitos bien contruidos. Es esencial una estructura hermética para preservar el grano de la humedad, los roedores y los insectos (Rodríguez, 2000).

El ambiente ideal es de 8 a 12°C y una humedad relativa entre 50 y 60%. Las bodegas deben fumigarse por lo menos una vez cada 15 días, con un producto residual como malatión o sus equivalentes, siguiendo la recomendación de la casa comercial, sobre residualidad, para su posterior uso como alimento; si se trata de grano destinado a semilla, se le debe aplicar además un fumigante como el fosforo de aluminio (Phostoxin) o un equivalente (Rodríguez, 2000).

### **1.4 Proceso de molienda húmeda para la obtención de almidones**

El proceso de la molienda húmeda permite separar en un medio acuoso los distintos componentes del grano, estos son carbohidratos, proteínas y lípidos. Para ello, antes de ingresar al molino, se somete al grano de maíz a un proceso de maceración con agua sulfurosa que facilita, la separación de los cuatro componentes básicos: almidón; aceite de maíz (germen); gluten para consumo y gluten ingrediente (Álvarez, A. (2006).

En este proceso se utilizan todos los tipos de maíz, pero debido a su mayor disponibilidad, en los últimos años se emplean exclusivamente maíces dentados y sedimentados. (Starchesby David J. Thomas and William A. Atwell, 1999).

#### **1.4.1 Maceración. Generalidades.**

La maceración es un proceso sólido- líquido, donde la materia prima posee una serie de compuestos solubles. Este proceso consiste en sumergir el producto en un líquido y dejarlo una determinada cantidad de tiempo, para transmitirle a la misma característica del producto (Fernaroli 's, 1975).

Existen varios tipos de maceración de los cuales se encuentra:

**Maceración en frío:** La maceración en frío consiste en sumergir el producto a macerar en un recipiente con la menor cantidad de líquido posible, sólo lo suficiente como para cubrir totalmente lo que se desea macerar. Esto se hace por un lapso más o menos largo, dependiendo de lo que se vaya a macerar. La ventaja de la maceración en frío consiste en que de usarse solo agua se logran extraer todas la propiedades de lo que se macera, es decir, toda su esencia sin alterarla en lo más mínimo (Fernaroli 's, 1975).

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

---

**Maceración en calor:** El proceso a ejecutar en este tipo de maceración es el mismo que en la maceración en frío, sólo que en este caso puede variar el medio por el cual se logra la maceración. El tiempo que se desea macerar varía mucho de la maceración en frío ya que al utilizar calor se acelera el proceso tomando como referencia que 3 meses de maceración en frío, es igual a 2 semanas en maceración con calor, esto es en el caso de las plantas y hierbas medicinales. La desventaja de la maceración en calor es que no logra extraer totalmente puro la esencia del producto a macerar ya que siempre quema o destruye alguna pequeña parte de estas, es decir, muchas veces se trata de compuestos termolábiles. Muchas veces, para acortar más los tiempos de extracción y que las sustancias pasen el menor tiempo posible a elevadas temperaturas, se hacen extracciones con corriente de vapor (Fernaroli 's, 1975).

**Maceración carbónica:** es utilizada generalmente para la maceración de uvas para la producción de vinos. Este tipo de proceso es espontáneo de la fruta guardada en sitios cerrados, se puede decir que se reinventó como proceso de vinificación en los años 30 como resultado de una casualidad. Durante el transporte de la uva desde los lugares de recolección hasta el prensado.

Actualmente en Cuba y específicamente en la UEB Glucosa Cienfuegos el proceso de maceración se realiza empleando azufre sólido como materia prima fundamental en la obtención de agua sulfurosa. (Acuña Verrugio, 2010). Para la maceración, se sumerge el cereal en el agua con un 0,1 – 0,2 % de dióxido de azufre, la temperatura es controlada alrededor de los 48 – 52 °C, este proceso varía de 30 a 50 horas. A causa de esto el maíz alcanza un 45 % de humedad, por lo que se ablanda suficientemente (se puede detectar tocándolo). Durante el proceso se solubiliza el 6 % del maíz. (Acuña Verrugio, 2010).

Durante la maceración el nivel de dióxido de azufre disminuye a medida que van reaccionando más iones hidrogeno sulfitos con la proteína. Aunque el dióxido de azufre frena el desarrollo de algunos organismos, no detiene algunos lacto bacilos. La maceración a 45 – 55 °C favorece la producción de organismos lácticos y las temperaturas más bajas conducen a la producción de ácido butírico. El propio maíz parece ser la fuente de los microorganismos. El papel del ácido láctico producido en la maceración, no está claro. Parece que solamente tiene un mínimo efecto en el ablandamiento del grano de maíz. Quizás su principal efecto sea el de bajar el pH y de detener el crecimiento de otros organismos (Acuña Verrugio, 2010).

Después de la maceración, el líquido contiene unos 60 g de sólidos totales por litro. Generalmente, se concentra hasta un 55 % de sólidos para obtener un jarabe espeso llamado corrientemente licor de maíz o “cornsteep” y se mezcla con la cáscara (o más correctamente el salvado) y/o el germen agotado, para destinarlo a la alimentación animal (Acuña Verrugio, 2010).

Los sólidos del líquido de maceración, también forman parte de medios de crecimiento, para la producción de ciertos microorganismos de interés. Los sólidos desecados contienen un 35 % de nitrógeno proteico, 26 % de ácido láctico, 18 % de cenizas y 7 % de ácido fítico, además contienen niveles razonables de vitamina B (Acuña Verrugio, 2010).

El principal interés del cornsteep se refiere a su composición específica debido a la transferencia y transformación por fermentación láctica de estas materias solubles. Esta composición contiene factores favorables al crecimiento de los microorganismos, y hacen del cornsteep una fuente ideal de materias nutritivas, en especial en las industrias de fermentación (Roquette, 2003).

El desempeño del proceso de obtención de agua sulfurosa depende de la eficiencia de generación del  $\text{SO}_2$  y de la mezcla de este gas con el agua. Para lograr una mayor concentración del gas, la mezcla debe ser rápida, completa y uniforme. Cuando se hace en exceso o mal homogenizado, el  $\text{SO}_2$  se pierde en la atmósfera causando problemas ambientales, corrosivos y consumos innecesarios de azufre.

La mayoría de los sistemas de sulfitación existentes utilizan equipos del tipo columna para dispersar el  $\text{SO}_2$  en el agua. Las columnas además de ser grandes exigiendo inversiones elevadas para su instalación y mantenimiento, son poco flexibles a las variaciones de flujo y requieren un sistema complementario que permite la circulación de gas.

### **1.4.2 Utilización del azufre en la maceración**

El azufre se presenta en los 3 estados (sólido, líquido y gaseoso), tiene formas alotrópicas, sus estructuras cristalinas más comunes son el prisma monoclinico (azufre  $\beta$ ) y el octaedro ortorrómbico (azufre  $\alpha$ ). A temperatura ambiente, la transformación del azufre monoclinico en ortorrómbico, es más estable y muy lenta (Hepler, Loren G. 1965).

Al fundirlo, se obtiene un líquido que fluye fácilmente formado por moléculas  $\text{S}_8$ . Sin embargo, si solo se calienta, pasa del color amarillo a un color marrón rojizo, incrementando su viscosidad. Esta estructura está constituida por moléculas  $\text{S}_8$ , pero con estructura de hélice espiral. En estado

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

de vapor normalmente a 780 °C también se forman moléculas S<sub>8</sub>; a temperaturas mayores cercanas a los 1800 °C la disociación es completa y se encuentran átomos de azufre (Hepler, Loren G. 1965).

Se le encuentra en trozos, barras o polvos; el polvo muy fino se denomina "flor de azufre" que puede obtenerse por precipitación en medio líquido o por sublimación de su vapor sobre una placa metálica fría (Hepler, Loren G. 1965).

Los óxidos más importantes son el dióxido de azufre, SO<sub>2</sub> (formado por la combustión del azufre) que en agua forma una solución de ácido sulfuroso, y el trióxido de azufre, SO<sub>3</sub>, que en solución forma el ácido sulfúrico, los sulfitos y sulfatos son sus sales respectivas (Hepler, Loren G. 1965).

El dióxido de azufre tiene propiedades desinfectantes, por ello durante siglos fue utilizado en la desinfección de las cubas de vino quemando azufre en su interior. También se utiliza en la industria alimenticia como conservante y antioxidante (E220) (Hepler, Loren G. 1965).

En estos momentos el principal uso del azufre en Cuba, es en la obtención del agua sulfurosa en procesos de maceración, conteniendo entre 600 y 2000 ppm de SO<sub>2</sub> (g) (dióxido de azufre) con las especificaciones resumidas en la tabla 1.1:

**Tabla 1.1: Especificaciones de la calidad del azufre**

<b>Pureza (%)</b>	<b>99.9</b>
<b>% de acidez (ácido sulfúrico):</b>	<b>0.0025</b>
<b>% volátil (105°C)</b>	<b>0,015</b>
<b>% de cloruros</b>	<b>0,0001</b>
<b>% de materia orgánica</b>	<b>0,0253</b>
<b>% de cenizas</b>	<b>0,0640</b>
<b>Granulometría ( %)</b>	<b>40</b>
<b>&gt; 10</b>	<b>12.8</b>

> 10 < 18	19.1
> 18 < 30	26.2
> 30 < 140	1.9
< 140	26.2
	1.9

El dióxido de azufre se utiliza por dos razones: en primer lugar para ayudar a detener el crecimiento de organismos de putrefacción. En segundo lugar porque el ion hidrogeno sulfito reacciona con los enlaces disulfuro en la matriz proteica del maíz y reduce el peso molecular de las proteínas, haciéndolas más hidrófilas. El resultado de esto es que el almidón es liberado con mayor facilidad y el rendimiento es superior.

#### 1.4.2.1 Impactos provocados por el uso del Azufre en el proceso de maceración

El escape de SO<sub>2</sub> (g) no disuelto sale como gases de escape a la atmósfera provocando diversos impactos ambientales que a continuación relacionamos (López Arriaga, 2003).

- Emisiones SO<sub>2</sub> a la atmósfera reacciona con la humedad del ambiente y forma aerosoles de ácido sulfúrico y sulfuroso que luego forman parte de la llamada lluvia ácida.
- La exposición a los ácidos derivados del SO<sub>2</sub>, es de extremo riesgo para la salud debido a que éstos ingresan directamente al sistema circulatorio humano a través de las vías respiratorias.
- El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico. Afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos. Si bien éste es absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. La concentración máxima permitida en los lugares de trabajo es de 2 ppm, valor letal 100 ppm (262 mg/m<sup>3</sup>), Umbral de olor 0,5 ppm (1 mg/m<sup>3</sup>) (es detectado por el olfato humano).

Precisamente, por todos los impactos negativos que provoca la utilización del azufre, se hace necesario buscar nuevas alternativas para los procesos de maceración.

### 1.4.2.2 Nuevas tendencias en procesos de maceración

Las nuevas tendencias en los procesos de maceración son variadas una de ellas es el mejoramiento en el licor de maceración donde los factores por los que se juzga la calidad, son un bajo contenido de azúcares reductores, un elevado contenido de ácido láctico y un color pardo claro. La presencia de elevados niveles de azúcares reductores en el agua de maceración da lugar a la formación de compuestos tóxicos durante la evaporación, esterilización del agua de maceración, reduciendo con ello el rendimiento.

Se describe un procedimiento para producir un líquido de maceración que se dice facilita la fermentación láctica a un máximo y proporciona un producto que tiene una concentración elevada de materia seca, una ausencia casi total de azúcares reductores, una composición extremadamente regular y un contenido muy bajo de lisina libre. El procedimiento descrito para alcanzar estos objetivos comprende poner en contacto granos de cereal colocados en silos dispuestos en serie con un agua de maceración que contiene aproximadamente 0,75 a 3 gramos de dióxido de azufre por litro, agua que se introduce sucesivamente en cada uno de los silos en serie, de manera que el agua atraviesa los silos uno después de otro, teniendo el volumen de agua de maceración en metros cúbicos introducidos por tonelada de maíz comercial una relación cíclica. La temperatura del agua de maceración se mantiene de manera que la temperatura disminuye progresivamente de silo a silo, a medida que el agua pasa a través de los silos de uno al siguiente, desde a lo sumo aproximadamente 58 °C en el silo de entrada a aproximadamente 32 °C en la salida del silo a partir del cual se recupera el agua de maceración.

Otra tendencia en la extracción de almidón, es la maceración de cereal molido en una mezcla de hidróxido de amonio y agua, durante un período de tiempo entre 45 minutos y 20 horas en el que la mezcla tiene un nivel de pH entre aproximadamente 11,3 y 11,4. Este método ofrece la ventaja de la extracción de almidón con mayores rendimientos en menos tiempo.

Otras de las tendencias es la sustitución del azufre sólido por el Greensulf, la cual se puso en práctica en nuestro país por la Industria Azucarera y ahora es motivo de estudio para otras industrias.

### 1.5 Greensulf

El Greensulf es un producto especialmente desarrollado y patentado para el proceso de sulfitación evitando contaminación, gastos de instalación y riesgos. Es una fuente de SO<sub>2</sub> en frío, segura y de fácil aplicación, sustituyendo el proceso de quema de azufre elemental o tanques de dióxido de azufre (Velázquez Torres, 2014).

Este producto es un polvo amorfo de color blanco, olor característico, soluble en agua, olor irritante y no produce espuma. Se almacena en lugares secos, ventilados, lejos del calor, la luz directa y agentes oxidantes. No requiere permisos engorrosos de los ministerios de defensa o seguridad pública para su adquisición, almacenamiento y transporte. Durante su manipulación se prohíbe fumar, comer o beber, siendo catalogado como un producto irritante (Velázquez Torres, 2014).

Actualmente se usa en varios centrales de Centro América, el Caribe y América del Sur:

Ingenio Magdalena (Guatemala)

Ingenio El Pilar (Guatemala)

Ingenio Madre Tierra (Guatemala)

Ingenio Taboga (Costa Rica)

Ingenio CoopeAgri (Costa Rica), entre otros (Velázquez Torres, 2014).

#### 1.5.1 Ventajas del empleo del Greensulf

Las ventajas del empleo del Greensulf en la obtención del agua sulfurosa son varias por ejemplo:

- Elimina el uso de azufre, por lo que no es necesario el proceso de combustión.
- Reduce el consumo de energía eléctrica.
- El procedimiento es más seguro para el personal
- El producto final posee una mayor calidad.
- No libera gases a la atmósfera, por tanto no contamina el medio ambiente
- Los equipos están libres de corrosión
- Simplifica las operaciones en el proceso
- Es más económico en el mantenimiento y reposición.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

---

Durante años la materia prima principal para lograr el proceso de sulfitación en la industria Azucarera es el azufre sólido, pero hoy existen dos centrales en Cuba donde se emplea el Greensulf en la obtención de azúcar blanco directo para garantizar una producción estable con la adecuada tecnología implementada (Alavés Bolaños & Cardona, 2012).

### **Conclusiones Parciales**

1. El almidón se erige como componente significativo de los cereales, variando su cantidad según el tipo de cereal, clima donde se desarrolla y características botánicas del grano.
2. La producción mundial de almidón está concentrada en granos como el maíz, trigo, cebada pero en los últimos años hay un incremento en la producción desde fuentes alternativas como el sorgo.
3. En el proceso de molienda húmeda para la obtención de almidón la utilización del azufre en la maceración provoca impactos potenciales al medio ambiente y a la salud de los trabajadores.
4. Entre las nuevas tendencias para los procesos de maceración, se encuentra la utilización del óxido de azufre soluble que será objeto de estudio de este trabajo.

*Capitula* II





### CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Caracterización de la Empresa Glucosa Cienfuegos

La UEB Glucosa Cienfuegos es parte integrante de la Empresa Labiofam Cienfuegos, perteneciendo al Grupo Empresarial Labiofam, subordinada al Ministerio de la Agricultura se encuentra situada en la Zona Industrial # 2 del Reparto Pueblo Griffó, en la provincia de Cienfuegos, exactamente en la periferia noreste de la ciudad cabecera. Limita al norte con la Empresa DIVEP, al este con la Fábrica de hielo, Almacenes de Productos Frescos y con la Línea de Ron HRL, por el oeste con la Carpintería en Blanco y el Taller de Ómnibus Escolares y al sur con el asentamiento poblacional de Pueblo Griffó (ALFA-LAVAL, 1980).

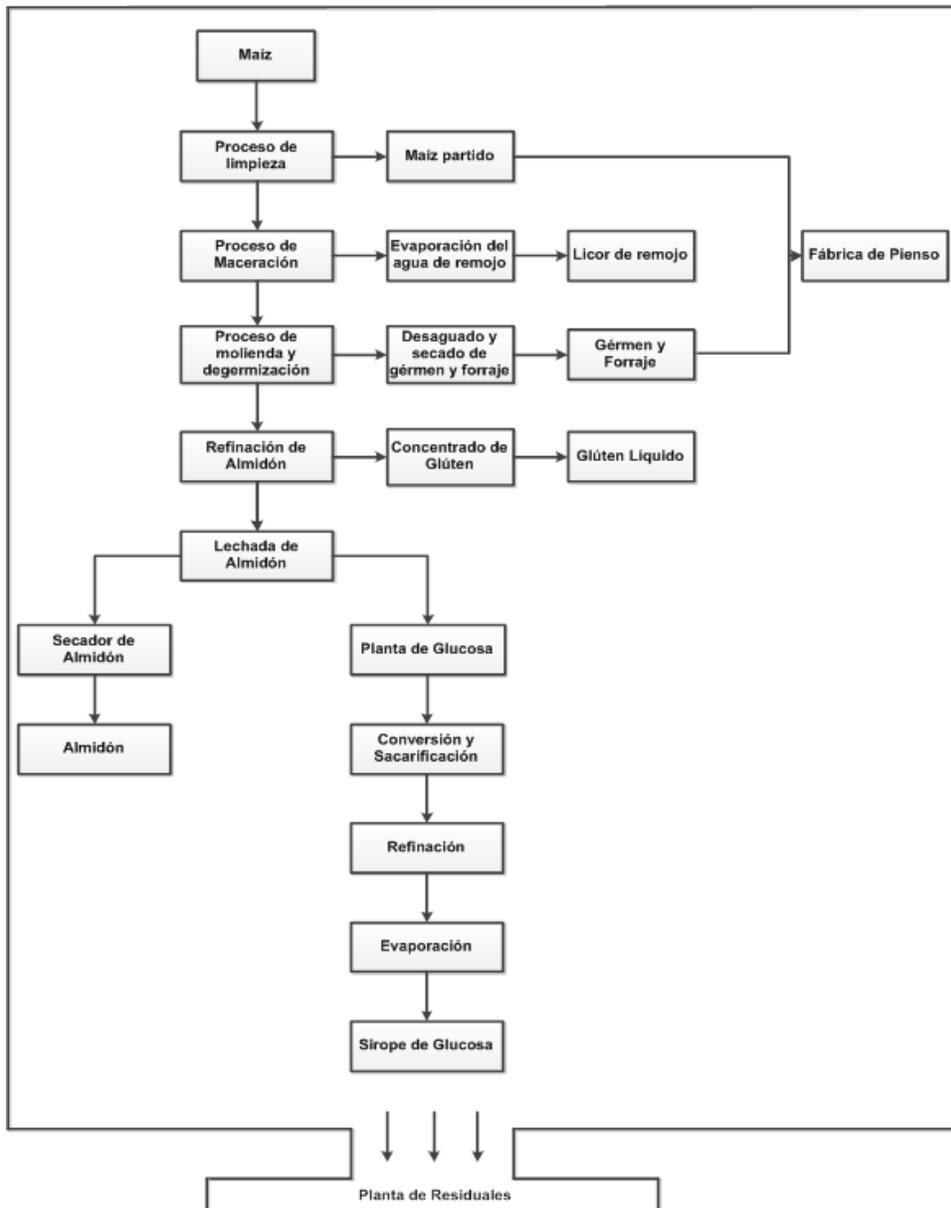
Esta empresa se puso en marcha en 1981, luego de un periodo inversionista que duró 6 años, con una tecnología perteneciente al área capitalista, fundamentalmente a la firma Alfa Laval de procedencia sueca y a la DDS Kroyer de Dinamarca.

La misma se construyó con el objetivo de producir diariamente 90 toneladas de sirope de glucosa, 9 toneladas de gluten, 7 toneladas de germen, 19 toneladas de licor de remojo y 21,5 toneladas de forraje, cifras que nunca se han podido alcanzar debido a la falta de un suministro estable del maíz que es su materia prima fundamental, a la falta de piezas de repuestos y de un mantenimiento adecuado por lo que actualmente después de más de 30 años de explotación cuenta con una capacidad instalada de un 50 % con respecto a la de diseño (ALFA-LAVAL, 1980).

El proceso tecnológico de la Empresa Glucosa Cienfuegos se encuentra dividido en tres Plantas: la Planta de producción de almidón, la Planta de producción de sirope de glucosa y la Planta de mezclas secas. Además de contar con un sistema de facilidades auxiliares comunes a todas las plantas como son: el sistema de generación de vapor, que dispone de dos calderas (por diseño pero en la actualidad se encuentra una sola caldera en funcionamiento) de tubos de fuego con una capacidad de 8 y 12 toneladas de vapor por hora respectivamente. El abasto de agua potable se realiza mediante un complejo de cisternas con una capacidad de almacenamiento de 4500 m<sup>3</sup> y un tanque elevado desde el cual por gravedad se abastece la industria. Así como una planta de tratamiento de residuales, donde se procesan los residuales líquidos generados en el proceso

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

industrial más los albañales. A continuación en la figura 2.1 se muestra el diagrama de flujo de toda la planta de Glucosa.



**Figura 2.1: Proceso tecnológico de la Fábrica de Almidón y Glucosa. UEB Glucosa Cienfuegos.**



### 2.1.1 Características de las materias primas usadas en el proceso de maceración.

#### Maíz

En la actualidad en la UEB Glucosa Cienfuegos se reciben dos tipos de maíz (el Maíz Yellow II y el Plata), para su empleo en la extracción de almidón por molienda húmeda. Estos deben pasar por un proceso de limpieza donde el grano sano, seco y libre de las impurezas es utilizado en el proceso de maceración, cumpliendo además con algunas especificaciones de calidad que se describen a continuación en la Tabla 2.1:

**Tabla 2.1 Especificaciones de calidad del maíz**

Índice	Maíz Yellow	Maíz Plata
Humedad (%)	15,0 máximo	15,0 máximo
Almidón (%)	70,0 mínimo	68,0 mínimo
Acidez (%)	35,0 máximo	35,0 máximo

Fuente: Proceso Tecnológico Planta de Almidón. UEB Glucosa. Cienfuegos (NEIAL2306.19, 1999), Industria Confitera.

- Sorgo

El sorgo empleado en el estudio para determinar la factibilidad del proceso de maceración es el sorgo rojo variedad CIAPR 132 con fecha de recolección 8/04/2014. Los parámetros establecidos para el uso industrial del sorgo se encuentran en la tabla 2.2 que a continuación se muestra:

**Tabla 2.2: Especificaciones de la calidad del sorgo**

Categoría	Humedad (%)	Impurezas (%)	Contenido de almidón (%)	Color y olor
1	14.0 máximo	1.0 máximo	70.5 máximo	Normal
2	14.0 máximo	1.0 máximo	67.5 máximo	Normal



<b>3</b>	<b>14.0 máximo</b>	<b>1.0 máximo</b>	<b>64.5 máximo</b>	<b>Normal</b>
----------	--------------------	-------------------	--------------------	---------------

**Fuente:** Norma de calidad del sorgo para uso industrial. Consejería Agrícola de la Embajada de Argentina en la R. P. China

## **2.2 Características del proceso de obtención del agua sulfurosa**

### **2.2.1 Proceso de obtención de agua sulfurosa**

La Sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz tiene tres procesos asociados, de ellos dos principales y uno auxiliar (Planta de Obtención de dióxido de azufre) en la Figura 2.2 se muestra el diagrama de flujo de esta etapa, así como las corrientes de entrada y salida. Se debe señalar que el mismo se realizó con las etapas que hoy están funcionando en la fábrica (ALFA-LAVAL, 1980).

Esta planta tiene como objetivo lograr diferentes concentraciones de agua sulfurosa para su utilización en las secciones de: remojo, pre molienda y lavado de fibras.

Por medio de un quemador rotatorio es procesado el azufre en forma de granos o polvo para la obtención de SO<sub>2</sub> (g), el cual circula a través de las torres de absorción por efecto de la aspiración producida por un sistema de ventilador de alta presión y un eyector de aire, este último mantiene el sistema a baja presión.

La planta consta actualmente con dos torres de absorción enumeradas 006-03 y 006-05, se debe señalar que la numeración 006-03 corresponde a la Torre # 1 y la numeración 006-05 corresponde a la Torre # 2. Ambas conectadas en serie de las cuales se extrae agua sulfurosa con dos concentraciones diferentes; la Torre # 1 de 1 500 - 2 000 ppm y la Torre # 2 de 600 - 1 000 ppm, siendo depositadas cada una de estas corrientes en las cubas enumeradas 006-06 (# 1) y 006-08 (# 2) de las cuales hay en uso una sola (ALFA-LAVAL, 1980).

A la tubería de salida del quemador, va conectado un sistema de enfriamiento exterior por película de agua fresca descendente con el fin de hacer precipitar los arrastres de azufre sólido presente en el gas, así como mantener la temperatura de entrada a la torre de 95 °C.

El gas penetra por el fondo de la Torre # 1 y es absorbido por el agua de recirculación procedente de la cuba # 1 que penetra por la parte superior de la torre, por el fondo de esta es extraída el agua sulfurada de mayor concentración, la cual será utilizada en la sección de remojo.

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

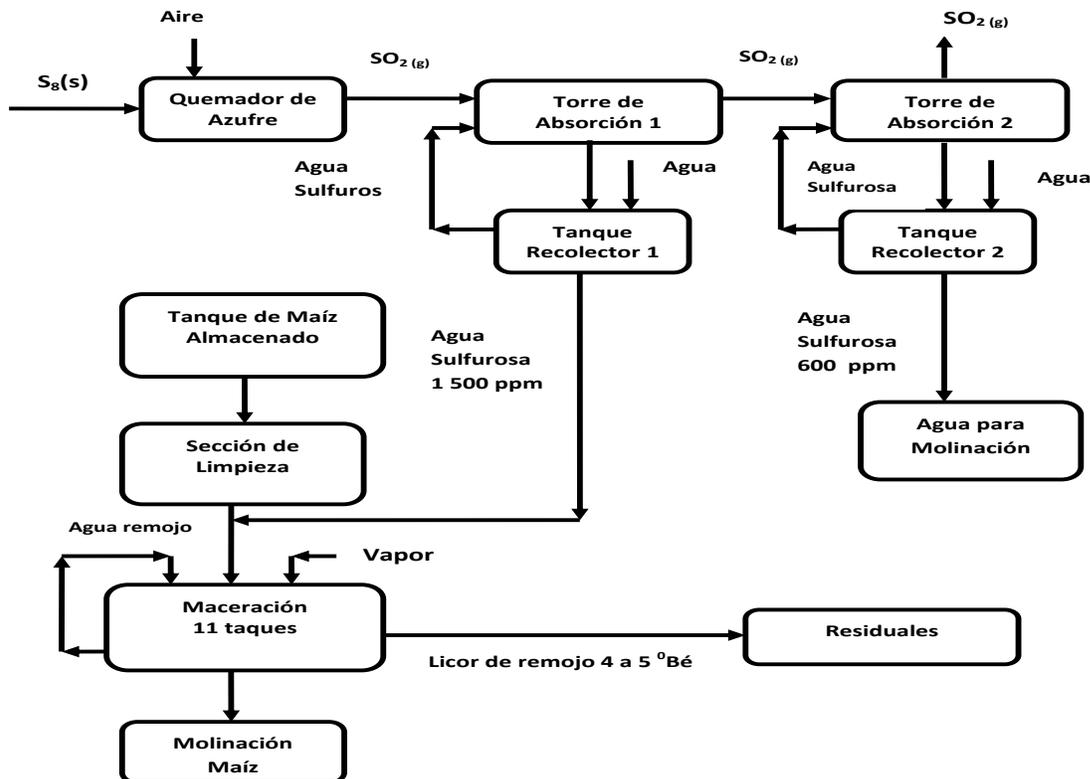
El gas no absorbido en la Torre # 1, sale de esta por la parte superior y penetra en la torre # 2 en su parte inferior, el proceso de absorción en esta torre es el mismo que en la torre anterior, pero el agua se recircula desde la cuba # 2, el agua de dicha cuba es utilizada en la sección de pre molienda y lavado de fibra.

La corriente única de gas circula por cada una de las torres, al mismo tiempo existen dos corrientes de agua sulfurosa, una para cada torre (ALFA-LAVAL, 1980).

El gas que sale de la Torre # 2 es expulsado a la atmósfera por efecto del ventilador de alta presión y el eyector de aire a través de una chimenea.

A la cuba # 1 le llega agua del tanque de proceso # 1, siendo esta agua la de más alta contaminación, a la cuba # 2 le llega agua del proceso # 3, siendo esta agua la de menor grado de contaminación.

La alimentación de agua de proceso a las cubas # 1 y # 2 es controlada y regulada por sistema de flotante; además las cubas poseen un sistema de rebozo a fin de mantener el nivel dentro de dicho tanque (ALFA-LAVAL, 1980).



**Figura 2.2: Diagrama de Flujo de la Sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz, UEB Glucosa Cienfuegos. Fuente: (Chou Rodríguez, 2012).**

### 2.2.1.1 Especificaciones de calidad del agua sulfurosa.

En la Tabla 2.3 se resumen las características de calidad del agua sulfurosa obtenida por las torres de absorción:

**Tabla 2.3: Características del agua sulfurosa.**

Equipo	Agua Sulfurosa		pH
	SO <sub>2</sub> (disuelto) Mínimo ppm	SO <sub>2</sub> (disuelto) Máximo ppm	
Torre # 1	1 500	2 000	2,5
Torre # 2	600	1 000	3,5

Fuente: Proceso Tecnológico Planta de Almidón. UEB Glucosa. Cienfuegos (NEIAL2306.19, 1999), Industria Confitera.

### 2.3 Descripción del procedimiento para el estudio del Greensulf como sustituto del Azufre Sólido en la maceración de cereales.

A continuación se explica de manera detallada los pasos a seguir en el procedimiento diseñado en la presente investigación.

#### Paso 1: Diseño de experimento.

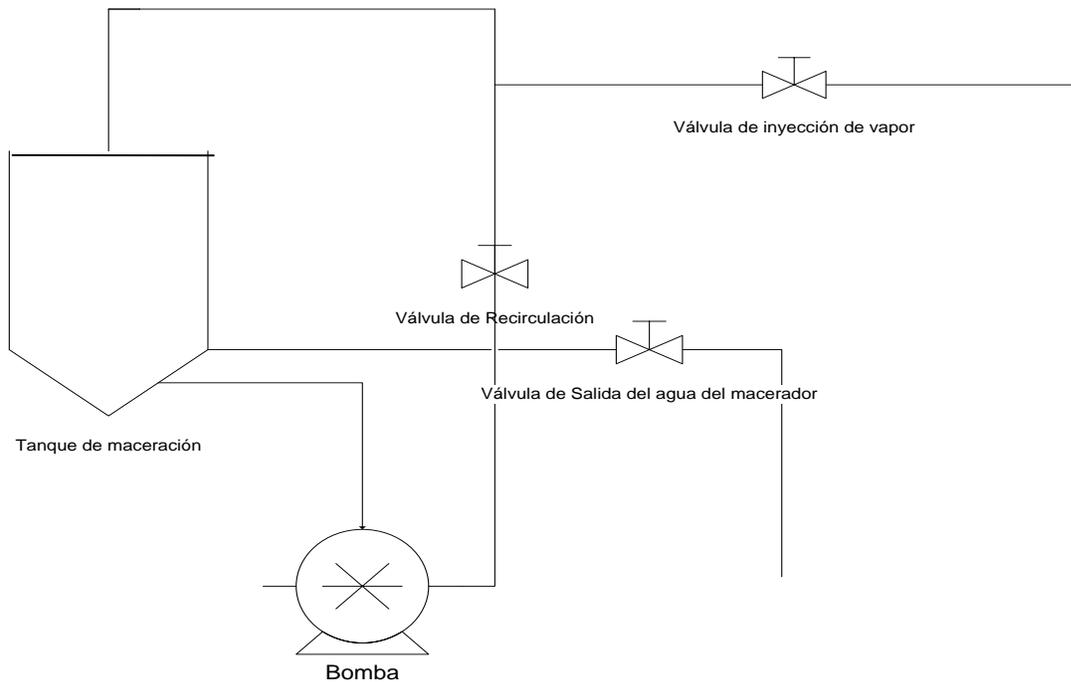
Para el estudio de la influencia de las variables en la maceración de maíz y sorgo a escala de planta piloto con el nuevo producto, se aplica un diseño experimental  $2^3+5$  factorial con la siguiente matriz experimental:

**Tabla 2.4: Matriz del diseño de experimento**

No. de Experimento	Concentración inicial de SO <sub>2</sub>	Temperatura.( °C)	t(h)
1	3000	49	60
2	1000	49	40
3	1000	55	60
4	3000	49	40
5	2000	52	50
6	2000	52	50
7	1000	55	40
8	3000	55	60
9	2000	52	50
10	2000	52	50
11	3000	55	40
12	2000	52	50
13	1000	49	60

**Paso 2: Desarrollo del diseño de experimento.**

Para el desarrollo del diseño de experimento se hace necesario instalar y limpiar el macerador, equipo que realiza la misma función que los maceradores a escala industrial, pero en este caso el equipo posee una capacidad de 10 L de agua /5 kg de cereal .En la confección del mismo se empleó una bomba recuperada, tres válvulas de vapor, cinco codos de media de acero inoxidable y un termómetro industrial de 0-100°C, donde los recursos restantes se encontraban en desuso. A continuación se muestra el esquema del equipo a utilizar:



**Figura 2.3: Esquema del macerador**

**Paso 3: Selección de variables y métodos de análisis cuantitativo, aplicables a los licores de remojo.**

Al agua de maceración obtenida de la combustión del azufre sólido en la UEB Glucosa Cienfuegos y a la obtenida empleando Greensulf se les medirá los parámetros resumidos en la tabla 2.4:

**Tabla 2.4: Parámetros a medir**

Materia	Azúcares	Concentración	ph
Soluble(°Brix)	Reductores	final de SO <sub>2</sub> (ppm)	

Los métodos de análisis cuantitativo, aplicables a estos licores de remojo son los siguientes:

**Concentración inicial y final de SO<sub>2</sub> en el licor de remojo:** Primeramente se enjuaga la probeta con el agua que va a muestrear, luego se miden 10ml del agua a determinar en la probeta, se echa la muestra en un Erlenmeyer y se completa hasta la marca de 50ml de agua corriente (libre de

SO<sub>2</sub>), seguidamente se añaden 16 gotas de indicador de almidón y se valora con la solución de yodo 0.03122N. Después de valorada la solución se prosigue con el cálculo.

Cálculo: ppm (SO<sub>2</sub>)= ml gastados ×100 × factor I<sub>2</sub>

**PH (Método potencio métrico):** Se toma 50 ml de la muestra de agua; teniendo el equipo ajustado con la soluciones buffer se seca el electrodo y se introduce en un beaker o erlenmeyer con la muestra y se efectúa la medición.

**Determinación de materias solubles (Brix), (Método refractométrico):** Este se utiliza como método fundamental para la determinación de los sólidos que son capaces de pasar al agua durante la maceración.

Procedimiento: Se extiende la muestra en el prisma del refractómetro mediante una varilla de cristal, se espera unos minutos para que la temperatura se estabilice en los prismas y se realiza la lectura siguiendo las instrucciones del fabricante, tan pronto como la temperatura se haya estabilizado y las lecturas sean constante (3 minutos aproximadamente). Se limpian y secan las superficies de los prismas inmediatamente.

**Determinación de los azúcares reductores:** Este método se utiliza para la determinación del contenido de azúcares reductores del licor de remojo después de efectuada la maceración.

**Reacciones:** Cuando se mezclan equivalentes de la solución Fehiling A y Fehiling B, se forma un complejo soluble de color azul profundo de tartrato de cobre, que es considerado frecuentemente como una solución de óxido de cobre.

**Reactivos:** Dextrosa cristalina anhídrica.

Solución de Fehiling A y B:

A: solución de sulfato de cobre. Se pesan exactamente 69,28g de sulfato de cobre pentahidratado y se trasvasan cuantitativamente a un matraz aforado de 1L. Se enrasa con agua.

B: solución alcalina de tartrato de potasio y sodio. Se disuelven en agua 346g de tartrato de potasio y sodio tetrahidratado y 100g de hidróxido de sodio. Se trasvasan cuantitativamente a un matraz aforado de 1L y se enrasa con agua.

Preparación de la solución: Se mezcla un volumen exactamente medido de solución de Fehiling A con igual volumen de Fehiling B añadiendo siempre la B sobre la A.

Indicador de azul de metileno

### **Procedimiento:**

Se llena una bureta con a solución de la muestra. Se pipetea 25ml exactos de solución de Fehling en un frasco cónico de 250ml. Se adiciona la solución de la muestra hasta 0.6ml antes del punto final esperado.

Se calienta sobre un mechero de gas graduado de forma tal que el punto de ebullición se pone en marcha el cronómetro y se deja hervir moderadamente por 2 minutos. Rápidamente se añaden 2 gotas de indicador de azul de metileno y de la muestra a intervalos de 5-10 segundos hasta obtener que el color azul desaparezca y el líquido sobre nadante quede incoloro sobre el precipitado rojo. La valoración deberá completarse en 60 segundos de manera que el tiempo total de ebullición desde que se puso en marcha el cronómetro sea 3 minutos.

### **Método para los cálculos:**

$$\text{Azúcares reductores (ED)} = \frac{\text{factor} \times 250 \times 10}{\text{ml cons} \times \text{Brix} \times \text{Peso Muestra}}$$

### **Paso 4: Procesamiento de los resultados en el Software.**

Al obtener las variables respuestas se realizará el análisis de los resultados con el Software Statgraphic, para obtener el modelo que describe el proceso y las dependencias entre los diferentes factores.

### **Conclusiones Parciales**

1. Los proceso de obtención del agua sulfurosa y de maceración del maíz desempeñan un papel fundamental para obtener una adecuada separación de los componentes del grano y un elevado rendimiento en almidón.
2. Es muy importante mantener los parámetros de calidad establecidos en la etapa de obtención del agua sulfurosa.
3. La metodología a seguir en el estudio de la utilización del Greensulf como sustituto del Azufre Sólido en la maceración de cereales debe ser con un diseño de experimentos de  $2^3+5$ .



*Capítulo III*



### CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.1 Aplicación de la metodología para la sustitución del azufre sólido por el Greensulf en la maceración de cereales.

La aplicación de la metodología para establecer los parámetros esenciales en los procesos de maceración se realiza siguiendo en orden lógico el procedimiento propuesto en el capítulo anterior.

##### 3.1.2 Diseño de experimento

El diseño de experimento se aplica inicialmente al proceso de maceración utilizando el maíz y luego de manera similar utilizando el sorgo.

Para la preparación del agua sulfurosa empleando el Greensulf, fueron determinadas previamente en el laboratorio las proporciones propuestas para cada concentración en correspondencia con la capacidad del equipo. Los resultados obtenidos están resumidos en la tabla 3.1:

**Tabla 3.1: Relaciones de las proporciones para la obtención del agua sulfurosa a la concentraciones deseadas.**

Gramos de Greensulf(g)	Concentración (ppm)
25.38	1000
50.76	2000
76.14	3000

Con las proporciones establecidas se comienza la maceración. Inicialmente se le introdujo agua hasta las 3/4 partes del depósito, luego se le adicionó el Greensulf, según la concentración deseada con la válvula de recirculación abierta para mezclar ambas sustancias.

Posteriormente se le incorporó el cereal por la parte superior del tanque y se termina de dar nivel al mismo. Una vez completado el proceso se detiene la recirculación del macerador para evitar tupidiones en la bomba, realizando una maceración estática. Cada punto del experimento se realizó a una relación sólido líquido de 5kg de maíz/ 10L de agua sulfurosa.

### **3.2 Resultados de los análisis cuantitativos aplicados al licor de remojo en la maceración de maíz.**

Según la Bibliografía consultada los principales factores por los que se juzga la calidad del licor de remojo son: un bajo contenido de azúcares reductores y materia soluble y la presencia del 1.0 % - 1.2 % de ácido láctico. La presencia de elevados niveles de azúcares reductores en el agua da lugar a la formación de compuestos tóxicos durante la maceración, reduciendo con ello el rendimiento del almidón. El ácido láctico tiene una gran influencia en el proceso de remojo de los cereales. Este ácido influye en el aumento de volúmenes de proteínas, al ser no volátil, se queda durante el proceso en el agua de remojo. Un contenido demasiado elevado de ácido láctico no es aconsejable porque se produce un aumento en la solubilidad de las proteínas, perdiéndose parte del almidón contenido en el grano.

Los resultados obtenidos del diseño experimental teniendo en cuenta la temperatura, el tiempo y concentración inicial de  $\text{SO}_2$  como variables de entrada y materia soluble, azúcares reductores, Ph y concentración final de  $\text{SO}_2$  como variables respuestas para el maíz, están reportados en la Tabla 3.2:

Como se observa el contenido menor de materia soluble y de azúcares reductores respecto a 5 Kg de maíz en 10 L de agua, se obtuvo para una concentración inicial de 2000 ppm a  $52^\circ \text{C}$  en un tiempo de 50 horas.

**Tabla 3.2: Resultados de los análisis aplicados en la maceración de maíz**

No. Experimento	Concentración inicial SO <sub>2</sub> (ppm)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Materia Soluble	Azúcares reductores	Concentración final SO <sub>2</sub> (ppm)	Ph
1	3000	49	60	1,8	18,2	2470	5,98
2	1000	49	40	2,6	23,48	530	6,08
3	1000	55	60	2	26,88	650	5,76
4	3000	49	40	3,8	20,11	2640	5,99
5	2000	52	50	1.6	16,87	1178	6,04
6	2000	52	50	1,8	21,92	1850	5,54
7	1000	55	40	2,8	25,2	380	5,45
8	3000	55	60	2,6	23,62	2700	5,53
9	2000	52	50	3	21,33	1135	6,21
10	2000	52	50	3	17,96	1340	5,94
11	3000	55	40	2	37,68	2710	5,98
12	2000	52	50	1,8	17,4	1160	6,07
13	1000	49	60	2,6	24,86	240	6,02

### 3.2.1 Resultado del procesamiento estadístico para el maíz.

- **Tablas para efectos estimados.**

En las tablas 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 de los Anexos se muestran las estimaciones para cada uno de los efectos considerados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0; para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. Por tanto no se presentó gran error de muestreo y no existe confusión entre los efectos.

- **Ecuaciones de los modelos ajustados.**

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las ecuaciones 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 describen el modelo ajustado en función de las variables del proceso.

### Ec. 3.1: Materia Soluble

$$MS = 22.9545 + 0.0017 * C_{o_{SO_2}} - 0.383333 * T - 0.4025 * t - 0.000025 * C_{o_{SO_2}} * T - 0.0000075 * C_{o_{SO_2}} * t + 0.0075 * T * t$$

Donde:

$C_{o_{SO_2}}$ : Concentración inicial de  $SO_2$

T: Temperatura

t: tiempo

La ecuación anterior nos muestra que en el rango estudiado la temperatura y el tiempo de maceración son las variables con mayor influencia sobre las Materias Solubles. El signo negativo de los respectivos coeficientes en la ecuación muestra que la materia soluble decrece con el incremento de estas variables.

### Ec. 3.2: Azúcares Reductores

$$AZ = -58.0138 - 0.0349158 * C_{o_{SO_2}} + 1.22833 * T + 2.26937 * t + 0.000927083 * C_{o_{SO_2}} * T - 0.000275375 * C_{o_{SO_2}} * t - 0.036875 * T * t$$

La ecuación 3.2 revela que la variable de mayor influencia en el rango estudiado es la concentración, aunque el tiempo y la temperatura también son influyentes, aunque no de manera directa.

### Ec. 3.3 Concentración final de $SO_2$

$$C_{f_{SO_2}} = 5965.23 + 1.10333 * C_{o_{SO_2}} - 130.0 * T - 154.5 * t + 0.00166667 * C_{o_{SO_2}} * T - 0.002 * C_{o_{SO_2}} * t + 3.0 * T * t$$

La ecuación anterior nos dice que dentro del rango evaluado las variables influyentes son el tiempo y la temperatura. Siendo el tiempo la variable de mayor influencia.

### Ec.3.4: Ph

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

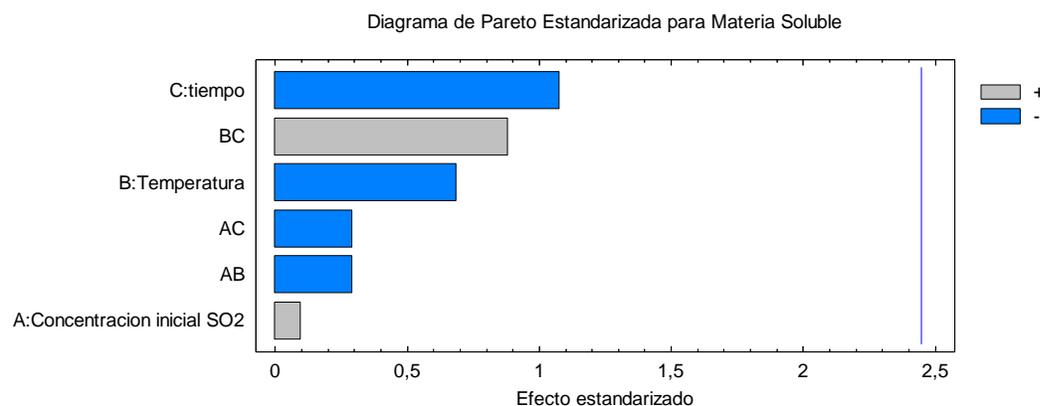
$$Ph = 9.12279 - 0.000466667 * C_{oSO_2} - 0.0775 * T + 0.030291 * t + 0.0000179167 * C_{oSO_2} * T - 0.000008875 * C_{oSO_2} * t - 0.000291667 * T * t$$

La ecuación 3.4 muestra que para el Ph las variables influyentes son el tiempo y la concentración inicial, demostrando que el tiempo es el que ejerce la mayor influencia.

- **Diagramas de Pareto.**

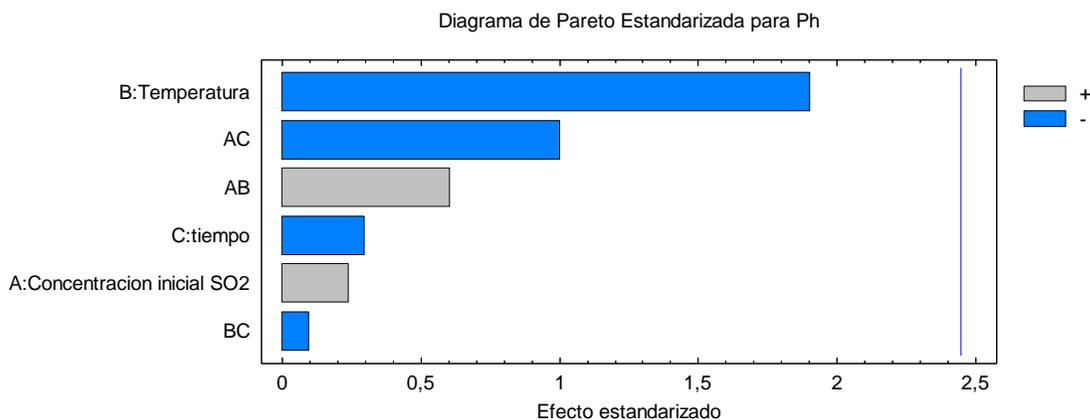
En los gráficos 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 que aparecen a continuación se exponen el comportamiento de las variables independientes influyentes en el diseño de experimento.

### Gráfico 3.1: Diagrama de Pareto para Materias Solubles



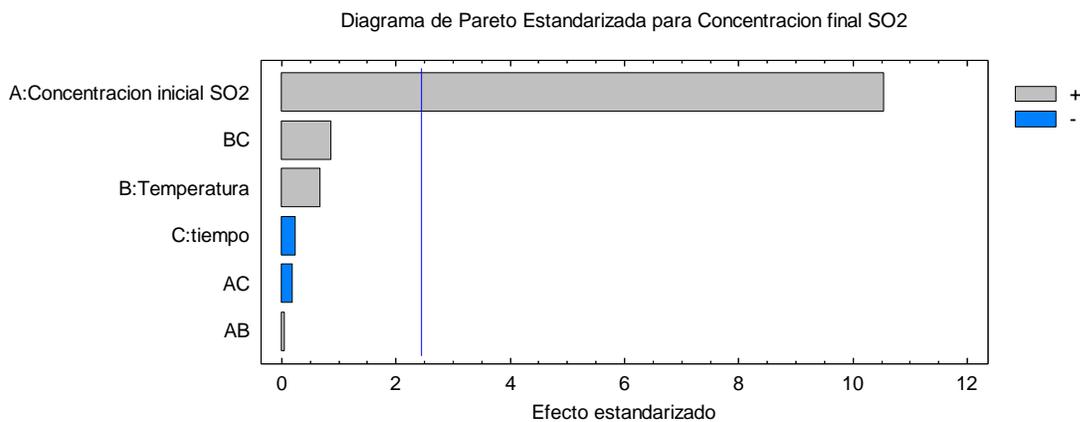
El gráfico anterior muestra el diagrama con las variables lineales significativas: Temperatura (B), tiempo (C) y concentración inicial de SO<sub>2</sub> (A). El signo positivo del coeficiente A significa que al incrementar la concentración se incrementa también la cantidad de materia soluble en el agua de macerado. El signo negativo de B y C, significa que si se incrementa la Temperatura y el tiempo disminuye las materias en el agua de maceración.

### Gráfico 3.2: Diagrama de Pareto para azúcares reductores.



El gráfico 3.2 indica que al incrementar la concentración, aumentan los azúcares reductores en el agua de macerado; no siendo así para el caso de la temperatura y el tiempo ya que si estos incrementan, disminuyen los azúcares reductores en el licor

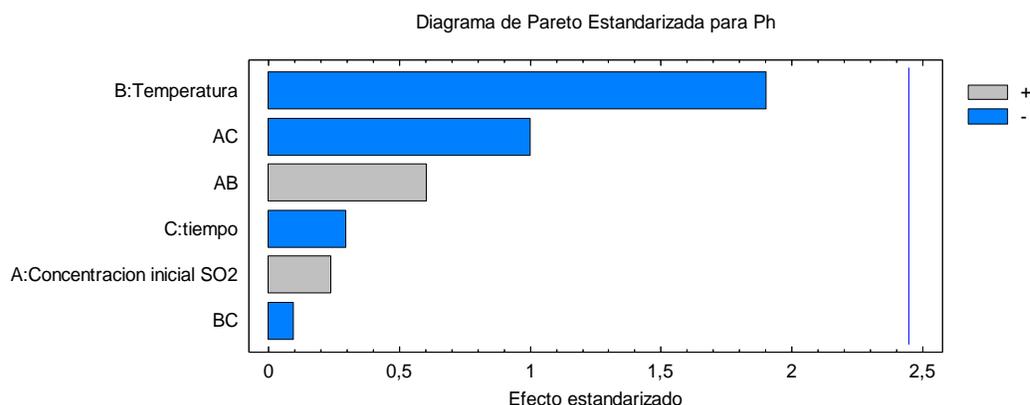
**Gráfico 3.3: Diagrama de Pareto para concentración final de SO<sub>2</sub>.**



En el gráfico 3.3 podemos apreciar que mientras mayor sea el tiempo de maceración, mayor será la disminución de la concentración durante el proceso.

**Gráfico 3.4: Diagrama de Pareto para Ph**

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS



El gráfico 3.4 revela que si aumentamos la concentración se incrementa el valor del Ph, siendo lo contrario para el tiempo y la temperatura puesto que si estas aumentan él disminuye.

### 3.3 Resultados de los análisis cuantitativos aplicados al licor de remojo en la maceración de sorgo.

Los resultados obtenidos del diseño experimental para el sorgo están reportados en la siguiente tabla:

No. Experimento	Concentración inicial SO <sub>2</sub> (ppm)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Materia Soluble	Azúcares Reductores	Concentración final SO <sub>2</sub>	Ph
1	2000	52	50	1,6	15,67	1870	6,43
2	1000	49	40	2,2	14,27	550	6,04
3	3000	55	60	2,2	22,11	2600	6,32
4	1000	55	60	2	27,58	468	6,31
5	2000	52	50	2,2	15,45	1750	6,22
6	3000	49	60	2	26,98	2850	6,03
7	1000	49	60	2	17,15	650	6,17
8	3000	49	40	2,8	19,59	2340	6,19

9	3000	55	40	3	21,69	2460	6,06
10	2000	52	50	2,2	13,94	1720	6,29
11	1000	55	40	1,8	14,29	730	6,18
12	2000	52	50	1,6	14,1	1650	6,3
13	2000	52	50	1,8	15,29	1640	6,03

Como se observa el contenido de menor materia soluble y de azúcares reductores respecto a 5 Kg de maíz en 10 L de agua, se obtuvo para una concentración inicial de 2000 ppm a 52° C en un tiempo de 50 horas.

### 3.3.1 Resultado del procesamiento estadístico para el sorgo.

En las tablas 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 de los anexos se muestran las estimaciones para cada uno de los efectos considerados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0; para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. Por tanto no se presentó gran error de muestreo y no existe confusión entre los efectos.

- **Ecuaciones de los modelos ajustados.**

Las ecuaciones 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 describen el modelo ajustado en función de las variables del proceso.

#### Ec. 3.5: Materia Soluble

$$MS = 8.40769 - 0.000483333 * C_{o_{SO_2}} - 0.15 * T - 0.0666667 * t + 0.0000333333 * C_{o_{SO_2}} * T - 0.00002 * C_{o_{SO_2}} * t + 0.00166667 * T * t$$

La ecuación anterior nos muestra que en el rango estudiado la temperatura y el tiempo de maceración son las variables con mayor influencia sobre las Materias Solubles. El signo negativo de los respectivos coeficientes en la ecuación muestra que la materia soluble decrece con el incremento de estas variables.

#### Ec.3.6: Azúcares reductores

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

$$AR = -103.131 + 0.0155867 * C_{oSO_2} + 1.87167 * T + 1.19258 * t - 0.000259167 * C_{oSO_2} * T - 0.000017 * C_{oSO_2} * t - 0.0148333 * T * t$$

La ecuación 3.6 revela que la variable de mayor influencia en el rango estudiado es la concentración, aunque el tiempo y la temperatura también son influyentes aunque no de forma directa.

### Ec.3.7: Concentración final de SO<sub>2</sub>

$$C_{fSO_2} = -7799.51 + 0.751333 * C_{oSO_2} + 157.667 * T + 144.4 * t - 0.00533333 * C_{oSO_2} * T + 0.01015 * C_{oSO_2} * t - 3.05 * T * t$$

La ecuación anterior nos dice que dentro del rango evaluado las variables influyentes son la concentración y la temperatura. Siendo la temperatura la variable de mayor influencia

### Ec. 3.8: Ph

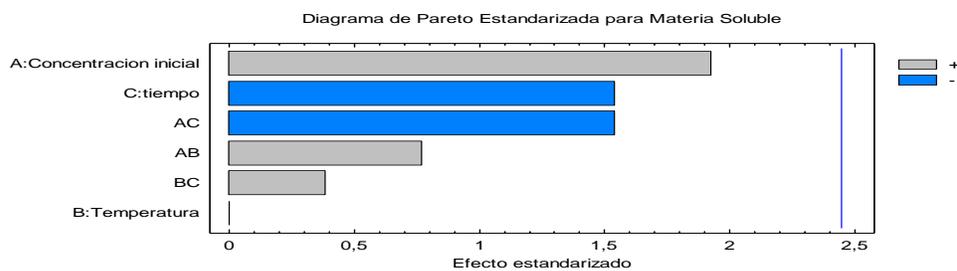
$$Ph = 8.87436 + 0.0003475 * C_{oSO_2} - 0.0591667 * T - 0.0825 * t - 0.000005 * C_{oSO_2} * T - 0.000002 * C_{oSO_2} * t + 0.00175 * T * t$$

La ecuación 3.8 muestra que para el Ph las tres variables son influyentes, demostrando que el tiempo es el que ejerce la mayor influencia.

- **Diagramas de Pareto.**

En los gráficos 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 que aparecen a continuación se exponen el comportamiento de las variables independientes influyentes en el diseño de experimento.

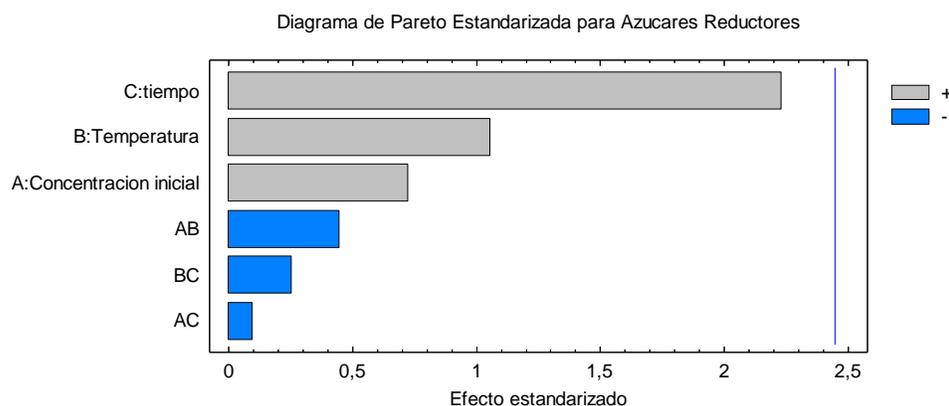
### Gráfico 3.5: Diagrama de Pareto para materia soluble



## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

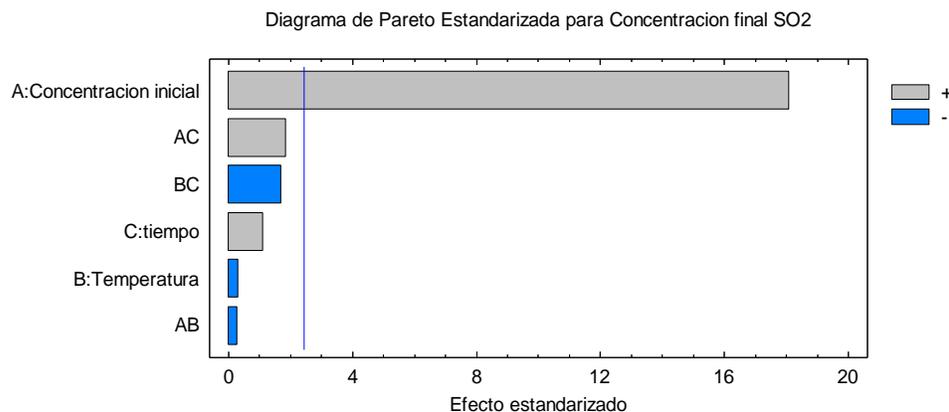
En el gráfico anterior se muestra el diagrama con las variables lineales significativas: Temperatura (B), tiempo(C) y concentración inicial de SO<sub>2</sub>(A). El signo positivo del coeficiente A significa que al incrementar la concentración se incrementa también la cantidad de materia soluble en el agua de macerado. El signo negativo de B y C, significa que si se incrementa la Temperatura y el tiempo disminuye las materias en el agua de maceración.

**Gráfico 3.6: Diagrama de Pareto para azúcares reductores**



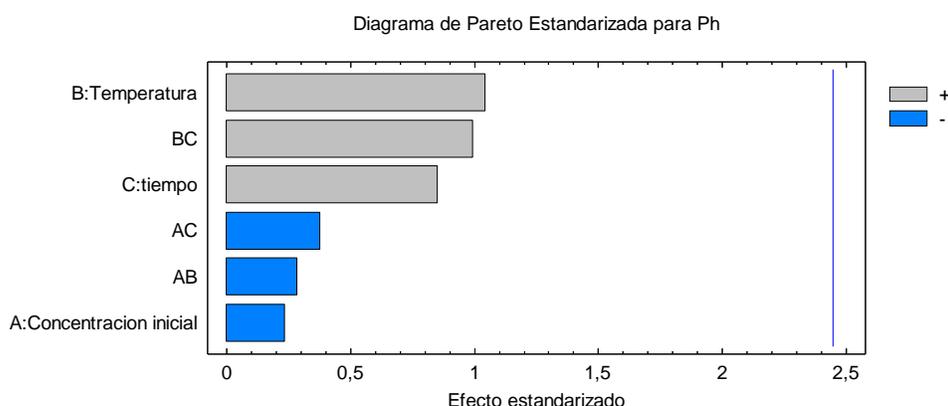
El gráfico 3.6 muestra que al incrementar los tres factores, aumentan los azúcares reductores en el agua de macerado.

**Gráfico 3.7: Diagrama de Pareto para concentración final.**



En el gráfico 3.7 podemos apreciar que mientras mayor sea la temperatura en el proceso de maceración, mayor será la disminución de la concentración durante el mismo.

**Gráfico 3.8: Diagrama de Pareto para Ph.**



En el gráfico 3.8 revela que si aumentamos la concentración disminuye el valor del Ph, siendo lo contrario para el tiempo y la temperatura puesto que si estas aumentan él aumenta.

### 3.3.2 Parámetros de operación para el proceso de maceración utilizando el Greensulf en la UEB Glucosa Cienfuegos.

De los resultados obtenidos en los análisis cuantitativos y estadísticos aplicados a los licores de remojo para la maceración de cereales, se determina que tanto para el maíz como para el sorgo, el valor óptimo para obtener una materia prima de alta calidad se está registrado en la tabla 3.8:

**Tabla 3.8: Parámetros para la maceración de cereales empleando Greensulf.**

<b>Concentración de SO<sub>2</sub> ( ppm)</b>	<b>2000</b>
<b>Temperatura ( °C)</b>	<b>52</b>
<b>Tiempo (h)</b>	<b>50</b>

### 3.4 Propuesta tecnológica para la sustitución del azufre sólido por el Greensulf.

Determinados los parámetros de operación para la maceración de maíz y sorgo se define la nueva propuesta tecnológica. Con este cambio se prevé la disminución de los impactos medioambientales, reduciendo las emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera y derrames de azufre sólido en el período de maceración.



## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.4.1 Evaluación Económica para la propuesta sugerida

Para el análisis económico se tuvo en cuenta el costo del equipamiento, la inversión fija y el costo de la materia prima empleada. Los datos de dicha evaluación están realizados considerando que 1 CUC = 1 CUP.

Costo de la inversión = Inversión fija + inversión de trabajo

Inversión fija = costo directo + costos indirectos

El costo del equipamiento para la implantación de la nueva tecnología se encuentra en la tabla 3.9 que a continuación se muestra:

<b>Tabla 3.9: Costo del Equipamiento</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Costo Actual ( CUP )</b>
<b>Tanque de acero inoxidable 2 m<sup>3</sup></b>	<b>1584</b>
<b>Agitador de paleta de 3.2 rev. /min</b>	<b>1170</b>
<b>Tubería L = 2 m D = 2 in</b>	<b>65</b>
<b>Válvula 2 in</b>	<b>5.30</b>
<b>Total</b>	<b>2824.3</b>

Para el cálculo de la Inversión Fija (IF) se tienen en cuenta una serie de aspectos los cuales están relacionados en la **Tabla 3.10 (Anexos)**.

Inversión fija (IF) = costo directo (CD) + costos indirectos (DI)

$$IF = 2824.3 + 988.505 + 254.187 + 169.458 + 1864.038 + 197.701 + 0.03 * IF + 0.01 * IF + 0.01 * IF + 0.004 * IF + 0.004 * IF + 0.05 * IF + 0.01 * IF + 0.10 * IF + 0.10 * IF.$$

$$IF = 6298.189 + 0.318 * IF$$

$$IF = 9234.881\$$$

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Inversión de trabajo (iT) = 10 % Inversión total (IT)

Costo de inversión total (IT) = Inversión fija (IF) + Inversión de trabajo (iT)

$IT = 9234.881 + 0.10 * IT$

**IT = 10 260.978 CUP (Inversión Total)**

### Costos de producción

**Costos totales de producción (CTP) = Costos de fabricación (CF) + Gastos Generales (GG)**

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

Para buscar los costos totales de producción del agua sulfurosa es necesario calcular el costo y consumo de la materia prima y materiales auxiliares.

- **Consumo de Materia Prima**

Para el consumo de materia prima solo se tiene en cuenta la cantidad de Greensulf necesario para macerar 30 000 kg de maíz limpio en 45 m<sup>3</sup> de agua sulfurosa a 2000 ppm. Por tanto para obtener 10 400 m<sup>3</sup> de licor de remojo en el año 2014 son necesarios 16 120 kg de Greensulf.

En la Tabla 3.11 se refleja el consumo de materia prima en los días trabajados así como el consumo y costo de la misma para ese tiempo.

**Tabla 3.11: Consumo y costo de la materia prima en los días trabajados**

Materia prima	Consumo/ año (Kg)	Costo / año ( CUP)
Greensulf	16 120	24 180

**Observaciones:** El Greensulf tiene un valor de 1.5 CUP/ Kg

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- **Costo de la mano de obra**

El costo de la mano de obra es el mismo que el de la tecnología actual. Teniendo en cuenta que son cuatro turnos y en cada uno un operador; si el salario oscila entre 300 CUP y 363.37 CUP. El costo sería de 94476.2 obrero/ año.

- **Costo de la Energía eléctrica**

En el costo de la energía eléctrica se tiene en cuenta tres tarifas que varían en dependencia del horario del día, por tanto el consumo de los equipos no es el mismo en todo el día. En la tabla 3.12 se muestran las tarifas para cada horario del día.

Horario	Costo CUP/ Kw
Horario de día	0.207 CUP/Kw
Horario de noche	0.162 CUP / Kw
Horario pico	0.350 CUP/ Kw

En la tabla 3.13 se muestra el consumo de cada equipo necesario en la maceración de cereales y el costo del mismo proceso para un año.

Equipo	Consumo Kw/ h	Horas de trabajo para producir 45 m <sup>3</sup> de agua sulfurosa	Costo de la energía CUP/ día	Costo de la energía CUP/ año
Agitador de paleta	0.713	3 – 4	2.050	533
Iluminación	0.16	12	1.383	359.58
Generación de Vapor	68.85	30- 45 min	37.12	9651.2

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

<b>Total</b>	<b>69.72</b>	<b>61</b>	<b>40.553</b>	<b>10 543.78</b>
--------------	--------------	-----------	---------------	------------------

**Observaciones:** A pesar de que la disolución producida en el depósito de mezclado entre el Greensulf y el agua es de carácter endotérmico, queda demostrado a nivel de planta piloto y a nivel industrial que el vapor necesario para dar temperatura al tanque de remojo es prácticamente el mismo que el suministrado actualmente.

- **Consumo de Agua**

El agua consumida en el proceso de obtención de agua sulfurosa empleando Greensulf es de 10 400 m<sup>3</sup> para un año, cantidad de agua correspondiente para un tanque de maceración durante 260 días de trabajo en la UEB Glucosa Cienfuegos. La siguiente tabla ilustra el consumo y costo del agua necesaria para el remojo de cereales en la UEB Glucosa Cienfuegos en el período de un año:

<b>Agua necesaria para preparar agua sulfurosa 2000 ppm</b>	<b>10 400 m<sup>3</sup></b>
<b>Costo CUP/año 2014</b>	<b>1.55 CUP/ m<sup>3</sup></b>
<b>Total</b>	<b>16 120 CUP/ año</b>

**Costos de producción (Tabla 3.15. Anexos)**

**Costos totales de producción (CTP) = Costos de fabricación (CF) + Gastos Generales (GG)**

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

**Costos totales de producción (CTP) = Costos de fabricación (CF) + Gastos Generales (GG)**

**Costo de fabricación (CF) = 17 172.222 CUP**

Gastos Generales = 0.1\* CTP

CTP = CF + GG

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

$$GG = CF + 0.1 * CTP$$

$$CTP = CF + 0.1 * CTP$$

$$CTP = 15\,454.999 \text{ CUP/ año}$$

$$\text{Ganancia (G)} = \text{valor de producción (VP)} - \text{costos totales de producción (CTP)}$$

Para calcular el valor de la producción se tiene en cuenta que cuando se maceran 30 toneladas de maíz que es el equivalente a un tanque de maceración se obtienen 15 toneladas de almidón. En la tabla 3.14 aparece el valor de la producción de almidón correspondiente a un año.

**Tabla 3.16: Valor de la producción**

Producto	Producción (t/año)	Precio (\$/ t)	Valor (\$/año)
Almidón de maíz	3900	1881.9.	7339410

Por tanto:

$$G = VP - CTP$$

$$G = 7\,339\,410 - 15\,454.999$$

$$G = 7\,323\,955.001 \text{ \$/ año}$$

Después de realizado el balance económico se puede apreciar que la ganancia es positiva siendo muy favorable el empleo del Greensulf en la obtención del licor de remojo para la maceración de cereales en la UEB Glucosa Cienfuegos.

### Conclusiones Parciales

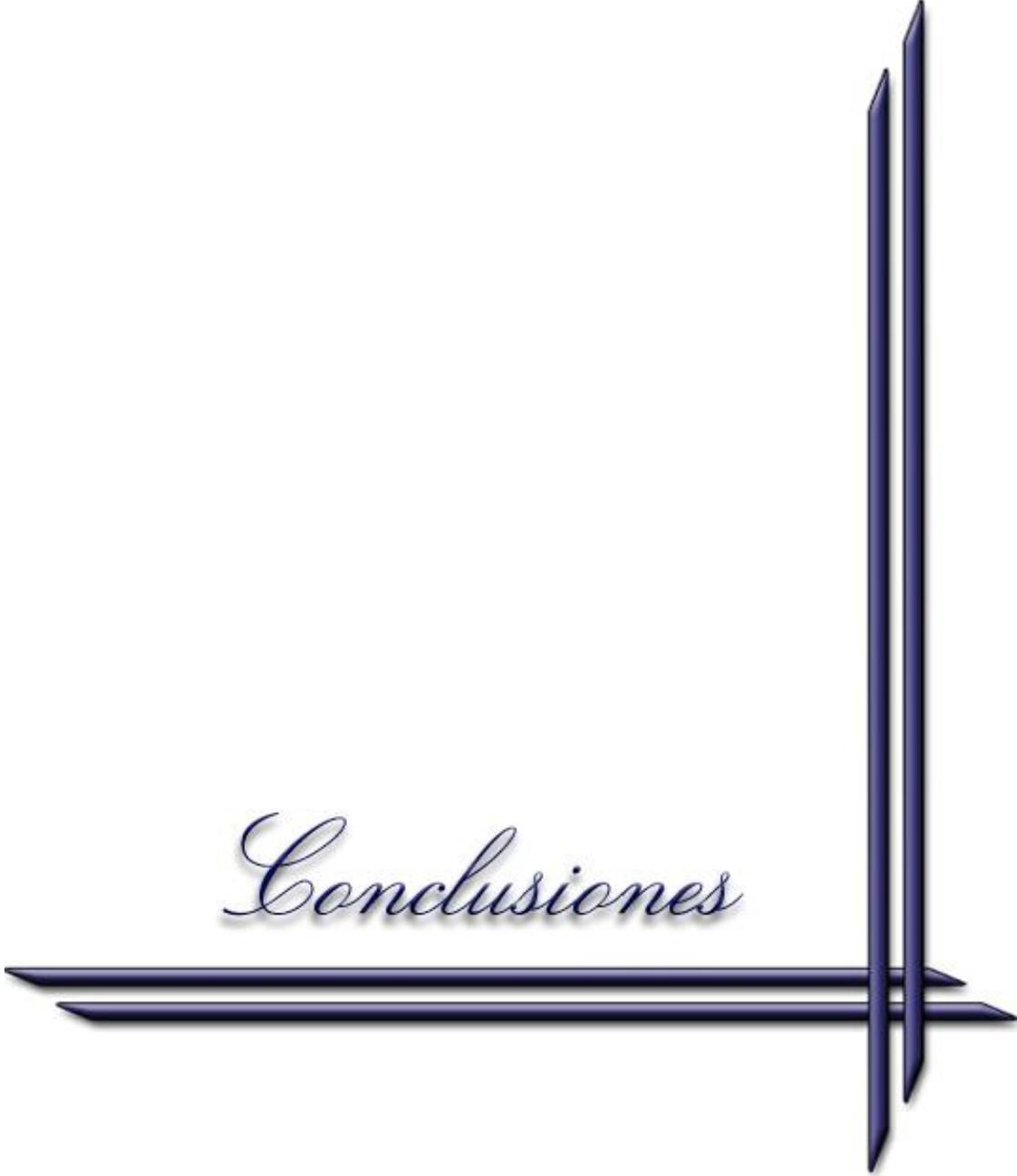
1. Las relaciones de proporción necesarias para la realización de los experimentos fueron obtenidas en el laboratorio.

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

---

2. Los parámetros por lo que se juzga la calidad del agua sulfurosa son un bajo contenido de azúcares reductores y materia soluble y la presencia del 1.0 -1.2 % de ácido láctico.
3. El mejor resultado logrado de los análisis aplicados al licor de remojo en la maceración de maíz y sorgo fue: 2000 ppm a 52° C en un tiempo de 50 horas.

*Conclusiones*



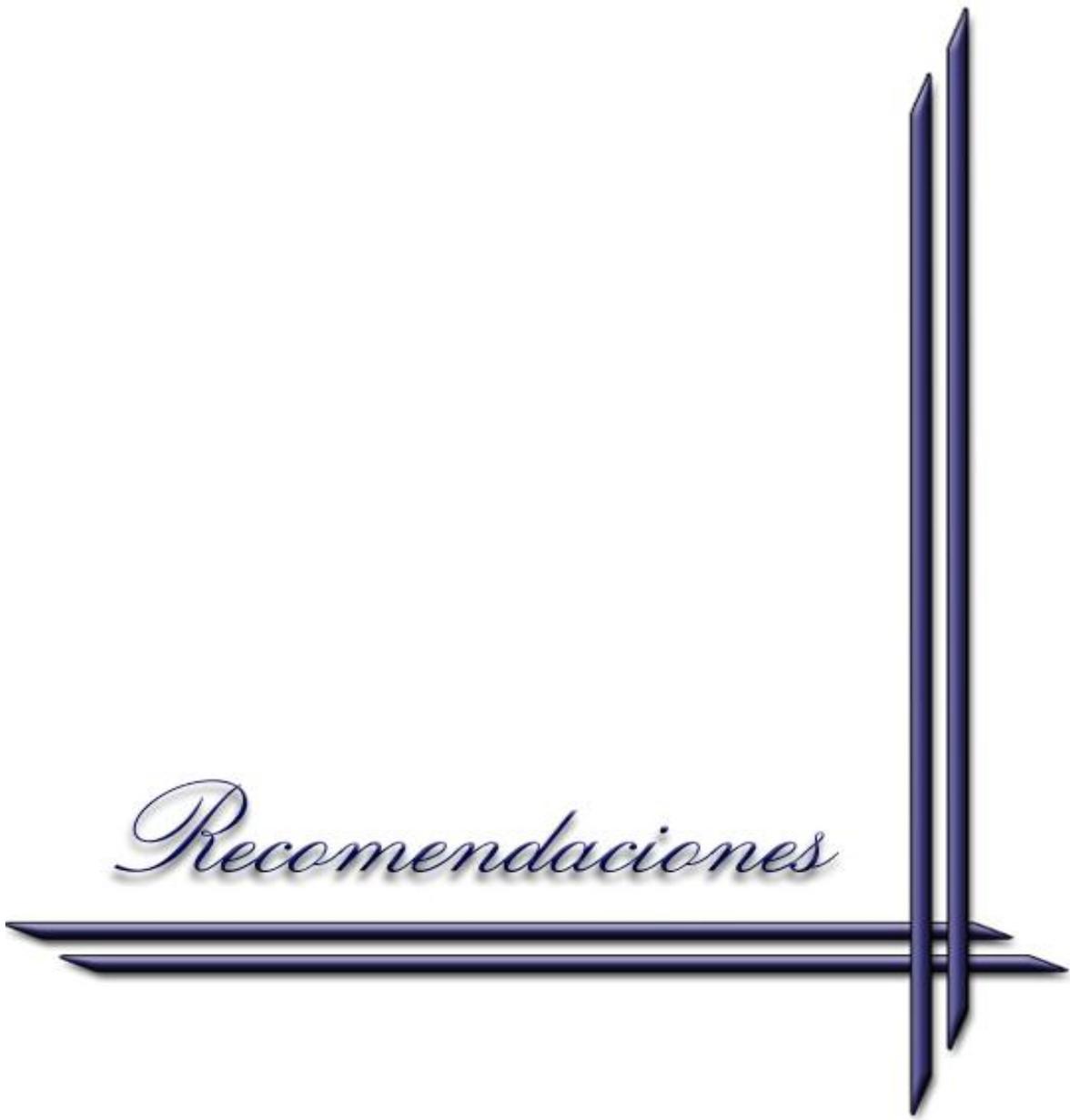
## CONCLUSIONES

---

- **CONCLUSIONES GENERALES**

1. La evaluación a escala de planta piloto realizada al proceso de maceración de cereales empleando el Greensulf demostró que es posible la producción de almidón y siropes de glucosa a partir de maíz y sorgo.
2. Los parámetros de operación establecidos para la maceración empleando el nuevo producto son comunes en ambos cereales
3. El nuevo sistema propuesto para la dosificación del óxido de azufre soluble permite obtener mejoras técnicas y económicas.
4. La evaluación económica realizada demostró que es factible el empleo del Greensulf en la maceración de cereales.

*Recomendaciones*



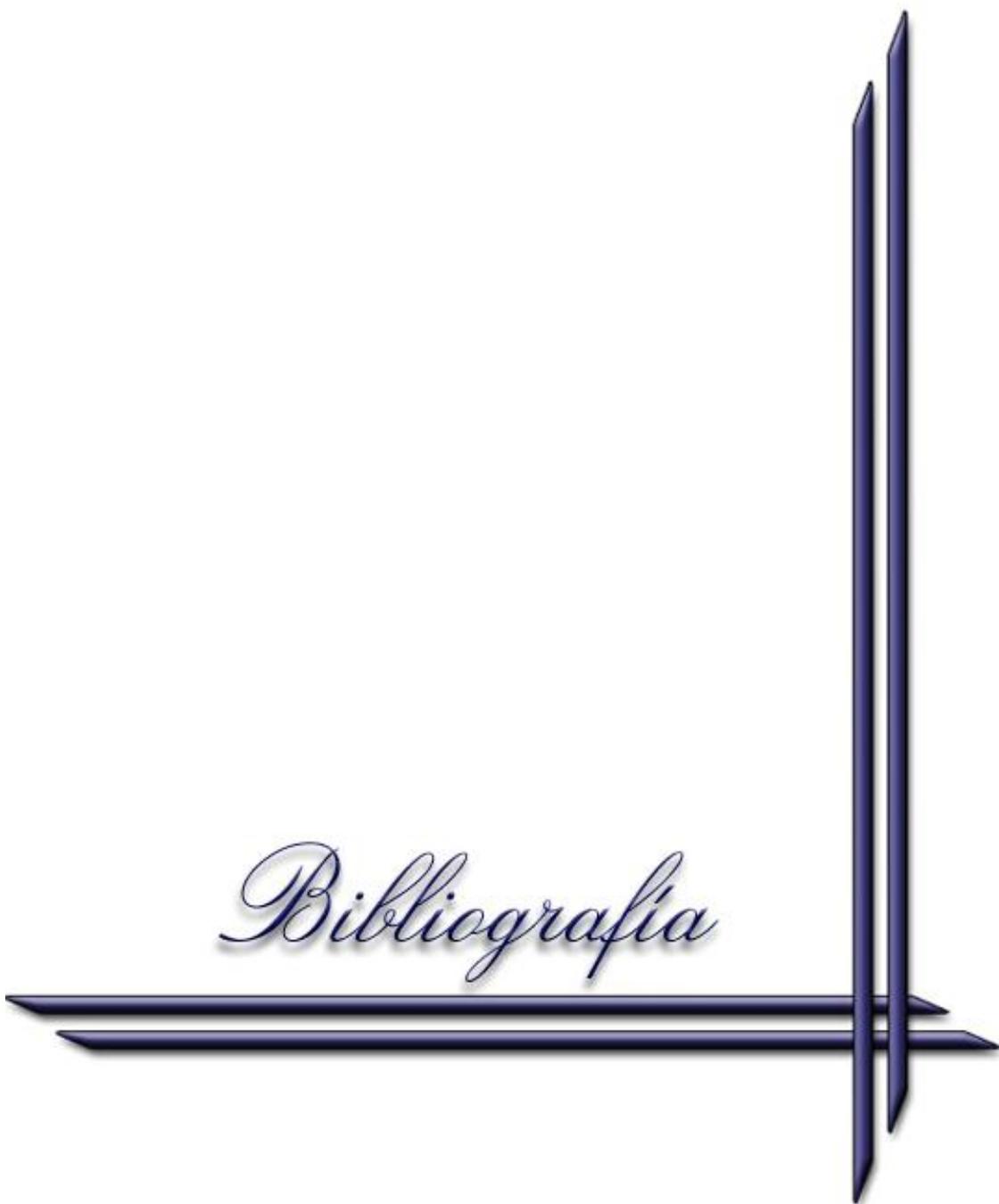
## RECOMENDACIONES

---

- **RECOMENDACIONES**

1. Proponer a la dirección de la empresa que instale la tecnología estudiada para obtener los beneficios técnicos y económicos estimados.

*Bibliografia*



### • BIBLIOGRAFÍA

- Acuero, R. (1989). Utilización del grano de sorgo como fuente energética en raciones para cerdos en crecimiento y engorde. *1:54*.
- Acuña Verrugio, S. (2010). *El maíz y su transformación en harina*. Agricultura. (1998). *Cereales*. FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/ag/esp/9809/spot3.htm>
- Alavés Bolaños, M. & Cardona, G. (2012). Green Solution. Sociedad Anónima.
- Álvarez, A. (2006). *Maíz y Nutrición. Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. Molienda Húmeda y Molienda Seca*. (Serie de Informes Especiales de ILSI. No. II). Argentina.
- Araya, J. (1996a). Composición química del agua de maceración del maíz.
- Araya, J. (1996b). *Producción de Harinas*. Universidad de Santiago de Chile, Chile.
- Arias, V. A. (2004). Comportamiento de dos variedades de sorgo asociados con soya. Centro Agrícola.
- Baffes, J. (1998). Structural reforms and price liberalization in Mexican agriculture. *Journal of International Development*.
- Bationo, A. & Vlek, P. L. (1998). *The role of nitrogen fertilizers applied to food crops in the Sudano-Sahelian zone of West Africa*. Germany.
- Bello, L., & Contreras, S. (n.d.). *Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de Plátano*. (Vol. 36).
- Biliaderis, C. . (1991). The structure and interactions of starch with food constituents.
- Calvo, M. (n.d.). Estructura del almidón. Retrieved from <http://www.milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.htm>
- Chou Rodríguez, E. (2012). *Evaluación y aplicación de estrategias de Producción más Limpia en la Sección de Recepción, Limpieza y Maceración del Maíz, de La Empresa Glucosa Cienfuegos*.
- Coulson, J. & Richardson, J. (2002). *Adecuado para operaciones con partículas y también para el tratamiento de datos de distribuciones de tamaño*. (5<sup>a</sup> ed., Vol. 2). Chemical Engineering.
- Dendy, D. A. & Dobraszczyk, B. (2003). *Cereales y Productos Derivados*. Acribia.
- Departamento de Agricultura. (2006). *Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo*.
- Duke, J. (1983). *Sorghum*. Retrieved from [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke-energy/Sorghum-X\\_almum.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke-energy/Sorghum-X_almum.html)
- Durán, E. (1986). *Caracterización de granos de almidón*. La Habana: Editorial Científico-Técnica.
- Fernández, E. (1998). *Aprovechamiento integral del mango (Mangifera indicaL.). Utilización de la semilla como fuente de almidón*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Flores-Farías, R. F., Martínez-Bustos, Y., Salinas-Moreno, Y. Kc., J. & González, E. (2000). *Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalised Mexican Maize flours for tortillas*. (80th ed.). *Sci Agricul*.
- Ford, C. & Mazza, M. . (2006). *Desglosando los resultados de la maceración prolongada en la vinificación en tinto*, (12).
- Francis, I. ., Noble, A. & Williams, P. (1996). *The sensory properties of Glycosidic Flavor from Cabernet Sauvignon and Merlot Grapes*. South Australia.

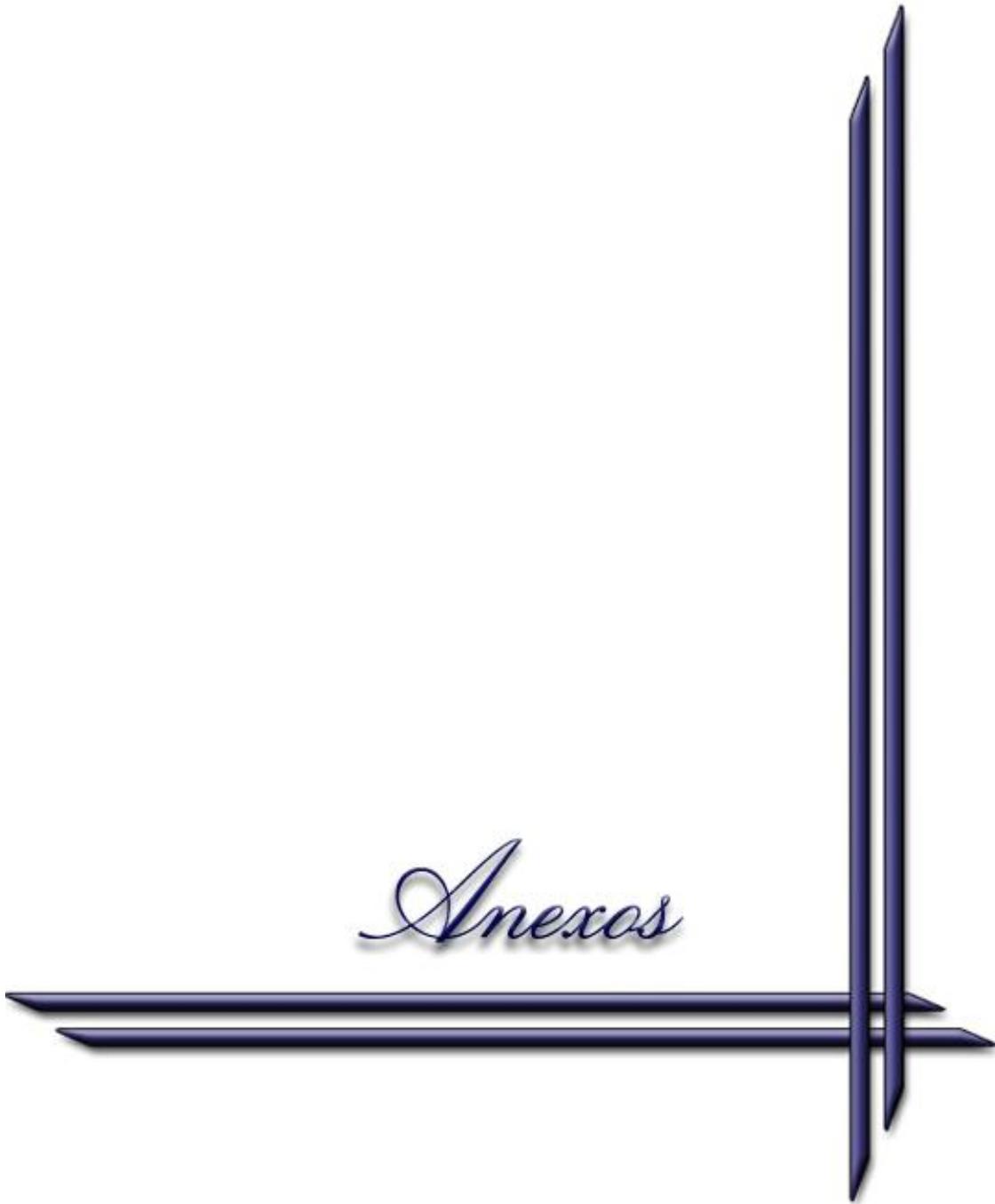
- French, D. (1984). Organization of starch granules. In *Chemistry and Tecnology*. Academic Press (pp. 183–247).
- Gervaux, V., O.Naudin, O., & Meurgues, C. (1998). *Influence de différents procédés de macération sur la composition phénolique*.
- González Torres, F. & Rojo Hernández, C. (2005). *Prontuario de Agricultura: Cultivos Agrícolas* (Mundi Prensa.).
- Hall, C. W. (1971). *Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales* (Vols. 1-N° 90). Roma: Cuadernos de Fomento Agropecuario.
- Hepler, L. G. (1965). Principios de Química.
- Inglett, G. (1970). *Corn: culture, proccesing and products*, AVI Publish.
- Jorgelina, M. G. (2010). Molienda húmeda de maíz.
- López Arriaga, J. A. (2003). *Principios básicos de contaminación ambiental*. Universidad Autónoma de México.
- Machado, R. & Menéndez, J. (1979). Descripción de gramíneas y leguminosas. Ministerio de la Agricultura.
- Maranville, J. & Madhavan, S. (2002). *Physiological adaptations for nitrogen use efficiency in sorghum*. (245:25 ed.). Plant and Soil.
- Marchese, P. (n.d.). Las harinas. Retrieved from [/www.pasqualinonet.com.ar/las\\_harinas.htm](http://www.pasqualinonet.com.ar/las_harinas.htm)
- Moreno Rojo, I. C. (2013). *OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE YUCA*.
- Olivieri, C. & Salgues, N. (1981). *Matières colorantes et facteurs d'extraction* (No. 11). Progrès Agricole et Viticoles.
- Rabassa Rabasa, D. (2014). *Evaluación técnico-económica - ambiental de la sustitución de Azufre Sólido por Green Sulf en la etapa de maceración del maíz en la UEB Glucosa Cienfuegos*. UCF Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.
- Rodríguez, A. (2006). *Agricultura Urbana: Una expresión de la agricultura agraria cubana*. La Habana, Cuba.: Científico-Técnica.
- Rodríguez, T. E. (2000). Combate y control de malezas. Maíz en Venezuela. Protección y Sanidad Vegetal.
- Roquette, F. (2003). Composición nitrogenada resultante de la hidrólisis del gluten de trigo y su procedimiento de fabricación.
- Rydings, Mari. (n.d.). Fundamentos de la harina de trigo. *Octubre 2006*. Retrieved from <http://www.bsimagazine.com/>
- Saucedo, O. M. (2008a). *Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana*. Villa Clara, Cuba.
- Saucedo, O. M. (2008b). *Sistema de control de daño de las aves en el cultivo de sorgo*. La Habana.
- Saucedo, O. M. (2009). *Estudio regional de las aves que atacan el sorgo*. Villa Clara, Cuba.
- Thomas, D. & Atwell, W. (n.d.). *Starches*. Eagan press. St. Paul, Minnesota, USA.
- Ubeda, L. (2015, February 3). Ciencia cubana para producir cereales. *1:09:21 CDT*. Diario de la juventud cubana.
- Vega Bravo, J. (2013). *Los Siete Cereales* (508th ed.).

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Velázquez Torres, D. (2014). *Valoración de la sustitución del azufre sólido por Green Sulf para la maceración del maíz en la UEB Glucosa Cienfuegos*. UCF Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.
- Zajac, I. P. (1989). *Tecnología de la Producción de Almidón y Glucosa*. (Vol. 1989).

*Anexas*



- ANEXOS

Anexo I



## Anexo II

<b>Tabla 3.9: Efectos estimados para Materia Soluble( maíz)</b>			
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	2,44615	0,200714	
A:Concentracion inicial SO2	0,05	0,511722	1,0
B:Temperatura	-0,35	0,511722	1,0
C:tiempo	-0,55	0,511722	1,0
AB	-0,15	0,511722	1,0
AC	-0,15	0,511722	1,0
BC	0,45	0,511722	1,0

## Anexo III

<b>Tabla 3.10: Efectos estimados para azucares reductores( maíz)</b>			
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	22,5008	1,27822	
A:Concentracion inicial SO2	-0,9525	3,25882	1,0
B:Temperatura	7,4325	3,25882	1,0
C:tiempo	-3,9775	3,25882	1,0
AB	5,5625	3,25882	1,0
AC	-5,5075	3,25882	1,0
BC	-2,2125	3,25882	1,0

## Anexo IV

**Tabla 3.11: Efectos estimados para concentración final SO<sub>2</sub>( maíz)**

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	1460,23	81,0862	
A:Concentracion inicial SO <sub>2</sub>	2180,0	206,73	1,0
B:Temperatura	140,0	206,73	1,0
C:tiempo	-50,0	206,73	1,0
AB	10,0	206,73	1,0
AC	-40,0	206,73	1,0
BC	180,0	206,73	1,0

Anexo V

**Tabla 3.12: Efectos estimados para Ph( maíz)**

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	5,89154	0,0696046	
A:Concentracion inicial SO <sub>2</sub>	0,0425	0,177458	1,0
B:Temperatura	-0,3375	0,177458	1,0
C:tiempo	-0,0525	0,177458	1,0
AB	0,1075	0,177458	1,0
AC	-0,1775	0,177458	1,0
BC	-0,0175	0,177458	1,0

Anexo VI

**Tabla 3.14: Efectos estimados para materia soluble(sorgo)**

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	2,10769	0,101857	
A:Concentracion inicial	0,5	0,259684	1,0
B:Temperatura	0,0	0,259684	1,0
C:tiempo	-0,4	0,259684	1,0
AB	0,2	0,259684	1,0
AC	-0,4	0,259684	1,0
BC	0,1	0,259684	1,0

Anexo VII

**Tabla 3.15: Efectos estimados para azucares reductores(sorgo)**

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	17,7777	1,36184	
A:Concentracion inicial	2,52	3,47202	1,0
B:Temperatura	3,67	3,47202	1,0
C:tiempo	7,745	3,47202	1,0
AB	-1,555	3,47202	1,0
AC	-0,34	3,47202	1,0
BC	-0,89	3,47202	1,0

Anexo VIII

**Tabla 3.16: Efectos estimados para concentración final de SO<sub>2</sub>(sorgo)**

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	1652,15	42,5826	
A:Concentracion inicial	1963,0	108,565	1,0
B:Temperatura	-33,0	108,565	1,0
C:tiempo	122,0	108,565	1,0
AB	-32,0	108,565	1,0
AC	203,0	108,565	1,0
BC	-183,0	108,565	1,0

## Anexo IV

**Tabla 3.17: Efectos estimados para Ph(sorgo)**

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	6,19769	0,0413755	
A:Concentracion inicial	-0,025	0,105487	1,0
B:Temperatura	0,11	0,105487	1,0
C:tiempo	0,09	0,105487	1,0
AB	-0,03	0,105487	1,0
AC	-0,04	0,105487	1,0
BC	0,105	0,105487	1,0

## Anexo X

## ANEXOS



<b>Análisis de varianza para azúcares reductores(sorgo)</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion inicial	12,7008	1	12,7008	0,53	0,4953
B:Temperatura	26,9378	1	26,9378	1,12	0,3312
C:tiempo	119,97	1	119,97	4,98	0,0672
AB	4,83605	1	4,83605	0,20	0,6700
AC	0,2312	1	0,2312	0,01	0,9252
BC	1,5842	1	1,5842	0,07	0,8063
Error total	144,659	6	24,1099		
Total (corr.)	310,919	12			

### **Anexo XI**

<b>Análisis de varianza para concentración final de SO<sub>2</sub>(sorgo)</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion inicial	7,70674E6	1	7,70674E6	326,94	0,0000
B:Temperatura	2178,0	1	2178,0	0,09	0,7714
C:tiempo	29768,0	1	29768,0	1,26	0,3041
AB	2048,0	1	2048,0	0,09	0,7781
AC	82418,0	1	82418,0	3,50	0,1107
BC	66978,0	1	66978,0	2,84	0,1428
Error total	141436,	6	23572,6		
Total (corr.)	8,03156E6	12			

**Anexo XII**

Análisis de varianza para materia soluble(sorgo)					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion inicial	0,5	1	0,5	3,71	0,1025
B:Temperatura	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
C:tiempo	0,32	1	0,32	2,37	0,1744
AB	0,08	1	0,08	0,59	0,4704
AC	0,32	1	0,32	2,37	0,1744
BC	0,02	1	0,02	0,15	0,7135
Error total	0,809231	6	0,134872		
Total (corr.)	2,04923	12			

**Anexo XIII**

Análisis de varianza para Ph(sorgo)					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion inicial	0,00125	1	0,00125	0,06	0,8205
B:Temperatura	0,0242	1	0,0242	1,09	0,3372
C:tiempo	0,0162	1	0,0162	0,73	0,4263
AB	0,0018	1	0,0018	0,08	0,7857
AC	0,0032	1	0,0032	0,14	0,7176
BC	0,02205	1	0,02205	0,99	0,3580
Error total	0,133531	6	0,0222551		

## ANEXOS



Total (corr.)	0,202231	12			
---------------	----------	----	--	--	--

### Anexo XIV

Análisis de varianza para Ph(maíz)					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion inicial SO2	0,0036125	1	0,0036125	0,06	0,8187
B:Temperatura	0,227812	1	0,227812	3,62	0,1059
C:tiempo	0,0055125	1	0,0055125	0,09	0,7773
AB	0,0231125	1	0,0231125	0,37	0,5669
AC	0,0630125	1	0,0630125	1,00	0,3558
BC	0,0006125	1	0,0006125	0,01	0,9247
Error total	0,377894	6	0,0629824		
Total (corr.)	0,701569	12			

### Anexo XIII

Análisi de varianza para concentración final de SO2(maíz)					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion inicial SO2	9,5048E6	1	9,5048E6	111,20	0,0000
B:Temperatura	39200,0	1	39200,0	0,46	0,5235

## ANEXOS

C:tiempo	5000,0	1	5000,0	0,06	0,8169
AB	200,0	1	200,0	0,00	0,9630
AC	3200,0	1	3200,0	0,04	0,8530
BC	64800,0	1	64800,0	0,76	0,4174
Error total	512848,	6	85474,7		
Total (corr.)	1,013E7	12			

### Anexo XIV

Análisis de varianza para azucares reductores(maíz)					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion inicial SO2	1,81451	1	1,81451	0,09	0,7799
B:Temperatura	110,484	1	110,484	5,20	0,0627
C:tiempo	31,641	1	31,641	1,49	0,2680
AB	61,8828	1	61,8828	2,91	0,1387
AC	60,6651	1	60,6651	2,86	0,1420
BC	9,79031	1	9,79031	0,46	0,5225
Error total	127,439	6	21,2399		
Total (corr.)	403,717	12			

### Anexo XVI

**Tabla 3.10: Inversión fija**

## ANEXOS



Indicador		Fórmula	Costo (\$)	
Costos Directos	Equipamiento	100 %	2824.300	
	Instalación de Equipos	35 % Costo del equipamiento	988.505	
	Aislamiento	9 % Costo del equipamiento	254.187	
	Instrumentación y control	6 % Costo del equipamiento	169.458	
	Tuberías	66 % Costo del equipamiento	1864.038	
	Instalaciones eléctricas	7 % Costo del equipamiento	197.701	
	Servicios	Generación de vapor	3 % inversión fija	0.03 * IF
		Distribución de vapor	1 % inversión fija	0.01 * IF
		Suministro de Agua	1 % inversión fija	0.1 * IF
		Distribución de la electricidad	0.4 % inversión fija	0.004 * IF
	Almacenamiento de las materias primas	2 % inversión fija	0.004 * IF	
Costos indirectos	Supervisión e Ingeniería	5 % inversión fija	0.05 * IF	
	Gastos de construcción	1 % inversión fija	0.1 * IF	
	Gastos de puesta en marcha	10 % inversión fija	0.10 * IF	
	Imprevistos	10 % inversión fija	0.10 * IF	

## Anexo XVII

<b>Tabla: 3.14. Costos de fabricación para el licor de remojo</b>			
	<b>Indicador</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Costo / Año</b>
<b>Costos directos de producción</b>	Materia Prima	-	24 180
	Mano de obra (MO)	-	94 476.2
	Supervisión	0.1* MO	9 447.62
	Vapor, agua y electricidad		3 6314.98
	Mantenimiento y reparaciones	0.05* IF	461.74
	Suministros	0.005* IF	46.17
	<b>Costos Fijos</b>	Seguros	0.04* IF
Impuestos		0.1*IF	923.488
<b>Costos Externos</b>	Otros costos	0.5*(MO+Mantenimiento)	5 502.66
<b>Costos de fabricación</b>			<b>171 722.223</b>

# ANEXOS

---

