

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA



PROCESO DE PRODUCCION DE AZUCAR,  
PARTIENDO DE SORGO DULCE

T E S I S

Que para obtener el Título de  
Q U I M I C O  
P r e s e n t a

JAIME CORDOBA KUTHY



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. TESIS  
ADQ. \_\_\_\_\_  
FECHA 1977  
PROC. mt. 103  
702



QUÍMICO

Quedo en deuda con mis padres por su comprensión  
y cariño

A mis hermanos

Con agradecimiento a los maestros que colaboraron  
en mi formación

A mis amigos que directa e indirectamente me han  
ayudado en mi vida profesional

Agradezco al Ing. Juan Lomelín Gallardo por su di-  
rección y consejo

A Ma. Isabel Breña con todo mi cariño

## RESUMEN

- Antecedentes e Interés del Tema
- Selección de un Area de Cultivo
- Estudio de la Localización de una Planta
- Variedades Disponibles de Sorgo
- Selección de un Proceso Desarrollado
- Técnica del Proceso
- Discusión de los Resultados Obtenidos
- Bibliografía

## ANTECEDENTES DEL SORGO EN AMERICA

En el siglo pasado, el Sorgo Azucarero era ampliamente conocido en la India y varios países de Africa, lugares de donde posteriormente se difundió a los Estados Unidos de América. Durante ese siglo, se le dió poca importancia al aspecto de recuperación del azúcar a partir de esa materia prima. Ya en el siglo presente, al estallar la segunda guerra mundial, se presentó un\*desequilibrio en la economía azucarera y esta situación a su vez, hizo renacer el interés por el potencial productivo del Sorgo Dulce, creándose por primera vez las estaciones experimentales en los Estados Unidos de Norteamérica, cuyos trabajos de mejoramiento genético han conducido a la obtención de variedades comerciales para aplicaciones específicas tales como forrajeras, de melaza de alto contenido de sacarosa, dulces, soluciones y azúcar cristalizabile.

El Sorgo (*Sorghum Vulgare Pres*), perteneciente a la misma familia de la caña de azúcar (*Sacharum Officinarum*), es nativo de Africa, habiéndose encontrado los

prototipos silvestres desde el sur del Desierto del Sahara, hasta las regiones templadas del Africa del Sur. Centros satélites fueron establecidos en Asia, siendo posible que de allí surgiesen los diversos tipos que se encuentran en la India, China y Malasia.

La utilización del Sorgo en Europa, fue un poco más reciente que en el hemisferio Americano.

Las primeras variedades importadas por Estados Unidos fueron 15 de ellas de Natal, Africa del Sur, y una variedad más obtenida de la desembocadura del Río Yangtse en China.

Básicamente existen cuatro grupos definidos del Sorgo:

#### 1. Sorgo de Grano

Normalmente se caracteriza por ser planta enana, con granos grandes que se utilizan mundialmente en la alimentación animal, y en ciertos países, también como cereales en la alimentación humana. Este tipo de Sorgo se cultiva actualmente en varias regiones de la República Mexicana.



## 2. Sorgo de Escoba

Como su nombre lo indica, se usa en la fabricación de escobas, ya que el eje principal de su inflorescencia es corto, y la panoja tiene largas ramificaciones. También se le conoce con el nombre de milo de escoba.

## 3. Sorgo Forrajero

Plantas muy macolladoras, con tallos delgados, que se usan como forraje, tanto en el pastoreo directo, como en ensilaje. El zacate o yerba del Sudán (*Sorghum Sudanense*) (Piper Stape), es la única subespecie típica de este grupo, y se cultiva principalmente en el norte de la República Mexicana.

El Zacate Johnson (*Sorghum Haleprese*), pudiera considerarse dentro de los forrajes, pero se le clasifica más bien como una hierba indeseable.

## 3. Sorgo Dulce

Llamado también en otros países, Sorgo Azucarero o Azucarado, es una plan-

ta que posee tallos altos, jugosos y dulces, que se ha utilizado en el sur de Estados Unidos, durante muchos años, en la fabricación casera o semi-comercial de miel "Sorghum Syrup". Este tipo de Sorgo, es el tema principal de este trabajo, conociéndose también como Sorghum Sacharatum o Sorghum Vulgare var Saccharatum. (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8)

## INTERES DEL TEMA

[ La creciente demanda de edulcorantes para uso doméstico e industrial, constituye una serie limitante a las exportaciones de azúcar.

En los últimos años, México no ha podido cubrir las cuotas asignadas de exportación de Azúcar mascabado para los Estados Unidos de Norteamérica y existe un peligro inminente de no poder exportar cantidad alguna de azúcar en un futuro inmediato, situación que contrasta con nuestra urgencia de divisas extranjeras.]

[ Con los datos estadísticos disponibles de producción y consumo nacional de azúcar durante los últimos 10 años, se calcularon las proyecciones más probables hasta 1986 que se ilustran en la figura No. 1. Estas proyecciones se calcularon en computadora, obteniéndose simultáneamente las dos ecuaciones que relacionan la producción y el consumo, con los años considerados. En la misma figura No. 1, están expresadas esas ecuaciones y el valor de sus constantes.]

De estas proyecciones se desprende también que probablemente ya no podremos satisfacer la demanda nacional de azúcar y tendremos que recurrir a importaciones.

La situación descrita, ha motivado la búsqueda de otras fuentes de edulcorantes.

Afortunadamente se encuentran a la vista algunas alternativas disponibles.

Una de ellas, es la utilización del jarabe de Dextrosa, proveniente de la hidrólisis del Almidón, haciendo la conversión enzimática a fructosa, logrando así mucho más edulcor. Este azúcar no es cristizable pero así se puede usar en muchas aplicaciones, como por ejemplo en la elaboración de refrescos.

Otra alternativa factible de realizar, que ha originado el desarrollo de este trabajo, es la utilización del Sorgo Dulce como fuente adicional, ya sea de sacarosa o de jarabe de azúcar invertido, dependiendo de la variedad cultivada, y del proceso usado en la industrialización.

TABLA NO. 1

PANORAMA HISTORICO Y PROYECCION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL

AZUCARERO EN LA PRODUCCION

Zafra	Producción	Estimada	Límite de Confianza	
1966	2,011,390	2,123,680	1,933,200	2,264,040
1967	2,327,250	2,180,350	2,061,550	2,299,150
1968	2,195,728	2,235,350	2,135,370	2,335,320
1969	2,393,964	2,288,750	2,203,750	2,373,760
1970	2,207,984	2,340,640	2,265,160	2,416,110
1971	2,392,850	2,391,050	2,318,200	2,463,910
1972	2,359,428	2,440,070	2,364,890	2,517,300
1973	2,592,277	2,487,750	2,400,670	2,574,830
1974	2,649,182	2,534,140	2,433,710	2,634,560
1975	2,548,297	2,579,290	2,463,530	2,695,040
1976	2,545,960	2,625,250	2,491,120	2,755,380
1977		2,660,070	2,517,070	2,815,070
1978		2,707,790	2,541,740	2,823,840
1979		2,748,960	2,565,370	2,931,540
1980		2,788,110	2,588,120	2,988,100
1981		2,826,780	2,610,080	3,043,470
1982		2,864,500	2,631,360	2,097,630
1983		2,901,320	2,651,990	3,150,650
1984		2,937,260	2,672,040	3,202,480
1985		2,972,360	2,691,550	3,253,170
1986		3,006,640	2,710,530	3,302,740

# PROYECCIONES PRODUCCION-CONSUMO DE AZUCAR

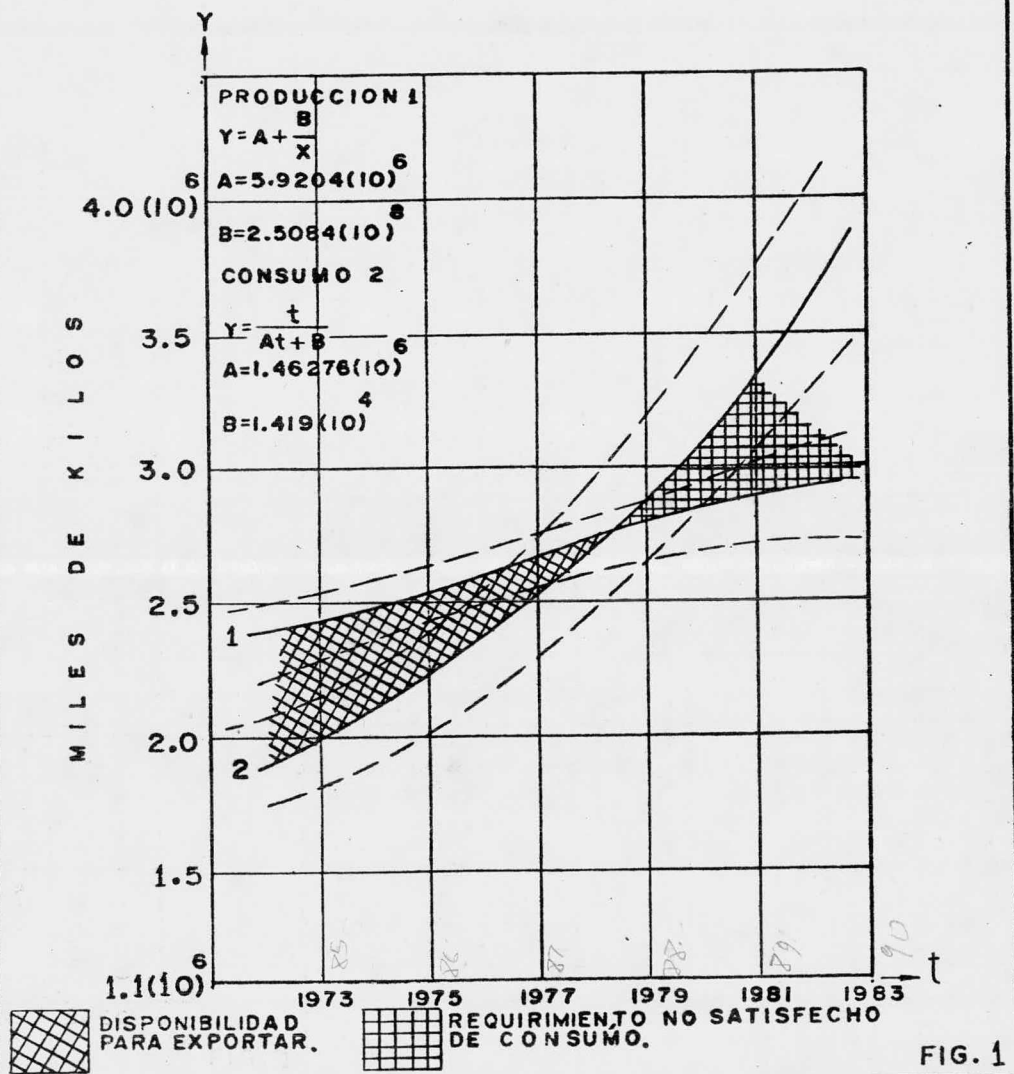


FIG. 1

TABLA NO. 2

## PANORAMA HISTORICO Y PROYECCION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL

Zafra	AZUCARERO EN EL CONSUMO		Toneladas:	
	Consumo	Estimada	Límite de Confianza	
1966	1,430,277	1,454,790	1,411,970	1,500,290
1967	1,517,833	1,526,030	1,486,020	1,568,260
1968	1,625,934	1,602,190	1,564,960	1,641,230
1969	1,733,367	1,683,780	1,648,730	1,720,350
1970	1,840,768	1,771,420	1,736,920	1,807,310
1971	1,774,640	1,864,790	1,828,870	1,904,230
1972	1,909,775	1,967,700	1,924,270	2,013,140
1973	2,124,673	2,078,110	2,023,720	2,135,500
1974	2,173,353	2,198,110	2,128,330	2,272,610
1975	2,388,640	2,329,000	2,239,340	2,426,150
1976	2,441,000	2,472,360	2,357,960	2,598,450
1977		2,630,040	2,485,390	2,792,580
1978		2,804,310	2,622,910	3,012,670
1979		2,997,920	2,771,950	3,264,010
1980		3,214,300	2,934,160	3,553,570
1981		3,457,690	3,111,440	3,890,650
1982		3,733,500	3,306,090	4,287,850
1983		4,048,680	3,520,810	4,762,730
1984		4,412,280	3,758,960	5,344,800
1985		4,836,410	4,024,600	6,058,480
1986		5,337,550	4,322,830	6,974,780

TABLA NO. 3

## DESARROLLO INDUSTRIAL AZUCARERO DEL PAIS

Toneladas de Azúcar

Zafras	Producción	Faltante	Consumo	Excedente
1935	264,929		239,376	25,553
1936	305,035		266,980	38,055
1937	270,096		278,730	366
1938	307,187		306,450	737
1939	329,897	623	350,520	-
1940	294,176	61,872	356,048	-
1941	330,396	34,767	365,163	-
1942	419,765		392,949	26,815
1943	412,236		401,688	10,548
1944	389,760	56,578	446,578	-
1945	373,070	79,145	452,215	-
1946	376,323	69,298	445,623	-
1947	490,456		431,493	58,963
1948	611,689		501,995	109,694
1949	645,419		561,163	84,255
1950	589,965		586,251	3,714
1951	665,827		630,380	35,447
1952	691,144		650,687	40,457
1953	779,265		678,294	10,097
1954	828,703		734,722	93,981
1955	901,336		800,385	100,951



Zafra	Producción	Faltante	Consumo	Excedente
1956	744,130	122,275	866,405	-
1957	1,018,041		891,756	127,188
1958	1,122,944		934,420	188,524
1959	1,264,137		976,478	287,659
1960	1,497,657		1,030,836	466,821
1961	1,387,794		1,063,449	324,345
1962	1,427,457		1,149,444	278,013
1963	1,618,139		1,207,012	411,127
1964	1,815,463		1,309,721	505,742
1965	1,982,969		1,359,484	623,486
1966	2,011,390		1,430,277	581,113
1967	2,327,250		1,517,833	809,417
1968	2,195,728		1,625,934	569,794
1969	2,393,964		1,733,367	660,597
1970	2,207,984		1,840,768	367,216
1971	2,392,850		1,774,650	618,200
1972	2,359,428		1,909,775	449,655
1973	2,592,277		2,124,673	467,604
1974	2,649,182		2,173,353	475,829
1975	2,548,297		2,388,640	159,657
1976	2,546,596		2,441,000	105,595

Zafra	Producción	Faltante	Consumo	Excedente
1977				$0.5 \times 10^5$
<sup>83</sup> 1978		$1.0 \times 10^5$		
<sup>84</sup> 1979		$2.5 \times 10^5$		
<sup>85</sup> 1980		$4.4 \times 10^5$		
<sup>86</sup> 1981		$6.0 \times 10^5$		
<sup>87</sup> 1982		$6.4 \times 10^5$		
<sup>88</sup> 1983		$1.15 \times 10^6$		
<sup>88</sup> 1984		$1.43 \times 10^6$		
<sup>89</sup> 1985		$1.7 \times 10^6$		
<sup>90</sup> 1986		$1.9 \times 10^6$		

TABLA NO. 4

PRODUCCION DE AZUCAR POR CLASES

Toneladas

1973 - 1974

Total: 2,649,182

Estandar	Refinada	Mascabada
883,278	1,188,737	577,167

1972 - 1973

Total: 2,592,277

Estandar	Refinada	Mascabada
765,934	1,194,556	631,787

TABLA NO. 5  
 CONSUMO DE AZUCAR EN EL PAIS POR CLASE, DESTINO  
 Y TIPO DE OPERACION

Toneladas

Años	Consumo Total en el País	Tipo de Operación		Destino		Clase	
		Mayoreo	Medio Mayoreo	Industrial	Doméstico	Refinada	Estandar
1965	1,359,484	1,198,860	160,624	447,207	912,277	579,951	383,533
1966	1,430,277	1,253,283	176,994	485,436	944,741	1,047,939	382,338
1967	1,517,833	1,323,226	194,607	533,952	983,881	1,124,893	392,940
1968	1,625,934	1,409,438	216,496	589,632	1,036,302	1,209,942	415,992
1969	1,733,367	1,504,760	228,607	695,906	1,027,441	1,035,932	697,435
1970	1,840,768	1,594,130	246,638	762,386	1,078,382	1,186,483	654,285
1971	1,774,654	1,602,273	172,381	712,799	1,061,855	1,083,225	691,429
1972	1,909,975	1,756,797	153,178	791,797	1,128,178	1,198,198	711,777
1973	2,124,673	1,966,372	158,301	874,033	1,250,640	1,318,022	806,651
1974	2,173,353	1,995,587	177,766	903,230	1,270,123	1,247,864	925,489

TABLA NO.6

COTIZACION L.A.B. DE AZUCAR CRUDOS

Bolsa de Nueva York

<u>Años</u>	<u>Mercados Mundiales</u>		<u>Mercados Americanos (1)</u>	
	Centavos Dólar/Lb.	Pesos/Kg.	Centavos Dólar/Lb.	Pesos/Kg.
1965	2.12	0.58	5.75	1.58
1966	1.86	0.51	5.99	1.65
1967	1.99	0.55	6.28	1.73
1968	1.98	0.55	6.52	1.80
1969	3.37	0.03	6.75	1.86
1970	3.75	1.03	7.08	1.95
1971				
1972	3.41	2.04	8.09	2.23
1973	9.59	2.64	9.29	2.56
1974	29.60	8.60	28.12	7.75

(1) A los precios C.I.F., duty paid Nueva York, se les asignó un centavo por dólar por libra, para convertirlos a F.O.B. puerto de embarque en México.

TABLA NO. 7  
 EXPORTACIONES NETAS DE AZUCAR EN AMERICA CENTRAL  
 Y CARIBE

Miles de Toneladas Métricas, Valor Crudo

País	1973	1972	1971	1970
Bahamas	-	-	-	4
Barbados	108	102	126	147
Belize	76	69	59	60
Costa Rica	116	111	86	66
Cuba	4,797	4,140	5,511	6,906
El Salvador	79	134	71	48
Guatemala	130	103	78	57
Haiti	8	20	25	20
Honduras	-	12	10	10
Islas Sotavento y Barlovento	17	17	32	27
Jamaica	271	279	310	290
MEXICO	590	598	551	612
Nicaragua	79	109	78	69
Panamá	46	38	43	34
República Dominicana	1,070	1,141	1,011	793
Trinidad y Tobago	138	183	168	171

## SELECCION DE UN AREA DE CULTIVO Y CALENDARIO DE SIEMBRA

Es necesario determinar la época y el área para la siembra y cosecha, en función de los rendimientos de tallos molederos y calidad de los jugos obtenidos del Sorgo.

Se han hecho estudios a nivel piloto, y se ha encontrado que la mejor área para cultivar el Sorgo Dulce, es en terrenos subtropicales, como en el estado de Veracruz y en el de Puebla.

Se han efectuado ya en este país cultivos experimentales cuyo producto se ha procesado a nivel piloto. Parece ser que los mejores resultados se han logrado en el estado de Puebla, en la zona de Izúcar de Matamoros.

En la experimentación del cultivo del sorgo dulce, se ha encontrado conveniente hacer el acarreo de la población de matas cuando la planta alcanza una altura de 5 a 10 cms., dejando una distancia entre plantas de 5 cms. Para el combate de la maleza, en todos los casos, fue suficiente una limpia al hilo de

las plantas y dos cultivos a intervalos de 20 a 30 días.

En las áreas de riego, las necesidades de agua durante el ciclo vegetativo del Sorgo, fueron satisfechas mediante la aplicación de dos a seis riegos, incluido el de la siembra, dependiendo el número de ellos, de las distintas fechas de siembra.

La duración del ciclo vegetativo generalmente, tiene una duración de 4 a 6 meses en las plantillas y de 3 a 5 meses en socas. En los campos experimentales de Ameca en Jalisco, e Izúcar de Matamoros, Puebla, el ciclo vegetativo más largo de las siembras efectuadas, fue de diciembre a mayo. En cuanto al rendimiento de los tallos molederos se obtuvo una amplia variación de 1.39 a 90.1 Ton./Ha., dependiendo de la localización del campo experimental, ciclo del cultivo y fecha de siembra.

En Ameca, Jal., se observó que en el ciclo de plantilla, los mejores rendimientos del Sorgo, se obtuvieron con las fechas de siembra de marzo (57.93 Ton./Ha.) y de abril (53.66 Ton./Ha.), mientras que las fechas de siembra de mayo a no-



viembre cosechadas en noviembre a febrero, los rendimientos fluctuaron de 21.01 a 37.96 Ton./Ha. En relación a las socas de las diferentes fechas de siembra, se observó un comportamiento heterogéneo y los máximos rendimientos de 22.88 Ton./Ha., correspondieron a la soca que inició su desarrollo en febrero y se cosechó en julio (1) (2) (3)

En el campo de Izúcar de Matamoros, Pue., en la siembra de abril se obtuvieron los rendimientos más sobresalientes del Sorgo (90.1 Ton./Ha.), teniéndose como período óptimo de siembra, la de diciembre (73.1 Ton./Ha.) a mayo (85.93 Ton./Ha.).

Al igual que en el campo de Ameca, Jal., las fechas de siembra cosechada en los meses de invierno, redujeron su tonelaje de campo, habiéndose obtenido valores de 44.27 y 59.72 Ton./Ha. En el ciclo de socas, las fechas cosechadas de agosto a octubre, alcanzaron la producción más elevada de tallos molederos, con valores que fluctuaron entre 72.24 y 80.29 Ton./Ha.

En la Ganja, Ver., se encontró que la época más apropiada para la siembra del Sorgo, comprende los meses de diciembre a junio, con variaciones en los tallos molidos de 17.41 a 27.24 Ton./Ha. El mejor comportamiento en ciclo de soca, fue para los meses de julio a septiembre, ya que se obtuvieron rendimientos de 14.24 a 23.35 Ton./Ha.

En Tamaulipas, los rendimientos de los tallos fueron de 19.75 a 36.42 Ton./Ha., dentro de la época de siembra que se considera la más apropiada para el Sorgo Azucarero y que corresponde a los meses de marzo a mayo. La soca del mes de marzo tuvo los más altos rendimientos de campo: 30.75 Ton./Ha.

Las fechas de siembra y de cosecha determinados para cada campo experimental, con base a los mejores rendimientos de tallos molidos, no coincidieron en la mayoría de los casos con la época normal de zafra de los ingenios, lo cual señala la necesidad de trabajar en experimentos y ver la po-

sibilidad de combinar la caña de azúcar, con el Sorgo Azucarero, que permitan una mejor adaptación a las fechas de inicio y terminación de las zafras de caña, de tal manera de evitar interferencias en la operación de los ingenios.

(1) (2) (4) (7) (8) (10)

## VARIETADES DISPONIBLES DE SORGO

Tipos de semilla de Sorgo Dulce que se conocen:

### 1. BRAWLEY

Una selección de un cruce entre Rex y Collez (Grano Blanco), liberada al cultivo comercial en los Estados Unidos de Norteamérica en 1958.

### 2. REX

De origen desconocido, seleccionada en Kansas en 1891. Su principal desventaja es su susceptibilidad al Anthracnose.

### 3. RIO

Es de Africa Ecuatorial, introducida a los Estados Unidos, en 1946. La variedad Rio, fué liberada al cultivo comercial a fines de 1946. A esta variedad se le consideran muy buenas posibilidades para la fabricación comercial de azúcar cristalizado.

#### 4. SARI

Importada de Africa a los Estados Unidos, hace ya muchos años y utilizada en los estados del sur de ese país, en la fabricación casera y semi-comercial de miel de Sorgo.

#### 5. TRACT

Liberada al cultivo comercial por la estación experimental de Mississippi en 1953, para reemplazar a la "White African" en la producción de miel.

Los estudios que se han realizado indican que la variedad Rio es la más indicada para poder producir azúcar cristalizable. Se hicieron unas pruebas de cultivo en el estado de Puebla, cuyas características climatológicas fueron las siguientes: Precipitación media anual de 925 mm., registrándose la mayor parte durante los meses de junio a septiembre, temperatura media anual de 22° C. con máxima de 31° C. y mínima de 12° C., siendo su altitud sobre el nivel del mar, de 1150 metros.

Los tipos de suelos de esta región, pertenecen en su gran mayoría, a suelos vertisoles arcillosos, de color gris oscuro, con un pH de ligeros a medianamente alcalinos, pobres en materias orgánicas y nitrógeno total, con contenidos de pobres a medios, en fósforo y de medianos a ricos en potasio.

Los resultados promedio obtenidos en estos experimentos fueron de 125 a 143 Ton./Ha., en un período de diez meses.

Mencionamos que en plan comercial, el rendimiento promedio de la caña de azúcar en esta zona en ciclos de platilla, es de 172 Ton./Ha., en un período de 14 a 18 meses.

También es conveniente hacer notar las diferencias que existen entre el contenido de sacarosa de la caña y el Sorgo Azucarero. Mientras que a nivel experimental, se obtienen en la caña contenidos de sacarosa que fluctúan de 12.07 a 12.5%, en los experimentos de Sorgo establecidos en la misma zona, se obtuvieron del 11.66 a 12.44%. Es pertinente mencionar además, que estos conte-

nidos de sacarosa, sólo se mantienen durante un período de 7 a 15 días como máximo, cuando el Sorgo se encuentra en pie, y que pasado este período, el contenido de sacarosa disminuye considerablemente. Ello implica la necesidad de organizar un sistema muy preciso de cosecha y acarreo de los tallos a la fábrica.

#### Dimensión de las parcelas experimentales:

Ha resultado apropiado que sus dimensiones estarán tomadas de acuerdo con las características del suelo de acuerdo con los siguientes criterios:

(1) (2) (3) (4) (7) (8)

Suelos Pesados - Es recomendable hacer surcos separados entre sí a 60 cms. y dejando entre parcela tres surcos de bordo sin sembrar, para evitar el sombreo.

Suelos Liberos - Se recomienda que se formen surcos separados entre sí, 92 cms., dejando entre parcelas dos surcos de bordo sin sembrar.

Parcela Util - En ambos casos, la parcela para cosecharse, estará formada por dos

surcos centrales, eliminándose 1 m. de cada cabecera.

Se requieren de 15 a 20 Kgs. de semilla por Ha., recomendándose practicar el método de siembra a chorrillo, aclarando posteriormente a una planta cada 5 cms.

Deben efectuarse riegos auxiliares, teniendo mucho control en este aspecto, ya que se aplicarán en base al índice de marchitez de la planta.

#### Abatimiento de Plagas

Durante el cultivo se requiere mantener el campo libre de malas hierbas, realizándose cuando menos dos escardas y en la última, deberá hacerse una buena labor de aporque. Se sugiere el empleo de herbicidas pre-emergentes, tales como 2,4-D Amina, o una mezcla de 2,4, D Amina + Atrazín, o bien el Atrazín solo.

La mezcla de 2, 4 D Amina + Atrazín, se recomienda usarlo para eliminar hierbas de hoja ancha y la mayoría de los zacates anoscos. Se prepara con 30 ml. de 2, 4 D Amina + 30 ml. de Atrazín, diluidos en 10 lts. de agua. Se requieren para una Ha. 666 ml. de cada producto.



Las plagas más comunes en el cultivo del Sorgo azucarero son: Gusano Cogollero, Barrenador, Trips, Pulga Negra, la rata (*Signmodon Bispious*) cuyo combate se efectuó a base de cebos envenenados, preparados con Sorgo, Enozin técnico, acetona y aceite vegetal, a razón de 15 Kg./Ha. Las plagas indicadas anteriormente, también se pueden abatir con Sevin granulado al 5% en dosis de 8 a 12 Kg./Ha. El tratamiento que se le dá al cultivo, será de carácter preventivo, haciéndose la primera aplicación a los 15 días de nacida la planta, posteriormente se vigilará el producto y se procederá a hacer la segunda aplicación del insecticida en el caso de que las plantas parasitadas sobrepase el 25%.

Para evitar problemas con las enfermedades común y corrientes, se desinfectará la semilla con Semesan y Arason, o cualquier otro producto mercurial.

(1) (2) (3) (4) (5) (7) (8)

## CARACTERISTICAS DE LAS BUENAS VARIETADES DEL SORGO AZUCARERO

Una buena variedad de sorgo azucarero debe reunir las siguientes características:

- A) Altos rendimientos de tallos gruesos y erectos, con raíces profundas para que no se acamen fácilmente durante las tormentas.
- B) Alto porcentaje del jugo extraíble, a un nivel de 50% del peso de los tallos.
- C) Excelente calidad del jugo, rico en sacarosa y pobre en azúcares reductores, alto Brix y pureza mayor de 75%. Poco almidón y Acido Aconítico.
- D) Resistencia a las enfermedades, principalmente a las Antracnosis y al Mermo rojo.
- E) Ciclo de desarrollo relativamente corto.
- F) Tolerancia a la sequía y al exceso de agua.
- G) Resistencia a los daños de insecticidas y herbicidas.
- H) Buena germinación de la semilla y que produzca plantas vigorosas.

(1) (2) (3) (4) (5) (7) (8)

## SELECCION Y TECNICA DEL PROCESO

Habiendo efectuado una búsqueda de información de procesos de industrialización del sorgo dulce, se ha elaborado una secuencia de proceso que se considera factible y que abarca las siguientes fases de operación:

1. Corte de la caña
2. Deshojado de la caña
3. Molido de la caña por medio de cilindros
4. Centrifugación del jugo, para quitar el almidón presente
5. Clarificación del jugo por defecación, con Oxido de Calcio y agua
6. Tratamiento con enzimas, para eliminar las últimas huellas de almidón, transformándolo a Glucosa
7. Cristalización de la Sacarosa, por medio de los métodos conocidos en la manufactura de la caña de azúcar

Este proceso ya ha sido probado en una operación semi-piloto, en la planta de

Carlton, en el Imperial Valley de California, en donde se evaluaron las posibilidades de procesar Sorgo durante dos temporadas de cultivo de sorgo dulce. Durante esa operación, hubo oportunidad de explorar las características agronómicas favorables en la planta, para producir un contenido suficiente de Sacarosa. Los promisorios resultados de esa experimentación dieron ímpetus para el estudio de la posibilidad de obtener Sacarosa cristalizable de los jugos del Sorgo Dulce, en escala comercial

Los inconvenientes que se han encontrado en el proceso de industrialización del sorgo dulce en comparación con el de caña de azúcar, es que los jugos tienen una cantidad considerable de almidón y Acido Aconítico, los que dificultan la cristalización. (10) (12)

El contenido de Sacarosa de la caña de sorgo dulce y del jugo extraíble, son relativamente altos, según estudios realizados. El crecimiento en verano, es el más recomendable.

La siguiente tabla, nos muestra el promedio de análisis en los jugos de la Caña del Sorgo:

Sacarosa en la Caña	Azúcar Invertido en Sólidos	Acido Aconítico en Sólidos	Pureza
12.7%	4.01%	1.67%	77.1%

#### ALMACENAMIENTO DE LA CAÑA

El contenido de Sacarosa de todas las plantas que tienen azúcar, disminuye una vez que la planta se corta por propia acción enzimática.

Estudios preliminares en el Sorgo almacenado al aire libre, en un ambiente subtropical, indican grandes pérdidas de azúcar. La caña almacenada en la sombra, se registró un aumento de azúcar invertida de 3.5 a 11%. Cuando fueron almacenadas a la sombra y tapadas, el incremento fue de 3.5 a 4% en 24 horas, y aumentando a 11% en 48 horas. Esos cambios son más significativos que los que ocurren en la caña de azúcar común.

La siguiente tabla muestra la pérdida de sacarosa y pureza total en el almacenamiento de la cosecha. (4) (5) (12)

PERDIDA DE LA PUREZA Y SACAROSA  
DURANTE EL ALMACENAJE

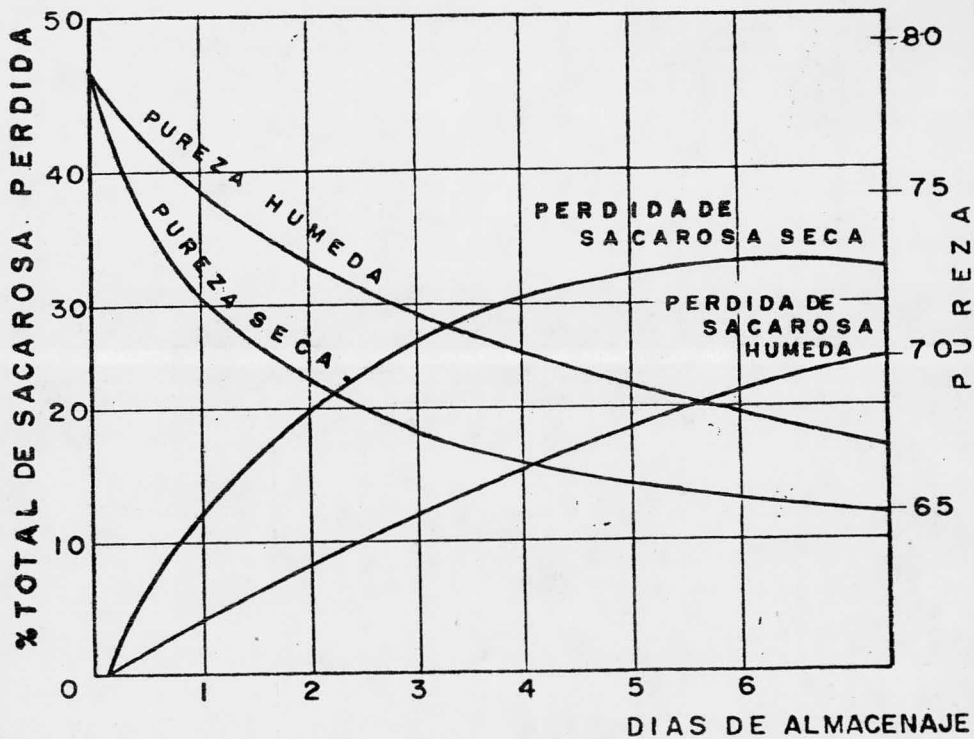


FIG. 2

## EXTRACCION DE SACAROSA DE LA CAÑA DE SORGO

Se ha considerado la posibilidad de efectuar la extracción a contra corriente con agua, en una batería de difusión, bajo un procedimiento similar al usado en la industria azucarera que utiliza la remolacha como materia prima. Sin embargo, la similitud de la caña del sorgo dulce con la de la caña de azúcar, sugiere la conveniencia de un procedimiento de extracción similar a base de grandes rodillos prensa (trapiche) que exprime el jugo que contiene la sacarosa.

El jugo del sorgo dulce es dulce con un sabor característico, de color ambar claro que contiene almidón en suspensión y Acido Aconítico en solución.

## ELIMINACION DEL ALMIDON

Se puede verificar la presencia de almidón con una solución de Yodo y Yoduro de Potasio en agua, que produce un color azul muy intenso.

La forma de extracción del jugo influye en la cantidad de almidón presente, así, los jugos de trapiche, contienen mayor cantidad de almidón que los jugos extraídos por difusión. En el trapiche hay una intensa destrucción de la estructura de la caña, lo que facilita la liberación del almidón.

Para la eliminación total del almidón, el Sr. Burns A. Smith, en Weslaco, Texas, obtuvo una patente (No. 3,464,857) titulada: "Proceso para Remover el Almidón de los Jugos del Sorgo Dulce". Esta patente asegura la eliminación completa del almidón y asegura una buena cristalización de la sacarosa. Por esta razón, en los procesos estudiados de la industrialización del sorgo, siempre se incluyen las fases de eliminación del almidón.



400282



61060

En el proceso descrito en la patente mencionada, el jugo a tratar, deberá tener aproximadamente 16° Brix y será alcalinizado a un pH de 7.5 a 7.8 y tratado con un floculante, manteniendo la temperatura a 60° C. Los jugos clarificados se concentran a jarabes de baja densidad, entre 30 y 40° Brix, los cuales se mantienen a un pH de 7.5 - 7.8, con temperaturas aproximadas de 70° C. dejándolo por lo menos 3 horas en reposo absoluto en pailas poco profundas para que pueda sedimentarse el almidón. Una temperatura alta, podría solubilizar el almidón, lo que interferiría seriamente en la cristalización. Una vez terminada esta etapa, se procede a la clarificación.

El Sr. Burns A. Smith, antes de hacer esta operación, centrifuga los jugos, con el objeto de separar aproximadamente el 70% del almidón. (10) (11) (12)

#### CLARIFICACION

Se hace un lechado de cal, para alcalinizar a un pH de 10 a 55° C. y reposo de 7 minutos, filtrándolo después. Se hace a continuación una carbonatación

a pH de 8.3 y 70° C., agregando Bióxido de Carbono; 7 minutos de reposo; se logró una buena filtración resultando el jugo de buena claridad; la cachaza pudo ser fácilmente separada por medio de decantación.

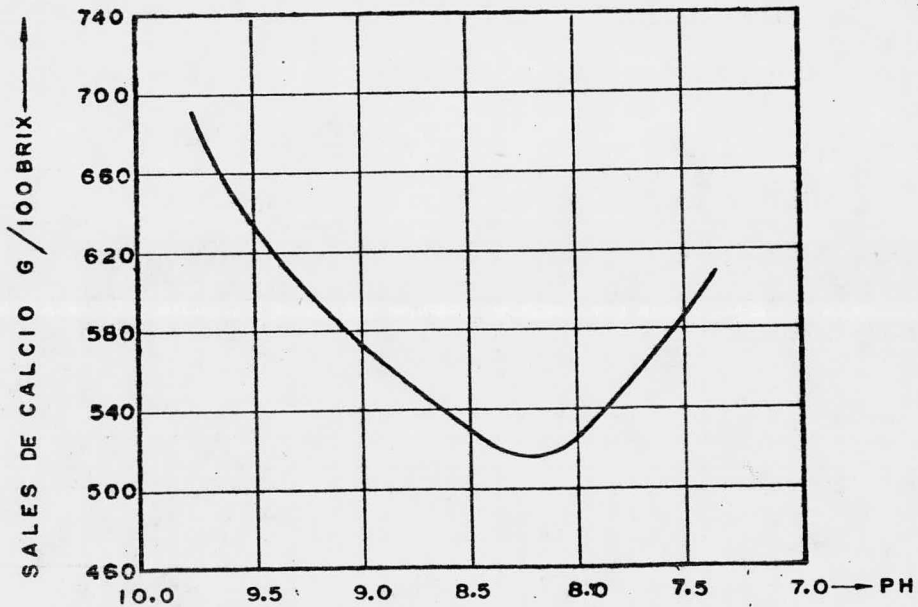
La filtración se llevó a cabo rápidamente para prevenir la posibilidad de formación de color, debida al efecto de la cal sobre los azúcares invertidos.

El aumento en la pureza obtenido por carbonatación, fue excelente: 5.3% en el laboratorio y 4.8% en la planta piloto.

El costo de la carbonatación es mayor que la defecación, porque se consume una mayor cantidad de Cal y se requieren varios pasos adicionales en el proceso, pero esto lleva como ventaja un mejor rendimiento de azúcar recobráble, que se puede atribuir al aumento de pureza obtenida por el método de carbonatación.

La concentración del jugo se hizo en unas pailas comunes con serpentines y calentadores de vapor, a una temperatura de 60° C., y un vacío de 25 pulgadas de Mercurio.

VARIACION DE LAS SALES DE CALCIO  
CON EL PH DE LOS JUGOS DE LA  
CARBONATACION.



SALES DE CALCIO COMO (CaO) EN LA  
CARBONATACION.

FIG.3

La eliminación de color se puede lograr en dos etapas: en la primera se da un tratamiento con Dióxido de Azufre al jugo carbonatado, en donde se obtiene un abatimiento del 50% del color aproximadamente y en la segunda se logran jarabes de alta pureza, con carbón activado en la manera usual.

(9) (10) (12)

#### SEPARACION Y RECUPERACION DEL ACIDO ACONITICO

Se detectó Acido Aconítico en los jugos del Sorgo, lo que es un impedimento para la cristalización de la sacarosa del Sorgo Dulce. Se agregó Cloruro de Calcio, que reacciona con el Acido Aconítico para formar Aconitato de Calcio y con una simple filtración, quedó eliminado totalmente este componente indeseable.

#### ELIMINACION DE LOS ULTIMOS VESTIGIOS DE ALMIDON CON ENZIMAS

Se ha probado la eficacia de tratar el jarabe con Enzimas Amilolíticas, cuando tenga una concentración de 55° Brix, ya sea antes de recobrar el Acido Aconítico o después. Se sugiere que sea antes, con el objeto de evitar una segunda

filtración. La Enzima que dió mejor resultado en la planta piloto, fue la Amilasa Pancreática.

Se dejó el jarabe en contacto con la Enzima, por un lapso de hora y media, a una temperatura de 60° C., siendo la concentración de la Enzima de 0.1 a 0.2% en peso, con respecto a los sólidos. (9) (10) (11) (12)

#### FORMACION DE CRISTALES EN LOS JUGOS DEL SORGO

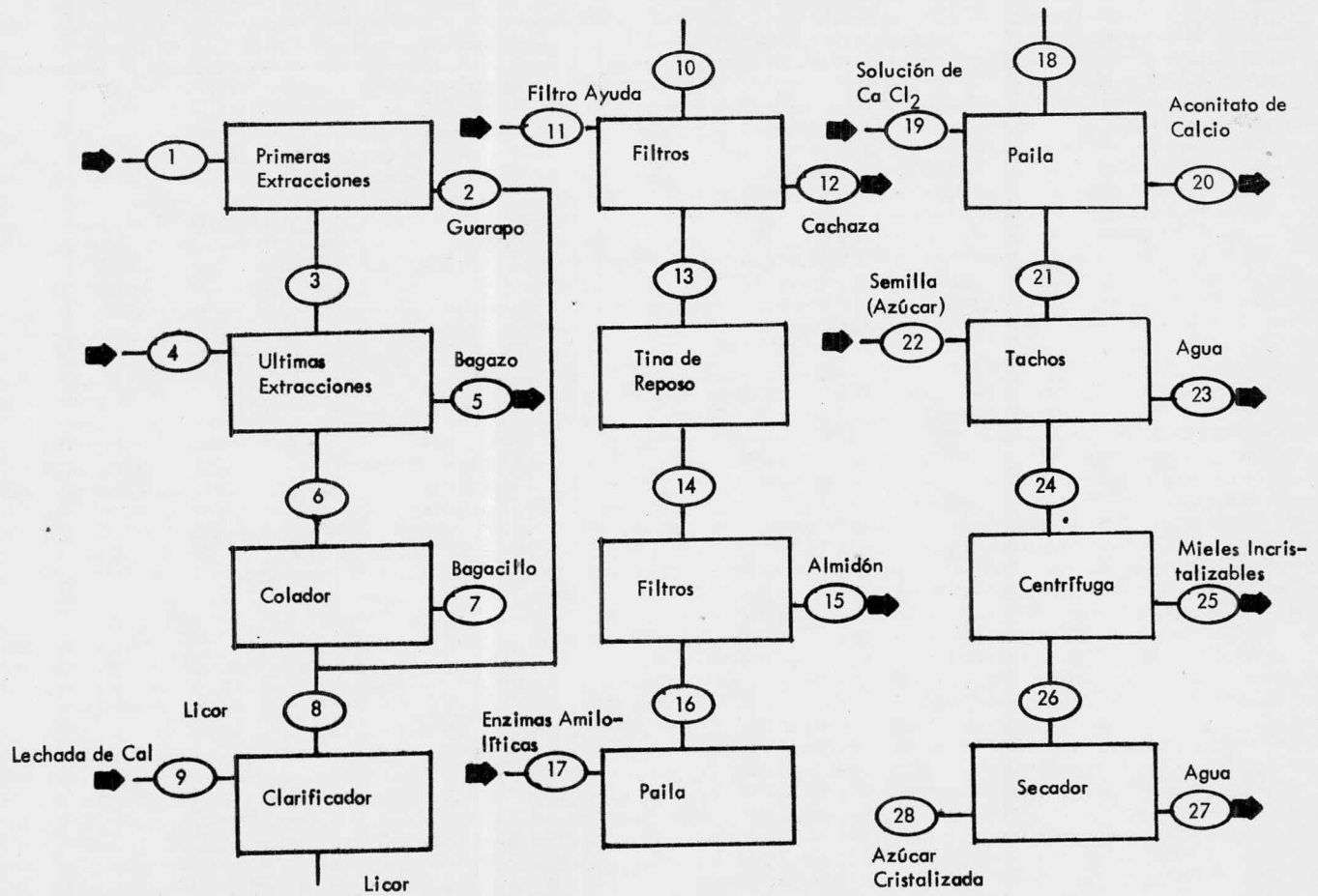
La operación de cristalización se hizo en la planta piloto (4) en un recipiente acondicionado con serpentines y se prosiguió en forma similar a la cristalización del azúcar de la caña de azúcar común. Una de las metas finales en este proceso, es la de producir un azúcar blanco, de tipo comercial, lo que sí fue logrado en la planta piloto. (9)

Cuando en el proceso usado, el azúcar no salía de un color blanco satisfactorio, se corregía el color con carbón activado. Si no se corrige el color, se obtiene azúcar de segunda, que también tiene muy buena aceptación comercialmente. (9) (12)

## MERMAS EN EL PROCESO

Las hay cuando los equipos tienen poca eficiencia. En los lodos residuales y en las melazas, aún cuando se estima que estos tienen cierto valor, no se ha considerado en este trabajo su recuperación. (1)

Figura No. 4





## BALANCE DE MATERIALES PARA OBTENER AZÚCAR PARTIENDO DE SORGO DULCE

## CANTIDADES EN KILOS

	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua	600	360	240	500	96	54.8	10	900.8
Bagazo	180		180		180			
Bagacillo	20		20			20	20	
Almidón	30	18	12			12		30
Acido Aconftico	30	18	12			12		30
Impurezas	20	12	8			20		
Azúcar	120	72	48		4.8	43		115.2

	9	10	11	12	13	14	15	16
Agua	400	1308	90	28	1378	1378		126.8
Azúcar		115.2		5.7	109.8	109.8	12	109.8
Almidón		30			30	30	30	
Acido Aconftico		30			30	30		30
Cal	50	50	50	50				
Filtro Ayuda			100	100				
Impurezas				20				

BALANCE DE MATERIALES PARA OBTENER AZUCAR PARTIENDO DE SORGO DULCE

CANTIDADES EN KILOS

	17	18	19	20	21	22	23	24
Azúcar		109.5	12		109.5			109.5
Acido Aconftico		30		30				
Enzimas	$3 \times 10^6$	$3 \times 10^6$			$3 \times 10^6$			$3 \times 10^6$
Cloruro de Calcio			20	20				
Agua		126.8		208	1332.8		1112	800
Semilla						5.5		5.5

	25	26	27	28				
Azucar		100	100	100				
Agua	200	300	30					
Mono Sacáridos	9.5							
Enzimas	$3 \times 10^6$							

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los ensayos agroindustriales realizados a nivel piloto, demostraron que sí es factible extraer azúcar a escala comercial, partiendo de los tallos de Sorgo Dulce.

Los rendimientos que se obtuvieron, fueron semejantes a los que se obtienen con los de Caña de Azúcar, a nivel comercial.

Un aspecto importante, es que se podría cultivar en combinación con la Caña Azucarera, ya que el Sorgo podría dar dos cosechas al año, y así dar a la tierra una explotación más racional.

Quizá con cultivos alternados se rompan los ciclos biológicos de las plagas que frecuentemente son transmisores de Patógenos a la Caña.

En cuanto al aprovechamiento de los ingenios, todo el equipo es aprovechable. Para la eliminación del almidón y del Acido Aconítico, sería necesario un equipo adicional. Para la molienda se pueden usar los mismos molinos

sólamente con pequeños cambios en las mazas que tendrían que ajustarse para que exista menor presión durante la molienda, ya que los tallos del Sorgo son menos resistentes que los de la Caña Azucarera.

## CONCLUSIONES

Después de recopilar los datos para la preparación de este trabajo, se podría decir que sí es factible la obtención de azúcar partiendo del Sorgo Dulce, en los mismos ingenios azucareros con pequeños cambios en el proceso, tales como: la eliminación del almidón y del Acido Aconítico.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE  
Year Book of Agriculture Science and Farming  
1943 - 1947. p.p. 345 - 352
- (2) WALL J.S. AND ROSS W.M.  
Sorghum Production and Utilization  
The Avi Publishing Co., Inc. Wesport, Conn. 1970  
p.p. 438 a 439, 669
- (3) PROCEEDING OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE  
Technologist's  
Fourteenth Congress  
New Orleans, Louisiana, October 22, Nov. 1971  
Published by: The Executive Committee of the I. SS. CT.
- (4) COMISION NACIONAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA  
Estadfsti cas 1975  
Estadísticas I.M.C.E.
- (5) CONVENCION DE LA ASOCIACION DE TECNICOS AZUCAREROS DE  
MEXICO, A.C.  
Guadalajara, Jal., Septiembre 1973
- (6) INFORMES REMITIDOS DEL DEPARTAMENTO AGRONOMICO DE LA CO-  
MISION HONORARIA DE AZUCAR DE LA REPUBLICA ORIENTAL DEL  
URUGUAY, ACERCA DEL SORGO AZUCARERO.

- (7) INFORME TECNICO DEL IMPA  
Agosto de 1971 - Diciembre de 1972
- (8) INFORME TECNICO DEL IMPA  
Enero a Diciembre de 1973
- (9) INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY  
Semi Pilot Production of Sucrose from Sorghum  
Vol. 43 - No. 3 628-635 (1951)
- (10) OTTO H. COLLEMAN  
Syrup and Sugar from Sweet Sorghum - Capítulo Once
- (11) PROCESOS PARA REMOVER EL ALMIDON EN EL JUGO DE LA CAÑA  
DE SORGO DULCE - Patente No. 3664,886  
Burns A. Smith, Weslaco, Texas.  
Assignor to the United States of America as represented by the Secretary of  
Agriculture - Junio 22, 1968.
- (12) PLANTA SEMI PILOTO PARA LA OBTENCION DE AZUCAR PARTIENDO DE  
SORGO DULCE  
"Carlton Plant" in the Imperial Valley of California.