



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ADICIONAR LA ENZIMA ALFA
AMILASA DURANTE EL PROCESO DE EVAPORACIÓN EN LOS
NIVELES DE ALMIDÓN DE AZÚCAR CRUDO PRODUCIDO EN
UN INGENIO AZUCARERO**

MAX FRANCISCO PENADOS AMADO

Asesorado por Ing. Carlos René Cifuentes Villatoro

Guatemala, febrero de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Victor Herbert De León Morales
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Por iluminarme y darme fuerza en los momentos difíciles

A MIS PADRES

Max Francisco Penados Robles (Q.E.P.D)
Bertha Graciela Amado Crovella, madre linda este es el fruto de muchos esfuerzos, dedicación, ejemplo, apoyo y amor infinito que siempre me has brindado. Este triunfo está dedicado a ti

A MIS HERMANAS

Silvia Lorena y Ana Graciela, con mucho amor

A MIS AMIGOS

Por brindarme todo su apoyo y amistad

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ADICIONAR LA ENZIMA ALFA AMILASA DURANTE EL PROCESO DE EVAPORACIÓN EN LOS NIVELES DE ALMIDÓN DE AZÚCAR CRUDO PRODUCIDO EN UN INGENIO AZUCARERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Carrera de Ingeniería Química, con fecha 19 de enero de 2004.

MAX FRANCISCO PENADOS AMADO

Ing. Julio Rivera
Director Escuela Química
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente

Señor Director

Por medio de la presente hago de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante MAX FRANCISCO PENADOS AMADO, con número de carné 9112626 procedí a revisar el informe final, cuyo título es: "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ADICIONAR LA ENZIMA ALFA AMILASA DURANTE EL PROCESO DE EVAPORACIÓN EN LOS NIVELES DE ALMIDÓN DE AZÚCAR CRUDO PRODUCIDO EN UN INGENIO AZUCARERO".

Habiendo encontrado satisfactorio el contenido de dicho informe, lo doy por aprobado solicitándole a la vez se le dé el siguiente trámite que le corresponda.

Sin otro particular, me suscribo de usted

Atentamente

Ing. Carlos René Cifuentes Villatoro
Colegiado No. 1843
ASESOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ADICIONAR LA ENZIMA ALFA
AMILASA DURANTE EL PROCESO DE EVAPORACIÓN EN LOS
NIVELES DE ALMIDÓN DE AZÚCAR CRUDO PRODUCIDO EN
UN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MAX FRANCISCO PENADOS AMADO

ASESORADO POR: ING. CARLOS RENÉ CIFUENTES VILLATORO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2004

INTRODUCCIÓN

Desde los primeros tiempos de la fabricación de azúcar, se han hecho muchos informes sobre la formación de depósitos insolubles de gomas en fábricas de azúcar y refinerías las cuales han causado el bloqueo y obstrucción de tuberías, tanques, coladores, filtros, entre otros. Actualmente se reconoce, que el bloqueo se debe a los almidones presentes durante el proceso de fabricación del azúcar crudo. Estos, eran invariablemente asociados con crecimiento de bacterias en el proceso, con formación constante de dextranas y levanas.

El uso de enzimas para la eliminación de almidón ha sido ahora reconocido por ser el método más efectivo en el jugo de caña. Se sabe que al remover el almidón del jugo de caña durante el proceso, aumenta la capacidad de la fábrica, referido al rendimiento y la calidad de azúcar. La eliminación de almidón en el jugo en los evaporadores disminuye el contenido de almidón en el azúcar producido y la miel final.

La tecnología actual se puede modificar para atacar los efectos negativos de los polisacáridos totales en la fabricación de azúcar, con el objetivo de disminuir las pérdidas de sacarosa.

RESUMEN

La agroindustria azucarera es una de las más grandes y competitivas del mercado internacional y en Guatemala no es la excepción. Por tal motivo, los ingenios azucareros del país, cada día están buscando y desarrollando nuevas investigaciones para poder competir a nivel local e internacional y así lograr un producto terminado que cumpla y supere las expectativas de sus clientes.

Gran cantidad de investigaciones han sido dirigidas a entender y corregir problemas, particularmente, del grado en que la caña deteriorada afecta en la producción de azúcar crudo con alto contenido de almidón, debido al tiempo de demora desde que se corta la caña hasta molerla, condiciones ambientales, tiempo entre quema y cosecha, y la combinación de todos estos factores.

El presente trabajo de graduación, muestra un estudio experimental realizado en Ingenio La Unión, S.A. para poder producir azúcar crudo con bajo contenido de polisacáridos, específicamente el almidón, y así poder cumplir con las especificaciones de calidad de clientes en el extranjero. Este trabajo surge de la necesidad de los ingenios azucareros del país por continuar a la vanguardia en el uso de tecnología actualizada y el desarrollo de nuevas técnicas que permitan seguir produciendo un producto que es reconocido a nivel mundial por su buena calidad.

ÌNDICE GENERAL

ÌNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÌMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
INTRODUCCIÒN	XXV
1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ALMIDÒN EN AZÚCAR CRUDO	
1.1 Generalidades	1
1.2 Condiciones de aplicaciòn de la enzima	3
1.2.1 Concentraciòn de almidòn	3
1.2.2 pH	4
1.2.3 Temperatura	4
1.2.4 Calcio libre	4
1.2.5 Dosis de la enzima	4
1.2.6 Tiempo de reacciòn	5
1.2.7 Mezclado	5
1.2.8 Inhibidores	5
1.2.9 Viscosidad	5

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Etapas del proceso de producción de azúcar crudo	7
2.1.1 Extracción de jugo	7
2.1.2 Clarificación de jugo	8
2.1.3 Evaporación	8
2.1.4 Cristalización	9
2.1.5 Centrifugación o purga	9
2.2 Polisacáridos presentes en el proceso	10

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Análisis de almidón	19
3.1.1 Teoría	19
3.1.2 Muestra	20
3.1.3 Equipo	20
3.1.4 Reactivos	20
3.1.4.1 Solución de cloruro de calcio 40 % m/m (CaCl ₂ · 2H ₂ O)	20
3.1.4.2 Solución de ácido acético 1M (CH ₃ · COOH)	21
3.1.4.3 Solución de ácido acético 0.033 M (CH ₃ · COOH)	21
3.1.4.4 Solución de cloruro de calcio / ácido acético	21
3.1.4.5 Solución de yoduro de potasio al 10% m/v (KI)	21
3.1.4.6 Solución de yodato de potasio 0.0017 M (KIO ₃)	22
3.1.4.7 Solución de yoduro / yodato de potasio	22
3.1.4.8 Solución de almidón	22
3.1.4.9 Solución estándar de almidón	23
3.1.4.10 Azúcar sin almidón	23

3.1.5	Procedimiento	23
3.1.6	Preparación de estándares	25
3.1.7	Curva de calibración	27
4.	RESULTADOS	
4.1	Análisis de almidón en azúcar crudo	32
4.2	Análisis económico del estudio	35
4.2.1	Costo total de la enzima	36
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
	CONCLUSIONES	41
	RECOMENDACIONES	43
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
	BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I	Composición de la caña de la caña de azúcar y de los sólidos del guarapo	12
II	Volumen requerido de las soluciones para la curva de calibración	27
III	Datos de absorbancia y concentración de almidón	28
IV	Resultados de análisis de almidón en azúcar crudo en la zafra 2001 / 2002 en Ingenio La Unión, S.A.	32
V	Comparativo de resultados de análisis de azúcar crudo con bajo contenido de almidón de distintos laboratorios	35

1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN EN AZÚCAR CRUDO

1.1 Generalidades

Amplias investigaciones se han realizado sobre los varios tipos de polisacáridos que se encuentran en la caña de azúcar y sus efectos negativos en el proceso y recobrado de azúcar, pero ha sido durante el transcurso de los últimos años que la presencia del almidón ha tomado una importancia relevante para la comercialización del azúcar.

El azúcar de Guatemala se encuentra entre la preferencia de muchos clientes en el extranjero debido a su buena calidad, es por eso, que se hace necesario se hagan estudios de la presencia de polisacáridos naturales como lo es el almidón, para poder seguir produciendo un azúcar que se encuentre entre los parámetros establecidos en lo que a contenido de polisacáridos totales se refiere.

Los polisacáridos que se encuentran en el proceso de producción de azúcar incluyen los que son inherentes a la planta de caña, que dependen de la variedad y las condiciones climáticas; y los que resultan por el deterioro en la logística del corte, alce y transporte de la caña de azúcar.

“Desde hace varios años se conoce, que la degradación de la caña cosechada, frecuentemente, resulta en la formación excesiva de gomas, con consecuentes efectos dañinos a la fábrica.

Generalmente esto es efecto de la infección de los tallos de la caña con la bacteria *Leuconostoc Mesenteroides*, la cual invierte la sacarosa a fructosa y glucosa; y posteriormente la enzima invertasa convierte la glucosa en dextrana. Similarmente, esto ocurre al jugo extraído en el ingenio. A este problema en la caña se le llama "caña agria" por el incremento en los ácidos orgánicos, tales como láctico y acético que presenta el jugo al ser extraído.

En los últimos años se ha renovado el interés en este tema. Este interés parte de la realización que la pérdida de sacarosa debido a la caña agria es significativamente alta y que la dextrana puede reducir la capacidad y eficiencia de la fábrica de azúcar crudo. Este interés, se originó en Australia, cuando se cambió de una cosecha manual de caña larga, a una cosecha mecanizada, de caña picada, aumentando el grado de infección de la caña cortada con *Leuconostoc Mesenteroides* y como consecuencia la caña agria.”¹

Otra consideración, fue que la calidad del azúcar crudo era grandemente afectada por la presencia de dextrana, llevando a la posibilidad de penalidades impuestas por las refinerías que parten de azúcar crudo.

“Todos los polisacáridos por razón de sus cualidades fisico-químicas tienden a tener un efecto adverso en el proceso de recuperación de sacarosa de la caña de azúcar. Como mínimo, ellos representan una pérdida en términos de azúcar disponible para el proceso y máximo pueden causar demoras en el proceso debido a viscosidades excesivas y pérdidas de sacarosa, debido a modificaciones en el crecimiento del cristal .

El almidón y la dextrana presente en el jugo de la caña interfiere en la clarificación.

La cantidad presente de estos polisacáridos en el jugo depende de la variedad de la caña, madurez de la misma en el momento de cosecha y condiciones de corte, alce y transporte. Jugos con alto contenido de estos polisacáridos producen una pobre cristalización en el departamento de tachos.

Los polisacáridos reducen la calidad del jugo y azúcar crudo en varias formas durante el proceso, ellos aumentan la viscosidad, demoran o inhiben la cristalización y aumentan las pérdidas de azúcar en la miel final (los polisacáridos tienen un alto efecto melaginoso). Debido a su naturaleza de carbohidratos y su gran solubilidad son muy difíciles de remover en el proceso, teniendo la tendencia de ocluirse en el cristal de azúcar crudo.”²

Para el presente trabajo, el ataque al almidón se llevará a cabo en el departamento de evaporadores debido a que en este departamento se pueden encontrar las condiciones idóneas para la adición de la enzima alfa-amilasa.

1.2 Condiciones de aplicación de la enzima

1.2.1 Concentración de almidón: “ El almidón es un polisacárido que se encuentra presente en las distintas variedades de caña, para lograr minimizar el contenido de almidón en el jugo mixto se debe asegurar la entrega de caña bastante limpia desde la molienda de la caña; así como también puede ayudar el uso de agua de imbibición fría debido a que el almidón tiende a coagularse entre los 65 y 80 °C.

Lamentablemente el uso de agua de imbibición debe de ser caliente ya que de esta manera se logra una mejor extracción de sacarosa en el departamento de molinos.

1.2.2 pH

El pH natural del jugo mixto cae perfectamente en el rango de acción de la enzima (6.0 – 7.2).

1.2.3 Temperatura

Dependiendo de la enzima utilizada la máxima temperatura de operación debe de encontrarse en el rango de 160 a 194°F. Temperaturas más altas que estas inactivarán la enzima, y temperaturas más bajas reducirán su actividad. Según estudios realizados la enzima alfa-amilasa debe de ser adicionada en el tercer o cuarto efecto de evaporación donde las temperaturas son apropiadas para este propósito.

1.2.4 Calcio libre

Después de la alcalización del jugo mixto quedan disponibles iones de calcio provenientes del carbonato de calcio contenido en la cal, la presencia de calcio ayuda a estabilizar la enzima.

1.2.5 Dosis de la enzima

1.27 – 6.20 gramos de enzima / tonelada de caña molida son suficientes para las condiciones del proceso (teóricamente), sin embargo deben de realizarse pruebas para determinar la dosificación acorde a cada necesidad y variedad de jugo a tratar; ya que a pH 6.5 y temperaturas en el rango de 188 – 194 °F la enzima tendrá un 100% de actividad, de igual forma a un pH de 6.0 y temperatura de 158 °F la actividad de la enzima decrecerá aproximadamente en un 75%.

1.2.6 Tiempo de reacción

Obviamente es requerido un tiempo de reacción suficiente para romper los enlaces del almidón hasta niveles aceptables. De 30 a 40 minutos será suficiente en la mayoría de los casos. Definitivamente la combinación tiempo y dosis de la enzima es de gran importancia.

1.2.7 Mezclado

Un razonable mezclado es necesario para que las moléculas de la enzima y las del almidón interaccionen unas con otras. Esto no sería un problema en el departamento de evaporadores debido a las condiciones de operación de estos equipos.

1.2.8 Inhibidores

Uno de los más grandes inhibidores de la enzima son los valores de pH y la temperatura.

1.2.9 Viscosidad

Viscosidades mayores de 100 cP mostrarán reducción en el número de *Reynolds* (mezclado), ocasionando una menor turbulencia y como resultado el decrecimiento en la efectividad enzimática de la reacción.”³

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Etapas del proceso de producción de azúcar crudo

La producción de azúcar a partir de caña de azúcar, es básicamente un proceso de separación que consta de cuatro etapas: Separación de fibra (material sólido insoluble), estabilización y separación de impurezas en suspensión, separación de agua, cristalización y separación del grano de azúcar de la miel. Estos cuatro procesos se realizan consecutivamente y en cada uno ocurre una pérdida de sacarosa mezclada en los materiales separados.

Cada una de las etapas se efectúa con equipo especialmente diseñado para el efecto, buscando en cada etapa la separación máxima de la sacarosa del material que se desea eliminar, pérdida mínima de sacarosa por motivos de proceso, buena calidad de materiales producidos para otras etapas y un proceso estable.

2.1.1 Extracción de jugo

La caña se prepara para la molienda mediante cuchillas giratorias que cortan los tallos en pedazos pequeños, pero que no extraen el jugo, después la caña picada pasa por los molinos. El molino o trapiche consta de seis unidades múltiples, que utilizan combinación de tres o cuatro rodillos, a través de los cuales pasa constantemente la caña exprimida o bagazo.

Para ayudar a la extracción del jugo se aplican aspersiones de agua o guarapo diluido sobre la capa de bagazo según sale de cada unidad de molienda; lo anterior contribuye a extraer por lixiviación el azúcar, este proceso es comúnmente conocido como imbibición.

En este proceso, en las fábricas eficientes se logra una extracción de sacarosa del 95% y el bagazo que sale del último molino contiene sacarosa, fibra leñosa y alrededor de un 50% de agua.

2.1.2 Clarificación de jugo

El jugo procedente de los molinos es ácido y de color verde oscuro, primero se le disuelve SO_2 gaseoso, el cual reacciona con los principales colorantes del jugo. Después se le neutraliza por medio de una suspensión de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Este proceso forma sales insolubles de calcio, principalmente fosfatos de calcio y además sulfatos insolubles. Se calienta el jugo alcalizado hasta 105°C , esto coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas. Con la ayuda de un polímero polielectrolítico se forma un precipitado que atrapa los sólidos en suspensión y las partículas más finas.

Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en filtros rotativos al vacío. El jugo filtrado se regresa al tanque de jugo alcalizado.

2.1.3 Evaporación

El jugo clarificado tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído, excepto las impurezas extraídas por el tratamiento con cal, que contienen alrededor del 85% de agua.

Dos terceras partes de esta agua se evaporan en evaporadores al vacío de múltiple efecto, normalmente de cuatro a cinco efectos de evaporación, esto consiste en una sucesión de cuerpos dispuestos en serie de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un vacío más alto y por lo tanto una temperatura de ebullición más baja. El vapor del último cuerpo llega a un condensador. El jugo entra y sale del sistema en forma continua. El jarabe que sale del último efecto (meladura) lleva una concentración aproximada de 60 a 65% de sólidos en peso.

2.1.4 Cristalización

La cristalización tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto, donde el jarabe o meladura se evapora hasta quedar saturado de azúcar. En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar, y se va añadiendo más meladura según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho, durante este proceso no se debe permitir la formación de cristales adicionales, de tal manera que cuando el tacho está totalmente lleno todos los cristales tienen el tamaño deseado. Los cristales y la meladura forman una masa densa llamada masa cocida.

2.1.5 Centrifugación o purga

La masa cocida proveniente del cristalizador se carga a máquinas giratorias de alta velocidad, conocidas como centrífugas. La centrífuga consiste en un tambor cilíndrico suspendido de un eje, dicho tambor tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con un juego de 1 tela metálica y 2 mallas metálicas de 8 y 5 mesh respectivamente.

El revestimiento perforado retiene los cristales de azúcar lavada, la miel pasa a través de las telas debido a la fuerza centrífuga.

En Ingenio La Unión, S.A. se emplea actualmente un sistema de tres masas, la cual produce masas de tercera, que se purgan y producen miel final para la venta y magma de tercera. El magma de tercera sirve de semilla para producir masas de segunda, la cual al purgarse produce miel B que se reprocesa, y magma de segunda. El magma de segunda sirve de semilla para las masas de primera, las cuales se purgan y producen azúcar para la venta y miel A, la cual es reprocesada.

2.2 Polisacáridos presentes en el proceso

“Los polisacáridos son moléculas de cadenas largas los cuales pueden ser ramificados o no, compuestos de unidades de monosacáridos enlazados de una forma específica. Oligo-sacáridos son moléculas compuestas de entre cuatro a diez unidades de monosacáridos. Una gran variedad de polisacáridos es encontrado en la naturaleza y muchos de ellos están presentes en la caña de azúcar y en los productos derivados de la misma. Los polisacáridos que se encuentran en la caña de azúcar y sus subsecuentes productos derivan de dos fuentes diferentes: Los polisacáridos tales como el almidón, los cuales se forman por acción metabólica en el crecimiento de la planta, y también hay otros tales como la dextrana que es formada por acción microbiológica; los cuales crecen en la planta ya sea durante la vida de la misma o en algún paso en el proceso subsecuente.”⁴

“El almidón es un polisacárido natural del jugo de la caña de azúcar. Su concentración depende de muchos factores, tales como la variedad de la caña, su crecimiento y la edad de la caña antes del corte, alce y transporte.

El almidón no es soluble en agua excepto cuando es tratado como en la clarificación. Durante el proceso de clarificación el almidón se hace parcialmente soluble eliminándose una fracción, mientras que otra parte pasa a la meladura . Si la cantidad de almidón que pasa a la meladura es alta (por arriba de 150 ppm) el almidón puede demorar el tiempo o velocidad de la cristalización en los tachos, impidiendo el agotamiento de las mieles.”⁵

“Los polisacáridos solubles, exceptuando el almidón, que existen en la caña de azúcar y sus subproductos se pueden agrupar en tres categorías principales . El primer grupo se compone de polisacáridos estructurales originados en la planta e incluye: Hemicelulosa, pentosanas y pectinas. El segundo grupo se compone de polisacáridos formados por acción de bacterias antes o durante el proceso de fabricación de azúcar y refinación tales como dextranas y levanas.

El tercer grupo, se han encontrado evidencias que polisacáridos similares a la dextrana se pueden formar en el momento de la cosecha de la caña en la ausencia de infección bacteriana presumiblemente por la acción de enzimas naturales presentes en el jugo de la estructura celular de la planta.

Almidón y otros polisacáridos presentes en la caña son componentes menores de la caña de azúcar, pero tienen una influencia significativa en el rendimiento de azúcar. Polisacáridos solubles que se incorporan al jugo en los molinos incluyen pitoglucana, arabinogalactana y otros polisacáridos solubles de las células fibrosas de la caña.”⁶

A continuación se presenta un cuadro con la composición de la caña de azúcar y de los sólidos del guarapo:

Tabla I. Composición de la caña de azúcar y los sólidos del guarapo

Componentes	Porcentaje	Porcentaje de sólidos solubles
Agua	73.00 - 76.00	
Sólidos	24.00 - 27.00	
Fibra (seca)	11.00 - 16.00	
Sólidos solubles	10.00 - 16.00	
Componentes del guarapo		
Azúcares	75.00 - 92.00	
Sacarosa		78.00 - 88.00
Glucosa		2.00 - 4.00
Fructosa		2.00 - 4.00
Sales	3.00 - 7.50	
De ácidos orgánicos		1.50 - 4.50
De ácidos inorgánicos		1.00 - 3.00
Acidos orgánicos libres	0.50 - 2.50	
Acidos carboxílicos		0.10 - 0.50
Aminoácidos		0.50 - 2.00
Otros no-azúcares orgánicos		
Proteínas		0.50 - 0.60
Almidón		0.001 - 0.050
Gomas		0.30 - 0.60
Cera, grasa fosfátidos		0.05 - 0.15
No-azúcares no identificados		3.00 - 5.00

Fuente: George Meade, Manual del azúcar de caña, 9ª edición, página 26

“Comparativamente poco se ha publicado de la naturaleza de los polisacáridos encontrados en el jugo de caña que se ha extraído de caña fresca, o jugo normal. En su mayoría se han utilizado métodos no específicos para la determinación de gomas o determinación de dextranas en estudios de problemas después que la caña deteriorada ha sido cosechada. Las gomas constituyen entre 0.3-0.6% de los sólidos solubles en azúcar de caña, durante la extracción del jugo en los molinos, algunos de los polisacáridos estructurales solubles de la caña son extraídos junto con el jugo. Esto incluye pectinas y pentosanas asociadas, tales como arabinosa.

Además algunos polisacáridos solubles existen en suspensión los cuales se solubilizan durante el proceso de alcalización. Este grupo incluye celulosanas tales como glucosanas y xylananas.

Dextranas son polímeros homólogos de D-Glucopirronasa (glucanos) enlazados predominantemente por α - (1→6) enlaces glicosídicos. Dextranas son usualmente formadas por la acción de la enzima dextransucrasa en sacarosa. La estructura y propiedades de las dextranas varían ampliamente dependiendo del organismo que las produce y dependiendo de las condiciones de cultivo, tales como concentración de sacarosa, pH, temperatura y areación. Dextranas consisten de una cadena lineal básica de glucosa unidas por enlaces α - (1→6) con algunas ramificaciones enlazadas por α - (1→3) ó α - (1→4) enlaces glicosídicos. La cantidad de estas ramificaciones y proporción de estos enlaces es variable.

La mayoría de las dextranas tienen un peso molecular alto, del orden de $10^5 / 10^7$ o más; las soluciones acuosas de dextranas son extremadamente viscosas.”⁶

Altas concentraciones de almidón conjuntamente con dextrana de medio nivel pueden resultar en un aumento sinérgico en los problemas de viscosidad. Estos efectos incluyen aumento de la viscosidad, tiempos de cocimiento elevados y disminución del rendimiento de cristales. Estos efectos debilitantes ocurrirían tanto en el ingenio de azúcar crudo como en una refinería.

“El almidón es generalmente insoluble a temperaturas bajas, pero cuando el jugo o licor alcanza 60 °C (140 °F) el almidón se gelatiniza.

Esto ocurre cuando gránulos de almidón se hinchan y ocupan grandes volúmenes de espacio. La solubilidad del almidón a altas temperaturas aparece cuando las viscosidades aumentan.”⁷

El alfa-amilasa es una enzima líquida estable a variaciones térmicas, esta enzima es obtenida de la modificación genética del *Bacilo Licheniformis*. La función de esta enzima es hidrolizar el enlace 1-4 alfa-glucósido entre la amilosa y la amilopectina de tal manera que el almidón es dividido en varios oligosacáridos que ya no originan problemas en la manufactura de azúcar crudo.

En estudios realizados se ha determinado que el tamaño del almidón es de 1-6 μm y estas partículas tienden a coagularse a temperaturas entre los 65 y 80 °C. Esta coagulación tiende a formar partículas densas y de gran tamaño que tienden a aumentar la viscosidad de la meladura, esto trae como consecuencia problemas de cristalización en los tachos asimismo la purga en las centrífugas.

Debido a que la aplicación de la enzima se llevará a cabo en el departamento de evaporadores, a continuación se da una breve introducción al proceso de evaporación:

“La evaporación es la operación que extrae agua de una solución por vaporización, mediante la aplicación de calor. La calefacción es la operación que aumenta la temperatura de una solución, también por medio de la aplicación de calor. La unidad de calor, la BTU es la cantidad de calor necesaria para producir un aumento de temperatura de un grado *Fahrenheit* en una libra de agua. La caloría es la cantidad de calor necesaria para producir un aumento de temperatura de un grado centígrado en un gramo de agua.

El calor latente es la cantidad de unidades de calor, BTU que se requieren para evaporar una libra de agua sin cambiar su temperatura; su valor varía según la temperatura.

En un ingenio azucarero, el jugo procedente del sistema de clarificación contiene el agua natural que se exprime de la caña junto con parte del agua de imbibición, en proporción media aproximada de 85 % de agua y 15 % de sólidos.

En el proceso de evaporación se debe eliminar la mayor parte del agua para que quede un jarabe (meladura) con un contenido en sólidos del 60 % o más. En la actualidad la mayoría de ingenios emplean evaporadores de múltiple efecto, que se llaman así porque se logra que el vapor de escape trabaje varias veces.

Un evaporador consta de dos recintos cerrados que están separados entre sí por paredes metálicas delgadas en forma de tubos, serpentines o placas; a estas paredes se les llama superficie de calefacción. El vapor entra en uno de estos espacios a temperatura y presión fijas, a las cuales condensa, liberando así su calor latente. En el otro espacio hay una solución a temperatura y presión menores que absorbe el calor liberado por la condensación del vapor. La velocidad del flujo de calor a través de la superficie de calefacción es proporcional a la diferencia de temperatura existente entre el vapor que está en un lado y el líquido en ebullición que está en el otro.

Para evaporar una libra de agua, es necesario suministrar el equivalente de su calor latente, a la misma presión a que se lleva a cabo la evaporación, asumiendo que la solución esté a su temperatura de ebullición.

Si no lo está, se debe de proporcionar el calor sensible adicional suficiente para llevarla a dicho punto de ebullición. Si, por el contrario, la solución entra en el evaporador a una temperatura más alta que el punto de ebullición, ocurrirá un “*flash*” o autoevaporación, y la cantidad de calor requerida para evaporar una libra de agua será menor que el calor latente en la cantidad de unidades térmicas así liberadas.

Los evaporadores se pueden conectar en serie, en forma tal que la evaporación producida en uno de ellos se utiliza como vapor de calefacción del siguiente equipo. Para esto, es necesario disminuir la presión de cada unidad sucesiva que se añade, para así poder establecer una diferencia de temperatura adecuada que permitirá el funcionamiento correcto del aparato; a este proceso se le llama evaporación en múltiple efecto.”⁸

Al igual que el almidón, la presencia de dextrana (polisacarido con características bastante similares al almidón) produce efectos adversos en la fabricación de azúcar crudo; entre los principales efectos podemos citar:

“Un efecto de la dextrana, es la interferencia con pruebas analíticas de la pol y la pureza de la sacarosa en el proceso de control. La dextrana es altamente dextrorrotatoria y por eso aumenta la polarización directa de las muestras.

En el proceso de clarificación, el jugo derivado de la caña deteriorada contiene exceso de ácido y requiere adición de cal extra para neutralizar los ácidos. La formación de depósitos en el calentador de jugo reduce la eficiencia de la transferencia de calor.

La presencia de gomas aumenta la viscosidad del jugo, lo cual afecta la calidad de la clarificación y aumenta la cantidad de materia en suspensión en el jugo clarificado; consecuentemente el jugo clarificado es turbio, resultando en volúmenes altos de cachaza en la estación de filtros.

En la etapas de evaporación y cristalización los mayores efectos dañinos son el aumento de viscosidades, las cuales aumentan el tiempo del jugo en los evaporadores y una reducción en el rendimiento de cristales. Por lo tanto hay un aumento en el tiempo requerido para fabricar un peso unitario de azúcar por lo cual el promedio de molienda tendría que ser reducido.

Se ha demostrado que la dextrana no solo retarda el tiempo de cristalización de la sacarosa, sino retarda selectivamente el crecimiento de los ejes de los cristales, esto resulta en la formación de cristales con elongaciones en forma de agujas, que son indeseables por varias razones. Primeramente ellos reducen la eficiencia de la purga de las masas cocidas en las centrífugas produciendo una separación deficiente de cristales y mieles. Segunda, el azúcar es menos aceptable para el cliente desde el punto de vista estético. Tercera, y la más importante, es que la calidad del azúcar para refinar es bajo.

El aumento de la viscosidad de las masas cocidas junto a una reducción en rendimiento de cristales debido a altos niveles de dextrana implica una reducción en el agotamiento de las masas cocidas de baja pureza en los cristalizadores. Ya que la cristalización toma más tiempo en la presencia de la dextrana, las masas cocidas se enfrían más que lo normal, lo cual aumenta la alta viscosidad ya presente. La purga de estas masas cocidas se torna difícil e ineficiente, especialmente en centrífugas manuales, debido a la combinación de alta viscosidad del licor madre y los cristales en forma de aguja.

Azúcar crudo proveniente de masa cocidas de alta viscosidad son difíciles de manejar, secar y empacar. El resultado neto de estos efectos es un aumento en la pureza y volumen de la miel final por tonelada de caña y por lo tanto una pérdida en azúcar por tonelada de caña.”⁹

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología a utilizar será la de analizar el contenido de almidón presente en el azúcar crudo producido en el ingenio. Luego, durante el proceso de evaporación se adicionará la enzima alfa-amilasa que teóricamente ayuda a disminuir la cantidad de polisacáridos, y finalmente se evaluará la disminución de concentración de almidón presente en la producción de azúcar crudo (si es que la hubiese).

El método de análisis de laboratorio aplicado será el australiano debido a su aceptación mundial en las comercializadoras de azúcar.

3.1 Análisis de almidón

3.1.1 Teoría

“El almidón de la caña se compone de amilosa y amilopectina, donde la amilosa es la fracción que forma un complejo de color azul con el yoduro.

El azúcar disuelto en agua es digerido por la solución caliente de cloruro de calcio y ácido acético, solubilizando el almidón presente. La solución de yodato/yoduro de potasio agregado, forma el complejo yoduro de amilasa de coloración azul. La absorbancia de este complejo se lee en el espectrofotómetro a 700 nm. En esta longitud de onda el efecto sobre la absorbancia por las impurezas del azúcar crudo son mínimas.

3.1.2 Muestra

Azúcar crudo

3.1.3 Equipo

Baño de María 95 – 100 °C.

Pipetas clase A de 1, 2, 3, 4 y 5 ml., con succionador / ó pipeta de 5 ml.

Dispensador automático de 15 y 25 ml.

Balanza de 100 g +/- 0.01 g

Beaker de 50, 100 y 1000 ml.

Earlenmeyer de 500 y 1000 ml

Bureta de 50 ml.

Espectrofotómetro / 700 nm

Celdas de 20 mm

Plancha de calentamiento con agitador

Balones volumétricos de 100 y 1000 ml.

3.1.4 Reactivos

3.1.4.1 Solución de cloruro de calcio 40 % m/m (CaCl₂ · 2H₂O)

Disolver 53.0 +/- 0.1 g de cloruro de calcio dihidratado en agua destilada y diluir hasta 100.0 +/- 0.1 g con agua destilada. Esta solución es delicada y no debe exponerse al aire, la calidad de la solución debe ser chequeada frecuentemente con ayuda de un picnómetro. La densidad de la misma es de 1.3942 a 24 °C.

3.1.4.2 Solución de ácido acético 1 M (CH₃.COOH)

Medir 57 +/- 1 ml de ácido acético glacial (densidad 1.049 a 20 °C) y transferirlos a un balón de 1000 ml, luego completar el volumen con agua destilada y mezclar.

3.1.4.3 Solución de ácido acético 0.033 M (CH₃.COOH)

Diluir 3.00 +/- 0.03 ml de la solución de ácido acético 1.0 M en un balón de 100 ml con agua destilada.

3.1.4.4 Solución de cloruro de calcio/ ácido acético

Usando un potenciómetro y un agitador magnético ajustar el pH de una muestra de 100 ml de la solución de cloruro de calcio hasta pH 3.0 +/- 0.1 con la solución de ácido acético 0.033 M.

Es dificultoso alcanzar el equilibrio del pH, permitir el suficiente tiempo durante el ajuste. Aunque el pH de ésta solución se altera con el almacenamiento, no reajustar el pH 3.0 antes del uso; preferiblemente preparar una solución nueva.

3.1.4.5 Solución de yoduro de potasio al 10% m/v (KI)

Pesar 10.0 +/- 0.1 g de yoduro de potasio y disolverlos en agua destilada en un frasco volumétrico de 100 ml . Esta solución siempre debe ser fresca, almacenarse en frasco de color café, con tapón y en ambiente oscuro. Descartar la si se torna de color amarilla.

3.1.4.6 Solución de yodato de potasio 0.0017 M (KIO₃)

Preferiblemente secar 0.5 g de yodato de potasio a 105 –110 °C durante 1 hora. Pesar 0.3566 +/- 0.0002 g de yodato de potasio y disolver en agua destilada. Diluir en un frasco volumétrico de 1000 ml. Almacenar la solución en frasco de color café, con tapón y en ambiente oscuro.

3.1.4.7 Solución de yoduro / yodato de potasio

Este reactivo se prepara el día de su uso. Mezclar 10.0 +/- 0.5 ml de solución de yoduro de potasio con 90.0 +/- 0.5 ml de agua destilada y luego agregar 100.0 +/- 0.5 ml de la solución de yodato de potasio. Agitar la solución y guardar en frasco de color café, con tapón, éste reactivo se desecha diariamente.

3.1.4.8 Solución de almidón

- a) Secar a 105-110 °C durante 2 horas, 2 g de almidón de papa. Pesar en un *beaker* de 50 ml, 0.900 +/- 0.0001 g de almidón seco, agregar 5.0 ml de agua destilada fría y mezclar con varilla de vidrio, antes que el almidón se asiente, transferir la mezcla cuantitativamente a un *earlenmeyer* de 1000 ml que contiene 500 ml de agua en ebullición, teniendo cuidado que la mezcla no toque la pared del frasco. Realizar tres lavados de 5 ml de agua destilada cada uno, para transferir todo el almidón al frasco, esta operación no debe exceder de 1 minuto.

- b) Hervir la solución de almidón por 3 minutos +/- 10 segundos, cronometrando desde el momento que los primeros 5 ml de la solución se agregaron al balón.

- c) Lavar un frasco volumétrico de 1000 ml con agua destilada caliente. Cuantitativamente transferir la solución caliente a través de un embudo de vidrio al frasco volumétrico.
- d) Lavar el *earlenmeyer* como mínimo dos veces con agua destilada caliente, pero agregando los lavados al *beaker* de 25 ml donde se peso el almidón y luego transferirlos al balón volumétrico, continuar los lavados hasta completar un volumen cercano a los 900 ml.
- e) Agitar y mezclar los contenidos del frasco volumétrico y enfriar con agua a temperatura ambiente. Completar el volumen de 1000 ml con agua destilada y mezclar. Almacenar en un refrigerador. Esta solución debe descartarse a los 7 días y preferiblemente la curva de estandarización se debe realizar el día que se prepara la solución.

3.1.4.9 Solución estándar de almidón

Con una pipeta clase A, tomar 20.00 ml de la solución de almidón 900 mg/L, agregar en un frasco volumétrico de 100 ml y diluir con agua destilada. Mezclar bien.

3.1.4.10 Azúcar sin almidón

Muestra de azúcar sin almidón, grado reactivo.

3.1.5 Procedimiento

- a) En dos balones volumétricos de 100 ml pesar 7.20 +/- 0.04 g de azúcar crudo, una será la solución blanco y la otra la solución para prueba.

Etiquete o identifique visiblemente el balón donde se coloque la solución blanco.

- b) Usando el dispensador automático de 25.0 ml calibrado a 14.0 +/- 0.2 ml, agregar agua destilada a cada balón, agite para disolver el azúcar.
- c) Agregar a cada balón 30.00 +/- 0.10 ml de la solución de cloruro de calcio / ácido acético, usar un dispensador automático, mezclar bien.
- d) Seguidamente llevar los balones al baño María de 95- 100 °C, por 15 +/- 1 minuto, cronometrando desde que se colocan los balones en el baño, a los 5 –10 minutos de iniciado el baño María, agitar los balones para disolver el almidón. NOTA: Los balones deben colocarse en el baño María, sin que transcurran más de 30 minutos después de agregada el agua.
- e) Remover los balones del baño María y enfriar con agua a temperatura ambiente.
- f) A cada frasco agregar 30.00 +/- 0.10 ml de la solución de ácido acético 0.033 M, usar dispensador automático, mezclar bien.
- g) La solución blanco, completar el volumen de aforo con agua destilada y mezclar bien.
- h) A la muestra a analizar agregar 20.00 +/- 0.08 ml de la solución de yodato / yoduro de potasio y si es necesario completar volumen de aforo con agua destilada, mezclar bien.

- i) Colocar en la celda de 20 mm la solución blanco, y calibrar el espectrofotómetro a CERO, en longitud de onda de 700 nm. Vaciar la celda y agregar la solución a analizar (teniendo cuidado de lavar la celda), colocarla en el espectrofotómetro y leer la absorbencia que se lee en la pantalla; anotar el dato.

3.1.6 Preparación de estándares

- a) Pesar 7.20 +/- 0.04 g de sacarosa grado reactivo dentro de cada uno de los seis balones volumétricos de 100.0 ml .
- b) Usando las pipetas clase A de 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 y 10.00 ml adicionar las alícuotas de la solución estándar de almidón (180 mg/ l) a cada uno de los seis balones. Las soluciones corresponden a las concentraciones 0, 50, 100, 150, 200 y 250 mg/Kg de almidón en azúcar.
- c) Pipetear usando una pipeta de 25 ml, dentro de cada uno de los seis balones; 14.0 +/- 0.2, 12.0 +/- 0.2, 10.0 +/- 0.2, 8.0 +/- 0.2, 6.0 +/- 0.2, y 4.0 +/- 0.2 ml de agua destilada, con ello se completan 14.0 ml de volumen en cada balón y agitando disolver completamente el azúcar.
- d) Usando la repipeteadora de 25.0 ml, agregar 30.0 +/- 0.2 ml de la solución de cloruro de calcio / con ácido acético, dentro de cada balón y mezclar bien.
- e) Con sumo cuidado colocar cada balón en un baño de María a 95 –100 °C, durante 15 +/- 1 minuto, cronometrando desde el momento que los balones se colocan en el baño. Después de transcurridos 5 – 10 minutos del calentamiento en el baño María, agitar los balones para ayudar a disolver el almidón.

NOTA: Los frascos deben ser colocados en calentamiento sin sobrepasar 30 minutos después de haber agregado el agua para disolver el azúcar.

- f) Después de los 15 minutos remover los balones del baño de María y enfriar con agua a temperatura ambiente.
- g) A cada balón agregar 30.00 +/- 0.10 ml de la solución de ácido acético 0.033 M. Usar pipeta de 15 ml o una repipeteadora de 10 ml.
- h) Para determinar la corrección de las celdas, colocar agua destilada en un par de ellas.
- i) Agregar a la solución con 0.0 mg/Kg de almidón 20.00 +/- 0.10 ml de la solución de yodato/ yoduro de potasio, usando una repipeteadora de 10 ml. Si es necesario completar el volumen de aforo del balón con agua destilada, y mezclar bien.
- j) Inmediatamente agregar la solución del balón a la celda y leer la absorbencia a 700 nm, usando como referencia la lectura obtenida con agua destilada. NOTA: la absorbencia de la solución debe ser efectuada en el lapso de 2 a 5 minutos después de ser agregada la solución de yodato/ yoduro de potasio.
- k) Repita los pasos 9 al 10 para cada solución en los balones, para obtener la curva de estandarización. NOTA: La lectura de absorbencia de la solución de concentración de almidón 0 mg /Kg no debe exceder 0.010 para la celda de 20 mm. Y como guía, la lectura de absorbencia para la concentración 200 mg /Kg, no debe ser mayor de 0.320.

- l) Plotear los datos de mg/Kg de almidón con los datos de absorbencia y; realizar una correlación.
- m) Para realizar la curva de estandarización se deben efectuar como mínimo dos análisis, y la diferencia entre resultados no debe exceder el 5%.”⁹

3.1.7 Curva de calibración

Para poder conocer la concentración de almidón en azúcar crudo se realizó una curva de calibración con resultados de absorción a 700nm. Los datos de esta curva son los utilizados por todos los ingenios del país ya que fue verificada por los laboratorios de Expogranel.

Los pasos a seguir para realizar la curva de calibración se dan a continuación:

- a) Preparar las siguientes soluciones.

Tabla II. Volumen requerido de las soluciones para la curva de calibración

Azúcar (g)	Agua destilada (ml)	Cloruro de calcio/ ácido acético (ml)	Ácido acético 0.033 M (ml)	Yoduro/ yodato (ml)	Almidón estándar (ml)
7.2	14.00	30.00	30.00	20.00	0.00
7.2	12.00	30.00	30.00	20.00	2.00
7.2	10.00	30.00	30.00	20.00	4.00
7.2	8.00	30.00	30.00	20.00	6.00
7.2	6.00	30.00	30.00	20.00	8.00
7.2	4.00	30.00	30.00	20.00	10.00

b) Luego de tener las soluciones preparadas se adiciona la solución de almidón para obtener los datos de absorbancia, la cual se obtiene de la lectura espectrofotométrica.

Tabla III. Datos de absorbancia y concentración de almidón

Corrida	Solución de almidón (mg/kg)	Absorbancia
1	0	0.009
2	50	0.075
3	100	0.148
4	150	0.225
5	200	0.290
6	250	0.363

c) Al plotear los valores de absorbancia obtenidos para cada solución de almidón, se realizó un análisis de regresión lineal para obtener el modelo matemático que mejor se ajusta a los puntos de la curva.

El modelo matemático obtenido mediante un análisis de regresión lineal es el que se presenta a continuación:

$$Y = a + b x$$

$$Y = - 4.858935935 + 701.9401942 x$$

Donde:

Y = mg de almidón / Kg de azúcar

a = - 4.858935935

b = 701.9401942

x = Lectura de absorbancia en el espectrofotómetro

El coeficiente de correlación para el análisis de regresión lineal fue de :

r = 0.9997813944

4. RESULTADOS

Con el propósito de cumplir con las exigencias del nivel de concentración de almidón en el azúcar crudo producido para su comercialización en el extranjero, Ingenio La Unión, S.A realizó pruebas para medir el nivel en que la concentración de almidón se ve reducida al aplicar la enzima alfa-amilasa durante el proceso de evaporación.

Comercialmente hablando, un azúcar crudo con una concentración de 150 ppm de almidón no es aceptable para ser procesada en las refinerías que parten de azúcar crudo debido a los problemas que causa durante los distintos procesos.

Las muestras de azúcar que se analizan corresponden a una muestra compuesta de la recolección de azúcar crudo producido. Estas muestras se tomaron cada media hora y se juntaron durante ocho horas para su posterior análisis. Es importante hacer notar que la muestra analizada corresponde a la mezcla de las 16 recolecciones efectuadas durante las 8 horas del turno encargado de realizar el análisis, esto con el objetivo de proporcionar datos que ajustaran a un promedio de las distintas purgas que se obtuvieron durante el proceso de centrifugación.

Los datos que se presentan a continuación, son el resultado de las distintas pruebas realizadas en el Ingenio, asimismo, se tabulan los datos obtenidos al estar adicionando la enzima alfa-amilasa para la producción de azúcar crudo con un bajo contenido de almidón.

Como podrá notarse en las tablas de los resultados de los análisis, los datos que aparecen con un color más intenso fueron los que se obtuvieron los días de la zafra durante los cuales no se adicionó la enzima.

4.1 Análisis de almidón en azúcar crudo

Tabla IV. Resultados de análisis de almidón en azúcar crudo zafra 2001 / 2002 en Ingenio La Unión, S.A

Fecha	Día de zafra	Absorbancia	Almidón (ppm)
25 / nov / 2001	2	0.124	82
30 / nov / 2001	7	0.151	101
02 / dic / 2001	9	0.139	93
	9	0.130	86
	9	0.132	88
04 / dic / 2001	11	0.160	107
	11	0.156	105
07 / dic / 2001	13	0.145	97
10 / dic / 2001	16	0.150	100
17 / dic / 2001	23	0.160	107
19 / dic / 2001	26	0.125	83
	26	0.124	82
08/ ene / 2002	44	0.115	76
	44	0.125	83
11/ ene / 2002	47	0.110	77
	47	0.106	74
12 / ene / 2002	48	0.112	78
	48	0.115	80
	48	0.125	87
13 / ene / 2002	49	0.118	82

Fecha	Día de zafra	Absorbancia	Almidón (ppm)
	49	0.132	92
14/ ene / 2002	50	0.102	71
	50	0.127	88
Bodega 14 / ene / 2002		0.120	84
15 / ene / 2002	51	0.134	93
	51	0.137	96
	51	0.116	81
16 / ene / 2002	52	0.128	89
	52	0.137	96
	52	0.112	77
17 / ene / 2002	53	0.140	96
	53	0.140	97
	53	0.118	81
	53	0.131	91
18 / ene / 2002	54	0.137	93
Bodega 18 / ene / 2002		0.129	86
19 / ene / 2002	55	0.123	84
20 / ene / 2002	56	0.142	97
21 / ene / 2002	57	0.123	107
22 / ene / 2002	58	0.142	97
23/ ene / 2002	59	0.121	82
24 / ene / 2002	60	0.128	87
	60	0.129	88
25 / ene / 2002	61	0.140	94
26 / ene / 2002	62	0.117	81
27 / ene / 2002	63	0.125	88
28 / ene / 2002	64	0.128	91
29 / ene / 2002	65	0.118	73
30 / ene / 2002	66	0.131	84
31 / ene / 2002	67	0.129	83

Fecha	Día de zafra	Absorbancia	Almidón (ppm)
01 / feb / 2002	68	0.131	86
02 / feb / 2002	69	0.116	66
03 / feb / 2002	70	0.109	70
04 / feb / 2002	71	0.121	78
05 / feb / 2002	72	0.130	85
06 / feb / 2002	73	0.107	78
07 / feb / 2002	74	0.086	53
08 / feb / 2002	75	0.076	47
09 / feb / 2002	76	0.109	72
20 / feb / 2002	87	0.131	89
28 / feb / 2002	95	0.153	105
08 / mar / 2002	102	0.155	106
15 / mar / 2002	109	0.131	89
22 / mar / 2002	116	0.158	108
11 / abr / 2002	131	0.159	107
20 / abr / 2002	139	0.151	101
26 / abr / 2002	145	0.156	105

Análisis estadístico	Sin aplicar la enzima	Aplicando la enzima
Promedio (ppm de almidón)	104.31	83.41
Desviación estándar	3.43	10.01
Coefficiente de variación	0.03	0.12
Valor máximo (ppm almidón)	108	97
Valor mínimo (ppm almidón)	97	47

Fuente: Datos obtenidos de los distintos análisis de almidón en azúcar crudo realizados por el departamento de control de calidad (laboratorio de fábrica).

Como se mencionó anteriormente la metodología utilizada para los análisis es de carácter internacional, por tal motivo, nuestros clientes en Malasia sugirieron la verificación de los datos en un laboratorio de los Estados Unidos.

Para satisfacer los requerimientos, se realizaron análisis comparativos entre los datos obtenidos en el laboratorio de fábrica del ingenio, el laboratorio de EXPOGRANEL (quien es la entidad que rige los parámetros de calidad para la exportación de azúcar en Guatemala), y *MARKAN LABORATORIES* en los Estados Unidos; los resultados se presentan a continuación:

Tabla V. Comparativo de resultados de análisis de azúcar crudo con bajo contenido de almidón de distintos laboratorios

Muestra	Lugar de muestreo	Fecha de producción	Ingenio La Unión, S.A	Expogranel	Markan Laboratories
Compuesta	Bodega	11-14/01/02	84	78	80
Compuesta	Bodega	11-18/01/02	88	92	85
IUG-170102	Producción	17/01/02	90	82	77
IUG-180102	Producción	18/01/02	93	100	91
IUG-190102	Producción	19/01/02	84	91	82
IUG-200102	Producción	20/01/02	97	100	96
IUG210102	Producción	21/01/02	107	97	
IUG-220102	Producción	22/01/02	97	90	

Fuente: Departamento de exportaciones Ingenio La Unión, S.A

Como se puede apreciar en la tabla V , los datos no son iguales, pero la diferencia que se observa no es significativa para ninguno de los casos.

4.2 Análisis económico del estudio

A continuación se realiza un análisis de costo-beneficio de la producción de las 30,000 toneladas métricas de azúcar crudo producido para exportación a Malasia:

4.2.1 Costo total de la enzima

Para la producción de las 30,000 toneladas métricas fueron utilizadas 3,968 lb de la enzima *MIDLAND PCS 3501*; a un precio de \$ 3.35 / lb.

$$3,968 \text{ lb} * \frac{\$ 3.35}{1 \text{ lb}} = \$ 13,293$$

De esta manera obtenemos que el costo total de la enzima utilizada fue de \$ 13,239. Dividiendo este resultado dentro del total de toneladas métricas producidas tenemos que el costo promedio de tratamiento con la enzima por tonelada métrica fue de:

$$\frac{\$ 13,293}{30,000 \text{ Ton. Métrica}} = \$ 0.4431 / \text{Ton. Métrica producida}$$

Para la exportación de azúcar se fijan los precios según la calidad de la misma. Si esta posee una calidad superior a la requerida, gana puntos que son reflejados en el precio final de la venta.

El precio de venta del azúcar crudo con bajo contenido de almidón superó en aproximadamente \$ 20 por tonelada métrica al precio del azúcar crudo sin tratamiento con la enzima alfa-amilasa, por consiguiente tenemos que:

$$30,000 \text{ Ton. Métrica} * \$ 20 = \$ 600,000$$

$$\$ 600,000 - \$ 13,293 \text{ costo total de la enzima utilizada} = \$ 586,707$$

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El beneficio económico de la venta de azúcar crudo con bajo contenido de almidón fue de \$ 586,707; dato con el cual sabemos que la inversión en la aplicación de la enzima es rentable, no solamente desde el punto de vista económico; sino también por los beneficios que se obtienen en los distintos procesos de la fábrica como se citará en los párrafos siguientes.

El almidón es un polímero de glucosa de alto peso molecular, existe naturalmente como un nutriente en los alimentos así como en la caña de azúcar y como consecuencia forma parte del proceso de fabricación de azúcar crudo desde la extracción del jugo de caña en el tandem de molinos.

La enzima utilizada es adicionada a una razón de 1 - 2.5 gramos por tonelada de caña molida (aproximadamente 2 ppm), con esta razón de aplicación es de esperarse una remoción de almidón entre 30 - 50% ya que un exceso de enzima incrementaría la hidrólisis del almidón, acortando de esta manera el tiempo necesario para reacción e hidrolización.

Una alta concentración de almidón en el azúcar crudo producido en la fábrica, causa un gran impacto, principalmente en la pérdida de sacarosa. Aunque la sacarosa perdida por inversión durante el almacenaje y otras demoras no se puede recuperar, la eliminación de estos contaminantes del proceso permitirá recuperar la sacarosa disponible. La recuperación de pérdidas económicas puede compensar el costo del uso de enzimas para recobrar más azúcar con mayor calidad y asimismo eliminar penalidades impuestas por las refinerías que parten de azúcar crudo.

Las diferentes concentraciones de almidón presentes en la fábrica se deben principalmente a la variedad de la caña, así como el proceso de corte, alce y transporte; ya que todas las variedades de caña tienen un aumento significativo en la concentración de los polisacáridos totales cuando el clima es húmedo y caluroso, condiciones que se cumplen en toda el área de la costa sur de Guatemala donde es sembrada la caña de azúcar.

Al utilizar la cosecha mecanizada aumenta el contenido de polisacáridos durante el proceso y, aún más si la cosecha se lleva a cabo con picadoras; ya que el almidón aumenta sus niveles debido a la operación en el proceso de cosecha por la cantidad de hojas y demás compuestos orgánicos entregados en la fábrica junto con la caña.

Para poder cumplir con las especificaciones del contrato de la venta de azúcar crudo con bajo contenido de almidón, el cliente en el extranjero solicitó que el azúcar debería de contener como máximo 100 ppm de almidón. Por tal motivo, en Ingenio La Unión, S.A se procedió a hacer un estudio de impacto al adicionar la enzima alfa-amilasa durante el proceso de evaporación. Con los resultados obtenidos nos podemos dar cuenta que los valores de concentración de almidón en el azúcar crudo producido al adicionar la enzima fueron reducidos considerablemente.

“En una solución de sacarosa no se forman, crecen, ni depositan cristales a menos que la solución esté sobresaturada, es decir, que la solución contenga mas sólidos que los que el agua podría disolver a determinada temperatura. El grado de sobresaturación se puede dividir en tres fases: La fase metaestable, comprende una zona de concentración en la cual los cristales que existen aumentan su tamaño, pero no se forman cristales nuevos.

La zona intermedia, justamente arriba de la metaestable, es en la cual los cristales existentes crecen de tamaño y también se lleva a cabo la formación de cristales nuevos. La zona lábil, es la zona en la cual se forman cristales espontáneamente, sin la presencia de otros.”¹¹

“Con cualquier tipo determinado de impureza natural, mientras más alta sea la concentración de impurezas que contiene una solución saturada, mayor será su viscosidad. Sin embargo, la viscosidad de las melazas, a la misma temperatura, pureza, y contenido total de sólidos, puede variar ampliamente debido a la naturaleza y composición de las impurezas. La viscosidad es función directa, pero no lineal, del contenido de sólidos, y aumenta rápidamente según aumente la concentración total de sólidos. La temperatura tiene un efecto tremendo sobre la viscosidad, que disminuye rápidamente cuando sube la temperatura; el enfriamiento o la calefacción de las mieles en una cantidad de 5 °C duplica o divide por dos, respectivamente, su viscosidad. Estudios realizados muestran que cuanto más elevada sea la viscosidad o el contenido de sólidos, menor será la pureza de la melaza agotada. También, a la misma viscosidad, cuanto mayor sea la temperatura de saturación (hasta 55 °C) de la melaza, más baja será su pureza y este precisamente es el objetivo principal del trabajo de agotamiento de las mieles finales para obtener una mayor recuperación de sacarosa.

La solubilidad de la sacarosa disminuye en presencia de azúcares reductores y que la mayoría de las sales inorgánicas tienden a aumentar la solubilidad. Por lo tanto, es de esperar que las purezas de las mieles finales agotadas sientan la influencia de las proporciones relativas de estas sustancias.”¹²

CONCLUSIONES

1. La adición de la enzima alfa-amilasa al jugo de caña de azúcar en su proceso de evaporación, disminuyó la cantidad de polisacáridos naturales como el almidón; disminuyendo consecuentemente la concentración de éste en el azúcar crudo producido.
2. La concentración de almidón (ppm) en el azúcar crudo producido con la adición de la enzima alfa-amilasa durante el proceso de evaporación se encuentra dentro de los parámetros internacionales establecidos para la comercialización del azúcar crudo.
3. La inversión en la compra y aplicación de la enzima en la producción de azúcar crudo con bajo contenido de almidón, queda plenamente justificada desde el punto de vista económico.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la utilización de un programa químico coordinado de bactericida, así como la limpieza física en el tandem de molinos para reducir la interferencia de los iones metálicos con las enzimas.
2. Implementar el uso de enzimas en forma continua durante el proceso de fabricación de azúcar crudo, para lograr una mejor recuperación de sacarosa y agotamiento de las mieles finales.
3. Realizar estudios de impacto económico con nuevas enzimas que pudieran bajar los costos y aumentar los beneficios obtenidos a través de su aplicación.
4. Implementar un sistema de control mas riguroso para la limpieza y despunte de la caña de azúcar, ya que es en las hojas y los tallos de la misma donde se encuentra el mayor contenido de almidón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1

Miguel Porro. Presencia de polisacáridos totales en la fabricación de azúcar y métodos para reducir su efecto negativo. (Costa Rica: Editorial *MIDLAND RESEARCH LABORATORIES, INC.*, 2000) pp. 7-8

2

Ibid., pp. 1-2

3

Willem Kampem. *The action of Alpha-Amylase on sugar cane starch.* (United States of America: Editorial *MIDLAND RESEARCH LABORATORIES, INC.*, 1998) pp. 1-6

4

Miguel Porro, op cit., p., 1

5

Ibid., p. 14

6

Ibid., pp. 2-3

7

Ibid., p. 14

8

George Meade. Manual del azúcar de caña. (España: Editorial MONTANER Y SIMON, S.A., 1967) pp. 150-151

9

Miguel Porro, op cit., pp., 10-12

10

Owen W. Sturgess. *The standard laboratory manual for Australian sugar mills*. (Australia: Editorial BSES publications., 1984) Método número 37

11

George Meade, op cit., p., 207

12

Ibid., pp. 245-247

BIBLIOGRAFÍA

1. Bautista Sandoval, Elfego Arturo. Manual de operación del área de clarificación de ingenio La Unión. Tesis Ing. Quim. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 134pp.
2. Honig Pieter. **Principios de tecnología azucarera.** 4^a ed. México: Editorial CECSA, 1982. 645 pp.
3. Thornton Morrison, Robert y Robert Neilson Boyd. **Química orgánica.** México: Editorial Fondo Educativo Interamericano, 1976. 1291 pp.

GLOSARIO

**Agua de
Imbibición**

Es el agua que se aplica a la torta de bagazo en los molinos para mejorar la extracción, disminuyendo el porcentaje de pol en el bagazo, el agua de imbibición extrae la sacarosa por lixiviación. Para la imbibición se emplea el agua condensada de los tachos, calentadores y evaporadores; o sea agua que no es apta para calderas. Se puede aplicar bien caliente 140 – 150 °F o fría, pero por experiencia se sabe que es mejor la aplicación en caliente. Esta agua pasa a formar parte del jugo que sale del área de molinos hacia el próximo proceso.

Alcalizar

Proceso mediante el cual se agrega una lechada o sacarato de calcio al jugo proveniente de los molinos, a la meladura o al licor disuelto de la refinería o fábrica de azúcar crudo para neutralizarlos y calentarlos, disminuir impurezas, aumentar pH (ya que el jugo tiene un pH ácido) y mejorar la calidad del producto a ser clarificado.

Almidón	Sustancias hidrocarbonadas amorfas que se encuentran en la caña de azúcar, las que pueden causar problemas de viscosidad en la cristalización y calidad del azúcar, especialmente cuando pasa a los tachos. El almidón contiene generalmente alrededor de un 20 % de una fracción soluble en agua llamada amilosa; y un 80 % de una insoluble llamada amilopectina. Ambas fracciones parecen corresponder a dos carbohidratos diferentes de peso molecular elevado y fórmula $(C_6 H_{10} O_5)_n$.
Azúcar (sacarosa)	Es el compuesto de mayor producción en forma pura. La sacarosa está formada por una unidad de D-glucosa y otra D-fructosa.
Azúcar invertida	Cuando se hidroliza la sacarosa con ácido acuoso diluido, o por la acción de la enzima invertasa, se obtienen cantidades iguales de D-glucosa y D-fructosa. Esta hidrólisis va acompañada por un cambio en el signo de la rotación, de positivo a negativo; por eso suele llamarse inversión de la sacarosa, y la mezcla levógira de D-glucosa y D-fructosa se ha llamado azúcar invertido.
Azucres reductores	Monosacáridos (hexosas) en los cuales se convierte la sacarosa, al hidrolizarse en medio ácido con calor o por la presencia de enzimas como la invertasa. Tienen la propiedad de reducir Cu^{+++} a Cu^{++} . No se pueden hidrolizar en compuestos mas simples (monosacáridos).

Bactericidas o biocidas	Productos biostáticos que se dosifican en el jugo que va hacia el proceso de clarificación para ayudar al control de la asepsia . Entre ellos se encuentran los carbamatos, aminas cuaternarias, dióxido de cloro, etc.
Brix	Es el porcentaje en peso de los sólidos contenidos en una solución de sacarosa pura. El <i>brix</i> representa los sólidos aparentes que contiene una solución de azúcar.
Cachaza	Sedimento extraído generalmente por bombas o por gravedad, de las bandejas de los clarificadores, para ser procesados en los filtros.
Cal	Oxido de calcio CaO_2 (cal viva) o hidróxido de calcio Ca(OH)_2 (cal apagada) que se utiliza para neutralizar y precipitar las impurezas del jugo, meladura y el licor tratado. Se utiliza en forma de lechada de 10 a 15 grados <i>baumé</i> .
Calandria	Superficie calórica, generalmente de cobre o acero inoxidable, donde se produce una transferencia calórica entre el vapor que va por fuera de los tubos y el líquido (jugo o masa cocida) que va por dentro y que se calienta y evapora. Los tienen los calentadores, evaporadores, tachos y algunos condensadores.
Calentadores	Intercambiador de calor, utilizados para calentar el jugo, la meladura y los licores, principalmente con vapor, aunque se puede utilizar agua caliente.

Ceniza	Constituyentes totales de los productos inorgánicos , en los distintos productos desde la caña, hasta las mieles finales y el azúcar.
Centrífugas	Máquinas que separan la miel de los cristales de azúcar de las masas cocidas a través de telas perforadas ejerciendo una fuerza centrífuga de 500 a 1,200 veces la de la fuerza de la gravedad. Estas centrífugas existen “ <i>batch</i> ” o por cargas y “Continuas”. Las <i>batch</i> son totalmente automáticas en su gran mayoría. Las continuas también pueden ser automatizadas.
Cera	Substancias lípidas sólidas, que cubren la cáscara de la caña. Es indeseable en el proceso, aunque se eliminan parcialmente en el bagazo y en la torta de cachaza.
Clarificación	Proceso de sedimentación del jugo alcalizado y caliente que separa el jugo “claro” o “clarificado” de los sedimentos llamados “lodos” o “cachaza”.
Clarificadores	Sedimentadores, generalmente continuos, donde se efectúa la clarificación del jugo.
Color	Determinación espectrofotométrica del color utilizando el método ICUMSA # 4.

- Condensador** Equipo para condensar los vapores de los tachos al vacío, evaporadores, filtros y tubos de conducción que utilizan agua fría y extracción de los gases incondensables con eyectores, bombas de vacío o el efecto “venturi” de los condensadores de chorro.
- Condensados** Agua destilada condensada en las calandrias de los calentadores ,tachos ,evaporadores y condensadores. Se usan los de mayor calidad para alimentar las calderas y el resto para agua de imbibición, dilución, lavado y disolución.
- Cristalización** Proceso de concentración en los tachos de la meladura, miel, licor, o jarabe; que al obtenerse la sobresaturación adecuada de acuerdo a la pureza, se le añade una suspensión de polvillo de azúcar que hace crecer dichos granos, obteniéndose cristales mayores al depositarse la sacarosa en los cristalitos de polvillo (núcleo de cristalización).
- Cristalizadores** Recipientes cilíndricos o en forma de “U” para enfriar la masa cocida y de este modo, lograr agotar mas el licor madre o miel, al disminuir la solubilidad de la sacarosa que se deposita sobre los cristales existentes. Están provistos de agitadores, enfriadores. A este proceso se le llama cristalización en movimiento.

Dextrana	Polisacárido soluble en el jugo frío, producto de la degradación de la sacarosa y de la polimerización de la dextrosa por medio de la enzima dextranosacarasa. Produce alta viscosidad, interfiriendo con la formación de cristales (cristales de aguja o alargados) y la purga en las centrífugas, reduciendo la calidad del azúcar y el agotamiento de las mieles.
Duples o duplex	Doble efecto de la evaporación. Cuerpos evaporadores que reciben vapor vegetal y producen vapores para el tercer efecto, tachos y calentadores primarios.
Evaporación	Proceso de remoción del agua del jugo en los evaporadores o de los componentes de las masas cocidas de los tachos al vacío, utilizando la superficie calórica, el vapor y el vacío.
Evaporadores	Serie de cuerpos de superficie calórica que evaporan el jugo a múltiple efecto, utilizando el vapor de escape de las turbinas en el primer efecto y los vapores del jugo producido para calentar la superficie calórica o “calandria” del siguiente efecto, hasta llegar al último efecto que tiene un condensador con vacío (de 24” a 26” Hg). Lo normal es utilizar triple, cuádruple y quítruple efectos con extracciones de vapor para tachos y calentadores.
Fructosa	Cetosa levógira o levulosa ,al igual que la glucosa tiene la fórmula $C_6H_{12}O_6$,siendo isómeros.

Glucosa	Aldosa dextrógira o dextrosa, al igual que la fructosa tiene la fórmula $C_6H_{12}O_6$, siendo isómeros.
Guarapo	Jugo de caña extraído por el molino 1 del tandem.
Hidrosulfito de sodio	Producto usado para la clarificación del azúcar, que va desapareciendo durante el proceso de producción de azúcar ya que su efecto no es permanente.
Imbibición	Proceso de aplicar agua caliente al bagazo que sale del penúltimo molino del tandem, para utilizar el jugo de dicho molino y aplicarlo al bagazo del molino anterior, hasta llegar al segundo molino. El jugo del primero y segundo molino llamado mixto, mezclado o diluido se bombea para el proceso. También a la imbibición con jugo entre molinos, se le llama erróneamente maceración.
Jugo alcalizado	Jugo mezclado, ligado generalmente con el filtrado, al que se le añade cal (lechada o sacarato).
Jugo clarificado o defecado	Jugo limpio caliente, procedente del proceso de clarificación y que será procesado en los evaporadores.
Jugo filtrado	Es el jugo resultante del lavado de la cachaza (extraída del proceso de clarificación) en los filtros rotativos al vacío, generalmente este jugo es retornado al proceso de clarificación.

Jugo mixto	Es el jugo que va al proceso, generalmente del primer y segundo molino.
Jugo normal	Jugo mixto – agua de dilución
Jugo primario	Es el jugo de caña que extrae de la masa cañera del primer molino.
Jugo residual	Es el jugo extraído por la masa bagacera del ultimo molino.
Levaduras	Ascomicetos que hidrolizan la sacarosa y producen fermentación alcohólica de las azúcares invertidas. Las bacterias del género <i>acetobacter</i> , producen ácido acético y otras producen ácido láctico. Todos productos indeseables para el proceso de producción de azúcar ya que ocasionan pérdidas de sacarosa.
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>Bacillus Mesentericus, Bacillus Levanicus</i> . Bacterias que producen invertasa, hidrolizando el azúcar y produciendo Polisacáridos indeseables como la dextrana y la levana.
Libra inglesa	Medida de masa equivalente a 454 gramos.
Magma	Mezcla de azúcar “C” a azúcar “B” con agua o jugo claro que sirve para pie de segunda (magma “C”) o pie de primera (magma “B”). Magma en este caso son núcleos de cristales pequeños de alta pureza.

Masa cocida	Mezcla de cristales de azúcar y licor madre (mieles), que se produce por la cristalización de la sacarosa en los tachos al vacío y cristalizadores.
Masa cocida “A”	Masa elaborada en los tachos con magma “B” o de segunda o magma “C” o de tercera y meladura. Al centrifugarse produce azúcar “A” o de primera y miel “A” o de primera.
Masa cocida “B”	Masa elaborada para producir azúcar comercial con magma “C” o “B”, meladura y miel “A”. También es una masa que puede ser producida con magma “C” y miel “A”. Al centrifugarse produce azúcar “B” o segunda comercial y es para magma de miel “B” o segunda.
Masa cocida “C”	Masa elaborada con miel “A” y miel “B” que se enfría en cristalizadores. Al ser centrifugada produce miel final “C” de tercera o melaza como sub-producto y azúcar “C” o de tercera que se usa para magma “C”, ligándola con agua o jugo claro.
Meladura o sirope	Jugo clarificado concentrado en los evaporadores a un <i>brix</i> de 58 a 64 aproximadamente. La meladura se bombea a los tachos donde es cristalizada.
Mesh	Número de perforaciones que presenta una tela metálica en una pulgada cuadrada de superficie. Se utiliza principalmente para filtraciones, separaciones y determinación de tamaño de partículas.

Miel	Licor madre, separado por centrifugación de la masa cocida. Puede ser miel “A” o de primera, “B” o de segunda y final o de tercera, dependiendo de la masa cocida de la cual proviene.
Mieles invertidas	Miel o sirope procedente de la meladura invertida que se lleva a 85 <i>brix</i> con pureza de 10 a 20 %. Se utiliza en la industria del alcohol y otros.
Miel virgen	Meladura concentrada a 75 <i>brix</i> , usada en las destilerías.
Pie de agua	Medida de presión de agua utilizada para definir características de una bomba, 1 pie de agua equivale a 0.3048 metros de agua de presión.
Polarímetro	Instrumento óptico para medir la rotación de la luz polarizada a través de una solución azucarada. Este aparato mide la “pol” que es la resultante del poder rotativo específico de todos los productos azucarados en la solución. Se le llama sacarímetro, pero no determina la sacarosa; a no ser que la solución sea de sacarosa pura.
Pulgadas de mercurio	Escala que se utiliza para medir presiones inferiores a la atmosférica. 30 “ de mercurio es equivalente al vacío absoluto.

Refractómetro	Instrumento óptico que mide el índice de refracción del azúcar en solución. Está calibrado en grados <i>brix</i> . Cuando la solución es pura, determina el porcentaje de sacarosa. En soluciones impuras, mide los sólidos totales en solución.
Sacarato de calcio	Mezcla de lechada de cal de 15 <i>baumé</i> con jugo, meladura o licor y agua para la alcalización del jugo procedente de los molinos.
Sacarosa	Es el compuesto orgánico de mayor producción en forma pura. Tiene la fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$. Cuando se hidroliza con ácido acuoso diluido, o por la acción de la enzima invertasa (de la levadura), se obtienen cantidades iguales de D-glucosa y D-fructosa. Esta hidrólisis va acompañada por un cambio en el signo de la rotación, de positivo a negativo; por eso, se suele llamar la inversión de la sacarosa, y la mezcla levógira de D-glucosa y D-fructosa se ha llamado azúcar invertido.
SO₂	Bióxido de azufre, anhídrido sulfuroso, producido por la combustión del azufre. Se obtiene directamente en la fábrica quemando el azufre en condiciones controladas, o se puede comprar en tambos de gas dosificándolo a la corriente de jugo o meladura.

Sulfitación

Tratamiento del jugo crudo de caña o meladura con bióxido de azufre (SO_2) y cal para producir azúcar blanca (actualmente también se sulfita el jugo para la producción de azúcar crudo, solo que en proporciones menores a las de azúcar blanco).

LISTA DE SÍMBOLOS

psig	Dimensional de la presión manométrica, por sus siglas en inglés <i>pound square inch gauge</i> (libras por pulgada cuadrada).
BTU	Unidad de medida de la energía en el sistema inglés, por sus siglas en inglés <i>British Thermal Unit</i> .
Ton	Dimensional de tonelada corta = 2,000 libras.
pH	Medida de la acidéz o alcalinidad de una solución, que se define como el inverso del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno = $1/\log[H^+]$.
°Bx	Es igual al porcentaje de sólidos disueltos en una solución.
°Be	Grados <i>Baumé</i> . Medida de densidad de una solución definida con la fórmula siguiente: $145 - 145/g.e.$ a 20 °C.
g.e.	Gravedad específica. La razón del peso de cualquier cantidad de material al peso de un volumen igual de agua a una temperatura estipulada.
gal	Galón. Medida de volumen equivalente a 3,780 centímetros cúbicos.

gpm	Galones por minuto. Medida de capacidad de desplazamiento de líquido (capacidad de bombeo).
Lpm	Litros por minuto. Medida de capacidad de desplazamiento de líquido (capacidad de bombeo).
Ibid	Ibidem. Significa en el mismo lugar.
tc	Tonelada de caña. Medida de masa equivalente a 2,000 libras de caña.
‘ o ft	Pie. Medida de distancia equivalente a 30.48 centímetros.
“ o plg	Pulgada. Medida de distancia equivalente a 2.54 centímetros.
m	Metro. Medida de distancia equivalente a 100 centímetros.
cP	<i>Centipoise</i> . Medida de viscosidad.
ppm	Partes por millón. Medida de concentración de una solución expresada en mg/L o mg/Kg.
nm	Nanómetro. Medida de longitud de onda.
ml	Mililitro. Medida de volumen, 1 L = 1000 ml
g	Gramo. Medida de peso, 1Kg = 1000 g
mg	Miligramo. Medida de peso, 1 g = 1000 mg

OBJETIVOS

General

Realizar el estudio de impacto económico del uso de enzimas en la disminución de la concentración de almidón en el azúcar crudo producido.

Específicos

1. Determinar la cantidad total de almidón (ppm) presente en el azúcar crudo producido al adicionar la enzima y evaluar si se encuentra entre el intervalo de los parámetros establecidos para la comercialización del azúcar.

HIPÓTESIS

La aplicación de la enzima alfa-amilasa al jugo de caña de azúcar en su proceso de evaporación disminuye la cantidad de polisacáridos naturales como el almidón, cuando el mismo exista; disminuyendo su concentración en azúcar crudo producido.