

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



Trabajo de Diploma

Título:

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

Autor: Dayana Rabassa Rabasa

Tutores: MSc. David Velázquez Torres

MSc. Elisa Chou Rodríguez

Colaborador: Dr. Wilfredo Francisco Martín
Cienfuegos, 2014



“

“En la ciencia no hay un amplio camino trillado, podrá alcanzar su cima resplandeciente, solo aquel que sin espantarse ante el cansancio lo escale por caminos empedrados”



Karl Marx



Dedico los resultados de estos cinco años de mi vida:

A mi abuela Caridad por ser una persona muy querida e importante en mi vida, por su constante preocupación apoyo incondicional, por educarme de la mejor forma que estuvo en sus manos, y ser la mejor abuelita que puede existir

A mi querida mamá y papá de crianza Dolores y Wilfredo por cuidarme, educarme y pelearme tanto cuando hago algo mal aunque al final yo sé que es por mi bien,

A mis padres biológico que a pesar de no haberme cuidado desde muy pequeña por cosas de la vida siempre han estado conmigo apoyándome, preocupándose y dándome su amor siempre,

A mis hermanos de crianza Osmany, Elvis y Yamaiké por enseñarme a ser perseverante en mis proyectos y por brindarme su inmenso amor,

A mi tía Eddy por siempre apoyarme, ayudarme y quererme mucho,

A los que ya no están, pero siempre tendrán espacio en mi corazón,

A mí que he sido la mayor partícipe de todos mis logros, por el sacrificio y la dedicación que he puesto para alcanzar esta meta, sin ello hubiese sido imposible.



Muchas gracias a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado a llegar hasta donde he llegado hoy.

*A mi **abuelita** Caridad que la sigo queriendo muchísimo, ella lo fue todo para mí y lo supo, porque me adoraba y no escatimaba en cariño para sus nietos queridos que aunque ya no está entre nosotros, sé que de estarlo, se sentiría muy orgullosa y feliz por mi*

*A toda la **familia** por su perseverancia en el seguimiento de mi trayecto estudiantil, por ser los que más me han ayudado y estado presente en todo momento de mi vida. Les agradezco por todas las carreras que han tenido que dar conmigo, complaciéndome en todo lo que han podido, preocupándose siempre por mis resultados académicos y esperar siempre lo mejor de mí.*

A mis familia del barrio Damaris, Rey, Elsa , Julita , Mercedes, Albero y Marisol por haberme ayudado en todo lo que han podido de una manera u otra, han estado conmigo apoyándome en las buenas y en las malas,

A mis amigas y amigos Reinier, Tatiana, Lisyeny, Lisdany, Cheila, Yamiska, Estela y su familia por quererme tanto y darme su apoyo incondicional

A todos mis compañeros de aula en especial a las muchachitas becadas que por estar más tiempo juntas todas hemos creado una buena y duradera amistad que buscaremos en un futuro siempre que la necesitemos,

A todos los profesores que durante la carrera aportaron sus conocimientos en mi formación para que este día se hiciera realidad,

A mis tutores Elisa y David por ayudarme y enseñarme los elementos necesarios para la realización de esta investigación,

A Wilfredo por compartir parte de sus conocimientos con presteza, su ayuda ha enriquecido sin dudas el trabajo realizado,

A todos GRACIAS, definitivamente no hubiese podido hacer realidad este sueño sin ustedes. Gracias por el cariño y confianza que me han brindado en cada momento, pero sobre todo por estar, cada uno a su manera protegiéndome para alcanzar mis objetivos. A Dios, por ponerme en el camino en esta etapa de mi vida tantas personas especiales que lo han hecho único

...para ustedes es todo mi agradecimiento....



RESUMEN

La presente investigación se realiza con el objetivo de evaluar técnica-económica y ambiental la sustitución de azufre sólido por Green Sulf en la etapa de maceración del maíz en la UEB Glucosa Cienfuegos. En la misma se realiza un estudio teórico relacionado con el proceso de maceración utilizando azufre sólido, así como las características y propiedades del Green Sulf, producto utilizado en nuestro país para la producción de azúcar blanco directo no encontrándose reporte en la literatura consultada de su empleo en la maceración de maíz. Al considerar la aproximación en los procesos de sulfitación en la industria azucarera y obtención de agua sulfurosa, por el método de combustión del azufre y una vez realiza pruebas de laboratorio se estima que esta sustancia puede ser empleada en la maceración lo cual involucra un cambio en la tecnología actualmente utilizada. Para el desarrollo de este trabajo fue necesario apoyarse en técnicas de manejo tales como: balances de materia y evaluación económica – ambiental con y sin externalidades, donde resultó que la tecnología empleando Green Sulf alcanza mejoras técnicas y ambientales, no siendo así en la parte económica, debido al alto costo de la materia prima y el gasto de energía en comparación con la utilización de azufre sólido.

Palabras clave: Maceración del maiz, Azufre Sólido, Green Sulf



summary



SUMMARY

This research is performed in order to assess technical – economic and environmental replacing Green Sulf by solid sulfur in corn steep step in the UEB Glucose Cienfuegos, it is carried in a theoretical study related to the process of maceration using solid sulfur as well as the characteristics and properties of Green Sulf, product used in our country for the production of white sugar finding no direct report in the literature of its use in corn steep. When considering the approximation sulfation processes in the sugar industry and obtaining sulfur water, by the method of burning sulfur and once performed laboratory tests is estimated that this substance can be used in the maceration which involves a change in currently used for the development of this technology work was necessary to rely on management techniques such as mass balances and economic and environmental evaluation without externalities, which proved that the technology using Green Sulf reaches technical and environmental improvements, not being well in the economic part, due to the high cost of raw materials and energy expenditure compared with the use of solid sulfur.

Key words: Corn maceration, Solid sulfur, Green Sulf



ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1. MACERACIÓN DE MAÍZ. FUNDAMENTOS GENERALES | 4 |
| 1.1 Proceso de maceración del maíz empleando azufre sólido para la obtención de Almidón y Glucosa | 4 |
| 1.2 Química del proceso de maceración | 7 |
| 1.2.1 Anhídrido sulfuroso molecular | 9 |
| 1.2.2 Anhídrido sulfuroso combinado | 9 |
| 1.3 Proceso de obtención de agua sulfurosa | 11 |
| 1.3.1 Equipos y su desempeño | 12 |
| 1.4 Impactos ambientales provocados por el escape de SO₂ a la atmósfera | 12 |
| 1.5 Proceso de maceración empleando del Green Sulf | 13 |
| 1.5.1 Características del Green Sulf | 14 |
| 1.5.2 Ventajas del empleo del Green Sulf | 14 |
| Conclusiones Parciales | 16 |
| CAPÍTULO II. PROPUESTA DE CAMBIO DE TECNOLOGÍA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE AGUA SULFUROSA PARA LA MACERACIÓN DE MAÍZ EN LA EMPRESA GLUCOSA CIENFUEGOS | 17 |
| 2.1 Caracterización de la Empresa Glucosa Cienfuegos | 17 |
| 2.2 Característica de las materias primas usadas en el proceso de maceración | 19 |
| 2.3 Proceso de obtención de agua sulfurosa | 21 |
| 2.4 Proceso de maceración del maíz | 24 |
| 2.5 Impactos ambientales detectados durante el proceso de maceración y obtención de agua sulfurosa | 26 |
| 2.6 Propuesta tecnológica para el empleo del Green Sulf en la etapa de maceración | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6.1 Descripción del proceso de preparación de Green Sulf | 26 |
| 2.6.2 Análisis efectuados al Green Sulf para el proceso de maceración | 27 |
| Conclusiones Parciales | 32 |
| CAPÍTULO III. ANÁLISIS ECONÓMICO – AMBIENTAL DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA DE AZUFRE SÓLIDO POR GREEN SULF | 33 |
| 3.1 Consumo de materias primas y materiales auxiliares | 33 |
| 3.1.1 Consumo de azufre sólido y Green Sulf | 33 |
| 3.1.2 Consumo de agua empleando azufre sólido y Green Sulf | 36 |
| 3.2 Resultados de los costos energéticos en el proceso de maceración | 37 |
| 3.2.1 Costo de inversión de la tecnología de Green Sulf | 40 |
| 3.3 Resultados del cálculo de efectos económicos en el período de un año | 41 |
| 3.4 Evaluación ambiental | 42 |
| 3.5 Evaluación técnica – económica – ambiental de la propuesta tecnológica | 43 |
| Conclusiones Parciales | 45 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 46 |
| RECOMENDACIONES | 47 |
| BIBLIOGRAFÍA | 48 |

INTRODUCCIÓN

Desde principios del pasado siglo, la industria química se ha caracterizado por un desarrollo explosivo. Han crecido los conocimientos científicos necesarios sobre la química medioambiental, la bioacumulación y la toxicidad de los productos químicos.

Para triunfar en un mundo tan competitivo como el actual, e incluso para sobrevivir, las empresas no se pueden considerar definitivamente instaladas en un mercado, ni en una tecnología determinada, lo que pone de relieve la importancia de gestionar adecuadamente los procesos de innovación tecnológica (Sánchez Machado, 2012).

Toda industria química durante las etapas del proceso productivo genera diferentes tipos de residuos, en dependencia de las materias primas utilizadas y los productos finales obtenidos. En términos tecnológicos es necesario la búsqueda de mejores alternativas para la mitigación de los desechos generados, también se considera desde el punto de vista medioambiental la responsable del efecto invernadero, la lluvia ácida, el deterioro de la capa de ozono, etc. En la actualidad, los gobiernos tratan de establecer una legislación medioambiental que controle el impacto ambiental del proceso industrial y la calidad y seguridad de los productos manufacturados.

En la industria el concepto de desarrollo sostenible debe traducirse en el compromiso de fijar y lograr metas de funcionamiento que reduzcan las emisiones de sustancias nocivas (Acquetella, 2010).

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).

La Empresa Glucosa Cienfuegos genera impactos potenciales al medio ambiente principalmente en la etapa de maceración del maíz, debido a la utilización de agua sulfurosa, producto auxiliar que se obtiene de la combustión de azufre sólido, donde los gases de SO₂ se mezclan con el agua en torres de absorción, como consecuencia de esto se

emiten a la atmósfera 29 839.498 kg de SO₂/año, así como derrames de azufre sólido en áreas del quemador. De acuerdo con lo antes expuesto se hace necesario un cambio de tecnología que aporte mejoras ambientales para el proceso.

El Green Sulf nuevo producto puesto en el mercado por Bayer Agency Busine se utiliza como materia prima en la industria azucarera para garantizar la producción estable de azúcar blanco directo, sin la quema de azufre siendo este la materia prima utilizada por años para lograr el proceso de sulfitación.

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados en el proceso de sulfitación en frío de la industria azucarera, las ventajas que presenta el empleo del Green Sulf y la estrecha relación de este proceso en ambas industrias (ya que dióxido de azufre usado en la sulfitación del jugo en la industria azucarera y el agua sulfurosa para el proceso de maceración se obtiene por la combustión del azufre sólido), nos da la posibilidad de aplicar esta nueva tecnología para la obtención de agua sulfurosa en la etapa de maceración del maíz en la UEB Glucosa Cienfuegos.

Se hace necesario, por lo tanto evaluar desde el punto de vista técnico – económico el cambio de tecnología actual por la del Green Sulf proporcionando una base para la investigación de nuevas mejoras en la etapa de maceración del maíz, con el objetivo de lograr una estrecha interrelación entre la economía y el medio ambiente permitiendo una mejora ambiental del proceso y de su competitividad.

PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Podríamos considerar como una alternativa técnica – económica – ambiental la sustitución de azufre sólido por Green Sulf en la etapa de maceración del maíz en la UEB Glucosa Cienfuegos?

HIPÓTESIS

Si se efectúa la sustitución de azufre sólido por Green Sulf en la maceración del maíz en la fábrica se obtendrá una mejora técnica – económica – ambiental del proceso en la UEB Glucosa Cienfuegos.

OBJETIVO GENERAL

❖ Evaluar técnica – económica – ambiental la sustitución de azufre sólido por Green Sulf en la etapa de maceración del maíz en la Empresa Glucosa Cienfuegos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un estudio documental del proceso de maceración del maíz empleando ambas tecnologías.
2. Evaluar técnica – económica – ambiental las tecnologías del azufre sólido y Green Sulf para la maceración del maíz.
3. Comparar cual de las tecnologías es la más rentable aportando consigo ahorros económicos para la etapa de maceración del maíz

La tesis queda estructurada de la siguiente forma:

En el capítulo I se realiza un estudio documental sobre el tema de maceración del maíz utilizando azufre sólido, se tiene en cuenta los impactos medioambiental es que provoca la combustión de tal sustancia, la química del proceso de maceración y de forma general las posibilidades de uso y sustitución del azufre sólido por el Green Sulf en la etapa de maceración de la UEB Glucosa Cienfuegos.

En el capítulo II se realiza de forma general la caracterización de la UEB Glucosa Cienfuegos y en específico la obtención de agua sulfurosa empleada en el proceso de maceración del maíz vía húmeda, además se presentan características e información técnica de la nueva tecnología, los antecedentes de los análisis efectuados al Green Sulf para el proceso de maceración y los procedimientos usados para la evaluación técnica – económica – ambiental del proceso con la utilización de ambas tecnología.

En el capítulo III se dan los resultados de los análisis que fueron consultados empleando Green Sulf y azufre sólido para la etapa de maceración del maíz .Además de analizar los resultados de la evaluación técnica – económica – ambiental del proceso de maceración empleando azufre sólido y Green Sulf en la obtención del agua sulfurosa en la etapa de maceración de la UEB Glucosa Cienfuegos.



Capítulo I 

CAPÍTULO 1. MACERACIÓN DE MAÍZ. FUNDAMENTOS GENERALES

1.1 Proceso de maceración del maíz empleando azufre sólido para la obtención de Almidón y Glucosa

Para la producción de Almidón y Glucosa, se utiliza maíz el cual es la materia prima fundamental en el proceso de obtención de estos productos, él mismo debe ser procesado pasando por diferentes operaciones unitarias.

Estos dos procesos tienen un punto en común la etapa de recepción, limpieza y maceración del maíz. En esta etapa además de la utilización de maíz, se utiliza azufre sólido como materia prima en la obtención de agua sulfurosa para el proceso de remojo del maíz (Acuña Verrugio, 2010).

Una vez que el maíz pasa por el proceso de limpieza, éste se somete a un proceso de maceración que consiste en un tratamiento previo (químico), con el objetivo de humedecer el grano para su posterior ablandamiento. En la Figura 1.1 se muestra el diagrama de proceso de la etapa (Jorgelina, 2010).

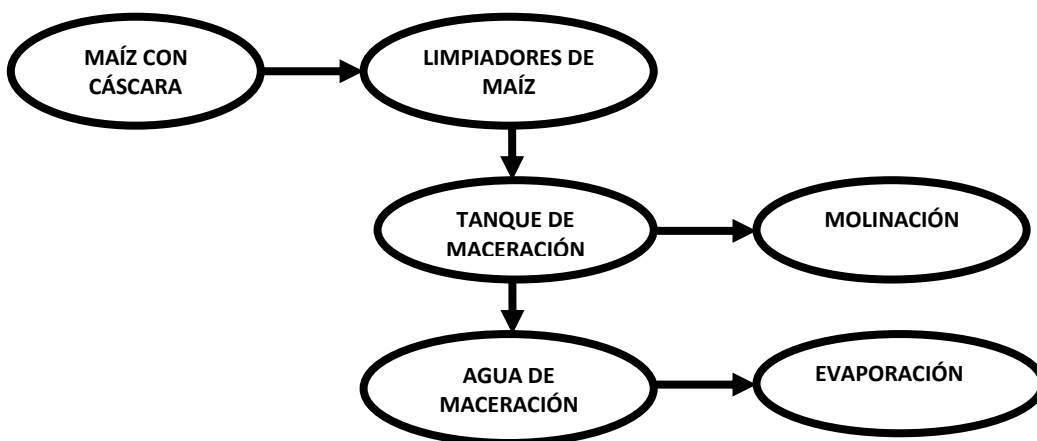


Figura 1.1: Diagrama de proceso etapa de limpieza y maceración. **Fuente:** Elaboración propia.

Para la maceración de maíz, este se sumerge en agua con 0,1 –0,2 % de dióxido de azufre. Se controla la temperatura alrededor de 48 – 52 °C y la duración varía de 30 a 50 horas. A causa de esto el maíz presenta un 45 % de humedad y se ablanda suficientemente (se puede detectar tocándolo). Durante este proceso de maceración se solubiliza el 6 % del maíz (Acuña Verrugio, 2010).

Comercialmente se realiza este proceso en cubas que contienen hasta 105 m³. Normalmente el sistema de maceración utiliza 10 cubas en baterías, trasladando el maíz desde la cuba 1 a la 10 y el agua de maceración desde la 10 a la 1 (Acuña Verrugio, 2010).

Durante la maceración, va disminuyendo el nivel de dióxido de azufre en el agua de maceración a medida que van reaccionando más iones hidrogenosulfitos 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 “corn steep” 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 corn steep 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 corn steep una fuente ideal de materias nutritivas, en especial en las industrias de fermentación. Se utiliza en la mayor parte de las producciones biológicas, de antibióticos, de vitaminas, de ácidos orgánicos, de enzimas. Se utiliza igualmente en la producción de biomasa (Roquette, 2003).

Después de la maceración, el 60 % del maíz procesado pasa al molino con el objetivo de separar el almidón, proteínas y fibra. La fibra (salvado) tiende a permanecer en piezas más

grandes y se elimina por tamizado. En la Figura 1.2 se muestra una batería de cubas para la maceración (Acuña Verrugio, 2010).



Figura 1.2: Baterías de cubas para la maceración de maíz. **Fuente:** Empresa Glucosa Cienfuegos.

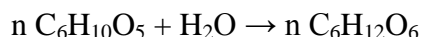
Después de lavada la fibra, se escurre con presión y se seca para su utilización como alimento animal. Por las otras salidas van el almidón y proteína. Como el almidón es más denso que la proteína, se pueden separar entre sí mediante grandes centrífugas continuas o con hidrociclones adicionales.

El gluten, menos denso, con su 60 – 70 % de proteína en producto seco, es liberado del agua mediante centrifugación y luego desecado. Es un valioso subproducto utilizado como alimento animal.

El almidón que se obtiene de ellos, contiene menos de 0,3 % de proteína, y queda listo para modificación química, conversión a jarabe, o para ser vendido como almidón previa desecación. La mayoría de la desecación se realiza con secadores flash. El almidón escurrido se inyecta a un chorro rápidamente móvil de aire caliente. Los granos se secan rápidamente y se recogen en ciclones de polvo.

El almidón refinado tiene que ser gelatinizado a 60 °C antes de ser hidrolizado, los gránulos absorben agua, se hinchan y se dispersan las moléculas de almidón en la solución (Moya Monteagudo, 2012).

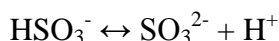
En general, el almidón se hidroliza en suspensión acuosa a temperaturas de 100 a 150 °C en presencia de un catalizador (ácido o enzima). La hidrólisis del almidón se puede expresar en la reacción química siguiente siempre que $n = 1$:



La glucosa debe ser teóricamente el único producto obtenido después de una hidrólisis completa, sin embargo esto no es así pues se forman productos como dextrinas, oligosacáridos, maltosa, etc. El grado de hidrólisis o composición relativa de la glucosa líquida se da en valores de Equivalente de Dextrosa (ED), que indica el porcentaje de azúcares reductores por unidad de peso inicial (Moya Monteagudo, 2012).

1.2 Química del proceso de maceración

Cuando el SO_2 es colocado en solución, se forma el ácido sulfuroso (cuya molécula no puede ser aislada) y se disocia estableciéndose los siguientes equilibrios:



Los equilibrios de disociación corresponden a un ácido diprótico, y por lo tanto tenemos dos constantes de disociación cuyos valores son $\text{pk}_1 = 1,77$ y $\text{pk}_2 = 7,18$.

En la Figura 1.3 pueden verse las curvas de concentración de las distintas especies químicas en la solución acuosa, en función del pH.

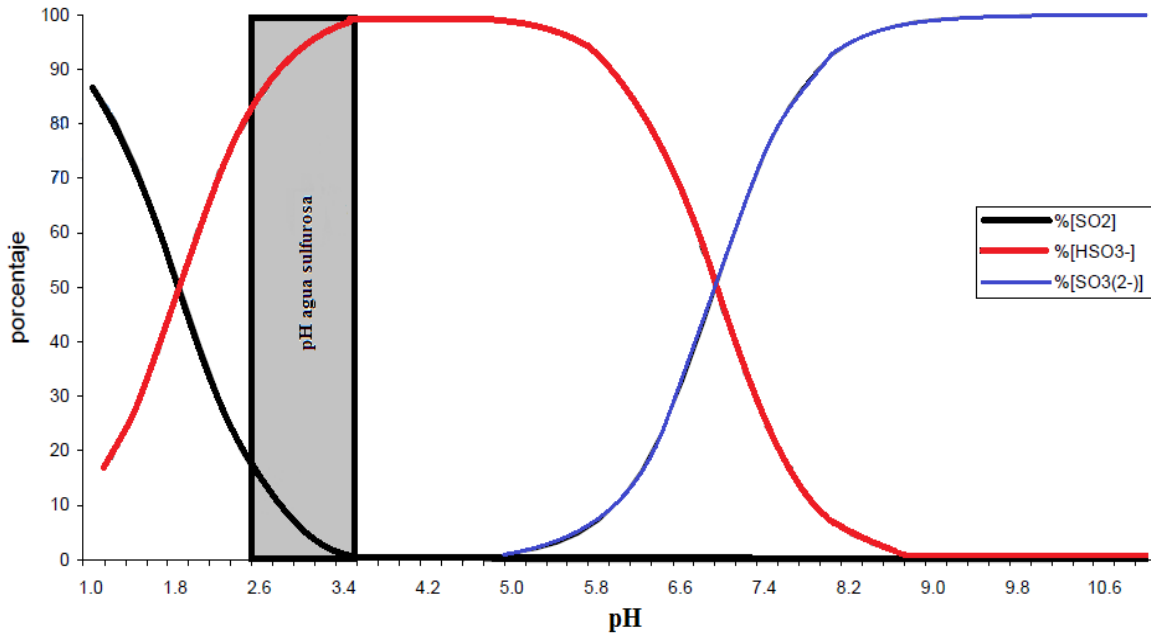


Figura 1.3: Porcentaje de las distintas especies de la disociación del ácido sulfuroso en función del pH. **Fuente:** (Velázquez Torres, 2014).

La zona gris representa el pH del agua sulfurosa a concentraciones entre 1 500 y 2 000 ppm. Como se observa en los equilibrios, la concentración de las distintas especies varía según el pH del medio (concentración de hidrogeniones), desplazándose hacia la formación de sulfito a pH altos y hacia el ácido sulfuroso a pH bajos, como puede verse en la Figura 1.3. Dado el valor de la constante correspondiente al segundo equilibrio, la concentración del ion sulfito es despreciable al pH del agua sulfurosa. Por lo tanto, sólo es importante para considerar en los cálculos, el primer equilibrio, estableciéndose por la siguiente ecuación:

$$\frac{[H^+] \cdot [HSO_3^-]}{[SO_2] \cdot [H_2O]} = K'$$

Como la concentración de agua puede tomarse como constante, tenemos:

$$\frac{[H^+] \cdot [HSO_3^-]}{[SO_2]} = K_1$$

Aplicando logaritmo a la ecuación y despejando:

$$pH = pK_1 + \log \left[\frac{HSO_3^-}{SO_2} \right]$$

El anhídrido sulfuroso en forma de SO_2 , HSO_3^- y SO_3^{2-} constituye la fracción que llamaremos libre, dada la baja concentración de ion sulfito en el agua sulfurosa, puede considerarse al anhídrido libre como la suma de la concentración de SO_2 y HSO_3^- . Al SO_2 en solución se le llama anhídrido sulfuroso molecular y es el realmente activo frente a los microorganismos.

$$[SO_2] \text{ libre} = [SO_2] \text{ molecular} + [HSO_3^-] + [SO_3^{2-}] = 0$$

La otra fracción del anhídrido sulfuroso se presenta en forma combinada (anhídrido sulfuroso combinado), la cual está en equilibrio con el SO_2 libre y las sustancias capaces de combinarlo (etanol, ácidos cetónicos, azúcares y antocianos).

$$[SO_2] \text{ total} = [SO_2] \text{ libre} + [SO_2] \text{ combinado}$$

1.2.1 Anhídrido sulfuroso molecular

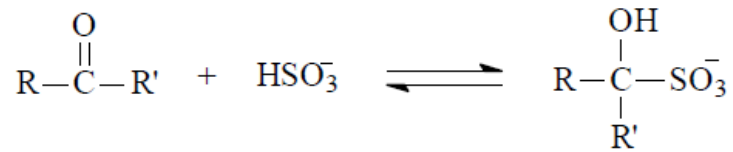
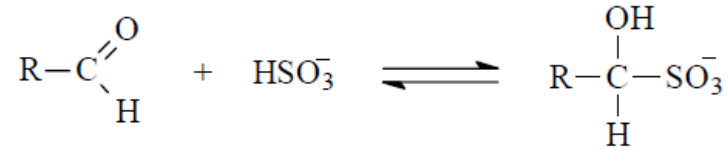
A partir de las ecuaciones anteriores, puede determinarse el contenido de SO_2 molecular, el cual está dado por la siguiente expresión:

$$[SO_2] = \frac{C \cdot 10^{-pH}}{K_1 + 10^{-pH}}$$

Donde C es el contenido de SO_2 libre.

1.2.2 Anhídrido sulfuroso combinado

Los hidrogenosulfitos poseen la propiedad de combinarse con las moléculas que poseen grupo carbonilo según las siguientes reacciones reversibles:



De esta forma tenemos el anhídrido sulfuroso combinado, el que se encuentra formando uniones con compuestos orgánicos, fundamentalmente con las funciones carbonilo. La suma del anhídrido sulfuroso libre y el combinado forma lo que llamamos anhídrido sulfuroso total. En las reacciones anteriores, puede establecerse una constante de equilibrio (k), cuya ecuación será la siguiente:

$$\frac{[M] \cdot [\text{HSO}_3^-]}{[\text{MSO}_3^-]} = K$$

Siendo M la sustancia combinante, y K la constante cuyo valor dependerá de la sustancia M que se esté considerando.

Suponiendo una concentración de ion hidrogenosulfito de 25 mg/L, y sustituyendo valores tenemos:

$$\frac{[\text{MSO}_3^-]}{[M]} = \frac{10^{-3}}{3.24K}$$

Representando la ecuación anterior la relación entre la molécula combinante en forma combinada y libre.

Luego de conocer la química del proceso de maceración es preciso indagar acerca de las características del agua sulfurosa a la que es sujeto el maíz para posteriores etapas con el objetivo de obtener Almidón y Glucosa.

1.3 Proceso de obtención de agua sulfurosa

Actualmente en Cuba la maceración del maíz se realiza con agua sulfurosa; conteniendo entre 600 y 1 500 ppm como SO_2 (g) (dióxido de azufre). En este caso el dióxido de azufre se suele producir quemando el azufre sólido S_8 (s) en contacto con oxígeno a través de un quemador rotatorio para la obtención del gas de SO_2 (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. En la Figura 1.4 se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de agua sulfurosa.

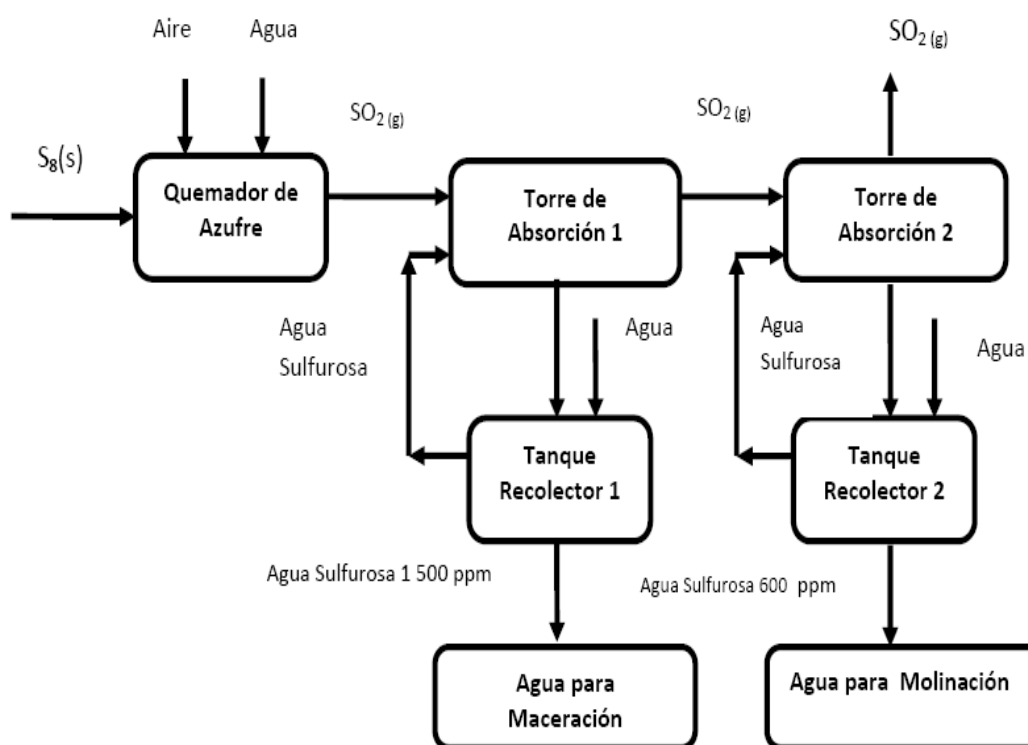


Figura 1.4: Diagrama de flujo de obtención de agua sulfurosa. **Fuente:**(Chou Rodríguez, 2012).

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 como se muestra en la Figura 1.5, porque el ion hidrogenosulfito 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 se libera con más facilidad de la matriz proteica y el rendimiento es superior.

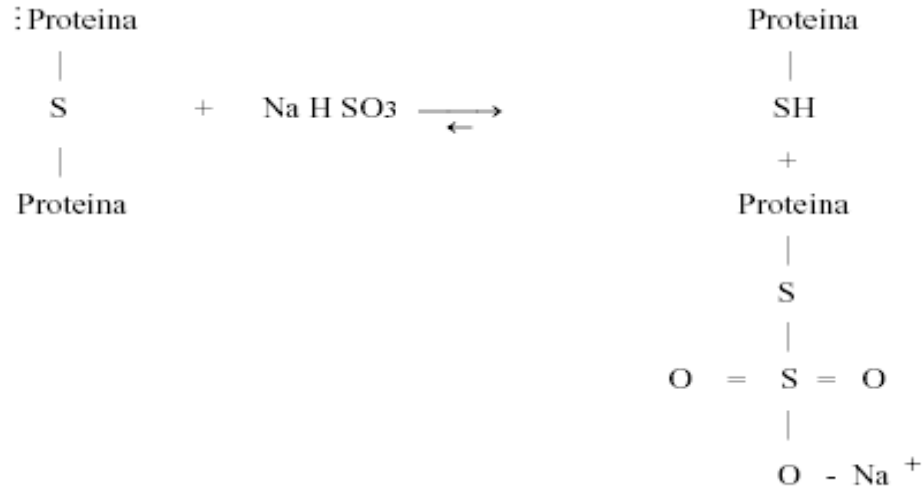


Figura 1.5: Reacción del ion hidrogenosulfito con los enlaces disulfuro en la matriz proteica del maíz. **Fuente:** (Velázquez Torres, 2014)

1.3.1 Equipos y su desempeño

El desempeño del proceso de obtención de agua sulfurosa depende de la eficiencia de generación del 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 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 o para dispersar el 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 para succionar el aire.

1.4 Impactos ambientales provocados por el escape de SO_2 a la atmósfera

El escape de SO_2 (g) no disuelto sale como gases de escape a la atmósfera provocando diversos impactos ambientales que a continuación relacionamos (Colectivo de autores, 2010).

- Emisiones SO_2 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_2 , 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^3), Umbral de olor 0,5 ppm (1 mg/m^3) (es detectado por el olfato humano).

1.5 Proceso de maceración empleando del Green Sulf

En toda la bibliografía consultada no existe referencia de la utilización del Green sulf para la etapa de maceración del maíz en la producción de Almidón y Glucosa. Puesto que este nuevo producto en el mercado estrena su utilización en la industria azucarera.

Durante años, la industria azucarera ha utilizado como materia prima para lograr el proceso de sulfitación, el azufre sólido. Actualmente se emplea el Green Sulf el cual previamente se disuelve en agua para obtener una disolución concentrada de hidrogenosulfito que mezclada en contracorriente con el jugo de caña de azúcar, será el responsable de reaccionar con las proteínas y los aminoácido para bloquear por medio de las reacciones de Millard, la formación de compuestos que le dan color al jugo (Alavés Bolaños & Cardona, 2012).

Existen dos centrales en Cuba donde se implementó la tecnología de obtención de azúcar blanco directo empleando Green Sulf para garantizar la producción estable, sin la quema de azufre, con la tecnología implementada y aplicando este nuevo producto se reduce la contaminación ambiental, la cantidad de equipos utilizados en el proceso y su deterioro, así

como los productos químicos empleados, en comparación con el método de sulfitación anterior (Alavés Bolaños & Cardona, 2012).

1.5.1 Características del Green Sulf

Este producto es de color blanco, muy soluble en agua y de olor irritante. En disolución acuosa presenta un pH de 4,0 a 5,0, se almacena de 5 a 35 °C en lugar seco, ventilado, lejos de calor, 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.

Preparación: Se recomiendan soluciones del 50 % de concentración.

Aplicación: Se aplica por medio de bomba dosificadora y un dispositivo de paro y arranque para movimiento de flujo.

Dosis empleada en la industria azucarera: Las dosis varían de acuerdo a la calidad del jugo y la calidad requerida de azúcar. Se estiman de 50 a 300 ppm (gramos de Green Sulf 2012/ton de caña molida).

1.5.2 Ventajas del empleo del Green Sulf

- Alta eficiencia de mezcla SO_2 (g) /agua.
- No requiere quemar azufre ni ningún proceso de combustión.
- No hay pérdidas de SO_2 a la atmósfera y por ende se reduce la lluvia ácida.
- Las dosis requeridas son menores que con la quema de azufre, normalmente un 50 por ciento menos.
- Completamente flexible a cambios de flujo y se puede automatizar fácilmente
- Sistema de aplicación muy sencillo y económico. Sólo requiere de dos tanques ya sea de polietileno o de acero inoxidable con agitación mecánica y bomba dosificadora.
- Costo de mantenimiento despreciable.

- No requiere permisos engorrosos de los ministerios de defensa o seguridad pública para su adquisición, almacenamiento y transporte.

1.6 Necesidad del cambio de tecnología

A pesar de no contar con una suficiente información sobre el empleo de Green Sulf en la maceración de maíz, se propone realizar un estudio para el cambio de tecnología teniendo en cuenta los siguientes aspectos relacionados con la utilización de este producto en la industria azucarera.

- Se alcanzan mejores resultados en el proceso de sulfitación de la industria azucarera empleando Green Sulf ante la utilización de azufre sólido.
- Similitud de ambos procesos ya que el método de sulfitación y la obtención del agua sulfurosa, se obtienen de la combustión del azufre sólido.

Por todo lo antes expuesto es necesario valorar la posible aplicación de este producto en la obtención de agua sulfurosa para el proceso de maceración del maíz en la UEB Glucosa Cienfuegos cuyo objetivo será la solubilización de parte del grano de maíz, eliminación de los microorganismos y la reducción del peso molecular de las proteínas.

Conclusiones Parciales

1. La tecnología tradicionalmente utilizada para la obtención de agua sulfurosa en la maceración de maíz, es la combustión de azufre sólido el cual genera importantes impactos al medio ambiente.
2. Con el empleo del Green Sulf en industria azucarera se pueden obtener ventajas técnicas, económicas y ambientales, sin embargo en las bibliografías consultadas no existe referencia alguna del uso de esta sustancia en el proceso de obtención de agua sulfurosa para la maceración de maíz en industrias de Almidón y Glucosa.
3. Analizando la similitud en los procesos de sulfitación en la industria azucarera y obtención de agua sulfurosa para la maceración de maíz, en cuanto a la producción de SO_2 se propone el estudio de empleo del Green Sulf en la UEB Glucosa Cienfuegos.



CAPÍTULO II. PROPUESTA DE CAMBIO DE TECNOLOGÍA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE AGUA SULFUROSA PARA LA MACERACIÓN DE MAÍZ EN LA EMPRESA GLUCOSA CIENFUEGOS

En el presente capítulo se presenta una caracterización general de la Empresa Glucosa Cienfuegos, descripción de la etapa de obtención de agua sulfurosa utilizando azufre sólido, propuesta de cambio de tecnología empleando Green Sulf, así como la metodología a aplicar para el análisis técnico – económico – ambiental.

2.1 Caracterización de la Empresa Glucosa Cienfuegos

La UEB Glucosa Cienfuegos perteneciente al Ministerio de la Industria Alimentaria, es única de su tipo en el país y se encuentra localizada 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.

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 Agua de Remojo y 21,5 toneladas de Forraje (ALFA-LAVAR, 1980).

Estas producciones no se han podido alcanzar en los años que lleva de puesta en marcha, siendo la causa fundamental la falta de maíz, materia prima importada, desde Canadá, Argentina, África del Sur, Argelia y en los últimos años desde EEUU, falta de piezas de repuesto 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, produciendo diariamente 15 toneladas de Almidón de Maíz, los Siropes de Glucosa dependen de la producción a realizar, para la Glucosa Ácida 30 toneladas y Glucosa Enzimática 25 toneladas.

El proceso tecnológico de la UEB 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 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 4 500 m³ 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 industrial más los albañales que desde su concepción inicial no responde a las características de la fábrica provocando esto que el resultado del tratamiento de los residuales líquidos sea ineficiente. En la Figura 2.1 se muestra el proceso tecnológico de la fábrica de Almidón y Glucosa.

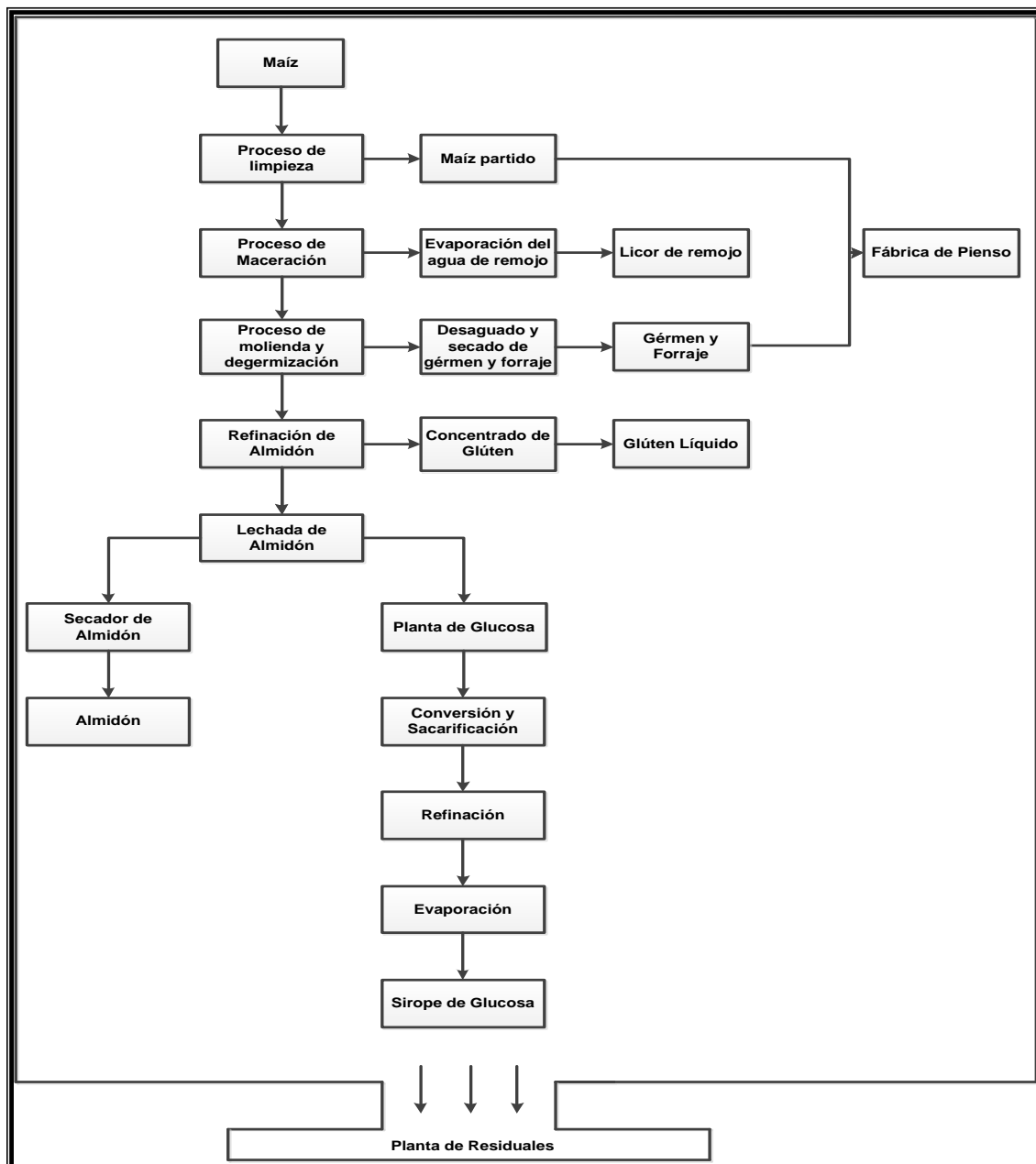


Figura 2.1: Proceso tecnológico de la fábrica de Almidón y Glucosa. UEB Glucosa Cienfuegos.

2.2 Característica de las materias primas usadas en el proceso de maceración

- **Características del maíz**

En la UEB Glucosa Cienfuegos actualmente se recibe maíz de dos tipos diferentes (Maíz Yellow y Maíz Plata), para su empleo este debe pasar por un proceso de limpieza donde el

grano sano, seco y libre de las impurezas es utilizado en el proceso de maceración, en la Tablas 2.1 y 2.2 se resumen las especificaciones fundamentales de calidad.

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 |
| Viabilidad (%) | 55 mínimo | 65 mínimo |
| Germinación (%) | 55 mínimo | 65 máximo |

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

Tabla 2.2: Características de las impurezas presentes en el maíz.

| Índice | Maíz Yellow | Maíz Plata |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Partido pequeño y materias extrañas (%) | 2,0 máximo | 1,0 máximo |
| Daños por calor (%) | 1,0 máximo | 1,0 máximo |
| Enfermo (%) | 0,5 máximo | 0,5 máximo |
| Aspecto | Característico, saludable | Característico, saludable |

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

Los parámetros de calidad del maíz, pactados en el contrato de compra de la planta con la Empresa ALFA-LAVAL deben alcanzar los índices anteriormente expuestos. Cualquier alteración en la calidad de la materia prima ocasiona variaciones en el proceso tecnológico de producción.

- **Características del azufre**

El azufre utilizado para la obtención del ácido sulfuroso (H_2SO_3) que se produce en las torres de absorción, llega a la fábrica en sacos de papel y es almacenado en un local

destinado al efecto con las condiciones requeridas la calidad del azufre utilizado es de un 95 % de pureza.

2.3 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. Debemos señalar que el mismo se realizó con las etapas que hoy están funcionando en la fábrica.

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_2 (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).

A la tubería de salida del quemador de azufre 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.

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.

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.

Entiéndase por grado de contaminación los arrastres de almidón, gluten, etc. que contenga el agua de proceso.

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.

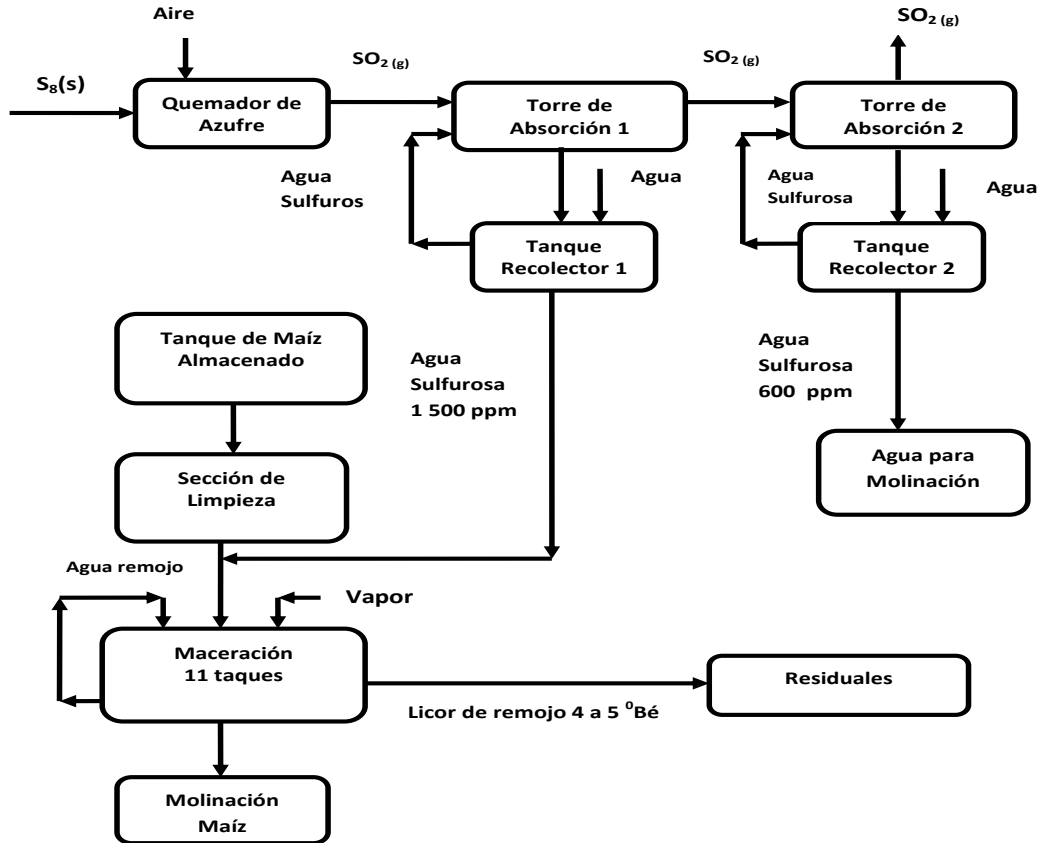


Figura 2.2: Diagrama de Flujo de la Sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz, UEB Glucosa Cienfuegos. **Fuente:** (Chou Rodríguez, 2012).

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 ₂ (disuelto) Mínimo ppm | SO ₂ (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.

2.4 Proceso de maceración del maíz

La maceración es fundamentalmente el remojo del maíz en agua sulfurosa y bajo condiciones cuidadosamente controladas con la finalidad de separar los componentes del grano de maíz por hinchamiento de este y a la vez ablandarlo para lograr posteriormente un eficiente proceso de molinación (García Yanes, 2012).

El proceso de remojo es la operación principal en la fabricación de almidón, por lo que debe efectuarse correctamente, asegurando así un rendimiento alto en almidón y subproductos, además garantiza las calidades de esos productos, a la vez que mantienen los insumos de productos auxiliares en la planta de glucosa dentro de norma permisible por cuanto el almidón es la materia prima de la fábrica de glucosa, de ahí la repercusión que tiene en la producción de glucosa el proceso de remojo (Schlicher, 2009)

El proceso de remojo es en general semicontinuo. Es continuo en lo que respecta a la circulación del agua de remojo y semicontinuo en lo que respecta a la alimentación del maíz.

Esta sección es controlada desde el panel de control CP 101, donde las posiciones de las válvulas se indican y operan por impulso de micro corto circuitos.

Con el fin de obtener una solubilización eficiente de las sustancias solubles del maíz (6 %, que están constituidos por el 35 al 45 % de proteínas) y eliminar una actividad biológica indeseable, el remojo se realiza con agua sulfurosa y la temperatura según la variedad del grano. En la Tabla 2.4 se resumen los parámetros a mantener:

Tabla 2.4: Parámetros para la maceración de maíz

| Tipo de Maíz | Temperatura | Tiempo |
|---------------------|--------------------|---------------|
| Yellow | 49 – 53 °C | 40 – 60 horas |
| Plata | 51 – 55 °C | 60 – 70 horas |

Fuente: Proceso Tecnológico Planta de Almidón. UEB Glucosa. Cienfuegos, Industria Confitera.

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 papel del ácido

láctico, no está claro, tiene un mínimo efecto en el ablandamiento del grano de maíz y quizás su principal efecto sea el de bajar el pH y de detener el crecimiento de otros organismos.

El nivel de agua de maceración sobre el maíz dentro de los tanques debe ser alrededor de 0,5 m. El agua sulfurosa se alimenta continuamente al tanque con el maíz más viejo, la extracción continua de esa agua será del tanque con el maíz más nuevo, y en dependencia de la calidad del maíz y bajo condiciones normales la cantidad de agua extraída será de 2 – 4 m³/h con una concentración de 3 – 4 °Bé y se controla esta salida de agua mediante una válvula manual. En este proceso va disminuyendo el nivel de dióxido de azufre en el agua de maceración a medida que van reaccionando más iones hidrogenosulfitos con la proteína.

En cada tanque de remojo existen reguladores de nivel que aseguran que el maíz esté cubierto con agua sulfurosa, además cada tanque tiene su propia instalación para bombear el líquido de remojo al tanque siguiente, para su recirculación y salida, cada tanque tiene una entrada de vapor que permite regular la temperatura del líquido durante la maceración.

A causa de diferentes cualidades variables, tratamientos previos y edades del maíz, el tiempo de remojo varía entre 40 a 60 horas, después de un período de remojo total el maíz tiene un contenido de humedad de 40 a 42 % y puede llegar a hasta un 50 %.

En caso de realizar el proceso de evaporación del agua de remojo, la salida del líquido será del tanque que contiene el maíz más nuevo. Este líquido contiene unos 60 g/L de solubles totales, un 35 % de nitrógeno proteico, 26 % de ácido láctico, 18 % de cenizas y 7 % de ácido fítico, además contienen niveles razonables de vitamina B (Araya, 1996).

Cuando un tanque se esté vaciando de agua de remojo, no hay recirculación a este ni entrada de agua sulfurosa a la sección, una vez que el agua haya sido extraída del tanque, el maíz se extrae mediante una válvula manual situada en el fondo de dicho tanque y a través de un transportador con recirculación de agua lleva el maíz hasta el tornillo sin fin y posterior al tornillo deshidratador donde comienza la primera etapa de molinación.

Especificaciones de calidad del producto en proceso

- **Para ambos tipo maíz**
 - Humedad 40 – 50 %

- Consistencia: ruptura al presionar el grano entre los dedo índice y pulgar
- **Agua de maceración**
 - Concentración 3 – 4 °Bé

2.5 Impactos ambientales detectados durante el proceso de maceración y obtención de agua sulfurosa

En maestrías realizadas (Chou Rodríguez, 2012), se detectaron en el área de obtención de agua sulfurosa emisiones de 29 839,49 kg de SO₂ (g)/año a la atmósfera además del derrame de 115,76 kg/año de azufre sólido, provocando numerosos impactos ambientales que afectan directamente la salud de los trabajadores y los diferentes ecosistemas que la rodean.

Igualmente ocurre en el proceso de maceración de maíz donde las principales malas prácticas detectadas están relacionadas con derrame de líquidos residuales con alto contenido de azufre, los cuales no son tratados por no contar con una tecnología adecuada en la planta de residuales.

2.6 Propuesta tecnológica para el empleo del Green Sulf en la etapa de maceración

Como se ha explicado en el capítulo anterior el Green Sulf es un nuevo producto, que fue adquirido en nuestro país, para el tratamiento de la producción de azúcar en especial blanco directo como sustituto del proceso de combustión del azufre sólido en la sulfitación del jugo de caña.

2.6.1 Descripción del proceso de preparación de Green Sulf

En un tanque con una capacidad de 1 m³ provisto de agitación mecánica se vierten 500 kg/m³, durante 5 a 6 horas, tiempo en que se logra la dilución completa del producto, posteriormente mediante una válvula manual la solución diluida es almacenada en un tanque de igual capacidad, luego a través de una bomba dosificadora es incorporada a el jugo de caña en la Figura 2.3 se muestra la instalación construida para este proceso ubicada en el central Caracas.

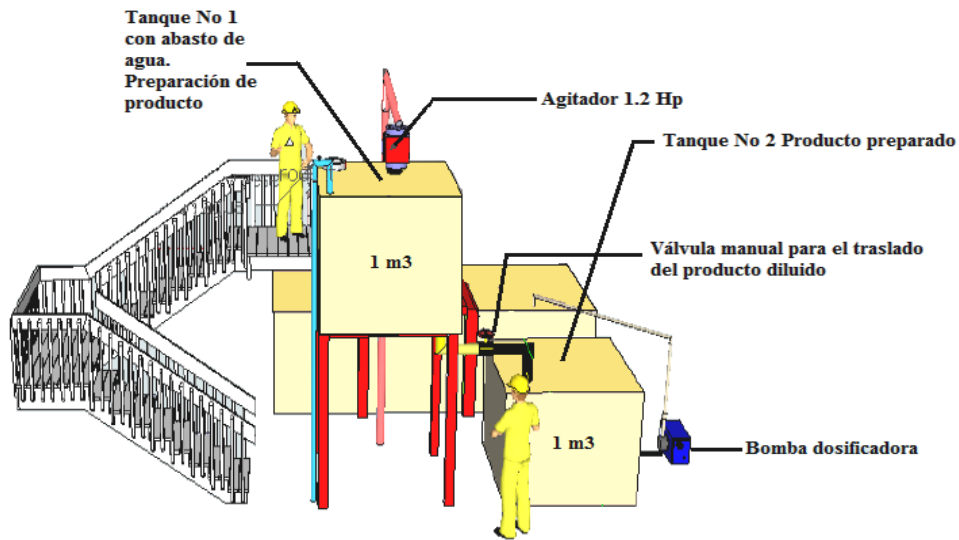


Figura 2.3: Instalación tecnológica para la dilución de Green Sulf en el Central Caracas.

Fuente:(Alavés Bolaños & Cardona, 2012)

2.6.2 Análisis efectuados al Green Sulf para el proceso de maceración

Con el estudio de las potencialidades del uso de este producto en la industria azucarera, el cual representa mejoras tecnológica, económicas y medioambientales, nos dimos a la tarea de proponer una metodología de trabajo la cual permitiera según los pasos propuesto lograr el estudio de la posibilidad de utilizar este producto para obtener el agua sulfurosa en la maceración de maíz.

2.6.2.1 Metodología de trabajo para el estudio del Green Sulf como sustituto del Azufre Sólido en la maceración de maíz

Paso 1: Recopilación de información sobre las características y propiedades de ambas sustancias.

Para la recogida de estos datos nos basamos en búsquedas bibliográficas y consulta a los tecnólogos del Central Caracas. En la Tabla 2.5 se exponen propiedades y composiciones significativas de ambos productos.

Tabla 2.5: Características del S₈ y Green Sulf.

| Concepto | Azufre sólido (S ₈) | Green Sulf |
|--|--|--|
| Envasado | Sacos de peso variable, fundamentalmente 25 kg | |
| Costo /kg maíz | 448 CUP / ton | 268,64 CUP/500 kg 1 342,47 CUC/500 kg |
| Firma que lo suministra | Producción nacional | Bayer Agency Business |
| Composición | 95 % de pureza | K ₂ S ₂ O ₅ - Na ₂ S ₂ O ₅ - KHSO ₃ - Na ₂ SO ₃ |
| Propiedades químicas | S ₈ + 8O ₂ = 8SO ₂ | Sal + H ₂ O = SO ₂ + iones |
| | SO ₂ +H ₂ O =H ₂ SO ₃ | |
| | H ₂ SO ₃ = HSO ₃ ⁻ +H ⁺ | |
| HSO ₃ ⁻ +C = O =complejos de azufre+ SO ₃ ²⁻ | | |

Fuente: Elaboración Propia

Paso 2. Análisis de laboratorios

Al agua de maceración obtenida de la combustión de azufre sólido en la UEB Glucosa Cienfuegos y a la obtenida empleando Green Sulf se le realiza una caracterización químico físico con la que se asegura una evaluación confiable para la comparación de ambos productos (Velázquez Torres, 2014).

A continuación se muestra una relación de las técnicas realizadas a cada una de las aguas de maceración:

- Residuo total (sólido total)
- Residuo filtrable (sólido filtrable) y no filtrable (sólido no filtrable)
- Residuo fijo (sólido fijo, total, filtrable y no filtrable)
- Concentración de SO₂
- Proteínas. Método de Biuret
- Carbohidratos totales. Método de fenol-sulfúrico
- Determinación de pH

Paso 3. Propuesta tecnológica del Green Sulf para la maceración de maíz

Para el estudio de maceración empleando el Green Sulf para la obtención de agua sulfurosa, a escala de laboratorio, las variables fueron seleccionadas teniendo en cuenta el proceso de maceración del maíz empleado en la UEB Glucosa Cienfuegos y según la bibliografía consultada. Cada punto del experimento se realizó a una relación sólido líquido de 15 g de

maíz/17,5 mL de agua sulfurosa, teniendo en cuenta datos reales del proceso; 30 000 kg de maíz macerado 35 m³ de agua sulfurosa, a temperatura de 49 a 53 °C de 40 a 60 horas de maceración y a una concentración de 1 500 a 2 000 ppm de agua sulfurosa, a presión ambiental.

Los resultados de la comparación de los ensayos de caracterización químico - física del agua de maceración obtenida por ambos procesos, mostró que no hubo diferencia significativa en los experimentos de determinación de residuos no filtrables fijos, concentración de proteína y pH.

Podemos decir que se puede obtener el mismo rendimiento de almidón empleando el Green Sulf, teniendo en cuenta que la concentración de proteínas en el agua de maceración es una medida de la eficiencia del proceso, ya que la reacción entre el ion hidrogenosulfito y los enlaces disulfuro de la matriz proteica del maíz reduce el peso molecular de las proteínas, haciéndolas más hidrófilas, liberándose el almidón con más facilidad de la matriz proteica aumentando el rendimiento.

Con este cambio de tecnología se prevé la disminución de impactos medioambientales, reduciendo las emisiones de SO₂ a la atmósfera y derrames de azufre sólido en la etapa de maceración del maíz a la vez que se disminuyen los problemas asociados a la contaminación del ecosistema de la Bahía de Cienfuegos, Arroyo Inglés y los asentamientos poblacionales Pueblo Griffó y Pastorita. En estudios preliminares (Velázquez Torres, 2014) se ha considerado que con la utilización del Green Sulf se obtienen rendimientos iguales o superiores en la producción de almidón.

Las necesidades tecnológicas para la producción de agua sulfurosa en el proceso de maceración empleando Green Sulf son:

- Dos tanques de un metro cúbico cada uno
- Un agitador de 1,2 Hp de bajas revoluciones (600 a 800 rpm)
- Bomba dosificadora 85 GPH
- Una válvula de dos pulgadas
- 10 metros de tubería de dos pulgadas

En el siguiente diagrama del proceso tecnológico se muestran las etapas previstas para la ejecución del proyecto.

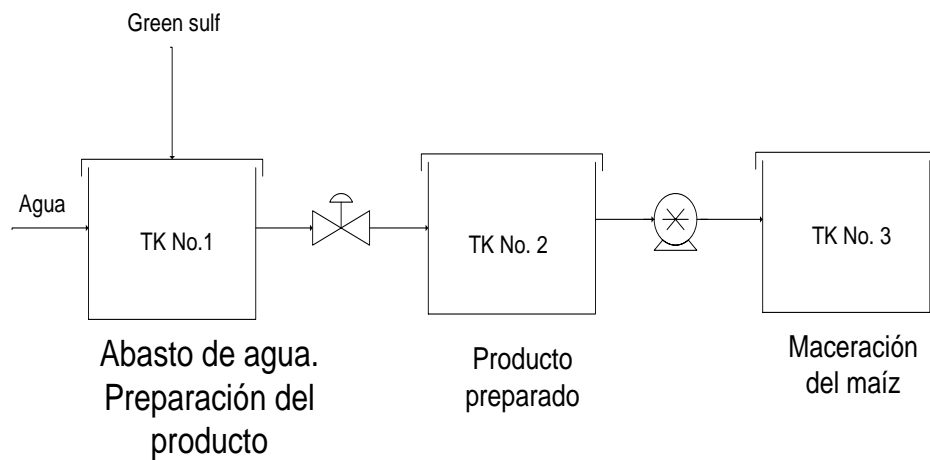


Figura 2.4: Diagrama del proceso tecnológico. **Fuente:** Elaboración propia

Paso 4. Evaluación económica – ambiental de la propuesta tecnológica de sustitución

Al conocer a lo largo del estudio realizado la tecnología a implementar para la etapa de maceración del maíz utilizando Green Sulf y los dispositivos que se operan en la utilización del azufre sólido, se hace necesario aplicar la metodología para el cálculo del Efecto Económico, aprobado por el Presidente de la Academia de Ciencias de Cuba, el 15 de febrero de 1984. Se considera efecto económico anual de invención, innovación o racionalización, al ahorro total de todos los recursos de la producción (humanos, materiales y financieros) o al incremento de las ganancias, que es aportado a la economía nacional, como resultado de la introducción de las mismas y se manifiesta finalmente en el incremento de la resta nacional (Rosales Amador, 2000).

Por tanto en la presente investigación el cálculo del Efecto Económico será encaminado hacia gastos anuales en la etapa de maceración combustionando azufre sólido y la utilización de la nueva tecnología Green Sulf.

El efecto económico queda expresado como:

$$\text{Efecto Económico} = \text{Gastos } (S_8) - \text{Gastos }_{GS}$$

Donde:

Gastos_(SS) = Costo S₈ + Costo H₂O + Costo energía eléctrica + Costo de operación

Gastos_{GS} = Costo GS + Costo H₂O + Costo energía eléctrica + Costo de inversión + Costo de operación

Las externalidades ambientales son los impactos de cualquier actividad, sobre el medio ambiente y el bienestar de la población, que no se reflejan en los precios de mercado. En el trabajo se estiman, los valores monetizados de las externalidades con respecto a las emisiones de dióxido de azufre, para su inclusión en el mecanismo de cálculo de costos. Su valoración se expresa en términos de CUP/ton de emisiones. Los valores representan los costos impuestos a la sociedad por las emisiones residuales. Los valores de las externalidades pueden usarse para ajustar los precios y permitir una comparación de los costos de opciones disponibles (Turtós Carbonell & Meneses Rui, 2012)

Conclusiones Parciales

1. Con la utilización de Green Sulf para la obtención de agua sulfurosa, en análisis de laboratorio se puede obtener el mismo rendimiento de almidón que con la utilización de azufre sólido.
2. El cambio de tecnología disminuye los impactos ambientales que tienen lugar hoy en la Empresa Glucosa Cienfuegos la cual utiliza azufre sólido en el proceso de obtención de agua sulfurosa, proporcionando así mejoras ambientales para el asentamiento poblacional de Pueblo Griffó y con el objetivo de lograr una estrecha interrelación entre la economía y el medio ambiente.



Capítulo III

CAPÍTULO III. ANÁLISIS ECONÓMICO – AMBIENTAL DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA DE AZUFRE SÓLIDO POR GREEN SULF

En los capítulos anteriores se realizó la descripción acerca del proceso de maceración utilizando azufre sólido y Green Sulf. Por lo que en la presente sección se expondrán los datos y resultados obtenidos para el análisis del efecto económico utilizando ambos compuestos e igualmente la evaluación ambiental dirigida hacia las externalidades.

3.1 Consumo de materias primas y materiales auxiliares

3.1.1 Consumo de azufre sólido y Green Sulf

Para la realización de este balance solo se tiene en cuenta la cantidad de azufre sólido y Green Sulf para macerar 30 000 kg de maíz limpio con 35 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm.

Tabla 3.1: Resumen de los datos del proceso.

| No | Concepto | Unidad | Valor | Observaciones |
|----|--|-------------------|-----------|---|
| 1 | Azufre sólido | kg | 20 225,05 | Consumido en 2013 |
| 2 | Azufre derramado en el área de quemador | kg | 133,76 | En el año 2013 |
| 3 | SO ₂ g | kg | 40 182,50 | Consumido en 2013 |
| 4 | Días de trabajo en el año | | 234 | |
| 5 | Volumen de agua sulfurosa 1 560 ppm | m ³ | 3276 | Para un tanque de maceración (2013) |
| 6 | Concentración másica de SO ₂ en el agua sulfurosa | mg/L | 1 560 | Valor medio aritmético |
| 7 | Densidad | kg/m ³ | 1 006 | Realizada en el laboratorio |
| 8 | Agua consumida en la maceración | m ³ | 3 276 | Se estima que el volumen del agua sulfurosa es igual al volumen de agua que se necesita |

Fuente: Elaboración Propia.

- **Cantidad de S₈ necesario para obtener 3 276 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm y 554 ppm**

Según la fórmula de concentración másica: $\rho = mX / V$

ρ : concentración másica

VD: volumen de disolución

mX: masa del SO₂ disuelto

Torre 1

$$mX_1 = \rho * VD = 1.56 \text{ kg SO}_2/\text{m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_3 * 3276 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_3/\text{año 2013}$$

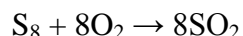
Masa del SO₂ disuelto en la Torre 1 = 5110,56 kg SO₂/año 2013

Torre 2

$$mX_2 = \rho * VD = 0,554 \text{ kg SO}_2/\text{m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_3 * 3276 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_3/\text{año 2013}$$

Masa del SO₂ disuelto en la Torre 2 = 1814,90 kg SO₂/año 2013

Como por cada gramo de S₈ al combustionarse se forman dos gramos de SO₂ según estequiometria:



moles 1mol 8 mol 8 mol

m(x) 256 g 256 g 512 g /256

m(x) 1 g 1 g 2 g

La cantidad de azufre sólido necesario para obtener 3276 m³ de agua sulfurosa 1560 ppm y 554 ppm son 2555,28 kg y 907,45 kg respectivamente en el período de un año.

- **Azufre sólido emitido a la atmósfera en forma de SO₂**

Masa total de SO₂ disuelta en la Torre 1 y 2 = mX₁ + mX₂ = 6925,46 kg SO₂/año 2013

La masa de SO₂ que se emite a la atmósfera es:

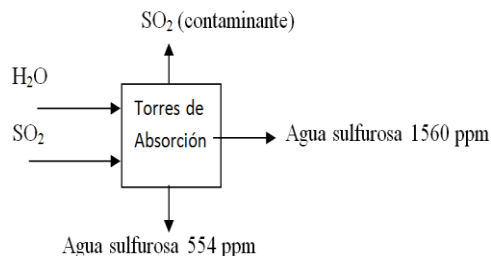


Figura 3.1: Diagrama del balance de masa en las torres de absorción. **Fuente:** Elaboración Propia.

$m(\text{SO}_2 \text{ consumido } 2013) - mX_1 + mX_2 = 40\,182,50 \text{ kg SO}_2/\text{año } 2013 - 6\,925,46 \text{ kg SO}_2/\text{año } 2013 = 33\,257,04 \text{ kg SO}_2/\text{año } 2013$ emitidos a la atmósfera

La cantidad de S_8 en forma de SO_2 (g) que se emite a la atmósfera al año es de 16 628,52 kg.

- **Azufre derramado en área del quemador**

La entrada del azufre al quemador se realiza manualmente por el operario que labora en la planta. En cada turno de trabajo se añaden al quemador 18 palas de azufre y en mediciones realizadas por los técnicos de la fábrica cada pala pesa 1,59 kg de azufre, si se trabaja en 3 turnos durante 234 días al año y si el azufre tiene un valor de 448 CUP/1 000 kg tenemos:

Se consume 85,86 kg de azufre al día lo que representa 20 091,29 kg de azufre al año. Si la empresa consumió 20 225.05 kg de azufre al año se derraman en el suelo 133,76 kg para un valor de 59,92 CUP/año. Este producto al mezclarse con el agua que sale para refrescar los gases en el quemador se vierte en los residuales de la fábrica provocando impactos ambientales, corrosión de estructura metálica y contaminación del Arroyo Inglés y Bahía de Cienfuegos.

- **Cantidad de Green Sulf necesario para obtener 3 276 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm**

En el tanque de 1 m³ se prepara una solución de 500 kg/m³ de Green Sulf mediante un agitador mecánico durante 5 a 6 horas. Esta solución presenta aproximadamente 250 kg/m³ de dióxido de azufre ó 250 000 ppm.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1 = agua sulfurosa 250 000 ppm preparada con Green Sulf

V_1 = volumen necesario para obtener 3 276 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm

C_2 = agua sulfurosa 1 560 ppm

V_2 = 3 276 m³ de agua sulfurosa necesarias en un año

$$V_1 = C_2 * V_2 / C_1$$

$$V_1 = (1\ 560\ \text{ppm-SO}_2 * 3\ 276\ \text{m}^3\ \text{H}_2\text{SO}_4/\text{año}\ 2013)/250\ 000\ \text{ppm-SO}_2$$

$$V_1 = 20,44\ \text{m}^3\ \text{H}_2\text{SO}_4/\text{año}\ 2013$$

Si 500 kg de Green Sulf son necesarios para preparar 1 m³ de agua sulfurosa 250 000 ppm, ¿cuántos kilogramos de Green Sulf son necesarios para preparar 20,44 m³ de agua sulfurosa en el año 2013?

$$500 - 1$$

$$X - 20.44$$

$$X = 10\ 220\ \text{kg de Green Sulf/año}\ 2013$$

Teniendo en cuenta que 1 000 kg de Green Sulf cuestan 3 222,22 CUP, el costo del Green Sulf al año sería de 32 931,09 CUP.

Tabla 3.2: Análisis comparativo de la cantidad y costo de la materia prima utilizada para macerar 30 000 kg de maíz limpio

| Cantidad de materia prima utilizada kg/año | Azufre sólido | Green Sulf |
|---|----------------------|-------------------|
| Cantidad utilizada para preparar 3 276 m ³ de H ₂ SO ₃ | 2 555,30 | 10 220 |
| Cantidad derramada en el área del quemador | 133,76 | - |
| Emisión a la atmósfera en forma de SO ₂ | 16 628,52 | - |
| Total | 19 317,58 | 10 220 |
| Costo total CUP/año | 8 654,27 | 32 931,09 |

Fuente: Balance de materiales

Como se puede observar en la tabla anterior para macerar la misma cantidad de maíz limpio se necesita mayor cantidad de azufre sólido, con un costo menor de 24 276,82 CUP/año representando un ahorro económico para la empresa en comparación con el Green Sulf.

3.1.2 Consumo de agua empleando azufre sólido y Green Sulf

Para determinar el consumo de agua se estima que el volumen de la disolución de agua sulfurosa es igual al volumen del disolvente (agua), por lo que necesitaríamos 3 276 m³ de agua para preparar la misma cantidad de agua sulfurosa.

- **Consumo de agua que refresca la camisa de gases del quemador**

Con los datos recopilados se determina la cantidad de agua que se derrama por la cascada del quemador para refrescar la camisa de los gases.

Pérdida de agua en un día y un año teniendo en cuenta que el flujo del agua que cae en cascada para refrescar el quemador es 0.002 m³/40 s.

$$0,002 \text{ m}^3/40 \text{ s} * 60 \text{ s}/1 \text{ min} * 60 \text{ min}/1 \text{ h} * 24 \text{ h}/\text{d} * 234 \text{ d}/\text{año} = 1 \text{ 010,88 m}^3/\text{año}$$

- **Consumo de agua para el proceso empleando Green Sulf**

El agua consumida en el proceso de obtención de agua sulfurosa empleando Green Sulf es de 3 276 m³ para un año, que es la cantidad correspondiente de un tanque de maceración durante 234 días de trabajo en la UEB Glucosa Cienfuegos.

Tabla 3.3: Comparación de la cantidad de agua necesaria en ambas tecnologías para la obtención de agua sulfurosa 1560 ppm.

| Cantidad de agua necesaria (m³) (año 2013) | Azufre sólido | Green Sulf |
|--|----------------------|-------------------|
| Agua necesaria para preparar agua sulfurosa 1560 ppm | 3 276 | 3 276 |
| Agua para refrescar los gases del quemador | 1 010.88 | - |
| Total | 4 286.88 | 3 276 |
| Costo CUP/año 2013 0.30 CUP/m³ | 1 286.06 | 982.80 |

Fuente: Balance de materiales.

Como se puede observar el consumo de agua empleando azufre sólido para la obtención de agua sulfurosa 1 560 ppm es mayor en comparación con el empleo de Green Sulf, por lo que hay un ahorro por este concepto.

3.2 Resultados de los costos energéticos en el proceso de maceración

El consumo de energía de la fábrica es general por lo que se hace necesario obtener el costo anual de la energía consumida en el año mediante la Tabla 3.4 y 3.5 que relaciona el

consumo de cada uno de los equipos con las horas de trabajo para producir 35 m³ de agua sulfurosa y el costo de la energía consumida de cada uno de los equipos involucrados en la etapa de maceración del maíz utilizando azufre sólido y Green Sulf.

Tabla 3.4: Consumo energético en el área del quemador.

| Consumo energético área del quemador | | | | | |
|---|----------------|--|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Equipo | Consumo | Horas de trabajo para producir 35 m³ de agua sulfurosa | Consumo real | Costo de la energía CUP | Costo de la energía CUP/año |
| Quemador | 2 kWh | 10 h | 20 kWh | 5,0 | 1 170 |
| Bomba Inoxpa | 5,5 kWh | 2 h | 11 kWh | 2,75 | 643,50 |
| Bomba Inoxpa | 5,5 kWh | 10 h | 55 kWh | 13,75 | 3 217,5 |
| Bomba Hidráulica | 1,5 kWh | 10 h | 15kWh | 3,75 | 877,50 |
| Iluminación | 0,16 kWh | 12 h | 2,4 kWh | 0,60 | 140,40 |
| Total | 14,66 kWh | 44 h | 103,4 kWh | 25,85 | 6 048,90 |

Tabla 3.5: Consumo energético para disolución de Green Sulf.

| Consumo energético Disolución de Green Sulf para obtener 35 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm | | | | | |
|--|----------------|--|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Equipo | Consumo | Horas de trabajo para producir 35 m³ de agua sulfurosa | Consumo real | Costo de la energía CUP | Costo de la energía CUP/año |
| Motor agitador | 0,89 kWh | 5 - 6 | 4,45kWh | 1,1125 | 260,32 |
| Bomba dosificadora | 0,43kWh | 2 | 0,86kWh | 0,215 | 50,31 |
| Iluminación | 0,20 kWh | 12 | 2,4 kWh | 0,60 | 140,40 |
| Bomba Inoxpa | 5,50kWh | 2 | 11 kWh | 2,75 | 643,50 |
| Calor necesario para calentar | 700 000kcal | 1 kcal = 1,162x10 ⁻³ kWh | 813,56kWh | 203,39 | 47 59,26 |
| Total | 7,02 kWh | 21 h | 832,27kWh | 208,10 | 48 687,79 |

En las tablas anteriores 3.4 y 3.5 se muestran los consumos energéticos de cada una de las tecnologías, donde se observa que el proceso actual consta de un menor consumo de energía que con el empleo de Green Sulf.

Tabla 3.6: Comparación de los consumos de energía para ambas tecnologías.

| Consumo de energía | Azufre Sólido | Green Sulf |
|--------------------------------|----------------------|-------------------|
| Consumo real kWh | 103,4 kWh | 832,27 kWh |
| Costo de la energía CUP/año | 6 048,90 | 48 687,79 |

Al obtener agua sulfurosa mediante la combustión del azufre sólido y agua en las torres de absorción, la reacción que se establece es de carácter exotérmico, los gases que entran a la torre tienen una temperatura de 95 °C y de ella sale el agua sulfurosa a 50 °C hacia los tanques de maceración temperatura óptima para este proceso, a los tanques se le suministra vapor para mantener la temperatura, el cual no se tiene en cuenta en el consumo de esta etapa.

Para obtener agua sulfurosa a partir de la solución de Green Sulf en agua, la reacción que ocurre en el tanque de mezclado es de carácter endotérmico, por lo que es necesario un calentamiento del ácido sulfuroso obtenido de 25 a 50 °C con vapor, por lo que en este proceso consume más energía, a continuación realizamos los cálculos del consumo de vapor necesario para esta etapa.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Donde:

Q: calor necesario para calentar 3 276 m³ de agua sulfurosa de 30 a 50 °C

m = 35 000 kg: masa de agua sulfurosa

$$C_p = 1.0 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 35\,000 \text{ kg} \cdot 1,0 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 700\,000 \text{ kcal}$$

$$Q = 813,56 \text{ kWh}$$

Se consumen 813,56 kWh de vapor

3.2.1 Costo de inversión de la tecnología de Green Sulf

Para el determinar el costo de la inversión es necesario conocer valor de los equipos que se necesitan para realizar la instalación, así como el costo de la mano de obra para realizar la misma en las Tablas 3.7 y 3.8 se reflejan estos valores.

Tabla 3.7: Resumen de las características técnicas de la inversión.

| Equipos y accesorios | Dimensiones Características | Material de construcción | Gastos(\$) CUC |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| Motor agitador | 1,2 Hp Monofásico | Acero Inoxidable | 500,00 |
| Bomba Dosificadora | 0,58 Hp de diseño | Acero Inoxidable | 4 080,00 |
| Bomba Centrífuga | ANSI –STEGE 220/440 V | Acero Inoxidable | 5 300,00 |
| 2 Tanques | Cap.1 m ³ | Acero Inoxidable | 792,00 |
| Tubería | L= 20 m, D=1 plg | Acero Inoxidable | 65,00 |
| Válvula de bola | 1plg | Acero Inoxidable | 5,30 |
| Total | - | - | 10 742,30 |

Fuente: Los datos de los costos son estimaciones de valores para equipos reportados en catálogos y libros de ingeniería química (Peters & Timmerhaus, 1991).

Al realizar una inversión, cada empresa estima un porcentaje en dependencia del equipamiento, basado en el criterio de amortización por lo que este valor se descuenta del total de la inversión, el pago se realiza anualmente, se considera además la vida útil del equipamiento por lo que teniendo en cuenta la depreciación para este trabajo se estima un 10 % del costo de la inversión por lo que el valor es de 1 074,23 CUC/año.

Los datos de la evaluación técnico – económico están realizados considerando que 1 CUC = 1 CUP, lo cual puede variar a partir de los nuevos procedimientos financieros que acomete el país a partir del 2014 con la unificación de moneda.

Tabla 3.8: Mano de obra para la instalación de la nueva tecnología.

| Integrante | Cantidad | Salario (CUP) | Gasto salario (CUP) |
|----------------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|
| Mecánico B (3días) | 1 | 285,00 | 35,60 |
| Pailero B (3 días) | 2 | 260,00 | 64,00 |
| Soldador B (2 días) | 1 | 255,00 | 21,25 |
| Total | - | - | 120,85 |

Como se puede observar el costo total de la inversión para el cambio de tecnología propuesto es de 119,08 CUP/año

3.3 Resultados del cálculo de efectos económicos en el período de un año

Una vez realizado el costo de la inversión para el cambio de tecnología por Green Sulf, se determinan los efectos económicos para evaluar económicamente ambos procesos, por lo que se hallaron los costos de operación para ambas tecnologías.

Para el proceso de maceración del maíz utilizando azufre sólido el costo de operación toma un valor de 25 118,73 CUP/año mientras que con la utilización de Green Sulf el costo sería de 110 382,69 CUP/año.

- Cálculo de efecto económico

Efecto Económico = Gastos (S_8) – Gastos (Green Sulf)

Efecto Económico = 41 107,96 CUP/año – 194 179,45 CUP/año

Efecto Económico = -153 071,49 CUP/año

Como se puede apreciar el valor del efecto económico para la maceración de maíz durante un año utilizando ambos compuestos resulta un valor negativo lo cual indica que la nueva tecnología aporta consigo mayores gastos como:

- El consumo de energía eléctrica es mayor.
- Costo de la materia prima Green Sulf es mayor, además que es un producto importado procedente de Guatemala.
- Se necesita una inversión para la instalación de la nueva tecnología.

3.4 Evaluación ambiental

La evaluación ambiental está destinada a cuantificar el grado de reducción en la generación de emisiones, residuos, consumo de agua o de energía, consumo de materias primas etc. Por tanto se hace necesario no solo conocer el efecto económico que aportan consigo ambas tecnologías sino también los valores monetizados de las externalidades con respecto a las emisiones de dióxido de azufre responsable de importantes problemas medioambientales. Su valoración se expresa en términos de CUP/ton de emisiones.

Se debe tener en cuenta que en Cuba se considera como externalidad ambiental 9100 CUP por emisión de una tonelada de SO_x .

La Tabla 3.9 muestra las evaluaciones de las externalidades ambientales expresadas en términos de CUP/ton y CUP/kg de emisiones. Los valores representan los costos impuestos a la sociedad por las emisiones residuales. Los valores de las externalidades pueden usarse para ajustar los precios y permitir una comparación de los costos de opciones disponibles. Bajo este enfoque, se estima, los valores monetizados de las externalidades con respecto a las emisiones indicadas.

Tabla 3.9: Externalidades de la emisión de SO_x en Cuba y en la UEB Glucosa Cienfuegos.

| Emisiones de la UEB Glucosa Cienfuegos en el año 2013 | | | |
|--|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Contaminante | Costo del Impacto (CUP/kg) | Emisiones (kg SO_2/año) | Costo Total (CUP/año) |
| SO_2 | 9,1015 | 33 257,04 kg SO_2 para obtener 3 276 m ³ de agua sulfurosa 1 560 ppm | 302 688,94 |

Fuente:(Turtós Carbonell & Meneses Rui, 2012).

Costo externalidades con el proceso actual $S_8 = C_{T S_8} + \text{Externalidad}$

Costo externalidades con el proceso actual $S_8 = 41\ 107,96$ CUP/año + $194\ 179,45$ CUP/año = $235\ 287,41$ CUP/año

Los cálculos del costo total de producción de agua sulfurosa 1 560 ppm en el período de un año utilizando la combustión de azufre sólido y el producto novedoso Green Sulf con y sin

externalidades y teniendo en cuenta que es para macerar 30 000 kg de maíz, se muestra a continuación en la Tabla 3.10

Tabla 3.10: Cálculos del costo total de producción de agua sulfurosa utilizando azufre sólido y Green Sulf con y sin externalidades.

| Vía de obtención de agua sulfurosa 1 560 ppm | Costo para producir 3 276 m ³ de agua sulfurosa 1 560 ppm (CUP/año) | | | | |
|---|--|------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Costo materia prima | Costo agua | Costo energía | Costo total sin externalidades | Costo total con externalidades |
| Proceso actual (combustión de azufre sólido) | 8 654,27 | 1 286,06 | 6 048,90 | 41 107,96 | 343 796,90 |
| A partir del Green Sulf como sulfitador | 32 93,09 | 982,80 | 48 687,79 | 194 179,45 | 194 179,45 |

Fuente :(Turtós Carbonell & Meneses Rui, 2012).

Como se puede observar en la tabla anterior se hace un resumen de los diferentes costos necesarios para producir 3 276 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm en el período de un año, además se incluye el costo de las emisiones de SO₂ presente en el proceso actual (combustión de azufre sólido), siendo una de las desventajas que trae consigo tal tecnología, mientras que la de Green Sulf supera a esta en costos de energía y materia prima.

3.5 Evaluación técnica – económica – ambiental de la propuesta tecnológica

Con la determinación de los aspectos cuantitativos y cualitativos para realizar un análisis técnico-económico y ambiental de ambas tecnologías se realiza un resumen de los datos obtenidos en cuanto a: mercado, instalación técnica, formación técnica, calidad del producto, operación y mantenimiento e impacto ambiental, teniendo en cuenta que las mismas tienen un objetivo en común obtención de agua sulfurosa para la maceración de maíz, en la Tabla 3.11 se muestran estos resultados.

Tabla 3.11: Análisis comparativo de la utilización de Azufre Sólido y Green Sulf.

| Aspectos a evaluar | Azufre sólido | Green Sulf |
|------------------------------|---|---|
| Mercado | Materia prima de producción nacional Costo 448 CUP/1 000 kg | -Materia prima procedente de Bayer Agency Busine, Guatemala - Costo 3 222,2 CUP/1 000 kg |
| Instalación técnica | -Instalación con más de 30 años de explotación | -Se necesita una inversión para la instalación de la nueva tecnología con un costo de 1 195, 08 CUP al año |
| Obtención del Agua Sulfurosa | -Combustión de azufre sólido | -No requiere quemar azufre ni ningún proceso de combustión - Producto previamente elaborado solo se necesita mezclar con el disolvente |
| Formación técnica | -Personal capacitado | -Se necesita capacitar al personal que elaborará en la planta |
| Calidad del producto | -Producto con un 95 % de pureza, tóxico y explosivo por lo que se necesita permiso para su adquisición, manejo, transportación y almacenamiento | -Producto con un 99 % de pureza, no requiere permisos engorrosos de los ministerios de defensa o seguridad pública para su adquisición, manejo, transportación y almacenamiento |
| Operación y mantenimiento | -El costo es 25 118,73 CUP/año | -El costo es 110 382,69 CUP/año |
| Impactos Ambientales | -Emisión a la atmósfera de 33 257,04 kg de SO ₂ | - No hay pérdidas de SO ₂ a la atmósfera |

Como se puede observar en la tabla anterior la obtención de agua sulfurosa utilizando ambos procesos tecnológicos posee ventajas y desventajas para la empresa.

No obstante consideramos que teniendo en cuenta la búsqueda de procesos tecnológicos más limpios en cuanto a emisiones de gases contaminantes a la atmósfera se puede emplear el Green Sulf como una alternativa para la maceración de maíz si se logra una disminución de los costos de operación del proceso, una entrada continua de la materia prima, de mantenerse la tecnología actual, se debe implementar un plan de medida para lograr mejoras en la eficiencia del proceso de combustión del azufre y obtención de agua sulfurosa en las torres de absorción, lo cual se logra mejorando las malas prácticas existentes en la empresa.

Conclusiones Parciales

1. Para la obtención de 3 276 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm se consumen 19 628,52 y 10 220 kg de azufre sólido y Green Sulf respectivamente en el período de un año.
2. El proceso de combustión de azufre sólido tiene un consumo de agua de 4 286,88 m³/año prevaleciendo ante la tecnología del Green Sulf que es de 3 276 m³/año.
3. El consumo energético utilizando Green Sulf es mayor que si se emplea azufre sólido ya que la reacción es endotérmica, y se necesita calor para realizar el proceso de maceración con un costo de 48687,79 kWh.
4. Para implementar la tecnología de utilización de Green Sulf se necesita realizar una inversión de 1 074,23 CUP/año.
5. El cálculo del efecto económico de ambos procesos demuestra que la tecnología usando Green Sulf presenta mayores costos de operación que utilizando azufre sólido.
6. El proceso de maceración con azufre sólido emite 33 257,04 kg SO₂ para obtener 3 276 m³ de agua sulfurosa 1 560 ppm, mientras que el de Green Sulf no tiene pérdidas de SO₂ a la atmósfera.



CONCLUSIONES GENERALES

1. La tecnología tradicionalmente utilizada para la obtención de agua sulfurosa en la maceración de maíz, es la combustión de azufre sólido, no existiendo referencia alguna del uso del Green Sulf para este proceso, solo se reporta su empleo en la industria azucarera.
2. Analizando la similitud en los procesos de sulfitación en la industria azucarera y obtención de agua sulfurosa para la maceración de maíz, en cuanto a la producción de SO_2 se propone el estudio de empleo del Green Sulf en la UEB Glucosa Cienfuegos, ya que en pruebas realizadas a escala de laboratorio se demostró que se puede obtener el mismo rendimiento de almidón.
3. La evaluación técnico – económica – ambiental realizada para la sustitución de azufre sólido por Green Sulf demostró que ambas tecnologías poseen ventajas y desventajas para la empresa.
 - El azufre sólido es una materia prima de producción nacional y su costo de adquisición es menor que el del Green Sulf el cual es un producto importado de Bayer Agency Busine, Guatemala.
 - La instalación tecnológica para la obtención de agua sulfurosa por azufre sólido tiene 30 años de explotación, funcionando con baja eficiencia en sus procesos, para el empleo de Green Sulf se necesita una nueva inversión con un costo de 1 195, 08 CUP.
 - El SO_2 utilizado en el agua sulfurosa se obtiene de la combustión de azufre sólido, con el empleo torres de absorción, mientras que el Green Sulf es un producto elaborado que solo necesita ser mezclado con el disolvente (agua).
 - Para la utilización de la tecnología por el Green Sulf se necesita capacitar al personal en esta nueva técnica.
 - Ambos compuestos tienen una pureza del más del 95 % sin embargo el azufre sólido está declarado como una sustancia toxica y explosiva la cual necesita permiso para su adquisición, manejo, transportación y almacenaje.
 - El costo de operación por Green Sulf es de 110 382,69 CUP/año, mientras que si se emplea azufre sólido es de 25 118,73 CUP/año por lo que la

tecnología por este nuevo producto no es rentable siendo los parámetros que más inciden el costo de la energía y materia prima.

- Con el empleo del Green Sulf no hay impactos ambientales, ya que las emisiones a la atmósfera de SO_2 , son prácticamente nulas.
4. La utilización de Green Sulf como alternativa para la sustitución del azufre sólido en la obtención de agua sulfurosa para la maceración de maíz alcanza mejoras técnicas y ambientales, no siendo así en la parte económica producto del gasto de materia prima y consumo de energía.



Recomendaciones ✨

RECOMENDACIONES

1. Continuar el estudio para implementar esta tecnología a escala productiva.
2. Estudio y elaboración de una ficha de costo de Almidón y Glucosa utilizando Green Sulf como materia prima.



Bibliografía ✨

BIBLIOGRAFÍA

- Acquetella, J. (2010). Desarrollo sustentable. Universidad de Carabobo. Carabobo.
- Acuña Verrugio, S. (2010). El maíz y su transformación en harina.
- Alavés Bolaños, M., & Cardona, G. (2012). Sociedad Anónima Green Solution.
- Araya. (1996). Composición química del agua de maceración del maíz.
- Betancourt Pineda, L. (2007). Un programa de educación ambiental dentro de la Gestión Ambiental Empresarial. Estudio de caso en el CIGET Cienfuegos. Cienfuegos.
- Bogel. (1985). Análisis químico cualitativo.
- Burros. (1998). Gestión Ambiental: Marco de Referencia para las Evaluaciones de Impacto Ambiental.
- Cabrera Mendoza, R. (2010). Manual de calidad Empresa Glucosa Cienfuegos. Cienfuegos.
- Cabrerizo Izquierdo, C. (2013). Composición química del maíz.
- 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. Cienfuegos.
- Colectivo de autores. (2009). Azufre. Lenntech Agua residual & purificación aire.
- Colectivo, A. (s.f.). Daños provocados por el dióxido de azufre al medio ambiente y la humanidad.
- Francisco Martín, W. (2010). Estudio de factibilidad económica de inversión. Cienfuegos.
- García Yanes, M. B. (2012). Evaluación de Producciones Más Limpias al proceso productivo de molienda húmeda de maíz, lavado, deshidratación y secado de subproductos en la Empresa Glucosa Cienfuegos.
- García Zamora, J. (2012). Evaluación de Producciones más Limpias en la obtención del almidón de maíz en la Empresa Glucosa Cienfuegos.
- Isaac Godínez, C. L. (2008). Manual de gestión ambiental organizacional: 264.
- Jorgelina, M. G. (2010). Molienda húmeda de maíz.

- Moya Monteagudo, J. V. (2012). Evaluación de Producciones Más Limpias en la Planta de sirope de Glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos .
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). Desing and economics for Chemical Engineers. Mc Graw-Hill International.
- Robutti, J. L. (2010). Calidad y usos del maíz .
- Roquette, F. (2003). Composición nitrogenada resultante de la hidrólisis del gluten de trigoy su procedimiento de fabricación.
- Rosales Amador, J. L. (2000). Anexo:1 Conceptos más utilizados en el trabajo de la ANIR. Santa Clara.
- Sánchez Machado, R. I. (2012). Cambio tecnológico en Ingeniería Química :criterio económico ambiental.
- Schlicher, M. (2009). Generando alternativas vedes al maíz.
- Turtós Carbonell, L., & Meneses Rui, E. (2012). Posibles enfoques a utilizar en el tratamiento de las Externalidades de la generación eléctrica.
- Velázquez Torres, D. (2014). Valoración de la sustitución del azufre sólido por Green Sulf para la maceración del maíz en la UEB Glucosa Cienfuegos. Cienfuegos.