



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**PRODUCCIÓN DE DEXTRÁN, A NIVEL LABORATORIO,  
COMO DERIVADO DE LA SACAROSA, USANDO JUGO DE CAÑA.**

EMMETT ECHEVERRÍA VALENZUELA  
ASESORADO POR M.Sc. ZENÓN MUCH SANTOS

Guatemala, febrero de 2006.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRODUCCIÓN DE DEXTRÁN, A NIVEL LABORATORIO,  
COMO DERIVADO DE LA SACAROSA, USANDO JUGO DE CAÑA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EMMETT ECHEVERRÍA VALENZUELA**  
ASESORADO POR: M.Sc. ZENÓN MUCH SANTOS

A CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruíz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxóm
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdéz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## 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:

### **PRODUCCIÓN DE DEXTRÁN, A NIVEL LABORATORIO, COMO DERIVADO DE LA SACAROSA, USANDO JUGO DE CAÑA.**

Tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha de agosto de 2005.



Emmett Echeverría Valenzuela



Guatemala, noviembre 7 de 2005

Ingeniero  
Federico Salazar Rodríguez  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Ingeniero Rivera:

Respetuosamente me dirijo a usted, para informarle por medio de la presente que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado PRODUCCION DE DEXTRÁN A NIVEL LABORATORIO, COMO DERIVADO DE LA SACAROSA USANDO JUGO DE CAÑA, del estudiante Emmett Echeverría Valenzuela con carné 9415403.

Es importante mencionar que el informe final del trabajo de graduación del estudiante Echeverría Valenzuela, cumple con los requisitos exigidos tanto por la Escuela de Ingeniería Química como por la Universidad, por lo que lo someto a su consideración.

Agradezco su atención a la presente y en espera de su aprobación, se suscribe de usted,

Atentamente,

  
M. Sc. Ing. Zenón Muth Santos  
Jefe del Laboratorio  
Química y Microbiología Sanitaria  
ASESOR





Guatemala, 10 de noviembre de 2,005

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero  
Federico Salazar Rodríguez  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Salazar.

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de Graduación titulado: **“PRODUCCIÓN DE DEXTRÁN, A NIVEL LABORATORIO COMO DERIVADO DE LA SACAROSA, USANDO JUGO DE CAÑA”** desarrollado por el estudiante **Emmett Echeverría Valenzuela**, después de haber realizado la revisión del trabajo de Graduación llena los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Estuardo Monroy Benítez  
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Álvarez Mejía, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento al trabajo de Graduación del estudiante EMMETT ECHEVERRÍA VALENZUELA, titulado: "PRODUCCIÓN DE DEXTRÁN, A NIVEL LABORATORIO, COMO DERIVADO DE LA SACAROSA, USANDO JUGO DE CAÑA" procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Williams Álvarez Mejía  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, enero de 2,006

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 013-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **PRODUCCIÓN DE DEXTRÁN, A NIVEL LABORATORIO, COMO DERIVADO DE LA SACAROSA, USANDO JUGO DE CAÑA**, presentado por el estudiante universitario **Emmett Echeverría Valenzuela** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, febrero 6 de 2,006



/gdech

Todos ven lo que tú aparentas; pocos advierten lo que eres.

*Nicolás Maquiavelo*

...la sabiduría no se transmite... La ciencia que el sabio intenta comunicar, suena siempre a locura... lo contrario de cada verdad, es tan verdadero como la verdad misma.

*Herman Hesse*

El príncipe de las tinieblas es un caballero.

*William Shakespeare*

## **Dedicatoria**

A todos aquellos que, de una u otra manera, han intervenido a lo largo de mi existencia, especialmente a nuestro Padre Universal, Fuente, Caudal y Sumidero de todo cuanto existe, material y antimaterial.

A todos aquellos que, de forma mucho más cercana, han labrado los surcos de mi educación, mi carácter, mi conducta, y todo cuanto soy, en especial a mi querida esposa, María Lourdes, a mi primogénito Abner, gracias a Dios que nos ha bendecido con un hijo, y debido a él empiezo a comprender la dura tarea que les puse a mis padres, Tulio y Alicia, gracias por ser ustedes y gracias por corregirme; a mis hermanos Jetro e Isaac, gracias por su motivación, y a todos mis compañeros de estudio, con los que pasamos todas las experiencias relacionadas con el aprendizaje, a mis familiares y amigos, vivos y muertos en general, por su presencia de incalculable valor en mi historia, en especial a aquellos que no lograron terminar esta carrera, Edgar «El sombra» Mendía, a José Miguel Alegría y Carlo «El Coche» Lemus, que en paz descansen.

## **Agradecimientos**

Agradezco a M.Sc. Zenón Much Santos, por sus consejos para la realización de este trabajo.

También, deseo agradecer al Ing. Estuardo Monroy Benítez, por todos sus consejos, en la revisión de este trabajo.

A la tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Facultad de Ingeniería, a la escuela de Ingeniería Química, y a todos los catedráticos que me reprobaron en algún curso, cuando fui mediocre, ya que me obligaron a aprender bien la lección.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	iii
LISTA DE SIMBOLOS .....	iv
GLOSARIO .....	v
RESUMEN .....	xx
OBJETIVOS .....	xxi
HIPÓTESIS .....	xxii
INTRODUCCIÓN .....	xxiii
<b>1. Marco Teórico</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes. ....	1
1.1.1 El proceso de producción de dextrán a nivel comercial .....	2
1.2 Carbohidratos .....	4
1.2.1 Clasificación de carbohidratos .....	4
1.2.2 Fotosíntesis .....	6
1.2.3 Metabolismo de la glucosa: Procesos biosintéticos .....	6
1.2.4 Estereoquímica de los carbohidratos .....	8
1.2.5 Biopolímeros: Oligosacáridos y polisacáridos .....	9
1.2.6 Disacáridos.....	9
<b>2. La Caña de azúcar</b> .....	<b>10</b>
2.1 Deterioro de la caña .....	11
2.2 Composición de la caña de azúcar .....	13
2.3 La composición del jugo de la caña.....	14

2.4 Sacarosa .....	15
2.5 Glucosa -Dextrosa- .....	16
2.6 Fructosa -Levulosa- .....	18
2.7 Reacciones que intervienen en la formación del dextrán. ....	19
2.8 Dextrán .....	20
2.9 Usos .....	22
<b>3. Diseño de la práctica experimental .....</b>	<b>24</b>
3.1 Fermentación de la muestra. ....	24
<b>4. Análisis de Laboratorio .....</b>	<b>26</b>
4.1 Determinación de dextrán .....	26
4.2 Método Haze o CSR para la determinación de dextrán en azúcares crudos. [Referencia 10] .....	26
4.3 Procedimiento analítico para el jugo de caña. ....	27
Resultados .....	29
Discusión de resultados .....	30
CONCLUSIONES .....	31
RECOMENDACIONES .....	32
BIBLIOGRAFÍA .....	33

## INDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

No.	Título	Página.
1	Proceso de producción de Dextrán a nivel comercial.....	3
2	Procesos metabólicos de la glucosa en animales y plantas.....	7
3	Reacciones que intervienen en la formación del Dextrán.....	19
4	Fermentador Microfermentor del Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	25
5	Espectrofotómetro Espectronic 20 del Laboratorio de Fisicoquímica.....	27

### TABLAS

No.	Título	Página.
1	Composición de la caña de azúcar.....	13
2	Composición de la caña de azúcar y del guarapo.....	15

## LISTA DE SIMBOLOS

$[\alpha]_D^{25}$	Rotación óptica específica a 25 grados centígrados En la línea D, del sodio, ausencia de los corchetes, significa rotación óptica de un líquido en una celda decimétrica.
$\mu$	Viscosidad cinemática
$\rho$	Densidad volumétrica
pH	Relación logarítmica de la concentración de iones hidrógeno.
pH <sub>f</sub>	pH final del jugo fermentado
Dext <sub>i</sub>	Dextrán inicial en el jugo a fermentar.
Dext <sub>f</sub>	Dextrán final en el jugo fermentado.
N <sub>RE</sub>	Número de Reynolds

## GLOSARIO

### Ácido Nucléico

Compuestos complejos que se encuentran en todas las células vivas. Se hallan, generalmente, unidas a proteínas, formando nucleoproteínas. Los ácidos nucleicos son de peso molecular elevado y se transforman, fácilmente, mediante reactivos químicos suaves. Contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno (15-16 %), y fósforo (9-10 %)

Las unidades fundamentales de estos ácidos son los nucleótidos, los ácidos nucleicos son polinucleotidos en los que los nucleótidos están unidos por medio de puentes de fosfato. Al calentarlos extensamente en presencia de agua, hidrólisis, forman una mezcla de purinas y piridinas, D-ribosa D-desoxirribosa y ácido fosfórico. Los ácidos nucleicos están subdivididos en dos tipos: ácido ribonucleico (ARN) conteniendo el azúcar D-ribosa; y ácido desoxirribonucleico (ADN) conteniendo el azúcar D-desoxirribosa.

## **Aldehído**

Nombre genérico que se da a un tipo de compuesto que contiene el grupo R-CHO y ocupan una posición intermedia en la oxidación de los alcoholes para dar ácidos.

## **Aldopentosas**

Carbohidratos que en su estructura molecular solo contiene 5 átomos de carbono y a su vez forma parte del grupo que contiene un Aldehído, de ahí su nombre aldo-pent-osa.

## **Alginatos**

Uno de los derivados del ácido algínico. Son coloides hidrofílicos, utilizados como espesadores y estabilizadores de productos alimenticios. A partir de ellos, se han hecho fibras experimentales, películas y geles.

## **Aminoácidos**

Es un ácido orgánico que contiene un grupo amino básico ( $\text{NH}_2$ ) y un grupo carboxilo ácido ( $\text{COOH}$ ); por consiguiente, son anfóteros y existen en solución acuosa en forma de dipolos. Los aminoácidos que se han determinado como formadores de proteínas son alfa-aminoácidos, es decir, el grupo  $-\text{NH}_2$  está ligado al átomo de carbono contiguo al grupo  $-\text{COOH}$

## **Anabolismo**

Subdivisión del metabolismo -del griego *ana*, arriba y *bollein*, lanzar-. Es la síntesis de moléculas complejas a partir de otras sencillas, gracias al aporte de energía, un proceso anabólico utiliza energía para aumentar el orden del sistema.

## **Bacteria**

Dominio o imperio que incluye células procariotas que tienen en la membrana, principalmente, diésteres de glicerol diacilo y presentan un rRNA eubacteriano. También, término general referido a los microorganismos procariotas no multicelulares.

## **Carbohidratos**

Este término se emplea para describir cualquier compuesto que esté formado primordialmente de carbono, hidrógeno y oxígeno y cuya fórmula molecular sea  $C_x(H_2O)_y$ ,

## **Catabolismo**

Subdivisión del metabolismo, -del griego *cata*, abajo y *bollein*, lanzar-. Es la descomposición de moléculas grandes complejas en otras más pequeñas y sencillas, liberándose energía en el proceso. Parte de esta energía es captada y está disponible para realizar trabajo, mientras que el resto se libera en forma de calor.

## **Catalasa**

Enzima oxidante que se presenta en las células de las plantas y los animales. Descompone el peróxido de hidrógeno, en agua y oxígeno molecular.

## **Cetonas**

Clase de compuestos orgánicos en los que el grupo carbonilo C=O, está unido a dos átomos de carbono. La fórmula usual es  $R_1(C=O)-R_2$ .  $R_1$  podrían ser iguales o diferentes.

## **Ceras**

Compuestos orgánicos de bajo punto de fusión, alto peso molecular, sólido a temperatura ambiente y, generalmente, similar en composición a grasas y aceites excepto en que no contienen glicéridos. Algunos son hidrocarburos, otros son ésteres de ácidos grasos y alcoholes. Están clasificadas entre los lípidos. Las ceras son Termoplásticos, aunque no son polímeros, no son considerados de la familia de los plásticos.

## **Citocromos**

Clase de hierro porfirina de gran importancia en el metabolismo de la célula. Son pigmentos que se presentan en las células de casi todos los animales y plantas. Los citocromos y oxidasa de citocromo tienen funciones importantes en la respiración de la célula.

## **Clorofila**

Es el pigmento verde vegetal esencial para la fotosíntesis. Se halla en otras formas, siendo todas porfirinas en un átomo de magnesio central, y contienen un anillo carbocíclico hidrofílico con una cola ftilica lipofílica. La clorofila es un fotorreceptor hasta longitudes de onda de 700 nm, puede transferir, fácilmente, en energía radiante al medio químico que le rodea, actuando como transductor en la fotosíntesis.

## **Densidad**

Es la relación matemática entre dos escalares, y una de sus formas es la densidad volumétrica representada como la masa por unidad de volumen.

## **Dextrán**

Ciertos polímeros de glucosa que tienen estructuras en cadena y pesos moleculares muy altos, hasta de 2 millones o más. Se produce a partir de la sacarosa por las enzimas de las bacterias *Leuconostoc* y aparece como lodos en las refinerías de azúcar, en la fermentación de vegetales o en productos de la leche.

### **Dextranasa**

Enzima que interviene en la formación del dextrán.

### **Dextrosa**

Carbohidrato más importante de las Aldosas (carbohidrato que contiene dentro de su estructura molecular un Aldehído) es la D-Glucosa.

### **Diastereomeros**

Son estereoisomeros que no guardan una relación especular de imagen entre si.

### **Disacarido**

Oligosacarido que por hidrólisis produce dos moléculas de monosacarido, se divide en los disacaridos reductores y no reductores.

### **Enantiomero**

Así se le llama a dos estructuras químicas que guardan una relación imagen-espejo entre si, en sentido tridimensional.

## **Enlace**

Es en términos generales la transferencia de electrones entre dos átomos. Puede existir como enlace covalente, enlace iónico, enlaces dobles y triples.

## **Enzima**

Uno de los grupos de sustancias orgánicas complejas formadas en las células vivientes de las plantas y animales; son catalizadores necesarios para reacciones químicas de proceso biológico.

## **Estereoisomeros**

Son isomeros con la misma topología de enlace pero que difieren en los ordenamientos espaciales de los átomos y que pueden interconvertirse sólo al romper y formar enlaces.

## **Fermentación**

Es la descomposición de compuestos orgánicos complejos, en compuestos más simples por la acción de enzimas.

## **Fosfocetolasa**

Vía de reacciones bioquímicas que transforman la glucosa en lactato, etanol y dióxido de carbono.

## **Fotosíntesis**

Captación de energía lumínica y su conversión en energía química, que luego se utiliza para reducir el dióxido de carbono e incorporarlo a la forma orgánica, existen dos tipos, la fotosíntesis anoxigenica y la fotosíntesis oxigenica.

## **Fructosa**

Conocida como levulosa, la D-fructosa es la más dulce de los azúcares comunes, es el azúcar que se encuentra naturalmente en gran cantidad de frutas y en la miel.

## **Galactosa**

Monosacarido que forma parte de las 8 aldopentosas conocidas.

**Glicosídico, carbono**

Se le conoce así al átomo de carbono anomérico presente en los glucosidos.

**Glucosa**

Monosacarido, que forma parte de las 8 aldopentosas conocidas. Véase dextrosa.

**Glucosidos**

Compuestos formados por la adición de metanol y cloruro de hidrógeno a

**Gomas**

Alto Polímero natural carbohidratado que es insoluble en alcohol y otros disolventes orgánicos, pero soluble, generalmente, o dispersable en agua.

**Heterolactica**

Véase fosfocetolasa

**Hidrofílico**

Sustancia que posee afinidad al agua.

**Hidrólisis**

Reacción química en la que el agua actúa sobre otra sustancia, para formar una o más sustancias enteramente nuevas

**Hongo**

Eucariota formador de esporas, heterótrofo, sin clorofila, con nutrición absorptiva, normalmente posee un talo con pared.

**Hormonas**

Compuesto orgánico, que regula procesos fisiológicos como el metabolismo, crecimiento, reproducción, pigmentación, equilibrio osmótico, etc.

**Invertasa**

Enzima que invierte la sacarosa, separandola en sus dos monómero que son la glucosa y la fructosa.

## **Isomero**

Moléculas que contienen el mismo número y clase de átomos aunque difieren en su estructura.

## **Leuconostoc**

Genero de bacterias gram + con bajo contenido en G+C, varían desde 0.5x0.7 a 0.7x1.2 mm, células esféricas u ovoides en parejas o cadenas, inmóviles, no esporulados, facultativos con 38 a 44% de G+C; requiere hidratos de carbono fermentables y un medio rico, desde el punto de vista nutritivo, para crecer, la fermentación produce lactato, etanol y gas, catalasa y citocromo negativos.

## **Levan**

Polímero natural, cuyo monómero es la fructosa.

## **Levulosa**

Véase fructosa.

## **Manosa**

Monosacarido, que forma parte de las 8 aldopentosas conocidas.

## **Metabolismo**

Puede dividirse en anabolismo y catabolismo, en general es el conjunto total de reacciones químicas que tienen lugar en la célula y es posible gracias al flujo de energía y a la participación de enzimas.

## **Monosacárido**

Clasificación de los carbohidratos que no se hidrolizan.

## **Mucina**

Compuestos complejos que se presentan en la naturaleza, consistentes en aminoazúcares tales como glucosamina y galactosamina, ácido glucorónico.

## **Mucilaginoso**

De mucílago, Producto vegetal obtenido por extracción con agua fría o caliente y da soluciones untosas o gelatinosas, generalmente son insolubles en alcohol y poco solubles en agua, a veces se les confunde con las gomas y la distinción entre estas sustancias no siempre es clara.

## **Número de Reynolds**

Número adimensional que determina el tipo de flujo en el que se encuentra un fluido, el cual separa el régimen del fluido como laminar, transitorio y turbulento.

## **Oligosacaridos**

Carbohidratos que por hidrólisis dan unas pocas moléculas de monosacáridos.

## **Polímero**

Es una sustancia que consisten en pequeñas unidades llamadas monómero, combinadas para formar una molécula grande.

## **Polisacáridos**

Carbohidratos que por hidrólisis dan un número grande de moléculas de monosacárido.

## **Proteínas**

Es un alto Polímero complejo que contiene carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y, generalmente, azufre, formado por cadenas de aminoácidos, unidas por enlaces peptídicos.

## **Sacarosa**

Disacárido reductor, cuyos monosacáridos asociados son la glucosa y la fructosa.

## **Viscosidad**

Es la relación matemática entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, en el seno de un líquido.

## RESUMEN

La producción del dextrán es importante como derivado de la sacarosa, ya que, es un importante producto por las propiedades, no se producen derivados de la misma y es un producto de alta rentabilidad.

Por medio de este trabajo se busca incursionar, en la industria azucarera nacional, en la producción de otros derivados de la sacarosa y dejar la inquietud para posteriores investigaciones, en la ingeniería de los derivados de la sacarosa, ya que en la actualidad, aun no se producen derivados de la sacarosa, mucho menos, derivados de los derivados de la misma, a su vez en otros países la producción de estos subproductos de la sacarosa es una realidad desde hace décadas.

El objetivo general del presente estudio es la producción de dextrán a nivel de laboratorio, partiendo de jugo de caña, para la determinación de las condiciones y parámetros óptimos del proceso de fermentación, en el cual los microorganismos se encuentran presentes, en su forma nativa, fermentándolo, posteriormente, a condiciones controladas en el fermentador Microferm -Bench-Top Fermentor de la new brunswick scientific, Co., Inc., del laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, de la Universidad de San Carlos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Producir dextrán, a nivel laboratorio usando como materia prima jugo de caña.

### **Específico**

Determinar las condiciones óptimas de la fermentación de jugo de caña para la producción de dextrán.

## **HIPÓTESIS**

Es posible la producción de dextrán como derivado de la sacarosa en la industria azucarera Guatemalteca.

## INTRODUCCIÓN

El dextrán, es un polímero monosacárido de la dextrosa, se forma, naturalmente, en el proceso de la fabricación del azúcar de caña, debido a la presencia de microorganismos, como bacterias y hongos naturales del suelo y de la corteza de la caña, uno de estos, es el *leuconostoc mesenteroides* el cual, en términos generales, produce la enzima invertasa que transforma la sacarosa en glucosa y fructosa; a su vez, produce la enzima dextransacarasa, que interviene en la formación del dextrán.

Las especies de microorganismos que producen dextrán de diferentes pesos moleculares, y de diversos tipos, dependiendo para que se utilizará, posteriormente son muy diversas, pero generalmente son del tipo *leuconostoc*, y *streptococcus*

El dextrán es utilizado como sustituto de la mucina, además, en la industria farmacéutica, para la manufactura de soluciones de dextrosa como sueros, como expansor del volumen del plasma y como materia prima para derivados del dextrán, como el complejo dextrán-hierro, de uso en la industria farmacéutica como antianémico.

El dextrán en la industria azucarera es un problema en la producción de sacarosa, ya que, implica pérdidas de la misma.

El dextrán que se forma en la producción de la sacarosa es el mencionado antes como dextrán técnico, crudo, industrial, o nativo, que es dextrán formado a condiciones no controladas, entonces el peso molecular y la mayoría de las propiedades físicas y químicas no son homogéneas.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes.

Las especies de *Leuconostoc*, en particular *L. mesenteroides* y *L. dextranicum*, han adquirido gran importancia como productoras de *dextrán* a partir del jugo de caña. Este polisacárido se hizo muy importante en 1940, cuando en Suecia se encontró que es un excelente expansor (que aumenta el volumen) del plasma sanguíneo. Durante la segunda guerra mundial, se requirió la producción de este material en grandes cantidades para atender necesidades de las numerosas víctimas. El *dextrán* para usos clínicos fue producido por varias compañías en los Estados Unidos, donde la producción total ascendió a 2.5 millones de botellas anuales. El *dextrán* ha probado ser más que un simple sustituto del plasma sanguíneo, puesto que ni la sangre, ni el plasma, pueden ser esterilizados por calentamiento.

Un uso para el *dextrán* ulteriormente descubierto es como aditivo en los fluidos de perforación de pozos, a los que se aplica como un inhibidor de la pérdida de agua en los lodos. Durante varios años, una planta de Cuba ha producido 1587 Kg diarios de *dextrán* crudo, a partir de jugo de caña destinados a la perforación de pozos.

El *dextrán* de grado industrial puede producirse a partir de melazas de caña, este consiste en filtrar las melazas, luego se siembra la cepa *L. mesenteroides*, en un sustrato que contiene 250 gramos de melaza por litro de solución, con lo cual se obtiene *dextrán* crudo. El *dextrán* crudo se purifica con una mezcla 1:1 de

ácido clorhídrico y etanol al 95% para reducir el contenido de cenizas. El producto contiene más del 80% de dextranas y el resto de azúcares reductores, lo cual es adecuado para uso industrial.

Para la producción de dextrán de grado clínico, se utilizan cepas de *L. mesenteroides 523* en un medio de fermentación con 10 % de sacarosa. La fermentación completa en 24 horas a 30 grados Celcius, en proceso intermitente. El dextrán crudo se precipita varias veces con etanol o metanol, y se obtiene un rendimiento del 8.2 % de dextrano con grado clínico, esto es con un peso molecular menor a 100,000. [Referencia 7].

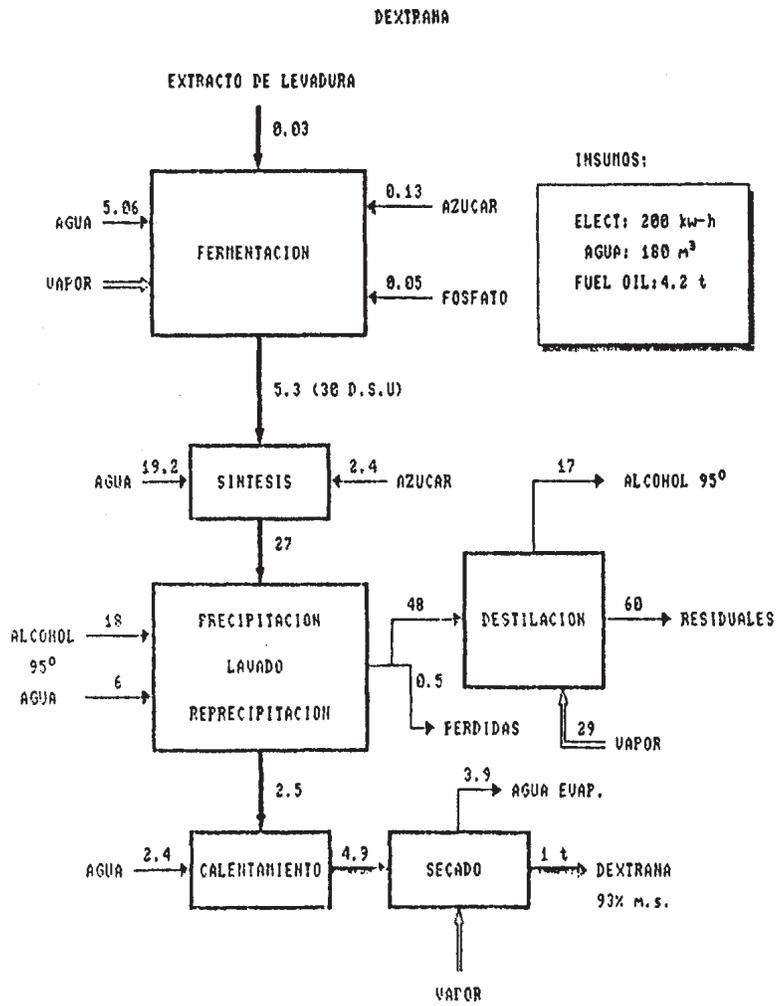
### **1.1.1 El proceso de producción de dextrán a nivel comercial**

La producción de dextrán consta de tres etapas principales. La primera es la propagación del microorganismo, a partir de una cepa pura, en el laboratorio y su propagación posterior en la planta, hasta obtener una cantidad suficiente que permita tener una elevada concentración de la enzima dextransucrasa generada por él.

En la segunda etapa se realiza la síntesis enzimática del dextrán en una solución de sacarosa que contiene, además, extracto de levadura, una fuente de fosfato como tampón, trazas de sales de algunos metales como Magnesio, Manganeso, Hierro e Hidróxido de Sodio para neutralizar el exceso de ácido formado durante la fermentación.

La tercera etapa contempla la recuperación del dextran por medio de una precipitación en alcohol etílico, lavado, reprecipitación, disolución, secado, molinado y envasado. [Referencia 7].

Figura 1. Proceso de producción de Dextrán a nivel comercial.



## 1.2 Carbohidratos

El término carbohidrato generalmente hablando se utiliza para describir cualquier compuesto que esté formado primordialmente de carbono, hidrógeno y oxígeno. [Referencia 1]

Los carbohidratos o hidratos de carbono son aldehidos o cetonas polihidroxilados, o sustancias que por hidrólisis dan estos compuestos. Están universalmente distribuidos en los reinos vegetal y animal y constituyen una de las tres clases importantes de alimentos para el hombre y los animales. La combustión de carbono y agua, libera alrededor de 4 Kcal de energía por gramo. El término *carbohidrato o hidrato de carbono* tomó carta de naturaleza para estos compuestos porque en ellos la razón de hidrógeno es de 2 a 1, como en el agua; por ejemplo el almidón tiene la fórmula empírica de  $C_6H_{10}O_5$ , la glucosa  $C_6H_{12}O_6$ , y la maltosa  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Sin embargo, en algunos carbohidratos no se conserva esta razón, así la ramnosa tiene fórmula empírica  $C_6H_{12}O_5$ , y la desoxirribosa  $C_5H_{10}O_4$ . [Referencia 9].

### 1.2.1 Clasificación de carbohidratos

Los carbohidratos más sencillos se llaman simplemente *azúcares* o *sacáridos* (del latín *saccharum*, azúcar). La terminación del nombre para los azúcares es *osa*; por ejemplo: arabinosa, glucosa, maltosa. Con frecuencia se usa el término genérico *glicos* (del griego *glykys*, dulce) del cual se deriva el prefijo glico. Los términos genéricos se usan cuando no se desea designar un azúcar o derivado particular. El número de átomos de carbono puede indicarse por un prefijo; así,

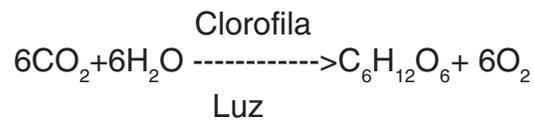
un azúcar con seis, *hexosa*. Análogamente, el prefijo puede indicar si el azúcar contiene un grupo aldehído o un grupo cetona, de donde provienen los términos *aldosa* y *cetosa*. Se pueden expresar a la vez el número de átomos de carbono y el tipo de grupo carbonilo usando términos como *aldopentosa* y *cetohexosa*.

Los carbohidratos pueden subdividirse conforme a la siguiente clasificación:

- A) Monosacáridos. Carbohidratos que no se hidrolizan.
- B) Oligosacáridos. Carbohidratos que por hidrólisis dan unas pocas moléculas de monosacárido.
  - 1. Disacáridos. Una molécula da dos moléculas de monosacárido por hidrólisis.
    - a) Disacáridos reductores. Disacáridos que reducen la solución de Fehling.
    - b) Disacáridos no reductores. Disacáridos que no reducen la solución de Fehling.
  - 2. Trisacáridos. Una molécula da tres moléculas de monosacáridos por hidrólisis.
  - 3. Tetrasacáridos, pentasacáridos y hexasacáridos.
- C) Polisacáridos. Carbohidratos que por hidrólisis da un número grande de moléculas de monosacáridos.
  - 1. Homopolisacáridos. Polisacáridos que por hidrólisis dan sólo una especie de azúcar.
  - 2. Heteropolisacáridos. Polisacáridos que por hidrólisis dan más de una especie de azúcar. [Referencia 9]

### 1.2.2 Fotosíntesis

El proceso fotosintético se describe mediante la siguiente ecuación estequiométrica:



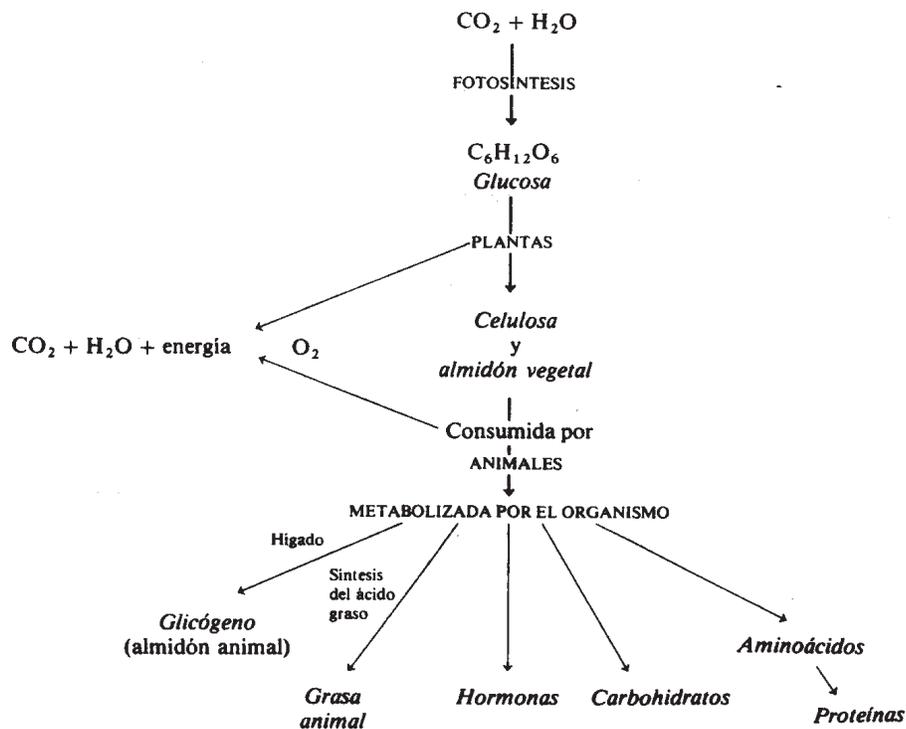
El proceso involucra la conversión del dióxido de carbono y el agua a oxígeno y el carbohidrato glucosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , una hexosa). La reacción se produce en las plantas verdes y muchos microorganismos como las algas. El proceso de la fotosíntesis, aunque parece muy directo de acuerdo con la ecuación, comprende, de hecho, un gran número de reacciones biosintéticas complejas catalizadas por enzimas. Un paso crucial en esta reacción es la presencia del pigmento verde de las plantas, denominado clorofila, el cual absorbe luz solar, la energía lumínica se convierte en energía química y proporciona la fuerza directriz para los procesos de oxidación y reducción que dan lugar a la fotosíntesis. [Referencia 1].

### 1.2.3 Metabolismo de la glucosa: Procesos biosintéticos

Los principales procesos metabólicos que involucran la glucosa en plantas y animales se resumen en la siguiente figura.

La glucosa producida por el proceso fotosintético en las plantas se consume parcialmente para producir energía necesaria para el metabolismo normal de la

Figura 2. Procesos metabólicos de la glucosa en animales y plantas.

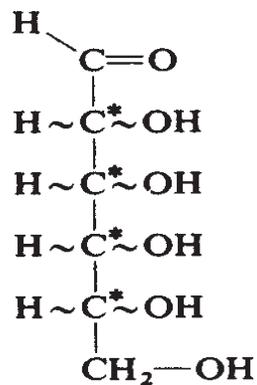


planta, y en almidón vegetal, la fuente de reservas alimenticias de la planta. Cuando las plantas son consumidas por los animales, la glucosa en forma de celulosa, almidón, glucosa libre y otras formas, es metabolizada por los mismos. Intervienen diversos procesos enzimáticos en esta biosíntesis y también se resumen en la figura anterior. Como en el caso de las plantas, parte de la glucosa se consume para producir energía inmediatamente requerida por el organismo, y parte se convierte en glicógeno (almidón animal), el cual se almacena en el hígado y sirve como un rápido suministro de alimento al animal. El glicógeno puede convertirse de nuevo en glucosa libre, la cual puede entonces oxidarse para producir la energía requerida. Además del glicógeno, otra parte de la glucosa se convierte en grasa animal a través de lo que se conoce como síntesis de ácidos grasos. La

grasa animal también sirve como un almacén de reserva de energía para el organismo. Por último la glucosa puede convertirse enzimáticamente en diversos carbohidratos (los que a su vez se emplean en la síntesis del ácido nucleico), aminoácidos (usados en la síntesis de proteínas) y una variedad de hormonas. [Referencia 1]

#### 1.2.4 Estereoquímica de los carbohidratos

Un examen de la estructura de los carbohidratos revela moléculas que contienen varios átomos de carbono asimétricos como en la aldohexosa.



Los enlaces ~ designan un centro de estereoquímica no especificado. Hay cuatro átomos de carbono asimétricos en la aldohexosa, lo cual significa que hay un número máximo de 16 isómeros ópticos (enantiómeros y diastereómeros) posibles. Uno de ellos, el que se encuentra con más frecuencia en la naturaleza, es la glucosa. Y las dos aldohexosas que se encuentran en la naturaleza son la galactosa y la manosa.

Todas las moléculas quirales existen como estereoisómeros. Si dos moléculas son estereoisómeros, deben, por definición guardar una relación enantiomérica o diastereomérica entre sí. Si son enantiómeros, un miembro del par gira la luz polarizada, en la dirección + , mientras que el otro lo hace en la dirección -. Al clasificar los carbohidratos de acuerdo con la configuración que muestran, se emplea el sistema D/L.[Referencia 1].

### **1.2.5 Biopolímeros: Oligosacáridos y polisacáridos**

Los carbohidratos pueden unirse para formar unidades poliméricas. Tales polímeros se conocen como oligosacáridos (por el caso de unidades poliméricas que constan de dos a casi ocho unidades sacáridas monómeras). Los oligosacáridos pequeños se denominan disacáridos (dos unidades monómeras) trisacáridos (tres unidades monoméricas), etc. [Referencia 1].

### **1.2.6 Disacáridos**

Los disacáridos están formados de dos unidades sacáridas unidas por un enlace de acetal o hemicetal. La química de los oligosacáridos y polisacáridos es esencialmente la misma que la de los carbohidratos monómeros. La dilucidación de la estructura en los azúcares mayores se considera de la misma manera que la de los azúcares simples, pero la complejidad de estos polímeros hace que la tarea total sea mucho más compleja. [Referencia 1].

## 2. LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar es una gramínea tropical que pertenece a la misma tribu (*Andropogoneæ*) que la del sorgo, el pasto Johnson y el maíz. La caña de azúcar que se cultiva actualmente es un híbrido complejo de dos o más de las cinco especies del género *Saccharum*: *S. bearberi* Jeswiet, *S. officinarum* L., *S. robustum* Brandes & Jesw. ex Grassl, *S. sinense* Roxb. y *S. spontaneum*. Muchas formas de estas especies hibridizan, originando un género muy diverso. Algunos investigadores piensan que *Saccharum* se desarrolló en el área de Birmania, China e India en el Asia Meridional. *Saccharum spontaneum*, *S. sinense* y *S. barberi*, son típicas de esta región; las formas relativamente jugosas de las dos últimas especies fueron utilizadas en los comienzos del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar en India y China. Cuando las distintas formas se extendieron a otras áreas, se desarrolló *S. robustum*, en las islas del sureste de Indonesia, posiblemente por cruzamiento de aquéllas con *Miscanthus*, y evolucionó a *S. officinarum* en el área de Nueva Guinea. Se acepta hoy en día que *S. officinarum* se desarrolló mediante la selección practicada por los cazadores de cabezas aborígenes; las formas con un alto contenido de fibra (*S. robustum*) se utilizaban para la construcción y las formas dulces, blandas y jugosas se propagaban para masticarse. [Referencia 12]

## 2.1 Deterioro de la caña

La calidad de la caña en el campo tiende a mejorar con la edad, llega a un máximo, y luego declina. Cualquiera que sea la calidad en el momento del corte, se inicia un rápido deterioro desde el momento en que se corta la caña. La caña pasada constituye un hecho reprobable para toda la industria azucarera: los agricultores pierden tonelaje y los procesadores, azúcar.

El deterioro antes de la recolección puede deberse a los daños causados por las enfermedades, las plagas y el clima. Después de cortada, la caña pierde agua (1 a 2 % diariamente en la primera semana). Cuando se quema la caña antes de cortarla, las pérdidas de agua resultan mínimas, especialmente si se muele la caña dentro del primer día después de cortada. La pérdida de agua crea un aparente aumento en el contenido de azúcar.

Por lo general, el deterioro tiene lugar mediante procesos enzimáticos, químicos y microbianos. La enzima invertasa, que se encuentra naturalmente en la caña, convierte a la sacarosa en azúcares invertidos (glucosa y fructosa) disminuyendo así la pureza. La tasa de inversión, que constituye una característica genética que se puede disminuir mediante la selección de variedades, varía a su vez con la temperatura y la humedad, y es más rápida en los períodos cálidos y secos.

El deterioro químico incluye la inversión causada tanto por las condiciones ácidas, las cuales aumentan a medida que se deteriora la caña, como por un efecto secundario de algún tipo de crecimiento microbiano. Los productos microbianos cambian aún más con el tiempo para formar ácidos y compuestos coloreados.

El deterioro microbiano es causado principalmente por una bacteria del género *Leuconostoc*, aunque existen muchos otros tipos de bacterias que pueden invadir a la caña cortada. En la década de 1960, las investigaciones realizadas en Queensland sobre las altas pérdidas de azúcar que se presentaron con la introducción de la recolección en la que la caña es picada al mismo tiempo, demostraron que *Leuconostoc mesenteroides* (y algunas veces *Leuconostoc dextranicum*) eran los microorganismos responsables de la fermentación de la caña, la pérdida de sacarosa y la formación de dextrano. Los microorganismos del género *Leuconostoc* consumen sacarosa, produciendo largas cadenas de glucosa (polímeros con enlace en su mayor parte  $\alpha$ -1,6) y fermentando la fructosa a ácidos orgánicos como productos secundarios. Cantidades relativamente pequeñas de dextrano presentes en el jugo de la caña (del orden  $10^3$  ppm) aumentan la viscosidad, retardan la cristalización, la filtración y disminuyen el rendimiento de sacarosa. Éstos y otros efectos que afectan a casi todas las fases de la producción del azúcar, están bien estudiados. Las bacterias del género *Leuconostoc*, mismas que se encuentran en casi todos los suelos, invaden los tejidos internos expuestos del tallo, sea cual fuere la causa. El daño causado por el fuego, el corte, el viento, las heladas, las enfermedades y los insectos, además de los daños mecánicos, son causa de heridas en los tallos que permiten la entrada de *Leuconostoc* y propician la formación de dextrano. El intervalo entre corte y molienda es el período en el que los niveles de dextrano alcanzan sus valores más altos. [Referencia 12]

## 2.2 Composición de la caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), esta compuesta por carbohidratos, ceras, gomas, que pueden ser utilizados en la producción de sacarosa, alco-

Tabla 1. Composición de la caña de azúcar.

Parte	Porción del total (%)	Extracción del jugo (%)	Análisis del guarapo <sup>a</sup> (mg/ml)				
			Almidón	Polisacáridos solubles	Sacarosa	Fructosa	Glucosa
Lámina foliar	11.1	40.0	0.32	5.40	7.72	3.75	6.76
Vaina de la hoja	4.3	38.6	0.05	4.03	14.20	3.33	5.92
Envoltura foliar	2.0	48.2	0.09	5.58	6.85	7.56	13.60
Punta del tallo	1.6	47.6	0.08	5.90	14.82	12.94	17.52
Caña triturable							
Primeros 60 cm superiores	14.0	69.3	0.07	1.81	130.46	6.88	9.84
Segundos 60 cm	14.8	71.3	0.06	1.45	154.88	5.38	6.08
Terceros 60 cm	17.8	73.6	0.04	1.47	181.85	3.63	4.04
Cuartos 60 cm	19.5	71.1	0.03	1.30	185.10	3.06	2.80
Cepa	9.3	65.3	0.07	2.01	152.50	3.01	5.94
Raíces <sup>b</sup>	1.3	27.2	0.00	1.28	8.76	1.25	2.50
Hojas muertas	4.3	37.1	0.00	5.42	0.00	0.00	0.00

<sup>a</sup> El almidón se determinó mediante el método del yodo; los polisacáridos solubles se midieron como las sustancias insolubles en alcohol que reaccionan con el ácido fenilsulfúrico, y los azúcares se separaron y midieron mediante la cromatografía líquida de alta presión.

<sup>b</sup> No se utilizó todo el sistema radicular, sólo se analizó la parte adherida a la cepa arrancada del suelo.

hol, y otros. La composición de la caña, se encuentra distribuida dependiendo de la parte de la caña de la cual se hable, observese el cuadro siguiente: [Referencia 12]

### **2.3 La composición del jugo de la caña**

La sacarosa en el jugo y la celulosa en la fibra son las dos principales constituyentes químicos de la caña de azúcar, cada uno de ellos está compuesto de azúcares simples. Los azúcares simples, glucosa (dextrosa) y fructosa (levulosa) se encuentran sin formar cadenas en la caña de azúcar, por lo general en cantidades menores que la sacarosa. La producción de azúcar a partir de jugo de la caña de azúcar se basa en la capacidad que tiene la sacarosa de cristalizar a partir de un jarabe espeso, mientras que la glucosa y la fructosa, permanecen disueltas. Otros azúcares están presentes en la caña como constituyentes de las gomas o de las paredes celulares.

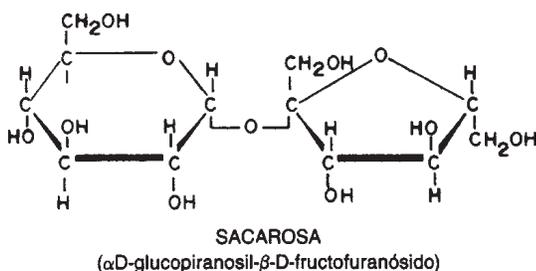
Los azúcares son carbohidratos y, como su nombre lo indica, están compuestos de los elementos carbono, hidrógeno y oxígeno. Los azúcares simples, glucosa y fructosa se clasifican como monosacáridos ya que no se pueden hidrolizar a moléculas más pequeñas de carbohidratos por ácidos o enzimas. Se puede ver en la siguiente tabla, la composición de la caña de azúcar y los sólidos del guarapo. [Referencia 12]

Tabla 2. Composición de la caña de azúcar y los solidos del guarapo.

<i>Caña triturada</i>	<i>Caña (%)</i>
Agua	73-76
Sólidos	24-27
Sólidos solubles	10-16
Fibra (seca)	11-16
<i>Componentes del guarapo</i>	<i>Sólidos solubles (%)</i>
Azúcares (tabla 1.2)	75-92
Sacarosa	70-88
Glucosa	2-4
Fructosa	2-4
Sales (tablas 1.4 y 1.5)	3.0-4.5
Ácidos inorgánicos	1.5-4.5
Ácidos orgánicos	1.0-3.0
Ácidos orgánicos (tablas 1.8, 1.9, 1.11)	1.5-5.5
Ácidos carboxílicos	1.1-3.0
Aminoácidos	0.5-2.5
Otros no azúcares orgánicos	
Proteínas	0.5-0.6
Almidón (tabla 1.2)	0.001-0.050
Gomas (tabla 1.2)	0.30-0.60
Ceras, grasa, fosfátidos	0.05-0.15
Otros (Tablas 1.8, 1.10)	3.0-5.0

## 2.4 Sacarosa

La sacarosa es el azúcar de uso doméstico e industrial y es el azúcar más común en el reino vegetal. La sacarosa se encuentra en todas las partes de la planta de caña de azúcar, pero abunda más en el tallo, donde se encuentra en las vacuolas de almacenamiento de la célula. La sacarosa es menos abundante en



las regiones que se encuentran en crecimiento activo, especialmente las porciones blandas del extremo del tallo y las hojas enrolladas.

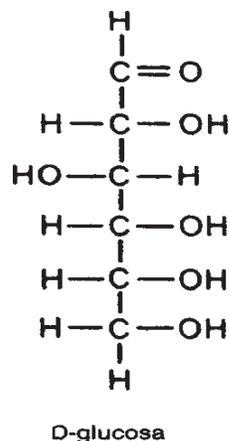
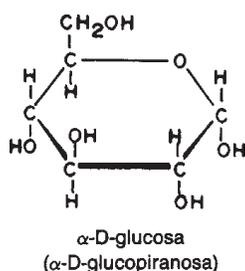
Los azúcares monosacáridos, glucosa y fructosa, se condensan para formar sacarosa y agua. Por lo tanto, la sacarosa tiene la fórmula empírica  $C_{12}H_{22}O_{11}$  y un peso molecular de 342.3. Los cristales de sacarosa son prismas monoclinicos que tienen una densidad de 1.588; una solución al 26% (p/p) tiene una densidad de 1.18175 a 20 °C. La sacarosa es ópticamente activa con rotación específica  $\alpha_D^{20}+66.53$  cuando se utiliza un peso normal. Su punto de fusión es de 188°C. y se descompone al fundirse. El índice de refracción es de 1.3740 para una solución de 26% (p/p). La sacarosa es soluble tanto en agua como en etanol; es solo ligeramente soluble en metanol e insoluble en éter o cloroformo.

Cuando se hidroliza, ya sea mediante ácido o invertasa, la sacarosa produce cantidades equimolares de glucosa y fructosa, y la mezcla se conoce como invertida. Sin embargo, estos azúcares no se presentan siempre en cantidades iguales en el guarapo crudo. A pesar de que la sacarosa es dextrógira, y esta característica se utiliza para medir la cantidad de sacarosa en solución, la rotación específica de la invertida es  $\alpha_D^{20}-39.7$  debido a que la actividad levógira de la fructosa es mayor que la actividad dextrógira de la glucosa. [Referencia 12]

## 2.5 Glucosa (Dextrosa)

La glucosa es metabólicamente el azúcar más importante en las plantas y los animales, y su amplia distribución tanto en el reino vegetal como en el animal está indicada por sinónimos como azúcar de maíz, azúcar de uva y azúcar de la san-

gre. Sólo en la porción en crecimiento activo de la planta el contenido de glucosa del guarapo es alto y disminuye con la madurez. A pesar de que cantidades iguales de glucosa y fructosa (levulosa) están implicadas en la hidrólisis y con-



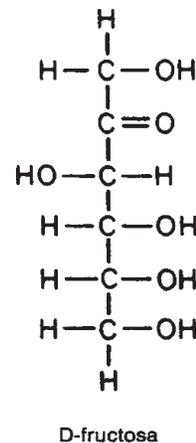
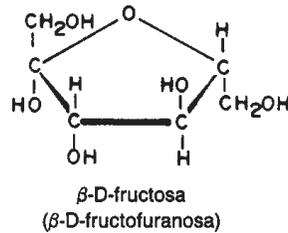
densación de la sacarosa, la relación dextrosa-levulosa (D/L) raras veces es igual a la del guarapo crudo.

La fórmula empírica de la glucosa es  $C_6H_{12}O_6$  y el peso molecular es 180.2. Los cristales anhidros de glucosa son rómbicos, se funden a  $146^\circ\text{C}$  y tienen una densidad de 1.544; en una solución a 26% tiene una densidad de 1.10643. El monohidrato de glucosa produce un cristal monoclinico esfenoidal, un extremo del cual se disuelve con mucha rapidez que el otro; se funde a  $83^\circ\text{C}$ . La glucosa es menos soluble en agua que la sacarosa. Es soluble en etanol e insoluble en éter. Las moléculas de glucosa se condensan en diferentes maneras para formar almidón, dextrana y celulosa. [Referencia 12]

## 2.6 Fructosa (Levulosa)

Llamada también azúcar de frutas, la fructosa es más dulce que la sacarosa y la glucosa; de las tres es la menos abundante en la caña. A semejanza de la glucosa, es más abundante en las partes en crecimiento de la planta y menos abundante en la parte inferior del tallo y las raíces. La fructosa disminuye con la maduración y puede ser imposible de detectar en algunas variedades de alta pureza en la madurez. Las moléculas de fructosa se polimerizan (se condensan) para formar levan e inulina, un producto de almacenamiento de ciertas plantas.

La fórmula empírica de la fructosa es la misma que la de la glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) y el peso molecular el mismo. Los cristales ortorrómbicos de glucosa tienen una

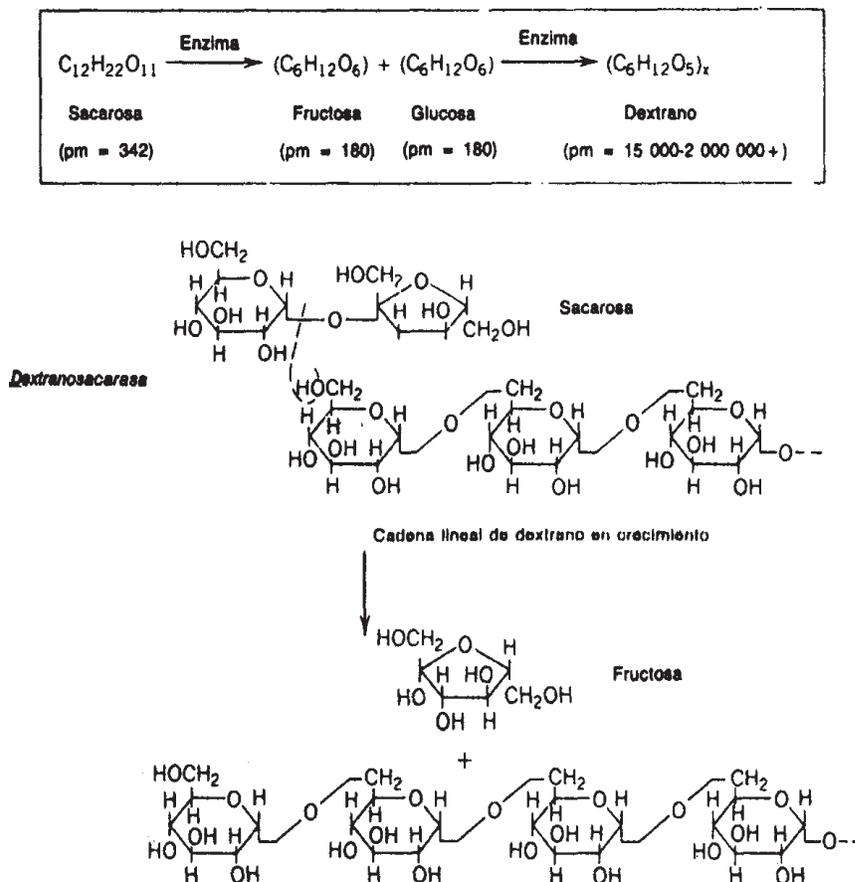


densidad de 1.598 y una solución al 26% (p/p), tiene una densidad de 1.1088. Los cristales funden a 105°C. La fructosa es muy soluble en agua y ligeramente soluble en etanol. [Referencia 12]

## 2.7 Reacciones que intervienen en la formación del dextrán.

La sacarosa es invertida por la invertasa, que se encuentra en cantidades muy pequeñas en la caña y que la produce en una parte de su metabolismo el *L. mesenteroides*, esta inversión de la sacarosa produce dextrosa y levulosa, el *L. mesenteroides* a su vez produce la enzima dextranosacarasa que ocasiona la polimerización de la dextrosa en los polisacáridos llamados dextranos. El dextrano tiene pesos moleculares de 15,000 a 2,000,000 o más y es una sustancia en consistencia de goma o muciforme. Este proceso puede verse a continuación: [Referencia 12]

Figura 3. Reacciones que intervienen en la formación del dextrán.



## 2.8 Dextrán

El *dextrán* (dextrana, dextrano, dextranvén, gentrán, hemodex, intradex, macrosa, onkotin, plavolex, plyglycina, promit), es un término aplicado a polisacáridos producidos por algunos tipos de bacterias, en un sustrato de sacarosa, conteniendo un grupo, de unidades de D-glucosa, encadenadas predominantemente por  $\alpha$ -D-(1->6). [Referencia 5].

En otras palabras el dextrán es un polímero de la glucosa de peso molecular generalmente muy alto, hasta de varios millones. Las unidades de glucosa se unen entre sí, en una gran proporción, mediante enlaces  $\alpha$ -1-6 y otras por enlaces  $\alpha$ -1-3 y  $\alpha$ -1-4.

Muchos Organismos producen Dextranos, pero solo el *Leuconostoc Mesenteroides* y el *L. Dextranicum* (*Lactobacteriaceae*) Son utilizados para la producción, comercialmente. [Referencia 7].

Los siguientes organismos, a pesar de producir también el dextrán, aunque no de importancia industrial, *L. citrum*, también son producidos por el *Betacoccus arabinosaceus*, el género *Klebsiella*, y el *Acetobacter*, normalmente todas éstas y otras son bacterias epifitas que viven regularmente en la naturaleza, en los tallos, hojas y especialmente en los frutos de muchas plantas. Juega un papel importante en las fermentaciones de los frutos de las plantas donde habitan, y de los alimentos, preparados con dichos frutos. Especialmente el *Leuconostoc mesenteroides* es de importancia industrial para la producción del dextrán crudo o nativo. [Referencia 9].

El género *L. mesenteroides* se clasifica como cocos grampositivos facultativos, los mismos carecen de catalasa y citocromos, y realizan una fermentación heteroláctica, convirtiendo la glucosa en D-lactato y etanol o ácido acético, por medio de la vía fosfoacetolasa, estos toleran las concentraciones altas de azúcares, y esto mismo les facilita su multiplicación en el jarabe. El tamaño de estos oscila entre 0.5-0.7x0.7-1.2 micrómetros, de forma esférica-ovoidea en parejas o cadenas cortas no esporulados, e inmóviles. [Referencia 7].

Las propiedades químicas y físicas de los dextranos varían con el método de producción; difieren unas de otras en su estructura, peso molecular, grado de ramificación de macromoléculas, contenido relativo de enlaces glicosídicos, solubilidad, actividad óptica, y acción fisiológica. [Referencia 5].

El elevado peso molecular, la estructura en forma de cadena y los grupos hidrofílicos, determinan las propiedades características de este polisacárido, generalmente, lineal y neutro.

Los dextranos nativos, (denominados también dextrán técnico) en su estado bruto, sin refinar usualmente tienen pesos moleculares altos (de 2 a 40 millones o más), los dextranos clínicos, tienen pesos moleculares bajos (40 a 90 mil); estos últimos pueden ser preparados, por despolimerización de dextranos nativos o por síntesis. [Referencia 5].

El dextrán se disuelve coloidalmente en agua y forma solución más o menos mucilaginoso, en dependencia del peso molecular y la concentración. Muchas de sus propiedades son similares a las de los derivados de la celulosa, como la

carboximetil celulosa de sodio, y las de productos de almidón, alginatos y otras gomas. [Referencia 7].

Todos los dextranos están compuestos exclusivamente por unidades de alfa-D-glucopiranosil, difiriendo únicamente en el grado de ramificación y en la longitud de la cadena.

El método más común para el aislamiento del dextrán es la precipitación con metanol de un caldo fermentado, ya que este es insoluble en metanol. [Referencia 2].

## **2.9 Usos**

El uso de la dextrana está limitado a las aplicaciones de prospección y extracción de petróleo, crema dental, prospección de minerales sólidos, productos farmacéuticos, pinturas, lechadas de uso inmediato y pegamento de cigarrillos. [Referencia 3].

Las aplicaciones potenciales que pueden desarrollarse con el dextrán son: dextrán clínico y sus derivados, detergentes, cosméticos y maquillaje líquido, agente encolante de urdimbre, espesante de estampado, aglutinante, pegamento, homogenización del tabaco, helados, salsas y aderezos, en la industria del papel, tabletas y formas sólidas de la industria farmacéutica, pinturas de mayor calidad con preservativo, impresión off set, producción de queso crema y compotas, suspensión para determinación de rayos X, emulsiones de la industria farmacéutica, enzima dextranasa, estabilización de agregados de suelos, recubrimiento protector de semillas, galvanizado de metales y suturas quirúrgicas. [Referencia 7].

La hidrólisis y fraccionamiento de la dextrana técnica permite la obtención de dextranas de diferentes pesos moleculares que pueden tener diversas aplicaciones en la industria, en especial la farmacéutica: El dextrán clínico, ferridextrán (complejo dextrán-hierro) y sulfato de dextrán, y en la preparación de derivados para el análisis y purificación en los laboratorios y plantas de procesos bioquímicos (geles de dextrán iónicos y no iónicos) [Referencia 2].

### 3. DISEÑO DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

Básicamente el experimento consistió en 2 partes:

1. Fermentación de una muestra de jugo de caña en el fermentador del laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química.
2. Analizar la muestra antes y después de la fermentación, determinando así la cantidad de dextrán producido durante la misma.

#### 3.1 Fermentación de la muestra.

Usando el fermentador del laboratorio antes mencionado, se procede a llenarlo de la muestra de jugo (10 litros aproximadamente), y se colocan las condiciones del experimento, que son agitación constante y temperatura constante. las cuales se determinaron según las condiciones a las cuales el microorganismo tiene su máximo rendimiento (unos 26 grados celcius), y la agitación, manteniendo la solución en régimen turbulento, esto se consiguió según la relación del Número de Reynolds para tanques agitados.

$$Nre = D_a^2 N r / \mu$$

Donde N es la velocidad de rotación, en r/s;  $D_a$ , es el diametro del impulsor, en m;  $\rho$ , es la densidad del fluido en  $kg/m^3$ ; y  $\mu$  es la viscosidad de la solución en Pa.s. y el flujo en el tanque turbulento cuando  $Nre > 10000$ .

El tanque del fermentador posee un par de turbinas de aspas planas, las cuales tienen un diámetro de 8 cm (0.08 m), la viscosidad de la solución aumenta

con el avance de la fermentación, por la formación del dextrán, por lo cual las revoluciones de la turbina de agitación permanecieron a su máximo.

La solución se deja fermentando a 26 grados centígrados por 16, 20, y 24 horas, y posteriormente se saca del fermentador y se toman unas muestras para los análisis posteriores.

Figura 4. Microfermentor del laboratorio de Operaciones Unitarias.



## 4. ANÁLISIS DE LABORATORIO

### 4.1 Determinación de dextrán

Los dextranos de alto peso molecular, son solubles en agua, pero no en etanol al 50%, y con esto se tiene la base para detectarlos como base a la prueba de turbiedad. La prueba no es específica, puesto que todos los materiales insolubles en alcohol, precipitarán, incluyendo los polisacáridos de alto peso molecular. Los dextranos de bajo peso molecular (menor de 25,000), no precipitarán. Sin embargo, la especificidad se mejora tratando la muestra, con alfa-amilasa para eliminar el almidón, resinas de intercambio iónico, para eliminar compuestos inorgánicos (principalmente sulfato de calcio) y ácido tricloroacético con filtración para eliminar proteínas. Aún así, es posible que todavía queden otros polisacáridos solubles en agua y ceras. [Referencia 3].

### 4.2 Método Haze o CSR para la determinación de dextrán en azúcares crudos. [Referencia 10]

Dependiendo del tipo de dextranos, la precipitación se inicia a una concentración alcohólica de alrededor del 35%. Los alcoholes de mayor concentración alcohólica, en particular a más del 60%, a pesar de asegurar la precipitación completa de los dextranos, también propician la precipitación de otros polisacáridos, si no han sido eliminados previamente.

La turbiedad de los dextranos se produce diluyendo mediante la adición de etanol una alícuota de la solución tratada de azúcar crudo hasta duplicar el volumen de ésta.

La turbiedad producida por los dextranos, se determina comparando mediante un espectrofotómetro ajustado a una longitud de onda de 720 nm la turbiedad que se analiza con la de una muestra incolora, a la que se le agrega agua en lugar de etanol. [Referencia 2].

#### 4.3 Procedimiento analítico para el jugo de caña.

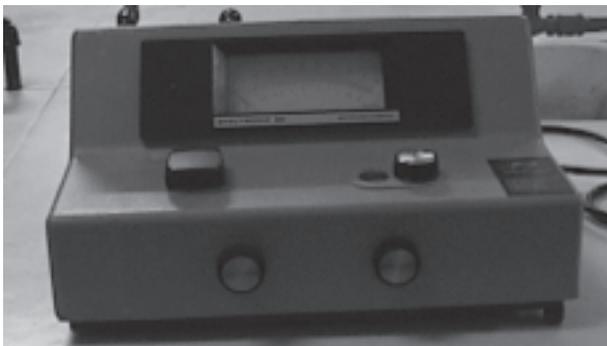
Se determina el Brix del jugo. Enseguida, en un vaso de precipitados de 100 cm<sup>3</sup> se colocan 10 cm<sup>3</sup> del jugo, entre 0.3 y 0.4 g de coadyuvante de filtración analítico y 1 cm<sup>3</sup> de ácido tricloroacético, se mezcla y se añaden 40 cm<sup>3</sup> de alcohol absoluto. A continuación, se sigue el mismo procedimiento que ya está descrito anteriormente.

Algunos otros métodos para la determinación de dextrán en jugos de caña son, la prueba de niebla, la prueba de niebla Amstar, la prueba de Roberts y la prueba del Instituto Azucarero Audubon.

Procedimiento rápido para determinar dextrán en jugo (prueba de niebla):

A 2 cm<sup>3</sup> de jugo de caña se añaden 2 cm<sup>3</sup> de ácido tricloroacético al 10%, 16 cm<sup>3</sup> de agua y 0.5 g de tierra filtrante de diatomeas. Se agita y luego se filtra, se

Figura 5. Espectronic 20 del laboratorio de fisicoquímica.



descartan los 2 cm<sup>3</sup> primeros de lo filtrado. A los próximos 5 cm<sup>3</sup> de lo filtrado, se añaden 5 cm<sup>3</sup> de etanol absoluto.

Se deja que la mezcla se asiente durante 2 minutos. Se lee la absorbancia en el colorímetro o el espectrofotómetro a 720 nm.

En este procedimiento, el ácido tricloroacético precipitará la proteína en el jugo, la filtración subsecuente removerá los sólidos suspendidos, la precipitación de proteínas y una gran parte del almidón que no es soluble en el jugo frío.[Referencia 3].

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos, se muestran a continuación:

n	t(s)	$\mu$	$\rho$	pH <sub>f</sub>	Dext <sub>i</sub>	Dext <sub>f</sub>
1	15	2.4	1.05	5.8	0.5	2.0
2	20	2.6	1.04	5.6	0.6	2.5
3	24	2.35	1.05	5.3	0.5	2.2

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados anteriormente presentados, tienen como finalidad dar a conocer de manera global, lo obtenido en la experimentación. Los datos obtenidos en cuanto a la cantidad de dextrán en las muestras, se calcularon con el método haze (o de niebla), descrito anteriormente. Los datos de dextrán al inicio del experimento se midieron, pero no se puede decir con exactitud, el origen de la caña ni el tiempo que ésta llevaba cortada, ya que el jugo fue obtenido de caña cortada hace un tiempo indefinido, ya que los vendedores de este jugo de caña (guarapo) para tratamientos naturistas, compran la caña ya cortada, por lo cual se desconoce totalmente el tiempo de corte de la misma, por lo mismo era necesario conocer la cantidad inicial ya que influirían en los datos finales, y teóricamente este dato no puede ser mas grande que  $1 \text{ g}/100\text{cm}^3$  de jugo, y en dichas mediciones se obtuvo un maximo de  $0.6 \text{ g}/100\text{cm}^3$ . Los datos obtenidos de la cantidad de dextrán al final de la fermentación fueron de  $2 \text{ g}/100\text{cm}^3$  a  $2.5 \text{ g}/100\text{cm}^3$  el maximo, dato que segun la teoría a condiciones controladas con menos rango de error, llega a un máximo de  $6 \text{ g}/100\text{cm}^3$ .

La viscosidad de la solución fue medida con un viscosímetro de Ostwald, la densidad con un picnómetro, y el pH se determinó con un potenciómetro.

Según las corridas realizadas, el tiempo óptimo de fermentación es de 20 horas, a 26 grados celcius, teóricamente es de 18 horas.

## CONCLUSIONES

Se puede concluir, que se puede producir dextrán a nivel laboratorio, usando como materia prima jugo de caña.

Se lograron determinar las condiciones óptimas de la fermentacion del jugo de caña, las cuales fueron a 25 grados centígrados y 20 horas de fermentación.

## RECOMENDACIONES

Como parte importante de este trabajo, se puede recomendar el realizar experimentos piloto para la producción de dextrán en la industria azucarera de Guatemala, pues, es un producto importante dentro de los derivados de la sacarosa.

También, es importante recomendar la investigación en relación a los demás derivados de la sacarosa, para diversificar los productos obtenidos de la caña de azúcar, así como incursionar en la investigación de los derivados de los derivados de la sacarosa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alan S. Wingrove, Robert L. Caret '**Química Orgánica**' Harla S. A. de C. V. México 1984.
2. Agriculture Handbook 165. 1960. Index of plant diseases in the United States. USGPO. Washington.
3. Boardman, N.K. 1980. Energy from the biological conversion of solar energy. Phil. Trans. R. Soc. London A 295:477—489.
4. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, June 1997, p. 2159—2165 Vol. 63, No. 6 Copyright © 1997, American Society for Microbiology.
5. Biotechnol. Appl. Biochem. (2001) **34**, 93—97 (Printed in Great Britain) **93**
6. Biotechnol. Appl. Biochem. (2003) **38**, 267—269 (Printed in Great Britain) **267**
7. Bogdan, A.V. 197
8. Budavari, Susan '**The Merck Index**', Merck & Co., Inc. Twelfth Edition. USA 1996.
9. Carl R. Noller '**Química Orgánica**', Tercera edición. Traducción al español por la Dra. Maria Teresa Toral. Editorial Interamericana, S. A. México 1968.
10. Galba, C. F. Inkerman, P. a. 1993. Dextran analysis of raw sugar, Part I. A specific method for total dextran,. International sugar journal 95. (1136) pg. 309-313.
11. Inkerman. P. A. 1980 An appraisal of the use of dextranasa. Congress of the international Society of sugar cane technologist (17, 1980 Manila).
12. James C. P. Chen. '**Manual del azúcar de caña**' Editorial Limusa Mexico 1991.

13. Manual de los derivados de la caña de azúcar, ICIDCA Geplzcea Pnud México 1988.
14. Mejia Rodas F. De M. 1999. Comparación de las metodologías de espectrofotometría y cromatografía líquida, para determinar dextranas en el jugo de caña. Guatemala, USAC. Centro Universitario del Sur, Escuintla EPS. 30 infome final.
15. Prescott , Harley, Klein '**Microbiología**' Cuarta Edición. McGraw-Hill Interamericana de España, S. A. U. España 1999.
16. Manual de técnicas analíticas de azúcares y mieles para América Latina y El Caribe. México 1984.
17. Simposio sobre dextranas en la producción y utilización del azúcar de caña. Sugar y Azúcar Junio pg 129-136.

### **Bibliografía electrónica**

15. <http://atcc.org>
16. [http://genome.jgi-psf.org/draft\\_microbes/leume/leume.home.html](http://genome.jgi-psf.org/draft_microbes/leume/leume.home.html)