

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**Escuela Superior de Ingeniería Química
e Industrias Extractivas**

**FACTIBILIDAD TECNICA PARA LA OBTENCION DE
UN EDULCORANTE A PARTIR DE TUNA BLANCA**

TESIS TRADICIONAL

**Para obtener el Titulo de
INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL**

p r e s e n t a

PEDRO CUEVAS MANCERA

México, D. F.

1986





SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

MEXICO D F, 30 de abril de 1986

C PEDRO CUEVAS MANCERA

Pasante de Ingeniero QUÍMICO INDUSTRIAL 1976-1980

Presente

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted que, habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente, denominado "FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA OBTENCIÓN DE UN EDULCORANTE A PARTIR DE TUNA BLANCA."

encontramos que el citado trabajo y/o proyecto de tesis reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y proceder a su impresión según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron

Atentamente
JURADO

C ING. JOSÉ ANTONIO MAGANA PÉREZ
(ORIENTADOR)

C ING. RUBEN LEMUS BARRON

C ING. JORGE IBARRA OLVERA

cmh.

Exp. Expediente



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL T.-53
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS
DIVISION DE SISTEMAS DE TITULACION

Mexico, D F Abril 25, de 1986

C PEDRO CUEVAS MANCERA.
Pasante de Ingeniero QUIMICO INDUSTRIAL. 1976-1980
Presente

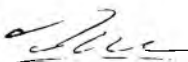
El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional en la opcion TESIS TRADICIONAL INDIVIDUAL.

es propuesto por el C ING. JOSE ANTONIO MAGANA PEREZ. quien sera el responsable

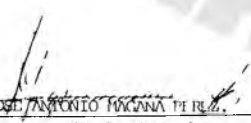
de la calidad de trabajo que usted presente, referida al tema FACTIBILIDAD TECNICA PARA LA OBTENCION DE UN EDULCORANTE A PARTIR DE TUNA BLANCA.
el cual deberá usted desarrollar de acuerdo con el siguiente orden

RESUMEN.

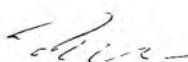
- I.- INTRODUCCION.
 - II.- GENERALIDADES.
 - III.- DESARROLLO EXPERIMENTAL.
 - IV.- ANALISIS DE RESULTADOS.
 - V.- PROPOSICION DE UNA PLANTA PILOTO.
 - VI.- CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.


ING. RUBEN LEMUS BARRON.

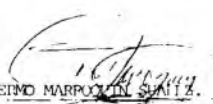
El Jefe del Departamento de Opcion


ING. JOSE ANTONIO MAGANA PEREZ.

El Profesor Orientador


ING. RUBEN LEMUS BARRON.

El Jefe de la Division de
Sistemas de Titulacion


DR. GUILLERMO MARROQUIN SANJA.

El Director de Titulacion

mrg'

Este trabajo se desarrolló en el laboratorio y planta de procesos de Refrescos Pascual S. A.

Agradezco profundamente la orientación de los Ingenieros Rafael Chavez Texeiro y Jose Antonio Magaña Pérez sin la cual no hubiera sido posible realizarlo, así como la colaboración del personal que participó en las pruebas.

Con cariño y agradecimiento para todas las personas que
estuvieron cerca durante mi formación profesional.

SOLO LECTURA

I N D I C E

R E S U M E N	PAG.
I.- INTRODUCCION	1
II.- GENERALIDADES.....	3
2.1- Localización geográfica	4
2.2- Condiciones de cultivo del nopal	6
2.3- Taxonomía	9
2.4- Producción de tuna	10
2.5- Comercialización de la tuna y el nopal	14
2.6- Composición química del nopal y la tuna	14
III.- DESARROLLO EXPERIMENTAL	35
3.1- Antecedentes	35
3.2- Planteamiento del problema	35
3.3- Comparación de alternativas	42
3.4- Definición del proceso a base de enzima	49
3.5- Reformulación del proceso a base de enzima ..	54
3.6- Revaloración del proceso a base de $\text{Ca}(\text{OH})_2$..	64
3.7- Afinación del proceso con $\text{Ca}(\text{OH})_2$	69
3.8- Definición del proceso a base de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	80
IV.- ANALISIS DE RESULTADOS	86
4.1- Discusión de resultados	86
4.2- Descripción de los procesos a nivel laborato- rio para obtención del edulcorante	87
4.3- Diagramas de ambos procesos	90
V.- PROPOSICION DE UNA PLANTA PILOTO	93
5.1- Experimentos a nivel planta piloto	93
5.2- Descripción del proceso a nivel planta piloto para obtener el edulcorante a partir de tuna blanca	100
5.3- Diagrama del proceso	102
5.4- Equipo recomendado para el proceso	105
VI.- CONCLUSIONES	108
BIBLIOGRAFIA	

R E S U M E N

El presente trabajo de tesis, plantea la posibilidad - técnica y viabilidad industrial, de obtener un edulcorante que sustituya el uso del azúcar de caña en algunos procesos industriales. Tal edulcorante se extraería de una variedad del fruto del nopal, específicamente la epuntia amycleae conocida vulgarmente como "tuna blanca".

Por tanto, el estudio inicia con una revisión bibliográfica que incluye las características biológicas del fruto bajo estudio, análisis bromatológicos del mismo, y de otras especies comparativas, algunas aplicaciones y usos, distribución geográfica de los cultivos y volúmenes de producción anual.

Posteriormente, en el capítulo siguiente se plantea el Desarrollo Experimental realizado hasta conseguir -a nivel laboratorio- un procedimiento que permite obtener un concentrado de los azúcares del jugo de tuna, susceptible de convertirse en el edulcorante buscado.

En capítulo aparte, partiendo de la información experimental generada, se propone un proceso a nivel planta piloto con la definición del equipo a utilizar y el diagrama de flujo del proceso que incluye algunas variables (concentración, temperatura, presión) a considerar en las diferentes operaciones unitarias que conforman el proceso propuesto.

Finalmente en el capítulo de Conclusiones, se discute la posibilidad de llevar a efecto la producción industrial del edulcorante desarrollado, como sustituto del azúcar de caña en algunos procesos industriales.

I N T R O D U C C I O N

MARCO HISTORICO

El azúcar como parte del consumo humano no solo es requerida para completar la dieta diaria. Además, ha sido a lo largo de la historia latinoamericana, motivo de explotación económica -amén de política- conjuras, revoluciones, -abundancia de riquezas, hambre, miseria y factor de desarrollo económico e industrial.

A partir de su segundo viaje, Cristobal Colón, trajo las primeras raíces de caña de azúcar desde las Islas Canarias, plantándolas en tierras que hoy conocemos como República Dominicana. Una vez sembradas dieron rápidos retoños.

Por aquellos tiempos el azúcar, que se cultivaba en pequeña escala en Sicilia, Islas Madeira y Cabo Verde y se compraba a precios altos en Oriente, era un artículo tan codiciado por los europeos que hasta en los ajuares de las reinas llegó a figurar como parte de la dote. Durante poco menos de tres siglos a partir del descubrimiento de América, no hubo para el comercio de Europa, producto agrícola más importante que el azúcar cultivado en estas tierras.

Desde el noroeste brasileño, pasando por las "Sugar Islands" (las Antillas), hasta las lejanas tierras africanas vivieron el furor que desmedidas ambiciones causaron el in-flujo del "oro blanco".

El azúcar del trópico latinoamericano aportó un gran impulso a la acumulación de capitales para el desarrollo industrial de Inglaterra, Francia, Holanda y también, de los Estados Unidos, al mismo tiempo que mutiló la economía del noroeste de Brasil y de las Islas del Caribe, selló la ruina histórica de Africa.

El comercio triangular entre Europa Africa y América tuvo por viga maestra el tráfico de esclavos con destino a las plantaciones de azúcar. "La historia de un grano de azúcar es toda una lección de economía política, de política y también de moral", decía Augusto Cochin.

Ya ubicados dentro del ámbito nacional reconocemos el trayecto del problema azucarero desde el auge de los ingenios hasta su entrada en crisis que provoca la necesidad de cubrir la demanda insatisfecha, tanto industrial como de consumo popular, con importaciones.

Por tal motivo, sin pensar que se trate de una solución global, el presente estudio recoge el espíritu de un proyecto confiado a la ESQIE por la comisión Nacional de fruticultura (CONAFRUT), cuya intención es encontrar un sustituto de al azúcar de caña, a nivel industrial, partiendo de una variedad del fruto del nopal. Aprovechando la correspondencia entre la necesidad de suelo para esta planta y las grandes extensiones (más de la mitad) áridas del país propias para el desarrollo del nopal. Presentando además al fruto(la "tuna") un apreciable contenido de azúcar susceptibles de ser extraídos por algún método industrial conocido.

Al mismo tiempo que lograr su cometido este proyecto complementaría de alguna manera la posibilidad de desarrollo agroindustrial en aquellas zonas del país en donde es impracticable un desarrollo agrícola con variedad de cultivos. Completando de igual forma los anteriores estudios realizados con base en el aprovechamiento de la tuna y el nopal, a través del desarrollo de distintos productos orientados al consumo humano o como insumo ganadero. y dando pie a futuras profundizaciones al respecto.

G E N E R A L I D A D E S

Las OPUNTIAS son plantas xerófitas denominadas comunmente "nopales", que presentan frutificación anual, denominada con el nombre genérico de tuna. La cual presenta características comunes a su género y diferencias entre sus especies.

Las Opuntias poseen dos cualidades extraordinarias referentes a la gran adaptabilidad y vitalidad en zonas semiáridas y áridas, lo que las elige como un recurso natural de gran potencial de aprovechamiento, al constituirse más del 60% del territorio nacional (Piña 197_) por tierras semidesérticas.

Bravo (1978) y Brom (1970) han reportado en respectivos estudios que el nopal fertiliza constantemente al suelo, lo protege de la erosión y junto con su sistema radicular genera nuevo suelo.

En suelos más prósperos las Opuntias se cultivan para producir nopalitos y tunas, constituyendo una fuente de ingresos para las comunidades campesinas, ya sea en forma de consumo directo o por la comercialización de los productos del nopal.

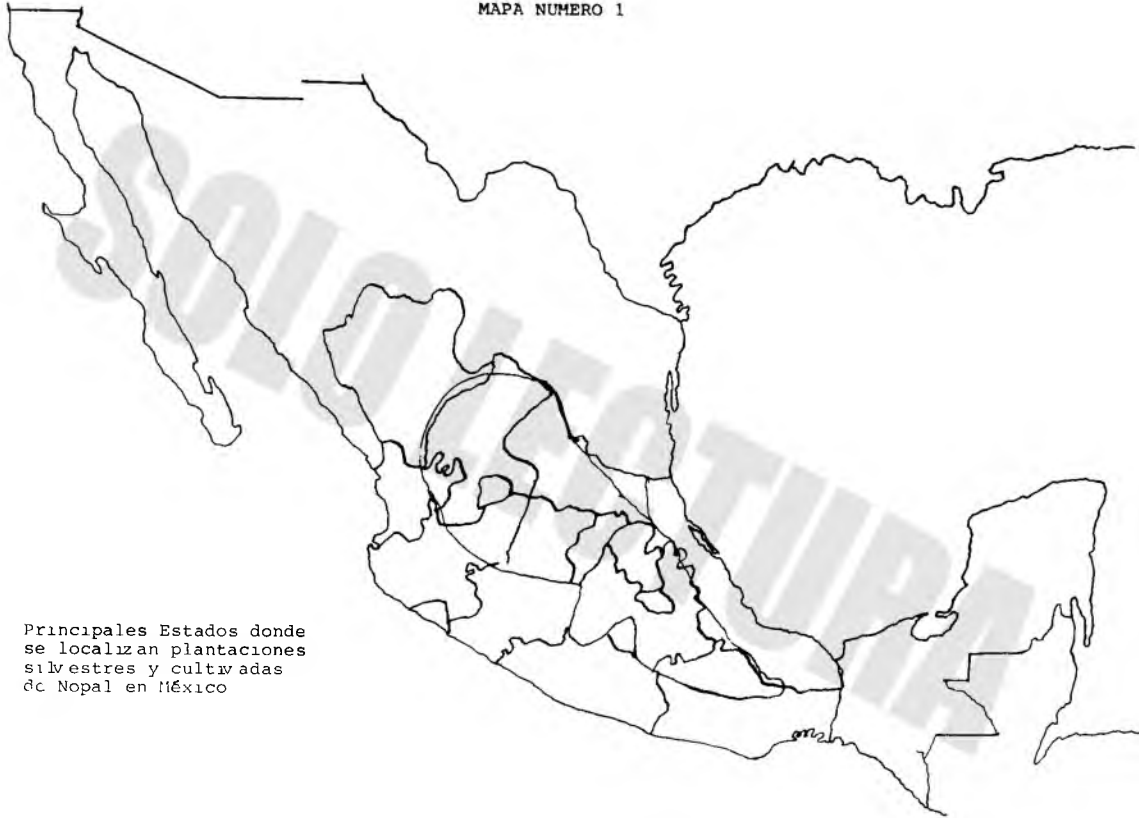
En 1979 Valdez al estudiar la tuna cardona de Zacatecas, menciona la existencia de numerosas poblaciones con nopal silvestre, con lo cual se han desarrollado industrias rurales en las poblaciones ubicadas en esa área.

Actualmente se fomenta el cultivo del nopal en áreas marginadas a otros cultivos y se investigan los sistemas de utilización agroindustrial para beneficiar zonas rurales donde el suelo no genera otros productos.

2.1- LOCALIZACION GEOGRAFICA

En la república Mexicana, el nopal se localiza prácticamente en la mayoría de las condiciones ecológicas, ocupando cerca de 30 millones de hectáreas distribuidas en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango y Aguascalientes. (Mapa No. 1). Se adapta a diversas texturas y composiciones de suelos pero se desarrolla mejor en suelos calcáreos, arenosos, de profundidad media, con PH alcalino y altitudes que varían entre 800 y 2500 metros; su desarrollo requiere temperaturas anuales preferentemente entre 18 y 25°C, aunque es una planta que resiste la sequía, también prospera en zonas de precipitaciones moderadas.

MAPA NUMERO 1



Principales Estados donde
se localizan plantaciones
silvestres y cultivadas
de Nopal en México

2.2- CONDICIONES DE CULTIVO DEL NOPAL

a) Suelos.- En lo que se refiere al tipo de suelo propio para el cultivo del nopal están los areno-calcáreos, sueltos y poco profundos. No se adapta bien a suelos arcillosos compactos, ni a los húmedos. Cuando el terreno se afloja mucho por causa de la humedad, las raíces no pueden sostener la planta y ésta se cae.

Crece bastante bien en terrenos pedregosos, sembrado de sordenadamente. Las nopaleras sembradas en terrenos pobres van enriqueciéndolos paulatinamente con sus desechos y transformándolos en terrenos mejores, aparte de que los defiende contra la erosión causada por el agua o por el viento.

El nopal alcanza producciones elevadas en suelos fértiles abonados y regados. Aún en los terrenos pobres, una hectárea de nopal produce utilidades anuales superiores a las de maíz y frijol, sin el peligro de un fracaso total por sequía o heladas, ya que, en los años de temporal malo la nopalera rinde aunque sea poco y el plantío subsiste en espera de mejores años. Además, si se necesitara emplear la tierra en un cultivo más remunerador, el aclareo es fácil y el 90% de la vegetación de la nopalera que se va a destruir, se transforma en dinero al vender las pencas como forraje. En último extremo se puede enterrar como abono verde.

b) Reproducción.- La propagación del nopal puede efectuarse en forma natural, ya sea por pencas o por semillas caídas en forma accidental en lugares en donde puede prosperar esta planta.

Lo más común es la siembra de pencas sanas, enteras o en pedazos, siendo más recomendable una penca entera.

Las pencas se cortan 2 centímetros por encima de la ar-

articulación y se dejan secar durante 10 ó 15 días para que cicatrice el corte y no se pudra al sembrar. Se entierran en posición vertical y con la parte cortada hacia abajo, cubriendo con tierra hasta la mitad o dos terceras partes de altura de las pencas. Conviene plantar antes de que se inicie la temporada de lluvias ya que el desarrollo de la raíz se favorece si llueve o se riega 15 días después de la siembra.

Las pencas próximas a tener renuevos arrigan con más vigor, por ésto el mes de febrero es la mejor época para plantar siempre que el terreno tenga suficiente humedad. Plantando en febrero las pencas emiten sus renuevos en la siguiente primavera y alcanzan un buen desarrollo durante el verano y otoño, lo cual permite, en algunas variedades, la frutificación al siguiente año. Cuando por falta de agua de lluvia no se pueda plantar en febrero, se hará la plantación en agosto o septiembre. El nopal plantado en estos meses no alcanza a emitir brotes pero desarrolla bien su sistema radicular y acumula reservas que aprovechará en la próxima primavera para la emisión de nuevos brotes.

Es conveniente que los rayos del sol peguen en ambas caras de las pencas durante los dos o tres primeros años de la plantación. Esto se logra colocando las pencas sembradas con sus caras al oriente y al poniente, ya que según los hábitos de crecimiento de esta planta, durante los primeros años las ramificaciones crecen presentando sus caras con igual exposición que la penca patrón y después empiezan a salir en posición irregular. Se ha observado que cuando las pencas patrón no se plantan en posición ordenada la mayor cantidad de tinas sale por el lado más asoleado de las plantas.

El nopal introduce sus raíces en el suelo no removido, por lo que se puede plantar en laderas desnudas o en terre-

nos pedregosos o en compactos, insertando las pencas en los huecos naturales o en hoyos hechos con azadón. En suelos compactos, simplemente se depositan las pencas, de plano sobre el suelo, al principio de la temporada de lluvias.

Un terreno bien removido favorece el crecimiento y la frutificación del nopal, mientras que lo sembrado en suelos compactos tiene un crecimiento lento y sus frutificaciones son escasas. El nopal responde bien al estiércol, el cual se puede incorporar al terreno antes de la plantación. Es conveniente hacer estercoladuras o usar las basuras de las ciudades aplicando de 20 a 30 toneladas por hectárea, durante el año.

c) Replante.- Un mes después de la plantación debe hacerse una revisión de las pencas, substituyendo las podridas por las plantas sanas y fuertes, pues si se hace la replantación con plantas débiles el mes de ventaja que llevan las primeras será suficiente para impedir su crecimiento normal.

d) Podas.- La recolección de fruta en nopales de altura mayor a 1.50 metros requiere escaleras, por lo que resulta engorrosa y cara. Es por esto que conviene mantener las plantas a determinada altura a base de poda. El nopal cultivado da tunas en las pencas del año anterior, siendo menor la proporción en las de dos años, siempre y cuando no haya suficientes pencas del año. Tomando esto en consideración deben eliminarse las pencas que hayan dado tunas el año anterior, efectuando esta poda en el invierno. En esta forma los renuevos salen de las pencas que quedan y producirán tunas el año siguiente. Como los renuevos del año anterior no se tocan, éstos darán frutos y serán las pencas que se eliminarán después de cumplir con su función. En la poda también se dessecarán las pencas caducas o defectuosas.

2.3- TAXONOMIA

Brom 1970 y Bravo 1978, indican que las cactáceas son plantas xerófitas debido a que son suculentas y resistentes a la sequía, además de tener una morfología característica.

La taxonomía más usada para la clasificación de las cactáceas es el sistema de Britton y Rose, el cual clasifica a las opuntias como sigue:

Bravo 1978

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophyta
división	Angiospermas
Clase	Dicotyledonea
Subclase	Dialipétalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactáceas
Tribu	Opuntias
Género	Opuntia

El género de la opuntia está formado por dos subgéneros uno representado por las opuntias de forma cilíndrica, mejor conocida como cactus y clasificada como *Opuntia Cyllindropuntia*, y el otro subgénero de forma aplanada al cual pertenece el verdadero nopal cuyo fruto se conoce como "Tuna" cuando tienen sabor dulce y "Xoconoztle" cuando el fruto tiene un sabor ácido y se le clasifica como *Opuntia Platyopuntia*.

El nombre de los nopales en México es variable. A continuación se reportan los siguientes nombres técnicos con su respectivo nombre vulgar de los nopales más comunes en México.

NOMBRES TECNICOS Y VULGARES DE LOS NOPALES EN MEXICO

Opuntia Streptecantha	Nopal Cardón
Opuntia Leucotricha	Nopal Duraznillo
Opuntia Robusta	Nopal Tapón o Bartolona
Opuntia Lidheimeri	Nopal Cacanapo
Opuntia Cantabrigiensis	Nopal Cuija
Opuntia Rastrera	Nopal Rastrero
Opuntia Imbricanta	Nopal Cardencha o Xoconoztle
Opuntia Macrocentra	Nopal Chivero
Opuntia Chysacantha	Nopal Espina Amarilla
Opuntia Lucena	Nopal Penca Redonda
Opuntia Azurea	Nopal Coyotillo
Opuntia Amycleae	Nopal de Alfajayucán
Opuntia Megacantha	Nopal Tuna Amarilla
Opuntia Ficus Indica	Nopal Memelo
Opuntia Ondulata	Nopal Amarillo

Barrientos (a. b.) reporta que los nopales reconocidos por la calidad de sus frutos son: *Opuntia Amycleae* (tuna blanca), *Megacantha* (tuna amarilla), *Streptecantha* (tuna cardona), *Ficus Indica* (tuna de castilla), y *Tobusta* (tuna ta-pon).

2.4- PRODUCCION DE TUNA

La CODAGEM en 1979, reporta que las plantaciones de nopales tunero se encuentran localizadas principalmente en el Estado de Hidalgo y en el de México, en este último están distribuidos en los Municipios de San Martín de las Pirámides, Otumba, Teotihuacan, Nopaltepec, Temascalapa, Zumpango

y Atlacomulco. Todas estas plantaciones están dedicadas a la producción de tuna blanca y las especies para este fin corresponden a *Opuntia ficus Indica* (Nopal de Castilla), y *Opuntia Amycleae*, esta última conocida como tuna blanca de Alfajayucán, produce dos tipos de frutos: variedad redonda y variedad alargada que es de gran aceptación para consumo como fruta de mesa, en los mercados de la ciudad de México y del centro del país. Esta preferencia se debe a que presenta características especiales como sabor agradable, cáscara delgada, poca semilla y a que los ahuates se caen con facilidad.

La producción de la tuna es anual y la maduración del fruto es aproximadamente de seis meses (Alvarado, 1977).

La cosecha de este tipo de tuna se lleva a cabo en los meses de julio, agosto y septiembre. Las plantaciones de este tipo de nopal tiene una densidad de 2,000 plantas por hectárea aproximadamente.

La tuna de castilla es muy prolífica, con un sabor especial debido a las sustancias coloidales que contiene el fruto, pero como la cosecha de esta tuna se efectúa en los meses de octubre y noviembre, adquiere buen precio a los mercados en donde se introduce.

Las densidades de las plantas por hectárea corresponden a las reportadas para la tuna blanca de alfajayucán

A continuación se reportan los datos disponibles sobre la producción de Tuna Blanca y el valor de la cosecha de la misma, durante los años de 1975, 1978 y 1979.

C U A D R O I
Datos de Producción de Tuna Blanca en 1975'

Estado	A r e a silvestre (Has.)	A r e a cultivada (Has.)
Zacatecas	120,000	3,500
San Luis Potosí	50,000	700
Coahuila	3,000	150
Guanajuato	25,000	2,000
Nuevo León	2,000	100
Durango	20,000	400
Jalisco	3,000	150
Aguascalientes	5,000	150
Querétaro	2,000	300
Hidalgo	10,000	800
Puebla	2,000	400
México	4,000	200
Tlaxcala	1,000	200
T o t a l.-	247,000	10,850

'Año, 1975. Programa Nacional de Tuna y Nopal.
 Departamento de Estudios Económicos, Comisión Nacional del
 Fruticultura, SARH/México.

C U A D R O I I
Valor de la Cosecha de Tuna Blanca en 1975'

	Producción Toneladas	Valor de la cosecha (\$)
Area silvestre	2'470,000	1'235,000.00
Area cultivada	227,850	15'949,500.00
T o t a l.-	2'697,850	17'184,500.00

'Año, 1975. Programa Nacional de Tuna y Nopal
 Departamento de Estudios Económicos. Comisión Nacional de
 Fruticultura, SARH/México.

T U N A . A Ñ O A C R I C O L A 1 9 7 8

COMUNIDADES	SUPERFICIE (Ha)			PRODUCCION (Tn)			PRECIO POR Tn	VALOR DE LA PRODUCCION
	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal	Total	\$	\$
Guadaluato	2,035	-	2,035	16,280	-	16,280	2,271	36'971,836
Jalisco	-	45	45	-	59	59	3,100	1-2,9 0
Colección	-	1,572	1,572	-	12,905	12,905	3,200	41'486,000
Pietra	-	173	173	-	1,420	1,420	1,400	1'988,000
Cañales y tosi	-	40	40	-	200	200	1,000	200,000
Lacatecas	-	3,500	3,500	-	37,625	37,625	1,700	60'962,500
Agro Agrícola	2,000	5,330	7,330	16,280	52,289	68,569	2,112	144'740,260

T U N A . A Ñ O A C R I C O L A 1 9 7 9

Agro Agrícola 6,200 Ha. 35,900 Tr. \$ 2,00 80'709,000

Fuente

Departamento de Programación
Presupuesto y Organización
Unidad Informática
COMAFRUT

2.5- COMERCIALIZACION DE LA TUNA Y EL NOPAL

La comercialización del nopal y de la tuna obedece a un mercado de oferta y demanda.

La introducción del nopal en la ciudad de México es por la nueva central de abastos, de donde se distribuye a los diferentes puntos de la ciudad y la periferia. También existen otros mercados de provincia como son las ciudades de Guadalajara, Monterrey y Coahuila, en los que en 1978 se reportó un consumo de 68,549 toneladas de tuna con un valor de aproximadamente \$ 144,777,000.00 (Subdirección Comercial, CONAFRUT, SARH).

Existe también el mercado de Exportación a E.U.A. y Canadá que cubren los municipios de Guadalupe, Genaro, Codina, Pinos y Ojo Caliente, Zacatecas (Piña, 1975). La exportación de tuna durante el período 1970-1974 ascendió a 129.5 toneladas, siendo los países importadores E.U.A. y el Canadá (Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los E.U.A.).

En 1980 se exportó nopal a Japón, indicando su potencialidad como producto de exportación.

En San Luis Potosí y Zacatecas existen mieleras donde se elabora el queso de tuna, a partir de tunas silvestres.

2.6- COMPOSICION QUIMICA DEL NOPAL Y DE LA TUNA

a) Humedad.- Fernández Landero (1949), en su estudio químico de seis especies de nopales del Valle de México, encontró que el contenido de humedad variaba de 79% a 94% en los ejemplares frescos colectados en tiempos de lluvias.

El agua constituye el principal componente químico de las cactáceas.

b) Sales Minerales.- En las cactáceas las plantas mejor estudiadas desde el punto de vista del análisis de sus cenizas, son los nopales, diversos análisis de las pencas arrojan los siguientes resultados en cuanto al contenido de cenizas:

Dugast (1900), en nopales cultivados en Francia 17.6% (base húmeda); Hurdison (1926), en *Opuntia Vulgaris* 3.76% (base húmeda); Leonti (1954), en nopales cultivados en Italia 17.6% (base seca); Ríos López (1954), en Nopales Mexicanos 24.06% (base seca); Blanco (1958), también en nopales Mexicanos 17.6% (Base seca); Aguirre (1936), informa haber encontrado hasta 5% (base húmeda); Fernández Landero (1949), enseñó haber encontrado en seis especies de nopales del Valle de México de 1.03 a 4.05% (Base húmeda) y entre 13.67 a 21.05% (base seca); Villarreal (1963), en cinco especies de nopales informó de 11.9 a 17.0% (base seca) de sales totales de las cuales eran solubles entre el 7.1 y el 8.6%. Para las tunas, Martínez (1959), encontró 0.32% (base húmeda).

Los componentes principales de las cenizas son Calcio y Potasio, encontrándose también algo de Magnesio, Sílice, Sodio y pequeñas cantidades de Hierro, Aluminio y Manganeso, predominando en forma de Carbonatos, aunque también se encuentran como cloruros, sulfatos y en pequeñas cantidades de Fosfatos.

Los resultados de los análisis practicados por Fernández Landero en seis especies de nopales del Valle de México, son los consignados en la table siguiente: Tabla Número 1.

T A B L A N U M E R O 1

ANALISIS DE LAS CENIZAS DE SEIS MUESTRAS DE OPUNTIA

según Fernández Landero (1949)

Muestra:	Si O ₂	Ca O	K ₂ O	P ₂ O ₂	MnO	MgO	N ₂ O	C O ₂	SO ₄	Cl	P ₂ O ₅
Opuntia ficus-indica	116.02	42.55	11.06	0.91	0.12	6.05	1.28	39.08	2.95	2.84	1.25
Opuntia hyptiacantha	1.82	42.65	11.01	0.88	0.28	7.89	0.26	34.23	1.54	2.15	1.50
Opuntia tomentosa	3.79	45.65	10.12	0.76	0.26	6.73	0.81	34.50	1.29	0.95	1.05
Idem, forma joven	3.32	44.16	8.87	0.75	0.18	5.88	0.47	38.12	1.16	0.93	1.97
Opuntia megacantha	1.24	46.35	8.13	0.73	0.20	5.92	0.36	38.63	1.03	0.99	1.26
Opuntia robusta	1.18	46.35	9.63	0.97	0.25	6.15	0.83	33.60	1.27	2.02	1.38

La composición de los minerales de la cáscara de la tuna fue realizada por el Centro del Nopal y Tuna del Estado de México, el cual reporta su composición en la tabla No. 2.

TABLA NUMERO 2

COMPOSICION DE LOS MINERALES DE LAS CENIZAS DE LA CASCARA DE LA TUNA

ELEMENTO QUIMICO	PORCENTAJE DE CENIZAS BASE SECA
Sodio	3.100
Calcio	2.800
Magnesio	1.005
Cloro	0.155
Fósforo	0.053
Potasio	0.0407
Azufre	0.019
Boro	0.00017
Magnesio	0.118
Fierro	0.1301
Cobre	0.0021
Zinc	0.0018

c) Carbohidratos.- Los principales carbohidratos son los monosacáridos, los disacáridos y los polisacáridos. Algunos datos sobre su presencia en las cactáceas son los siguientes:

Fernández Landero (1949), en su estudio químico de las pencas de seis muestras de nopales, encontró los siguientes valores máximos expresados como porcentaje del peso fresco de las muestras: Tabla Número 3.

TABLA NUMERO 3
CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS EN EL NOPAL

Azúcares totales	8.98% en <i>O. tomentosa</i>
Polisacáridos totales	8.49% en <i>O. tomentosa</i>
Disacáridos totales	1.60% en <i>O. robusta</i>
Monosacáridos totales	0.32% en <i>O. robusta</i>
Hexosas totales	3.78% en <i>O. tomentosa</i>
Hexosas polisacáridos	1.97% en <i>O. tomentosa</i>
Hexosas monosacáridos	0.26% en <i>O. robusta</i>
Pentosas totales	5.20% en <i>O. tomentosa</i>
Pentosas monosacáridos	0.10% en <i>O. tomentosa</i>
Pentosanos	5.12% en <i>O. tomentosa</i>
Carbonatos urónicos	1.70% en <i>O. tomentosa</i>

Dicha autora identificó los azúcares contenidos en las seis muestras estudiadas encontrando en todas ellas glucosa y sacarosa; arábano y arabinosa en todas, salvo en *O. megacantha*; falactano únicamente en ambas formas, juvenil y adulta, de *O. tomentosa*; xilano, únicamente en *O. megacantha*; Harley (1902), en *O. vulgaris* identificó arabinosa y galactosa.

Otros estudios oromatológicos en relación con los azúcares presentes en el nopal, son los realizados comparativamente por Villarreal (1961) y Becerra (1969). La variación en los datos pudo ser originada por la ubicación de los lugares de muestreo. El primero, Villarreal, colectó sus muestras en Ocampo (Guanajuato), Escobedo (Coahuila) y San Luis Potosí. En tanto que Becerra, identificó y cuantificó los azúcares de las mismas dos especies de nopales cultivadas en Milpa Alta, D. F.

Los resultados de ambos estudios se muestran a continuación: Tabla Número 4.

TABLA NUMERO 4
ANALISIS BROMATOLOGICO DEL NOPAL

	NOPAL AMARILLO (Opuntia ficus-indica)		NOPAL BLANCO (Opuntia undulata)	
	% B.H. ¹	% B.H. ²	% B.H. ¹	% B.H. ²
Humedad	91.00	92.21	92.20	92.73
Proteína	0.66	1.06	0.63	1.08
Grasa	0.11	0.24	0.16	0.26
Carbohidratos	5.50	3.14	4.54	3.10
Fibra Cruda	1.15	2.03	1.06	1.44
Cenizas	1.58	1.31	1.41	1.38

1- Villarreal, 1961.

B.H. - Base Húmeda

2- Becerra, 1969.

COMPOSICION DE LOS AZUCARES DEL NOPAL

	NOPAL AMARILLO (Opuntia ficus-indica)		NOPAL BLANCO (Opuntia undulata)	
	%		%	
Sacarosa	3.14		3.10	
Glucosa	1.02		0.92	

Flores, en un estudio realizado en 1977, indica que por su contenido de carbohidratos y grasa el nopal proporciona 3,103.10 Kilocalorías por kilogramo de materia seca.

CONTENIDO DE AZUCARES EN LA TUNA

El fruto del nopal "La Tuna" está compuesto de cáscara, pulpa y semilla. Dependiendo de las especies de tuna la relación de sus tres componentes varía, pero en forma general, Villarreal (1964) y Paredes (1977) indican que la cáscara de tuna representa el 40 a 50% del fruto, la pulpa del 40 al 50% del fruto y la semilla del 5 al 10% del total de la tuna.

Una composición aproximada del fruto es:

Agua	85.010%
Cenizas	0.320%
Albuminoides	0.952%
Grasa	0.045%
Glucosa	10.492%
Celulosa y materias no dosificadas	5.197%

Cigala en 1979, reporta el análisis de los tres componentes de la tuna cardona localizada en Zacatecas. Los resultados aparecen en la siguiente tabla: Tabla Número 5

T A B L A N U M E R O 5

	<u>CASCARA</u>		<u>PULPA</u>		<u>SEMILLA</u>	
	%B.H.	%B.S.	%B.H.	%B.S.	%B.H.	%B.S.
Humedad	87.00	-	85.00	-	5.01	-
Proteína Cruda	0.51	4.11	0.51	3.74	10.63	11.79
Grasa Cruda	8.79	3.26	0.53	3.53	11.79	12.41
Fibra Cruda	1.29	10.61	0.27	1.80	57.66	60.70
Cenizas	1.91	15.01	0.20	1.33	1.63	1.72
Extracto Libre de Nitrógeno	8.90	67.32	13.49	89.60	13.28	13.98
Azúcares	4.99	46.95	10.40	68.30	-	-

Análisis Bromatológico de la Tuna Cardona (OPUNTIA STREPTECANTHA)

B.H. BASE HUMEDA

B.S. BASE SECA

La composición de los azúcares del jugo de la tuna indican que está compuesta básicamente por glucosa y fructosa, encontrándose además otros azúcares como los reporta Cigala en 1979:

TABLA NUMERO 6
COMPOSICION DE LOS AZUCARES DEL JUGO DE TUNA

Azúcar	gr./100 ml.
Fructosa	5.68
Glucosa	6.03
Maltosa	0.11
Sacarosa	0.14
T o t a l:	11.96

TABLA NUMERO 7

COMPOSICION QUIMICA (INICIAL) DEL JUGO DE TUNA COSECHADA
A DIFERENTES GRADOS DE MADUREZ

Composición química del jugo	Días transcurridos después del amarra del fruto.					
	91	98	105	110	115	120
Sólidos solubles totales (°Brix)	9.70	13.40	14.55	14.80	15.80	15.50
Acidez titulable (% Ac. cítrico anhidro)	0.15	0.11	0.12	0.08	0.05	0.00
Acido ascórbico verdadero (mg/100 ml)	16.34	13.90	21.40	14.10	11.60	22.05
pH	5.70	6.00	6.20	6.25	6.10	6.60
Glucosa (%)	4.36	7.80	4.67	8.40	11.98	8.19
Fructosa (%)	5.74	6.92	10.06	8.05	5.84	6.71
Sacarosa (%)	1.50	1.03	0.80	0.00	0.00	1.10
Azúcares totales (%)	10.85	15.01	15.22	15.85	17.54	16.04

Datos para Tuna Blanca (*Opuntia amylica*)

Centro del Nopal y Tuna del Estado de México.

T A B L A N U M E R O 8

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL JUGO DE TUNAS COSECHADAS CON DIFERENTES NIVELES DE MADUREZ DESPUÉS DE DOS DEMANAS DE ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES AMBIENTALES (20 ± 2°C y 60 - 70% RH)

Composición química del jugo	Días transcurridos después del amarre del fruto.					
	91	98	105	110	115	120
Sólidos solubles totales (°Brix)	9.40	12.00	14.00	14.60	13.80	14.80
Acidez titulable (% Ac. Cítrico anhidro)	0.06	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04
Ácido ascórbico verdadero (mg/100 ml)	17.63	15.60	21.76	21.85	21.86	32.33
pH	6.00	6.00	6.50	6.60	6.00	6.20
Glucosa (%)	5.10	8.26	8.18	10.00	8.55	7.93
Fructosa (%)	4.25	5.51	6.53	5.60	6.21	8.87
Sacarosa (%)	2.48	2.29	1.11	0.00	0.00	0.00
Azúcares totales (%)	11.22	15.39	15.14	14.63	13.97	15.96

Datos para tuna blanca (*Opuntia amyoclea*)

Centro del nopal y Tuna del Estado de México.

TABLA NUMERO 9
 CONTENIDO DE AZUCARES DE LA CASCARA DE TUNA

Días después del amarie del fruto	Glucosa	Fructuosa	Sacarosa	Azucares Totales
0	0.039	0.123	0.004	0.158
7	0.025	0.119	0.005	0.142
14	0.046	0.128	0.003	0.168
21	0.026	0.066	0.002	0.089
28	0.063	0.060	0.002	0.119
35	0.063	0.063	0.002	0.112
42	0.059	0.080	0.005	0.137
49	0.093	0.047	0.005	0.138
56	0.087	0.080	0.005	0.163
63	0.135	0.113	0.003	0.238
70	0.170	0.155	0.004	0.313
77	1.009	0.808	0.330	2.039
84	0.730	0.910	0.340	1.881
91	1.180	0.735	0.308	2.112
98	2.675	1.270	0.504	4.227
105	3.065	1.855	0.935	5.562
110	4.620	2.870	1.365	8.412
115	4.825	3.105	1.930	9.367
120	5.040	3.240	2.175	9.850

Datos para tuna blanca (*Opuntia amycleae*)

† Centro del Nopal y Tuna del Estado de México.

d) Celulosa.- La celulosa es el componente principal de la pared celular de los vegetales superiores.

El contenido de celulosa en las cactáceas varía considerablemente entre las diversas especies. Los datos que arrojan algunos análisis de nopales sobre el contenido de fibra cruda, que es una mezcla de celulosa y lignina, son los siguientes:

O. ficus-indica (Martínez, 1959)	14.37%
O. ficus-indica (Fernández Landero, 1949)	17.34%
O. hyptiacantha (ibid)	13.13%
O. tomentosa (ibid)	11.75%
O. megacantha (ibid)	19.10%
O. robusta (ibid)	21.21%

Villarreal (1963), en análisis de ejemplares de *O. Amycleae*, *O. ficus-indica*, *O. megacantha*, *O. streptacantha*, encontraron que el contenido de celulosa variaba del 2.73% al 11.38% sobre peso húmedo, y del 18.55% al 81.88% sobre peso seco. Un análisis de tunas de M. Cordero, citado por Ochoterena (1922), que probablemente corresponda al fruto de *O. streptacantha*, da una cifra de 5.10% de celulosa y material no dosificado; Piña (1970) informa que el contenido promedio de fibra cruda en el fruto de *O. streptacantha* es de 46.4% (base seca).

e) Gomas y Mucílagos.- Existe en las cactáceas un grupo de sustancias heterogéneas derivadas de los hidratos de carbono tales como gomas, mucílagos, pectinas, glucosidos y taninos.

A la goma exudada por algunas especies del subgénero *Opuntia* se le conoce vulgarmente como "Goma de Nopal".

Los mucílagos son sustancias análogas a las gomas. En contacto con el agua forman unas dispersiones viscosas y po-

seen una enorme facilidad de embeberla; propiedad de suma importancia en el mecanismo de retención de agua de las actá-ceas.

Fernández Landero (1949) encontró en las 6 muestras de nopales, objeto de su estudio, un contenido de mucílago que fluctuaba entre el 1.09 y el 4.53%; el análisis del mucílago obtenido de *O. ficus-indica* mostró estar formado por glucosa y arabinosa, principalmente, mientras que los azúcares encontrados en el mucílago de *O. tomentosa* fueron flucosa, arabinosa y galactosa. En ambos mucílagos las cenizas representaban entre el 8.80 y el 13.21% , los azúcares totales del 62.92 al 64.53% y los pentosanos del 28.90 al 39.31%.

f) Sustancias Péclicas.- El ácido péctico, bajo la forma de su sal de calcio, se encuentra en la pared celular. La consistencia suave de los frutos maduros de las actáceas se debe a la desintegración del ácido péctico contenido en sus membranas y de otras sustancias pécticas contenidas en el jugo al transformarse en pectinas.

Diácono y Mora (1948), en *Opuntia vulgaris*, encontraron un contenido de 0.7% de pectato de calcio y magnesio; Toral (1955), en cinco especies de nopales del Valle de México, encontró un promedio de 0.9% de pectina; F. Villarreal (1963), en varias especies de nopales, encontraron un contenido de pectinas totales que variaban de 0.84% a 3.30% sobre peso húmedo y de 15.2 a 34.4% sobre peso seco; el contenido de protopectinas variaba del 0.448% al 0.721% sobre peso húmedo y del 3.56% al 6.00% sobre peso seco.

g) Lípidos.- Las grasas y aceites son ésteres de ácidos grasos y glicerol. La presencia de varios ácidos grasos ha sido demostrada en las actáceas, aún cuando no son muy abundantes en estas plantas, excepto en sus semillas.

Según Piña (1970), *Opuntia streptacantha* posee semillas que contienen 11.5% de grasas y el aceite de tuna tiene un índice de iodo de 122 y un grado de saponificación de 196; su densidad es de 0.917. El análisis de pencas de nopal citado por Martínez (1959), arroja un contenido de grasas de 2.158%; Fernández Landero (1949) indica que el contenido de grasas en las pencas de las *Opuntias* varía del 0.11% al 0.3%; Eckey, para *Opuntia ficus-indica* señala una cifra de 6.3%; otros autores indican que el contenido de aceite en la semilla de los nopales varía del 6 al 8%. Según Eckey, el aceite de *O. ficus-indica* tiene un índice de iodo de 125 y un grado de saponificación de 194. Smith y Menton (1914), de un nopal, también obtuvieron un aceite semisecante, claro, constituido por glicéridos de ácidos oleico, linoleico y palmítico.

La composición del aceite de la semilla de la tuna también es reportada por Cigala (1979), quien lo compara con la composición de otros aceites de uso normal para la preparación de los alimentos indicando que respecto a sus propiedades es semejante a las aceites de soya y cártamo.

TABLA NUMERO 10
COMPOSICION DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE TUNA

ACIDOS GRASOS	TUNA	CARTAMO	SOYA	ALGODON	AJONJOLI
	%	%	%	%	%
Marístico	0.11	-	-	-	-
Palmítico	13.64	7.0	11.0	23.4	8.2
Palmitoléico	0.75	-	-	2.0	0.5
Esteárico	4.56	2.5	4.0	1.1	3.6
Oleico	29.99	14.5	25.0	22.9	35.0
T o t a l:	99.96	99.0	97.2	98.8	91.0

h) Compuestos Nitrogenados (proteínas).- Los principales compuestos nitrogenados encontrados en las cactáceas son aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos y alcaloides.

Las proteínas constituyen el material viviente de la célula. Además, desde el punto de vista de su utilidad, las proteínas son el principal alimento de los animales y del hombre.

En cuanto al contenido de proteínas de las cactáceas, se han hecho muchos estudios en los nopales, encaminados a evaluar su valor nutritivo principalmente como forraje para el ganado tales como los de Griffiths y Hare (1905, 1905a), Horn (1914), Hurdison (1925), Griffiths (1929), Aguirre (1936), Pérez Mata (1937), Delgado (1939), Piccoli (1945), etcétera.

Algunos datos sobre el contenido de proteínas en pencas de nopal son los siguientes:

Opuntia ficus-indica	5.254%	base semiseca	Martínez (1959)
Opuntia ficus-indica	15.48%	base seca,	Fernández Landero (1949)
Opuntia hyptiacantha	11.44%	base seca,	ibid
Opuntia tomentosa	15.21%	base seca,	ibid
Opuntia megacantha	19.70%	base seca,	ibid
Opuntia robusta	23.00%	base seca,	ibid

En el análisis de tunas citado por Ochoterena (1922), quizá de *Opuntia streptocantha*, arroja un porcentaje de 0.95% base húmeda, equivalente a 5.6% sobre base seca. Según Piña (1970), las semillas de tuna cardona (*Opuntia streptocantha*) contienen 10.3% de proteínas bruta y las semillas constituyen el 7% del peso del fruto, ambos datos sobre muestra seca.

En 1980 la Universidad Autónoma de Guanajuato realizó

el análisis de las raquetas de diferentes tipos de nopal, encontrando que el xoconoztle es el nopal con mayor contenido de materia seca y el nopal para forraje es el de mayor contenido de proteína. Los datos de los análisis bromatológicos de estos nopales se encuentran en la tabla No. 11.

SOLO LECTURA

T A B L A N U M E R O 11

ANÁLISIS DROMATOLÓGICO DE SEIS VARIETADES DE NOPAL

(UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUANAJUATO 1980)

	<u>Nopal Xocoztle</u>	<u>Nopal Forrajero</u>	<u>Nopal Verdura</u>	<u>Nopal Princesa</u>	<u>Nopal Silvestre</u>	<u>Nopal Cultivado</u>
	%	%	%	%	%	%
Materia seca	29.90	8.00	7.60	14.20	7.80	7.30
Humedad	79.10	92.00	92.40	85.80	92.10	92.70
Grasa (B. S.)	2.00	8.20	7.60	1.10	6.60	7.20
Proteína (B. S.)	0.80	0.25	0.03	0.06	0.03	0.03
Cenizas (B. H.)	1.80	1.80	1.40	0.60	1.40	1.50
Azúcares RED DIR. (B. H.)	0.08	0.18	0.09	0.14	0.22	0.23
Azúcares RED TOT. (B. H.)	0.14	0.98	0.35	0.56	0.71	0.75
Acidez (ácido cítrico)	0.11	0.30	0.24	0.13	0.28	0.33
pH	4.50	4.40	4.60	4.40	4.20	4.20
Sólidos solubles	7.20	5.70	4.90	6.40	5.20	5.00
Pectina (B. S.)	6.04	12.85	13.00	13.31	12.69	10.23
Pectina (B. H.)	1.26	1.40	1.34	1.89	1.00	0.74

B. S. - Base Seca

B. H. - Base Húmeda

i) **Vitaminas.**- Las vitaminas son compuestos orgánicos necesarios para el metabolismo normal de los organismos.

El contenido de vitamina C en los artículos tiernos de las cinco especies de *Opuntia* estudiados por dicha autora¹, expresados sobre 100 gramos de muestra fresca, es el siguiente:

TABLA NUMERO 12

Especie	Acido ascórbico	Acido dehidroascórbico
<i>Opuntia ficus-indica</i>	4.60 mg	-X- mg
<i>Opuntia hyptiacantha</i>	3.97	0.92
<i>Opuntia tomentosa</i>	3.93	0.47
<i>Opuntia megacantha</i>	3.81	0.37
<i>Opuntia robusta</i>	4.34	-X-
<i>Opuntia tomentosa, forma joven</i>	4.29	0.52

¹Fernández Landero (1949)

El análisis bromatológico del jugo de tuna también fue realizado por Paredes en 1973, reportando un alto contenido de Vitamina C, como se muestra en la Tabla Número 13.

TABLA NUMERO 13

DETERMINACION	TUNA ENTERA (g/100 g)	JUGO DE TUNA (g/100g)
Humedad	84.0	88.0
Proteínas (M x 6.25)	0.8	0.5
Extractos estereo	0.6	0.5
Fibra cruda	3.1	0.0
Cenizas	1.0	0.2
Extracto libre de nitrógeno	10.5	10.8
		(mg/100g)
Tiamina		0.4
Riboflavina		0.03
Acido Ascórbico		20.00
Niacina		0.21
Fósforo		20.55
Fierro		0.42
Calcio		18.00

Análisis químico de tuna entera y jugo de tuna
(Paredes, 1973.

En un estudio comparativo de diferentes frutas, Villareal (1964), reporta los resultados obtenidos para una variedad de tuna blanca (tuna de castilla-Opuntia ficus-Indica). A continuación se muestra la tabla con dicho análisis comparativo:

TABLA NUMERO 14

Nombre común (nombre científico)	Sólidos Fibra		Canizas				Caroteno		Vit. C mg/100g.	Tiamina	Riboflavina	Niacina
	totales	Cruda	%	%	%	%	%	%				
Pera (<i>Pyrus communis</i>)	19.7	1.8	0.059	0.34	9.0	19.9	0.56	0.021	13.1	0.020	0.016	0.38
Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	31.0	0.5	0.217	0.75	8.3	35.2	0.94	0.662	31.0	0.037	0.021	0.61
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	11.0	0.1	0.074	0.38	9.6	18.2	0.57	0.047	51.0	0.056	0.012	0.21
Durazno (<i>Prunus persica</i>)	21.7	0.6	0.094	0.53	8.6	28.6	0.74	0.929	33.8	0.030	0.023	0.36
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	20.1	0.2	0.061	0.44	11.8	16.8	0.48	1.023	7.8	0.033	0.036	0.59
Tuna (<i>Opuntia homplandi</i>)	19.0	4.3	0.105	0.33	22.2	25.1	0.35	0.176	28.4	0.003	0.014	0.32
Tuna de Castilla (<i>Opuntia ficus indica</i>)	19.2	3.7	0.101	1.08	24.8	-	0.38	0.009	42.0	-	-	-

Tabla 14: Análisis comparativos de diferentes frutas.
(Villarreal, 1964)

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1- ANTECEDENTES

Debido a la carencia de información bibliográfica en relación a un proceso que permitiera la obtención de un concentrado rico en azúcares a partir de la tuna blanca, fue necesario partir de cero. Por tanto las primeras actividades en el laboratorio fueron enfocadas a determinar un procedimiento (susceptible de ser industrializable) para la obtención de dicho concentrado, que a la postre redundara en el edulcorante buscado.

3.2- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Partiendo de la lógica, el problema se reducía a concentrar el jugo de la tuna blanca, tratando de precipitar parte del material en suspensión principalmente sustancias pécticas y dejando únicamente los azúcares constitutivos de la fruta, así mismo era menester decidir entre utilizar el total de la fruta o eliminar la cáscara para la obtención del jugo. Ya que de acuerdo a la bibliografía recopilada, la cáscara de la tuna también presenta al igual que la fruta un contenido apreciable de azúcares (alrededor del 10%).

Por tanto se decidió realizar experimentos exploratorios para ambos casos: tuna con cáscara y tuna sin cáscara, utilizando para los dos un enzima (concretamente pectinasa) tomando en consideración el contenido apreciable de sustancias pécticas que forman el tejido de las paredes celulares del fruto (ver inciso f, sección 2.6 de esta tesis). Dicho enzima se utilizó en tres cantidades diferentes con la fina-

lidad de establecer la concentración necesaria para el objetivo que se persigue. A continuación se muestra el desarrollo y los resultados de ambos experimentos:

Experimento número 1 usando tunas sin cáscara

La secuencia que se siguió para la obtención del jugo de la parte carnosa es la siguiente:

Se tomó una cantidad aproximada de 6.0 Kg. de tuna, eliminando la cáscara, se parte en pedazos la pulpa y se coloca en manta de cielo para exprimir y obtener el jugo, inmediatamente se le dosifica 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador y 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, se divide en tres partes con el propósito de trabajar en cada una de ellas con diferente cantidad de enzima.

En el primer experimento se le agregó 4.0 g/Lt. de pectinasa, en el segundo 6.0 g/Lt. y en el tercero 8.0 g/Lt., los tres de la siguiente manera: Se pesa por un lado la cantidad correspondiente de enzima, por el otro se calienta el jugo a una temperatura de 30-35°C, se toma un poco y se agrega la pectinasa previamente pesada hasta disolverla totalmente, luego se agrega al jugo agitando esporádicamente y permitiendo que se caliente hasta 38-40°C. Tratando de consumir la menor cantidad de energía que posteriormente representaría un mayor costo del proceso, aunque de hecho la temperatura de desactivación del enzima ocurre alrededor de los 60°C.

El jugo en las condiciones anteriores se deja reposar durante 24 horas y se procede a filtrar con ayuda de una bomba de vacío y ayudafiltro. Las características del jugo se pueden observar en la tabla número 15.

T A B L A N U M E R O 15

CARACTERISTICAS DEL JUGO OBTENIDO DE LA TUNA SIN CASCARA

	<u>Aspecto del Jugo</u>	<u>Concentración °Brix</u>	<u>Acidez Titulable como Acido Cítrico g/lit</u>	<u>pH</u>	<u>Cantidad de Enzima Empleada g/lit</u>
Primer Experimento	Ligeramente turbio	13.9	2.0	5.9	4
Segundo Experimento	Ligeramente turbio	13.9	2.0	5.9	6
Tercer Experimento	Verde claro y brillante	13.9	2.0	5.9	8

Concentración del jugo

La concentración del jugo se realizó por medio de un evaporador rotatorio, compuesto por un refrigerante, un motor rotatorio con velocidad variable y un dispositivo de calentamiento en forma de baño maría con temperatura regulable. Con una presión de trabajo de 23 pulgadas de mercurio de vacío y una temperatura entre 45-50°C. Se observó que, conforme el jugo se concentraba a una temperatura entre 40-42°C aparecían una serie de partículas en suspensión que se van aglutinando poco a poco. Las concentraciones a las que se llevó el jugo en el primero, segundo y tercer experimento fueron 58, 65 y 70°Bx respectivamente.

Nota: Muestra No. 2098.

Experimento número 2 usando tunas con todo y cáscara

La secuencia seguida para la obtención del jugo a partir de la tuna con todo y cáscara es la siguiente:

Se toman aproximadamente 3.0 Kg. de tuna, se lava y parte en pequeños pedazos, se prensa para obtener un jugo ayudados por una manta de cielo e inmediatamente se le dosifica 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, se divide en tres partes iguales y finalmente agregamos pectinasa (Byocon) de la siguiente manera: El primer experimento 5.0 g/Lt. en el segundo 7.0 g/Lt. y en el tercero 9.0 g/Lt. los tres con el mismo procedimiento del anterior experimento, se deja reposar 24 horas en el primero y segundo, en el tercero 48 horas para probar si aumenta la eficiencia de la pectinasa obteniéndose resultados negativos. Terminada la filtración del jugo muestra las características expresadas en la tabla si-

guiente, tabla número 16.

Nota: En este caso se modificaron las concentraciones de pectinasa aumentándolas por considerar que el jugo obtenido presente un aspecto muy viscoso y por tanto más dificultad para el tratamiento.

SOLO LECTURA

T A B L A N U M E R O 16

CARACTERISTICAS DEL JUGO OBTENIDO DE LA TUNA ENTERA

	<u>A.pecto del Jugo</u>	<u>Concentración °Brix</u>	<u>Acidez Titulable como Acido Citrico g/lit</u>	<u>pH</u>	<u>Cantidad de Enzima Empleada g/lit</u>
Primer Experimento	Ligeramente turbio	14.2	2.0	6.0	5
Segundo Experimento	Ligeramente turbio	14.2	2.0	6.0	7
Tercer Experimento	Verde claro y brillante	14.2	2.0	6.0	9

Concentración del jugo

La concentración del jugo se lleva a cabo con el mismo equipo que el jugo obtenido de la parte carnosa a 23 pulgadas de mercurio de presión de vacío y 45-50°C de temperatura, en este caso aparecen también entre 40-42°C las partículas en suspensión aglutinándose. Se agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, es decir, 1.0 g/Lt. más que en el experimento anterior con el objeto de ver el efecto en la oxidación obteniéndose resultados positivos. Las concentraciones son 48, 68 y 59⁰Bx respectivamente. Los tres presentan un aspecto viscoso.

Nota: Muestra No. 2099.

De los experimentos descritos anteriormente se puede concluir lo siguiente:

1).- Al parecer la cantidad de enzima necesaria para eliminar al máximo el material en suspensión y sobre todo la pectina presente en el jugo de ambas experiencias oscila alrededor de 8.0 g/Lt. Esto es confrontando las características del jugo resultante del tratamiento con las tres cantidades de enzima. Tablas números 15 y 16.

2).- Sin embargo, el hecho de que se presenten partículas en suspensión que se van aglutinando durante la concentración del jugo, hace pensar que tal vez la acción enzimática no fue suficiente, pudiendo ser necesario agregar una mayor cantidad de pectinasa.

3).- Por tanto tenemos por otro lado que las diferencias entre procesar la tuna entera o sin cáscara consisten en que con todo y cáscara la operación de prensado y filtrado presentan más dificultad, y en el concentrado se observa un aspecto viscoso.

3.3- COMPARACION DE ALTERNATIVAS

Con base en las tres conclusiones anteriores se decidió repetir los experimentos empleando enzima con el fin de verificar su efecto como precipitador de material en suspensión y al mismo tiempo comparar con Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que genera los mismos resultados. Se probará además el uso de carbón activado en diferentes concentraciones y a distintas temperaturas con el propósito de eliminar color, olor y sabor a tuna.

Los experimentos se plantearon de la siguiente manera:

- a).- Tunas sin cáscara empleando pectinasa
- b).- Tunas sin cáscara empleando cal
- c).- Tunas con cáscara empleando pectinasa
- d).- Tunas con cáscara empleando cal

Experimento número 3 tunas sin cáscara empleando pectinasa:

La obtención del jugo fue por un procedimiento similar al descrito anteriormente para la obtención del jugo a partir de la tuna sin cáscara. Los 4 litros que se obtuvieron se dividieron en dos partes iguales a fin de tratarlos de diferentes maneras:

1).- El procedimiento para tratar la primera parte fue como sigue: Se le adicionó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como anti-oxidante 3.0 g/Lt. de pectinasa (Byocon) agregados en las condiciones del primer experimento, después de 24 horas de reposo se filtró auxiliados con una bomba de vacío y ayuda-filtro, obteniéndose un jugo transparente de color verde,

posteriormente se le agregó al jugo obtenido 0.5 g/Lt. más de Bisulfito de Sodio. Con el fin de decolorar y quitar el sabor a tuna al jugo se le adicionó 1.0 g/Lt. de carbón activado y se calentó a 50°C con agitación constante, procediendo a una nueva filtración, después de lo cual se observó que no se había obtenido una decoloración apreciable. Se le volvió a adicionar 1.0 g/Lt. de carbón activado, dejando en reposo este jugo aproximadamente 48 horas, después de lo cual se calentó hasta 80°C con agitación constante, inmediatamente se filtró ayudados de una bomba de vacío y ayudafiltro, obteniéndose un jugo transparente con un color amarillento. Se pudo observar que el sabor característico a tuna no desapareció.

2).- El tratamiento para la segunda parte fue el siguiente: Se le adicionó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 2.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 8.0 g/Lt. de pectinasa (Byocon), también en las mismas condiciones que el experimento número 1, después de 24 horas de reposo se filtró con ayuda de una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose un jugo también transparente y de color verde, después se le adicionó 1.0 g/Lt. de carbón activado y se calentó hasta 87°C procediéndose a filtrar a continuación para obtener un jugo amarillento y transparente, luego se procedió a concentrar ambas parte, donde se pudo observar otra vez la aparición de sólidos en suspensión, las condiciones a las que se realizó la concentración fueron: temperatura entre 45-50°C y presión de 23 pulgadas de mercurio de vacío, la concentración que se obtuvo fue de 67.4⁰Bx, tampoco en esta ocasión se perdió el sabor característico a tuna.

Experimento número 4 tunas sin cáscara empleando cal

La obtención del jugo fue también por el mismo procedimiento descrito anteriormente, para la obtención del jugo a partir de la tuna sin cáscara. El jugo que se obtuvo se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante y 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador y finalmente la cal necesaria para obtener un PH de 7.0 procediéndose a agitar vigorosamente.

El jugo con el tratamiento anterior se dejó en reposo hasta que hubo una separación de sólidos en forma de precipitado procediéndose a filtrar posteriormente auxiliados por una bomba de vacío y ayudafiltro, se obtuvo un jugo ligeramente verde y transparente pero con un sabor marcado a cal, por lo que se decidió emplear carbón activado suponiendo que se eliminaría dicho sabor, y desde luego el color verde que se viene intentando en los anteriores experimentos.

El empleo del carbón activado fue de la manera siguiente: Se usaron 3.0 g/Lt., se agitó vigorosamente y se procedió a calentar a 45°C, se dejó reposar 12 horas con agitación esporádica y finalmente se filtró. El jugo obtenido fue de color verde muy débil, es decir, perdió más del color verde característico, pero el sabor a cal persistió con la misma intensidad, posteriormente se procedió a concentrar hasta 52°C obteniéndose un concentrado con un sabor a cal más notorio aún.

Nota: Durante la concentración no aparecieron las partículas en suspensión que se aglutinan.

Experimento número 5 tuna con cáscara empleando pectina sa (Byocon).

La obtención del jugo se hizo de la misma manera que en

el experimento de tuna entera descrito anteriormente.

Al jugo obtenido se le dosificó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante y 8.0 g/Lt. de pectinasa agregados en las mismas condiciones que el primer experimento, el jugo así tratado se dejó reposar 36 horas, al cabo de las cuales con ayuda de una bomba de vacío y ayudafiltro se filtró observándose los siguientes detalles: La operación es difícil al grado que prácticamente resulta por goteo, el jugo obtenido resultó turbio, por lo que fue necesario agregar otros 2.0 g/Lt. de enzima.

El jugo en las condiciones anteriores se dejó reposar 24 horas y finalmente se filtró obteniéndose un producto de cristalinidad mayor. La concentración se efectuó en forma de cargas en cantidades de 250 ml. aproximadamente.

En las primeras cargas se produjo una floculación alrededor de los 45-50°C y 23 pulgadas de mercurio de presión de vacío, por lo que se decidió concentrar hasta 24°Bx para posteriormente manejar un volumen más conveniente de filtrado. Luego de la filtración se procedió a concentrar nuevamente hasta 55°Bx a 55°C y 22 pulgadas de mercurio de presión, se observó un color ligeramente obscuro y un aspecto viscoso en el jugo.

Experimento número 6 tunas con cáscara empleando cal

La obtención del jugo fue de la misma forma anterior, el tratamiento fue de la siguiente manera:

Se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, hidróxido de Calcio hasta alcanzar un PH de 7.0, se agitó durante 30 minutos y se dejó reposar ha

ta que las partículas en suspensión se sedimentaron junto con la cal. Una vez alcanzada esta condición se procedió a filtrar con ayuda de una bomba de vacío y ayudafiltro consiguiéndolo con dificultad, hasta obtener un líquido ligeramente turbio, al terminar la operación se identificó un sabor y olor desagradables proporcionados por la cal, por lo que se trató de eliminar usando carbón activado en una cantidad de 3.0 g/Lt., calentando hasta 40°C y dejando reposar durante 24 horas para finalmente filtrar.

El resultado de esta operación no fue satisfactorio ya que el sabor y olor desagradables persistieron, también se pudo observar que no aparecen las partículas en suspensión durante la concentración y además cierta decoloración en el jugo.

La concentración del jugo se llevó hasta 70°Bx con la idea de que en estas condiciones el mal olor y sabor cambiaran resultando inútil el intento.

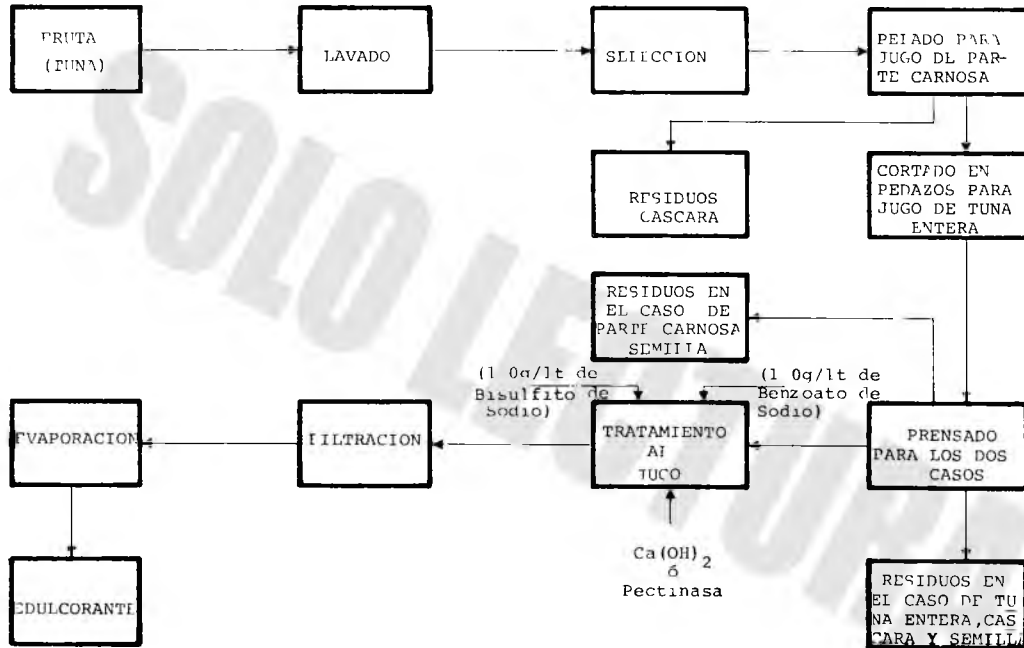
De los experimentos anteriores se concluyó lo siguiente:

- 1).- Los sólidos en suspensión que aparecen durante la concentración del jugo tratado con pectinasa alrededor de los 40-42°C, se presume que son pectina residual.
- 2).- El jugo tratado con cal (Hidróxido de Calcio), no presenta problemas de floculación durante la concentración en cambio manifiesta un mercado sabor y olor a cal.
- 3).- El uso de carbón activado de la forma como se aplicó en los experimentos anteriores resulta inadecuado pues no cumple con el propósito por el que fue incluido.
- 4).- El jugo obtenido de tuna entera (con todo y cáscara) al tratarse con pectinasa o cal presenta problemas durante la filtración.

Las conclusiones anteriores y éstas, nos condujeron a tomar la decisión de dejar por el momento de lado los procesos a base de cal, y tratar de definir un proceso satisfactorio a base de enzima. De cualquier forma, con la información experimental obtenida hasta el momento, se puede delimitar el siguiente diagrama de bloques del proceso planteado en el laboratorio para la obtención de un concentrado rico en azúcares a partir del jugo de tuna blanca. Figura número 1.

SOLO LECTURA

FIGURA 1



3.4- DEFINICION DEL PROCESO A BASE DE ENZIMA

Una vez definido un procedimiento en el laboratorio para obtener un jugo concentrado de tuna blanca, y habiendo obtenido mejores resultados prácticos con el uso de enzima que con el Hidróxido de Calcio, el problema se limitó a resolver dos puntos importantes que son:

- 1).- Fijar la concentración óptima de pectinasa Byocon a una temperatura de actividad de 40°C como máxima.
- 2).- Determinar la forma de usar la fruta en el proceso, es decir con cáscara o sin ella.

Los experimentos que se describen a continuación se realizaron simultáneamente y tienen como propósito dar solución a cada uno de los puntos mencionados anteriormente.

Experimento número 7, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

El procedimiento para este caso fue el siguiente: Se tomó fruta entera 4.964 Kg. se lavó, luego se le quitó la cáscara, se cortó en pedazos la pulpa depositándose en la manta de cielo y se prensó obteniéndose un jugo cuyo peso fue de 2.144 Kg. y su rendimiento de 43.10% como natural. Inmediatamente se le aplicó el tratamiento de 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, 9.0g/Lt. de pectinasa Byocon en las condiciones de los experimentos anteriores dejándose reposar 24 horas y se filtró ayudados con una bomba de vacío y ayudafiltro y sin presentar dificultad durante la operación.

La operación de concentrado se llevó a cabo con el evaporador rotatorio hasta 65.0°Bx a una presión de 23 pulgadas de Mercurio de vacío y 45-50°C de temperatura, observándose algunas pequeñas partículas en suspensión por lo que decidimos en el próximo experimento intentarlo con 9.5 g/Lt. de enzima.

Nota: Muestra número 2100

Experimento número 8, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

El jugo se obtuvo por el procedimiento detallado en el experimento anterior. Se le aplicó el tratamiento con 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, pectinasa Byocon 9.5 g/Lt. en las condiciones del primer experimento dejándolo reposar durante 24 horas para finalmente filtrar, sin ningún problema hasta obtener un jugo de color verde y claro de un aspecto y sabor aceptables.

La concentración del jugo se llevó a cabo a una temperatura de 45-50°C y una presión de vacío de 23 pulgadas de Mercurio, obteniéndose un producto de 77.4°Bx de un color ambar, en este caso todavía aparecen algunas partículas pequeñas en suspensión, lo que determinó el uso definitivo de 10.0 g/Lt. de enzima.

Nota: El color ambar es producto de la alta concentración de azúcares.

Nota: Muestra número 2101.

Experimento número 9, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

La obtención del jugo en este caso fue por el mismo procedimiento de los dos anteriores, inmediatamente se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antióxidante y 10.0 g/Lt. de pectinasa Byocon en las condiciones del primer experimento, se dejó reposar durante 24 horas y se procedió a filtrar ayudados con una bomba de vacío y ayudafiltro sin presentar ningún problema durante la operación obteniéndose un jugo de color verde claro de aspecto y sabor aceptables.

El jugo en las condiciones anteriores se concentró con el mismo equipo hasta 65°Bx sin presentar problemas de floculación. Este experimento se repitió otras dos veces con los mismos resultados, lo que nos conduce a decir que 10.0 g/Lt. de pectinasa Byocon es la cantidad adecuada para el proceso, siempre y cuando se use tuna sin cáscara.

Nota: Muestra número 2102.

Experimento número 10, tuna con cáscara empleando pectinasa.

El procedimiento para obtener el jugo a partir de tuna con cáscara fue el siguiente: Se tomaron 3.5 Kg. de tuna, se lavó, se cortó en pedazos pequeños depositándose en una manta de cielo para después prensarse y obtener el jugo, inmediatamente se le adicionó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio y 9.0 g/Lt. de pectinasa Byocon en las mismas condiciones del primer experimento. Se dejó reposar durante 24 horas y se filtró también ayudados

de la bomba de vacío y ayudafiltro. La operación de filtración presentó mucho problema pues prácticamente se realizó por goteo y por lo tanto resultó muy lenta para finalmente obtener un jugo de un color verde más fuerte que el obtenido de tuna sin cáscara, de olor y sabor aceptables, pero de un aspecto ligeramente viscoso.

La concentración del jugo se llevó a cabo en el evaporador rotatorio a una temperatura de 45-50°C y a una presión de 23 pulgadas de Mercurio de vacío. Se observó a 41°C de temperatura las partículas en suspensión que van aglutinándose, por lo que se decidió para el próximo experimento hacerlo con 9.5 g/Lt. de enzima.

Nota: Muestra número 2103.

Experimento número 11, tuna con cáscara empleando pectinasa.

Con un volumen de jugo obtenido por el mismo procedimiento del experimento anterior se procedió a aplicarle el tratamiento siguiente: Se le adicionó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio y 9.5 g/Lt. de pectinasa Byocon en las condiciones del experimento anterior. Se dejó reposar durante un tiempo de 24 horas y se filtró presentando problemas durante la operación, el jugo que se obtuvo es de un color verde fuerte de olor y sabor aceptables y persistiendo el aspecto ligeramente viscoso.

Durante la operación de concentración aparecieron a 41°C de temperatura nuevamente las partículas en suspensión por lo que decidimos que en el próximo experimento aumentaríamos a 10.0 g/Lt. de pectinasa.

Nota: Muestra número 2104.

Experimento número 12, tuna con cáscara empleando pectinasa.

Al jugo obtenido por un proceso igual a los dos anteriores se les agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antióxidante y finalmente en las mismas condiciones que los anteriores 10.0 g/Lt. de pectinasa Byocon. Se dejó reposar 24 horas y se filtró presentando los mismos problemas que los dos anteriores experimentos y obteniendo un jugo de las mismas características.

La concentración se realizó con el mismo equipo de evaporación, a una temperatura de 45-50°C y 23 pulgadas de Mercurio de presión de vacío sin observarse las partículas en suspensión y obteniéndose un jugo de 65°Bx, de color ambar, olor y sabor agradables y de un aspecto viscoso.

Nota: Muestra número 2105

De las seis experiencias anteriores se concluye lo siguiente:

1).- La cantidad óptima de enzima (Pectinasa Byocon) a usar es de 10.0 g/Lt. a una temperatura de 40°C como máximo de calentamiento disuelta completamente en el jugo y con 24 horas de reposo después de aplicar el tratamiento.

2).- La manera más ventajosa de usar la fruta para el proceso es sin cáscara, puesto que el jugo obtenido en estas condiciones presenta propiedades organolépticas aceptables y además la operación de filtración resulta más sencilla.

3.5- REFORMULACION DEL PROCESO A BASE DE ENZIMA

Tomando como base el resultado de las 6 experiencias últimas, se puede concluir que la concentración óptima de enzima (pectinasa Byocon), es de 10.0 g/Lt. puesto que no se observó el aglutinamiento de partículas durante la concentración, y además la forma de usar la fruta es sin cáscara.

Sin embargo, en este momento se consideró un factor de índole económico que no había sido tomado en cuenta para la experimentación. El hecho de que el costo del enzima es de \$ 21,000.00 Kg., elemento que hace incosteable de entrada el proceso de obtención de un edulcorante a partir de tuna blanca, si lo hacemos comparativamente con el costo de adquisición del azúcar. Considerando que 10.0 g/Lt. representarían \$ 110/Lt. del costo en la concentración del enzima, solamente concentraciones por debajo de 1.0 g/Lt. harían costeable la utilización de la misma. Este descenso en la concentración se podría lograr utilizando mayor tiempo de calentamiento y mayor temperatura, de acuerdo con la información de la efectividad del enzima.

Por tanto, la utilización del enzima tenía una fuerte limitante en cuanto a concentración. Ante esta situación acudimos a consultar a nuestro asesor el Ing. Rafael Chávez Texeiro quien nos recomendó que aumentáramos la temperatura al jugo durante la actividad del enzima de 40°C máxima como se venía haciendo hasta 55°C máxima, manteniéndola durante una o dos horas y agitar 5 minutos cada media hora, de esta forma la actividad enzimática es más eficiente, y desde luego la concentración disminuye notablemente.

Con esta idea se realizaron 10 experimentos, 7 con tuna

sin cáscara y 3 con tuna entera, a una temperatura de tratamiento de 45-60°C y concentraciones de pectinasa de 0.1 g/Lt. hasta 0.5 g/Lt. en el caso de tuna sin cáscara y de 0.5 g/Lt. hasta 4.0 g/Lt. en el caso de tuna con todo y cáscara.

A continuación se describen los 10 experimentos.

Experimento número 13, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

Se obtuvo un volumen de jugo de 2.400 Litros por el procedimiento anteriormente descrito para este caso, se dividió en dos partes de 1.200 litros cada una para experimentar con 2 tipos de enzima (Byocon y Pektolase). La inclusión de otra marca de enzima es con el propósito de poder establecer una comparación de efectividad real, ya que según los proveedores los resultados que generan son los mismos. Este primer experimento es con (Byocon) y es el siguiente: Se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 0.5 g/Lt. de enzima disuelta en el jugo a 48°C de temperatura y manteniéndola durante 3 horas con agitación de 5 minutos cada media hora.

El jugo tratado se dejó reposar 36 horas, se filtró ayudado con una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose un jugo de color verde débil, brillante, de olor y sabor aceptable, se checó la calidad por centrifugación sin obtener ningún sedimento. Se concentró en dos partes, una a 45°Bx y la otra a 62°Bx. En ambos casos el jugo no mostró problemas durante la operación. El aspecto final del producto es transparente y de un color ambar.

Nota: Muestra número 2111.

Experimento número 14, tuna sin cáscara empleando pecti
nasa.

Se tomó la segunda parte del jugo del experimento anterior o sea 1.200 litros y se le aplicó el siguiente tratamiento: Se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como con
servador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante 0.5 g/Lt. de enzima pektolase disuelta en el jugo a 48°C de temperatura y manteniéndola así durante 3 horas con agitación de 5 minutos cada media hora.

El jugo en las condiciones anteriores se dejó reposar 36 horas al final de las cuales se procedió a filtrar ayudados de una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose de un color verde débil, de sabor y olor aceptables. El volumen a concentrar se dividió en dos partes, la primera mostró par
tículas en suspensión al estar concentrándose dentro del eva
porador (45°C de temperatura). Entonces se tomó la segunda parte, calentándose a 45°C durante 30 minutos a presión at-
mosférica, también presentó partículas en suspensión.

De lo anterior se deduce que la pectinasa Byocon resulta más efectiva para el tratamiento del jugo de tuna blanca, por lo que en lo sucesivo se trabajará únicamente con ésta.

Nota: Muestra número 2112.

Experimento número 15, tuna sin cáscara empleando pecti
nasa.

El jugo para este experimento fue obtenido por el mismo procedimiento que los anteriores a partir de tuna sin cáscara se usaron 2.000 litros y el tratamiento fue el siguiente:

Se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador y 0.5 g/Lt. de enzima Byocon a una temperatura de 50°C y manteniéndola durante una hora, agitando dos veces de 5 minutos cada una, se dejó reposar durante 24 horas, al final de las cuales se filtró ayudados de una bomba de vacío y ayudafiltro, el jugo obtenido tiene un olor y sabor aceptables, un color verde débil y brillante.

La concentración se efectuó con el evaporador rotatorio a una temperatura de 45-50°C y una presión de 23 pulgadas de Mercurio de vacío y 70°Bx, no se observó ningún efecto negativo, obteniéndose finalmente un jugo brillante de color amar, de olor y sabor bastante aceptable.

Nota: Muestra número 2113.

Experimento número 16, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

A partir de 1.200 litros de jugo obtenidos en las mismas condiciones que los anteriores a partir de tuna sin cáscara, se le aplicó el tratamiento siguiente: Se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, 0.2 g/Lt. de enzima Byocon disuelta en jugo a una temperatura de calentamiento de 55°C manteniéndola durante 2 horas con agitación cada media hora de 5 minutos. El jugo tratado se dejó reposar 24 horas al término de las cuales se procedió a filtrar ayudados con una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose un producto brillante, de color verde débil y con un olor y sabor excelente.

La concentración se llevó a cabo a 45-50°C de temperatura y 23 pulgadas de Mercurio de vacío, no se observaron efectos negativos en el jugo, quedándose hasta concentrar a 68°Bx. El aspecto final es brillante y de un color ambar con un sabor y olor aceptables.

Nota: Muestra número 2115.

Experimento número 17, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

Con un volumen de jugo obtenido a partir de tuna sin cáscara de 2.500 litros, se decidió disminuir la concentración de enzima para observar y comparar los efectos de tal disminución a fin de usar la menor cantidad posible de ésta que permita un tratamiento óptimo. Las condiciones del tratamiento son las siguientes: Se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 0.1 g/Lt. de pectinasa Byocon a una temperatura de calentamiento de 55°C, manteniéndola durante 2 horas con agitación de 5 minutos cada media hora.

Las condiciones de concentración y filtración fueron las mismas que en el experimento anterior. El jugo obtenido resultó turbio, por lo que se supuso que la cantidad de enzima resulta insuficiente, se decide por lo tanto para el siguiente experimento usar 0.15 g/Lt.

Nota: Muestra número 2116.

Experimento número 18, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

De jugo obtenido por el procedimiento acostumbrado para fruta sin cáscara, se tomó 2.500 litros y se trató de la siguiente manera: Se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como anti oxidante y 0.15 g/Lt. de pectinasa Byocon disuelta en jugo a una temperatura de calentamiento de 55°C, manteniéndola du rante 2 horas con agitación de 5 minutos cada media hora. El jugo en estas condiciones se dejó reposar durante 24 horas, al cabo de las cuales se filtró ayudados por una bomba de va cío y ayudafiltro, para obtener un jugo de color verde débil, brillante de olor y sabor aceptables.

La concentración se llevó a cabo con el evaporador rota torio a una presión de vacío de 23 pulgadas de Mercurio y 45-50°C de temperatura, sin presentar ningún problema duran te dicha operación. El producto obtenido es de 65°Bx de olor y sabor aceptables, de un color ambar y de aspecto brillante.

Nota: Muestra número 2117.

Experimento número 19, tuna sin cáscara empleando pectinasa.

Dado que el experimento anterior mostró buenos resulta dos, (muestra número 2117), se procedió a repetir el mismo, con el propósito de comprobar que las condiciones de opera ción y los reactivos empleados al mantenerse iguales arro jan el mismo resultado. La repetición se detalla a continua ción.

En las mismas condiciones que el experimento anterior

se obtuvieron 3.000 Lts. de jugo a los que se les aplicó el siguiente tratamiento: Se agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante y 0.15 g/Lt. de pectinasa Byocon disuelta en jugo a una temperatura de 55°C, se mantiene durante 2 horas agitándolo durante 5 minutos cada media hora. El jugo en las condiciones anteriores se puso en reposo 24 horas y al final de éste se filtró ayudados con una bomba de vacío y ayu dafiltro obteniendo un producto de color verde débil, brillante, de olor y sabor aceptables.

La concentración se efectúa con el equipo y condiciones de operación iguales que el anterior experimento sin ningún problema, el jugo obtenido al final es de 65°Bx, color ambar, olor y sabor excelentes y de un aspecto aceptable.

Nota: Muestra número 2118.

Nota: Una vez que comprobamos que los resultados son los mismos que en la experiencia anterior, se repitió el experimento dos veces más (muestras números 2119 y 2120) con el propósito de demostrarle al asesor dichos resultados y ponernos de acuerdo en que las condiciones y reactivos empleados para el concentrado presentan las características necesarias para la continuación del proyecto.

A continuación se detallan los experimentos llevados a cabo con tuna con todo y cáscara, con el propósito de tener la seguridad de que no es posible obtener un producto aceptable con las cantidades de enzima usadas para fruta sin cáscara y de esta manera poder finalmente sacar conclusiones.

Experimento número 20, tuna con cáscara empleando pectinasa.

A un volumen de jugo obtenido a partir de tuna con todo y cáscara se le aplicó el tratamiento siguiente: Se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 0.5 g/Lt. de pectinasa Byocon disuelta en el jugo calentado a una temperatura de 55°C manteniéndola durante una hora y agitando durante 5 minutos cada media hora, se dejó reposar 24 horas y se procedió a filtrar ayudados con una bomba de vacío y ayuda-filtro, el jugo obtenido es de un color verde fuerte, de olor y sabor aceptables, de un aspecto ligeramente turbio y un poco viscoso, además presentó mucho problema para la operación de filtración puesto que se llevó a cabo de una manera muy lenta.

La concentración se realizó en el evaporador rotatorio a una temperatura de 45-50°C y 23 pulgadas de Mercurio de vacío, sin problemas hasta 6508x. El aspecto del concentrado es ligeramente turbio y viscoso.

Nota: Muestra número 2114.

Experimento número 21, tuna con cáscara empleando pectinasa.

La fruta usada para este experimento una vez que fue lavada, se le cortó la punta y la pata, se rebanó en pedazos, se prenso y obtuvo un jugo cuyo volumen fue de 2.300 Lts., el tratamiento que se le aplicó fue el siguiente: Se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador y 0.2 g/Lt. de pectinasa Byocon disuelta en jugo calentado a una temperatura

de 55°C, manteniéndola durante 2 horas y agitándolo 5 minutos cada media hora.

Al jugo obtenido después del tratamiento se le dejó reposar durante 48 horas al término de las cuales se procedió a filtrar con mucha lentitud obteniéndose un producto de color verde fuerte, de olor y sabor aceptable, ligeramente turbio y un poco viscoso.

La concentración se realizó con el evaporador rotatorio a 45-50°C de temperatura, 23 pulgadas de Mercurio de vacío hasta 65°Bx volviéndose a observar un aspecto viscoso, color ambar y turbio.

Nota: Muestra número 2122.

Experimento número 22, tuna con cáscara empleando pectinasa.

El procedimiento para este experimento fue el siguiente: Se tomó una cantidad de tunas, se lavó, se cortó en pedazos y se prensó para obtener un jugo al cual se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 0.4 g/Lt. de pectinasa Byocon disuelta en un jugo calentado a una temperatura de 55°C manteniéndola 2 horas, agitando durante 5 minutos cada media hora, después del tratamiento se dejó reposar 24 horas, al término de las cuales se filtró, ayudados con una bomba de vacío y ayuda filtro presentando muchos problemas, obteniéndose un producto turbio, de color verde fuerte, olor y sabor aceptables, y de un aspecto ligeramente viscoso.

El jugo en las condiciones anteriores se concentró hasta 65°Bx en un evaporador rotatorio a 45-50°C de temperatura y 23 pulgadas de Mercurio de vacío para obtener un jugo de color ambar, olor y sabor aceptables y de un aspecto viscoso.

Nota: Muestra número 2123.

Según se puede observar en las tres últimas experiencias, el uso de la fruta con cáscara no es recomendable para el caso en que se usen cantidades pequeñas de enzima porque además de esto, presenta mucha dificultad para la operación de filtrado y finalmente el jugo no solo resulta viscoso, sino también turbio.

3.6- REVALORACION DEL PROCESO A BASE DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$

De acuerdo al desarrollo de los experimentos anteriores donde se llegó a la conclusión de que el tratamiento adecuado para la obtención del jugo concentrado de tuna incluye 0.150 g/Lt. de pectinasa Byocon con un manejo adecuado de la temperatura, y usando fruta sin cáscara, se decidió dar por terminados los trabajos al respecto e intentar otra alternativa de proceso, por lo que se realizó una reunión con nuestro asesor el Ingeniero Rafael Chávez Texeiro, donde se llegó a la conclusión de tomar en consideración las primeras experiencias con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ puesto que este reactivo resultaba mucho más barato que la pectinasa Byocon, y además resultaba tan o más efectivo para el propósito de eliminación del material en suspensión sobre todo pectina excepto por el sabor y olor desagradables en el jugo, factores que se tendrían que eliminar tan pronto se pudiera probar que dicho tratamiento a base de este reactivo resultaba útil.

Con este enfoque de carácter confirmativo se realizaron 4 experimentos, 2 con tuna entera (tuna con todo y cáscara), y los otros con parte carnosa (tuna sin cáscara), ambos usando cal.

En el caso de la parte carnosa el problema principal es el olor y sabor desagradables, y en el otro además de esto se presentan problemas de aspecto, filtración y concentración, situaciones que se corroboran con los experimentos que se detallan a continuación.

Experimento número 23, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 .

Se procedió a obtener jugo por el mismo procedimiento que los anteriores para tuna sin cáscara, con un PH de 6.0, se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, con cal - se llevó a un PH de 7.0, se agitó 5 minutos, se dejó reposar 2 horas y se filtró ayudados de una bomba de vacío y ayuda-filtro, sin presentar problemas durante la operación, posteriormente se concentró obteniéndose un jugo brillante de un color ligeramente ambar y con un olor y sabor característicos a cal. El jugo concentrado a 65.0 °Bx. se dejó reposar durante 10 días, los cuales se le estuvo observando sin que apareciera un cambio notorio con respecto a el aspecto del - primer día.

De acuerdo con los resultados del experimento anterior se decidió procesar jugo de tuna entera (con todo y cáscara) tratarlo de la misma manera y de este modo poder comparar para optar por el caso que presente mayores ventajas para el - objetivo que se persigue.

A continuación se volvió a repetir un experimento con jugo de parte carnosa y 2 con jugo de tuna entera. Los 3 se detallan a continuación, y se toma la decisión de el tratamiento a un solo tipo de jugo.

Nota: Muestra número 2106.

Experimento número 24, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 .

Del jugo obtenido por el mismo procedimiento del anterior, se tomó 1.500 litros, con un PH de 6.0, se le agregó Benzoato de Sodio como conservador en una cantidad de 1.0 g/Lt. y 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, con cal se llevó a un PH de 8.0, se agitó durante 5 minutos, se dejó reposar 12 horas y se filtró ayudados con una bomba de vacío y ayudafiltro, sin presentar problemas durante dicha operación.

Una vez filtrado el jugo se procedió a concentrar hasta 65.0°Bx obteniéndose un producto de color ligeramente ambar, con un color y sabor característico a miel.

El jugo obtenido se puso en observación con los mismos resultados que el experimento anterior.

Nota: Muestra número 2107.

Experimento número 25, tuna con cáscara empleando Ca(OH)_2 .

Para la obtención del jugo se procede de igual manera que en los casos anteriores para tuna con todo y cáscara. Se tomó 1.500 litros con un PH de 6.0, se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, mediante cal se llevó a un PH de 7.0 se agitó durante 5 minutos, se dejó reposar durante 3 horas y se filtró mostrando mucha dificultad durante esta operación que se llevó a cabo con la ayuda de una bomba de vacío y ayudafiltro, inmediatamente se procedió a concentrarlo hasta 48°Bx a una temperatura de 45-50°C y 23 pulgadas de Mercurio de vacío. El jugo obtenido presenta un aspecto viscoso, un color oscuro y un sabor y olor más fuerte a cal que el que se obtiene solo de la parte carnosa.

El jugo concentrado se dejó reposar durante 10 días, donde a los 4 apareció un precipitado blanco, al término de dicha observación el precipitado aumentó, al mismo tiempo se oxidaba rápidamente.

Muestra número 2108.

Experimento número 26, tuna con cáscara empleando Ca(OH)_2 .

Se tomó 1.500 Litros de jugo obtenido del mismo modo que el anterior, con un PH de 6.0 , se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, y mediante cal se llevó a un PH de 8.0 se agitó 5 minutos, después de esto se dejó reposar durante 12 horas para proceder a filtrarse mostrando la misma dificultad que el anterior en este paso del proceso que se llevó a cabo nuevamente con la ayuda de una bomba de vacío y ayudafiltro, luego se concentró a 50.0 °Bx. a una temperatura de 45-50°C y una presión de 23 pulgadas de Mercurio de vacío.

El jugo obtenido presenta otra vez el aspecto viscoso, un color oscuro y un olor y sabor característico a cal y desde luego mayores que el producto obtenido a partir del jugo de parte carnosa. Se procedió a dejarlo reposar durante 15 días y al 4 día apareció un precipitado blanco que fué en aumento a medida que avansaba el tiempo, el jugo se oxidaba también rápidamente.

Muestra número 2109.

De acuerdo a lo que presentáron los 4 experimentos anteriores se tomó la decisión de que en lo sucesivo, y durante el afinamiento del proceso se trabajaría únicamente con jugo obtenido de la parte carnosa (tuna sin cáscara), que es el que presenta más ventajas de acuerdo al proyecto.

SOLO LECTURA

3.7- AFINACION DEL PROCESO CON $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Confirmado el comportamiento del jugo obtenido de tuna sin cáscara bajo la acción de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se pensó en una manera de eliminar tanto el olor como el sabor a cal, que se suponía era producto de un exceso de la misma. Por tanto se pensó que acidulando el jugo se eliminaría el ion Ca^{++} que estuviera en exceso y se terminaría el problema. El indicador para llevar a cabo la eliminación sería el PH del jugo, el cual se modificaba al agregar la cal, y sería restaurado mediante la acidulación.

Primeramente se escogió el ácido tartárico por razones de disponibilidad como medio acidulante. Sin embargo en este caso se observaron precipitaciones sucesivas de lo que pudo ser Tartrato de Calcio durante la concentración y por efecto del calentamiento. Tal comportamiento seguramente es tuvo ligado al PH marcadamente alcalino (10.5) otorgado por la cal.

A continuación se describe el experimento:

Experimento número 27, tuna sin cáscara empleando $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad reactivo.

Se tomó 1.500 litros de jugo natural con un PH de 6.0 y una acidez titulable de 1.93 g/Lt. como ácido cítrico, se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, se le dosificó cal hasta obtener un PH de 10.5, se agitó, luego se aciduló con ácido Tartárico en solución hasta obtener un PH de 6.0 y se dejó reposar durante 12 horas al término de las

cuales se formó Tartrato de Calcio, luego se filtró obteniéndose un litro de jugo de un color verde débil, brillante y con un olor y sabor notorio a cal.

El jugo obtenido en las condiciones anteriores se dividió en dos partes con el propósito de concentrarlo por separado y poder observar el comportamiento de ambos.

Concentración de la primera parte.

Se cargaron los 0.500 litros de jugo al evaporador rotatorio y se procedió a concentrar, a los 36°C de temperatura el jugo comenzó a enturbiarse al grado que alrededor de los 40°C el jugo estaba demasiado turbio, observándose gran cantidad de partículas en suspensión. Por lo que se decidió de tener la concentración para filtrarlo nuevamente. Una vez que el jugo estuvo bien filtrado, se concentró en el mismo equipo hasta 63.8°Bx a 23 pulgadas de Mercurio de vacío y 45-50°C de temperatura, durante la operación no se observaron las partículas en suspensión.

Concentración de la segunda parte.

La otra parte del jugo se concentró hasta 63.8°Bx, el procedimiento fue el siguiente: Se tomó y calentó en baño maría hasta 45°C y la formación de partículas fue mayor. El tiempo de calentamiento fue de 10 minutos. Una vez que estuvo a temperatura ambiente se filtró otra vez, luego se repitió el calentamiento en las mismas condiciones y volvieron a presentarse las partículas en suspensión, razón por la que tuvo que filtrarse una vez más, al término de esto se procedió a concentrarse hasta el punto mencionado al principio del párrafo.

Se deduce que las partículas que aparecen en suspensión al calentarse el jugo en ambos casos son Tartratos que no ha bían precipitado anteriormente.

Bajo los antecedentes del experimento anterior, se introdujeron ciertas modificaciones al procedimiento en el laboratorio con el fin de eliminar el problema de las precipitaciones sucesivas de la sal formada por efecto de la - - reacción entre el ácido usado y el Hidróxido de Calcio disuelto en jugo.

Las modificaciones se detallan a continuación:

1.- Se decidió usar ahora ácido cítrico como medio acidulante (puesto que es el ácido que contiene la tuna).

2.- Se probará el uso de Ca(OH)_2 calidad reactivo e industrial para comparar su efecto.

3.- En este caso la elevación del PH no debía exceder de 9.0.

4.- Luego de agregar el Ca(OH)_2 al jugo se calentará, se dejará reposar un tiempo y se filtrará.

5.- Una vez filtrado el jugo se acidulará hasta obtener el PH original, se volverá a calentar con el propósito de precipitar la sal formada para volver a filtrar nuevamente.

6.- Si después de acidular, calentar, y filtrar persiste el sabor y olor a cal, se usará carbón activado para observar su efecto y finalmente se concentrará.

7.- A lo largo de los experimentos desarrollados se fue aumentando la temperatura y tiempo de calentamiento en el tratamiento con cal, proporcionando una mejor efectividad en cada caso.

8.- A partir del experimento 32, se decidió bajar el PH a un valor de 8 para influir en el sabor y olor a cal del jugo.

A continuación se describen los experimentos que sirvieron para poner en práctica los puntos descritos anteriormente.

Experimento número 28, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad reactivo.

De un jugo obtenido de tuna sin cáscara se tomó 1.500 litros con un PH de 6.0, 1.93 g/Lt. de acidez como ácido cítrico, se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, mediante Ca(OH)_2 se llevó hasta un PH de 9.0, se calentó hasta 60°C de temperatura manteniendo ésta durante 15 minutos, se dejó enfriar y se filtró ayudados de una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose un jugo turbio, se volvió a calentar por segunda vez pero ahora a 70°C , se dejó enfriar y se procedió a filtrar nuevamente para obtenerlo de mejor calidad, pero con un sabor y olor a Ca(OH)_2 muy marcado.

El jugo en este estado se aciduló hasta obtener el PH original, es decir, 6.0, se calentó hasta 60°C , y se dejó reposar 24 horas para finalmente filtrarse y obtenerse ligeramente turbio, con olor y sabor a Ca(OH)_2 bastante disminuido con respecto al obtenido de la primera filtración, se procedió a concentrar hasta 60.2°Bx , obteniéndose un producto no muy brillante, de un color ambar, sin ningún problema de precipitación, y con un olor y sabor característico a Ca(OH)_2 .

Nota: Muestra número 2124.

Experimento número 29, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad reactivo.

De un jugo obtenido a partir de tuna sin cáscara, con un PH de 6.0 y 1.93 g/Lt. de acidez como ácido cítrico, se tomaron 1.500 litros, se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, con Ca(OH)_2 se llevó a un PH de 9.0, se calentó hasta 75°C de temperatura manteniéndola durante 15 minutos, luego se dejó enfriar e inmediatamente se filtró ayudados con una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose ligeramente turbio y con un olor y sabor a cal muy fuerte.

Una vez filtrado el jugo se aciduló con Acido Cítrico en solución hasta un PH de 6.0 y se calentó otra vez a 75°C dejándose reposar 24 horas y filtrarse en las mismas condiciones descritas anteriormente para obtener un producto claro, con un olor y sabor a cal menos intenso, luego se procedió a concentrar en el evaporador rotatorio a 23 pulgadas de mercurio de vacío y 45-50°C de temperatura para obtenerse finalmente un jugo de color ambar y persistiendo el olor y sabor a cal.

Nota: Muestra número 2125.

Experimento número 30, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad reactivo.

El jugo usado para este experimento tiene un PH de 6.0 y una acidez como Acido Cítrico de 1.93 g/Lt., se tomó 2.000 litros y se le agregaron 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, con Ca(OH)_2 se llevó a un PH de 9.0, se procedió a calentar a 80°C manteniéndose esta temperatura 20 minutos, se dejó enfriar y se filtró ayudados de una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose ligeramente turbio con un olor y sabor a cal muy marcado.

El jugo en las condiciones anteriores se aciduló con Acido Cítrico en solución hasta un PH original, se calentó nuevamente a 80°C, se dejó reposar 24 horas y finalmente se filtró en las mismas condiciones del primer paso, se observa que el aspecto del jugo mejora y el sabor y olor a cal disminuyen bastante.

Después de la operación de filtración se concentró con el mismo equipo y condiciones que el anterior para obtener un jugo de 65°Bx, color ambar, aspecto brillante y persistiendo el olor y sabor a cal.

Nota: Muestra número 2126.

Experimento número 31, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad reactivo.

Con el jugo obtenido de tuna sin cáscara por el procedimiento ya descrito anteriormente, con un PH de 6.0 y 1.93 g/Lt. de acidez como Acido Cítrico se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio y con Ca(OH)_2 calidad reactivo se llevó a un PH de 9.0, se calentó hasta 80°C de temperatura.

Una vez que alcanzó los 80°C de temperatura se mantuvo por un tiempo de 30 minutos, luego se dejó enfriar y se filtró con una bomba de vacío y ayuda filtro obteniéndose con una pequeña turbidez, y con un olor y sabor a cal muy desagradable.

El siguiente paso consistió en acidular el jugo con Acido Cítrico en solución hasta un PH igual al inicial para calentarse inmediatamente a 80°C de temperatura manteniéndola durante 30 minutos, después de esto se dejó reposar 24 horas al término de las cuales se filtró obteniéndose más claro y con un olor y sabor de Ca(OH)_2 considerablemente disminuidos.

Ante estos resultados se le agregó 0.5 g/Lt. de carbón activado en polvo, y se volvió a calentar a 80°C y con agitación constante durante 5 minutos posteriormente se dejó enfriar y se filtró también ayudados de una bomba de vacío y ayudafiltro sin observarse ningún cambio importante. Se concentró a 69.4°Bx resultando de un color ambar y persistiendo el olor y sabor a cal.

Nota: Muestra número 2127.

Experimento número 32, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad industrial.

Del jugo obtenido en las mismas condiciones que los anteriores, se tomó 1.300 litros con un PH de 6.2 y 1.93 g/Lt. de acidez como Acido Cítrico, se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio y con cal (Ca(OH)_2 calidad industrial) se llevó hasta un PH de 8.0 e inmediatamente se calentó hasta 80°C de temperatura manteniéndola durante 30 minutos con agitación constante, se dejó reposar durante 24 horas, y se filtró en las mismas condiciones que los anteriores obteniéndose más claro y brillante que en los casos descritos anteriormente pero el olor y sabor a cal desagradables no cambiaron.

Terminado el paso anterior el jugo se aciduló con Acido Cítrico en solución hasta el PH original, se calentó nuevamente a 80°C, se mantuvo así durante 5 minutos con agitación constante, luego se dejó reposar 24 horas al término de las cuales se filtró, obteniéndose más claro y brillante siendo el olor y sabor a cal bastante menores. En estas condiciones se procedió a concentrar con el mismo equipo y condiciones que en los anteriores experimentos resultando al final un jugo de color ambar, brillante, pero persistiendo el olor

y sabor a cal.

Nota: Muestra número 2128.

Experimento número 33, tuna sin cáscara empleando $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial.

Con un jugo obtenido de tuna sin cáscara con un PH de 6.0 y 1.93 g/Lt. de acidez como Acido Cítrico, se tomó 2.000 litros y se le aplicó el siguiente tratamiento: se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se llevó hasta un PH de 8.0, se calentó hasta 80°C de temperatura manteniéndola durante 30 minutos con agitación constante, se dejó enfriar y se procedió a filtrar con una bomba de vacío y ayuda filtro obteniéndose con las mismas características que en el experimento anterior.

El jugo en las condiciones anteriores se aciduló con Acido Cítrico en solución hasta un PH de 6.0, se calentó otra vez a 80°C manteniéndose así durante 5 minutos y con agitación constante, se dejó reposar 24 horas y se filtró para obtenerse también claro y brillante, y con el sabor y olor a cal menos intenso, es decir, igual que en el anterior experimento, luego se agregó 1.0 g/Lt. de carbón activado en polvo, se calentó a 80°C durante 5 minutos agitándose durante este tiempo, al final se dejó enfriar y se filtró en las mismas condiciones que el anterior, no se observó un cambio importante, luego se concentró a 65° Bx para obtenerse de un color ambar, y con el olor y sabor a cal, que desde luego no resultaban tan intensos.

De esta experiencia se deduce que el uso del carbón activado en estas circunstancias no presenta ninguna ventaja por lo que se decide descartarlo definitivamente.

Nota: Muestra número 2129.

Experimento número 34, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad industrial.

Se tomaron 2.000 litros de jugo obtenido en las mismas condiciones que los anteriores, se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, y con Ca(OH)_2 se llevó a un PH de 8.0, se procedió a calentar hasta 80°C durante 30 minutos con agitación constante, luego se dejó enfriar y se procedió a filtrar ayudándonos con una bomba de vacío y ayudafiltro para obtenerse de un color claro y brillante con un olor y sabor a cal muy fuerte, inmediatamente se aciduló con Acido Cítrico en solución hasta un PH de 6.0, se calentó nuevamente a 80°C durante 5 minutos agítándolo durante todo este tiempo, se dejó reposar 2 días y finalmente se filtró obteniéndose brillante y claro, de olor y sabor a cal considerablemente disminuidos.

El jugo en las condiciones anteriores se concentró a 65°Bx en un evaporador rotatorio a 45-50°C de temperatura y 23 pulgadas de Mercurio de vacío. El producto que se obtuvo tiene un aspecto brillante, un color ambar, y un olor y sabor a cal.

Nota: Muestra número 2130.

Experimento número 35, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad industrial.

El jugo usado para este experimento es del obtenido por el mismo procedimiento que los anteriores, se tomó 2.000 litros con un PH de 6.0, 1.93 g/Lt. de acidez como Acido Cítrico, se le agregó 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, con Ca(OH)_2 calidad industrial se llevó hasta un PH de 8.0,

se procedió a calentar hasta 80°C de temperatura manteniéndola durante 30 minutos y agitando todo ese tiempo, luego se dejó reposar hasta que flocculó completamente y se filtró ayudados con una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose de un aspecto claro y brillante pero con un olor y sabor a cal desagradable.

Terminado el paso anterior se aciduló con Acido Cítrico en solución hasta obtener un PH de 6.0, luego se calentó hasta 70°C durante 5 minutos y agitando constantemente para después dejarlo reposar durante 24 horas y filtrar también con una bomba de vacío y ayudafiltro, el jugo resulta claro y brillante, con el sabor y olor a cal bastante disminuidos, inmediatamente se procedió a concentrar hasta 65°Bx resultando de un color ambar muy brillante y sobre todo sin problemas de precipitación pero con el sabor y olor a cal persistiendo.

Nota: Muestra número 2131.

Experimento número 36, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad industrial.

Se tomaron 2.000 litros de jugo obtenido de tuna sin cáscara con un PH de 6.0 y 1.93 g/Lt. de acidez como Acido Cítrico, se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio, con Ca(OH)_2 de calidad industrial se llevó hasta un PH de 8.0, inmediatamente se procedió a calentar a 80°C de temperatura manteniéndola durante 30 minutos y agitando todo este tiempo, luego se dejó reposar lo suficiente para obtener una flocculación lo más completa posible, al término de esto se filtró auxiliados de una bomba de vacío y ayudafiltro para obtener un jugo claro y brillante, de un aspecto aceptable y con sabor y olor a cal muy marcado.

El jugo en las condiciones anteriores se acidula con Acido Cítrico en solución hasta obtener un PH de 6.0, se calienta a 70°C de temperatura manteniéndola 5 minutos y agitando constantemente, luego se dejó reposar 24 horas para finalmente filtrar en las mismas condiciones de la primera filtración obteniéndose claro y brillante, y con un olor y sabor a cal bastante menor que en anterior operación, inmediatamente se procede a concentrar hasta 74°Bx resultando de un color ambar, brillante, con un sabor y olor a cal, y sin presentar problemas de precipitación.

Nota: Muestra número 2132.

3.8- DEFINICION DEL PROCESO A BASE DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Con los resultados anteriores se pudo definir el tratamiento para la eliminación del material en suspensión del jugo dentro del proceso de obtención del edulcorante usando cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) calidad industrial.

1.- Una vez obtenido el jugo de parte carnosa (tuna sin cáscara) por prensado, se le agrega 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante. La cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial a agregar deberá ser la suficiente para obtener un PH de - 7.8 - 8.2

2.- Al terminar de agregar el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial se deberá calentar inmediatamente a una temperatura de 75-80°C y mantenerla entre 25-30 minutos con agitación constante.

3.- Tan pronto se haya llevado a cabo el punto 2, se dejará reposar durante el tiempo suficiente para una floculación lo más completa posible y se filtrará.

4.- El filtrado se acidulará con Acido Cítrico en solución hasta un PH igual al inicial, inmediatamente se procedará a calentar nuevamente a 70-75°C durante un tiempo de 5-10 minutos con agitación constante, al término de esto se dejará reposar 24 horas y se filtrará obteniéndose un jugo listo para concentrarse sin problemas de precipitación.

Hasta el punto 4 se tiene solucionado el problema de la eliminación del material en suspensión del jugo, pero queda pendiente el olor y sabor a cal, por lo que se insistió en el uso del carbón activado no en polvo sino granular y tampoco empleado en las condiciones descritas anteriormente, mas

bien se usará como empaque en una columna y hacer pasar el jugo a través de ella inmediatamente después de la segunda filtración, basados en el proceso de purificación de agua que se lleva a cabo en Refrescos Pascual, donde en una etapa final se usa una columna empacada con carbón activado granular, para obtener el agua inodora e incolora. Análogamente, se espera que con la utilización de una columna similar se obtenga una solución azucarada igualmente inodora e incolora.

Para este efecto se utilizó una columna, disponible en el laboratorio, de 1.5 metros de longitud y 5 centímetros de diámetro, de acero inoxidable.

Con este planteamiento se realizaron los experimentos descritos a continuación.

Experimento número 37, tuna sin cáscara empleando Ca(OH)_2 calidad industrial.

Propósito: Uso de carbón activado granular como empaque en una columna para decolorar el jugo, y eliminar olor y sabor a Ca(OH)_2 .

Se tomó una cantidad de tunas, se le quitó la cáscara y se depositó en manta de cielo colocándose en una prensa manual para obtener un jugo con un PH de 6.0 y 1.93 g/Lt. de acidez como Acido Cítrico, luego se le agregó 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, con Ca(OH)_2 calidad industrial se llevó a un PH de 8.0 calentándose a una temperatura de 80°C manteniéndose así durante 25 minutos y con agitación constante, al término de esto se dejó flocular y se filtró ayudados de una bomba de vacío y ayudafiltro obteniéndose claro y bri

llante, con un olor y sabor a cal muy notorio. Luego se aci
duló con Acido Cítrico en solución hasta un PH de 6.0, se ca
lentó a 72°C durante 5 minutos con agitación constante, se
dejó reposar 24 horas y se filtró en las mismas condiciones
que el paso anterior, se obtuvo un jugo claro y brillante y
con un olor y sabor a cal menos intenso.

El carbón activado granular que se usará como empaque
en la columna se depositó en un recipiente con agua, calen-
tándose hasta 90°C manteniéndose esta temperatura 30 minutos
para esterilizarlo y evitar de esta manera que el jugo al pa
sar a través de él se contamine, inmediatamente se coloca en
una columna de 1.5 metros de altura y 5 centímetros de diáme-
tro y se procede a pasar el jugo a través de ella con un flu
jo de 125 ml/minuto para obtenerse incoloro, brillante, sin
olor y sabor a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ listo para concentrarse.

La operación de concentración se llevó a cabo en el eva
porador rotatorio a 45-50°C de temperatura y 23 pulgadas de
Mercurio de vacío hasta 65.0°Bx, durante la operación no se
observó ningún aglutinamiento, ni precipitación, se obtuvo
de un color ambar, de aspecto brillante y sin sabor y olor a
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Nota: Muestra número 2134.

Experimento número 38, tuna sin cáscara empleando
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial.

Del jugo obtenido en las mismas condiciones que el usa-
do en el experimento anterior, con un PH de 6.0 y 1.93 g/Lt.
de acidez como Acido Cítrico, se le agregó 1.0 g/Lt. de Ben-
zoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de
Sodio como antioxidante, con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se llevó hasta un PH de

8.0, se procedió a calentar hasta 80°C de temperatura manteniéndola durante 25 minutos con agitación constante, al término de éste se dejó reposar con el objeto de que flocule, luego se filtró ayudándonos con una bomba de vacío y ayuda-filtro, al término de dicha operación se obtuvo un jugo claro y brillante con un sabor y olor a cal desagradables. Inmediatamente se aciduló con Acido Cítrico en solución hasta un PH igual al inicial, se calentó durante 8 minutos a 70°C de temperatura con agitación continua, al final de la cual se dejó reposar 24 horas y se filtró de la misma forma que en la primera filtración, obteniéndose claro y brillante, de un olor y sabor a cal menos intenso comparado con el producto que se obtiene como primer filtrado.

El jugo en las condiciones anteriores se alimentó a la columna empacada con carbón activado granular con un flujo volumétrico de 125 ml/minuto, al final de la operación de adsorción se obtiene incoloro y brillante y sin sabor ni olor a cal. Inmediatamente se procedió a concentrarlo en el evaporador rotatorio a 45-50°C de temperatura y 23 pulgadas de Mercurio de vacío hasta 65.0°Bx, sin observarse ningún aglutamiento de partículas en suspensión, ninguna precipitación, ni turbidez durante la operación, al final de la cual se obtiene un jugo de color ambar muy brillante, y de sabor característico a miel.

Nota: Muestra número 2135.

Este experimento se repitió 2 veces más con los mismos resultados, de tal manera que se puede decir que a nivel de laboratorio el problema de eliminación de material en suspensión, el color verde del jugo de tuna, y el olor y sabor a Ca(OH)_2 están resueltos.

Con las experiencias acumuladas hasta este momento se tienen los recursos suficientes para plantear el proceso definitivo a base de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial, a nivel de la boratorio quedando de la siguiente manera:

1.- Una vez obtenido el jugo de parte carnososa (tuna sin cáscara) con un PH de 6.0, 1.93 g/Lt. de acidez como Acido Cítrico, se le agrega 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, la cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial a agregar debe rá ser la suficiente para obtener un PH de 7.8 - 8.2

2.- La adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial se hará hasta obtener el PH mencionado anteriormente en el punto 1 y se calentará inmediatamente a una temperatura de 75-80°C y mantenerla entre 25-30 minutos con agitación constante.

3.- Terminado el paso 2, se dejará reposar durante un tiempo suficiente para una floculación lo más completa posible, y se filtrará.

4.- El jugo filtrado se acidulará con Acido Cítrico en solución hasta un PH igual al inicial, inmediatamente se pro cederá a calentar a 70-75°C, durante un tiempo de 5-10 minutos con agitación constante al término de la cual se dejará reposar 24 horas y se filtrará obteniéndose un jugo listo pa ra concentrarse, pero con un olor y sabor a cal.

5.- El carbón activado granular a usarse en la columna deberá calentarse en agua a 90°C de temperatura durante 15 minutos para evitar que en la columna al pasar el jugo a tra vés de ella se contamine. El contacto del jugo con el carbón activado deberá ser el suficiente para decolorar, y eliminar el olor y sabor a $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

6.- El jugo obtenido después de la operación de adsorción estará listo para pasar a concentrarse en un evaporador rotatorio hasta 70°Bx a una presión de 23 pulgadas de Mercurio de vacío, y 45-50°C de temperatura, obteniéndose de esta forma de un color ambar, brillante, sin olor y sabor a cal.

Nota: Con el procedimiento descrito anteriormente se realizaron 2 experimentos más, con el propósito de corroborar los datos y condiciones, obteniéndose en cada caso los mismos resultados.

SOLO LECTURA

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1- DISCUSION DE RESULTADOS

Con la definición de dos diferentes procesos a nivel laboratorio, se dieron por terminadas las actividades experimentales. Del acopio de información reunida durante las experiencias de laboratorio, podemos establecer las siguientes conclusiones generales para ambos procesos.

1.- Resulta más conveniente utilizar la tuna sin cáscara que usarla entera. Particularmente para evitar problemas durante las operaciones de filtrado y concentración. Así como para no demeritar la calidad del producto final.

2.- Es necesario agregar 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador y 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante al jugo antes del tratamiento de floculación con el propósito de evitar descomposición y una rápida oxidación del mismo, que influye en la calidad final del edulcorante.

3.- Las variables de concentración del jugo, usadas en ambos casos son 21-23 pulgadas de Mercurio de presión de vacío y 20-50°C de temperatura.

Comparativamente, se puede decir lo siguiente:

1.- El proceso enzimático tiene el inconveniente del mayor costo del enzima contra el menor costo de la cal industrial.

2.- El proceso con Ca(OH)_2 calidad industrial, presenta mayor número de operaciones unitarias que el enzimático, pero el costo de Ca(OH)_2 es muy inferior al del enzima.

3.- Por lo anterior, resulta mas recomendable un proceso a base de hidróxido de calcio, para ser probado a nivel planta piloto.

4.2- DESCRIPCION DE LOS PROCESOS A NIVEL LABORATORIO PARA LA OBTENCION DEL EDULCORANTE

De la información experimental obtenida se pueden describir dos tipos de procesos a nivel laboratorio para la obtención del edulcorante buscado: Uno, el derivado de la utilización de enzima (pectinasa) y dos, el generado mediante la aplicación de Hidróxido de Calcio (cal industrial); ambas sustancias tienen el mismo fin de eliminar el material en suspensión, principalmente, sustancias pécticas presentes en el jugo obtenido de la tuna (sin cáscara) por prensado.

A continuación se hace la descripción de cada proceso:

DESCRIPCION DEL PROCESO ENZIMATICO

1.- SELECCION DE LA FRUTA. Tal selección debe considerar que la fruta en descomposición o verde no debe ser utilizada, para no demeritar la calidad del producto final.

2.- LAVADO DE LA FRUTA. La fruta seleccionada recibe una operación de lavado (con agua y un jabón neutro) con objeto de mantener ciertas condiciones higiénicas durante el proceso, así como eliminar ahuate remanente.

3.- CORTADO DE LA TUNA. Con el objeto de eliminar la cáscara, de la misma, se cortan los extremos con un cuchillo de hoja inoxidable; a continuación se hace una incisión a lo largo de la tuna, que abarque únicamente el espesor de la cáscara, finalmente, levantando por el corte, se desprende la cáscara de la parte carnosa.

4.- PRENSADO. Dicha operación se realiza de forma manual con la ayuda de una manta de cielo que evite la incorporación de las huesecillos y materia fibrosa al jugo que escurre a través de la manta y se deposita en un vaso de precipitados de

perapropilado de 4 litros de capacidad. Finalmente se le adiciona 1.0 g/Lt. tanto de Benzoato como de Bisulfite de Sodio.

5.- TRATAMIENTO ENZIMATICO. El jugo obtenido mediante el prensado se pone a calentar en un vaso de precipitados en baño maría, cuando tiene 35°C de temperatura se toma un poco y se disuelve la pectinasa Byocon previamente pesada, para luego disueltos agregarla al jugo y seguir calentando hasta 53-55°C durante 2 horas con agitación cada media hora (es importante la temperatura constante ya que la pectinasa usada se desactiva alrededor de 60°C).

6.- REPOSO. Luego del calentamiento, se deja reposar el jugo durante 24 horas, a fin de que la pectinasa realice su trabajo; el reposo se realiza a temperatura ambiente.

7.- FILTRACION. A las 24 horas puede efectivamente observarse el resultado del trabajo enzimático que ha depositado una capa de color oscuro verdoso y de un par de centímetros, en el fondo del vaso de precipitados. Acto seguido, se procede a filtrar el jugo mediante el auxilio de una bomba de vacío, papel filtro (característicos) y ayuda filtro.

8.- CONCENTRACION. El jugo filtrado, que deberá ser de apariencia cristalina de color ligeramente verde, de olor y sabor a tuna agradable, es concentrado en un evaporador rotatorio, con un baño de agua con temperatura regulable. Las variables de operación son 21-23 pulgadas-Hg. de presión de vacío y temperatura máxima de 50°C. La concentración se lleva a efecto hasta 65-70°Bx, lo que se verifica mediante la apariencia melosa del concentrado y el volumen de condensado obtenido. El jugo resultante es brillante, de un color ligeramente ambar, de olor y sabor a tuna agradables.

9.- ENVASADO. Una vez obtenido el producto concentrado, se determina su concentración final de azúcares mediante el uso de un refractómetro y finalmente es envasado y rotulado.

para su identificación, en un frasco de sellado hermético.

DESCRIPCION DEL PROCESO CON HIDROXIDO DE CALCIO

Puesto que los cuatro primeros pasos de este proceso son idénticos a los del proceso enzimático, por tanto, se empezará a describir el proceso con hidróxido cálcico, a partir del quinto paso, el de la aplicación del tratamiento al jugo.

1.- SELECCION DE LA FRUTA

2.- LAVADO DE LA FRUTA

3.- CORTADO DE LA TUNA

4.- PRENSADO

5.- TRATAMIENTO DEL JUGO. El jugo obtenido del prensado se trata de la siguiente manera: Se le agrega $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial suficiente para obtener un PH entre 7.8 y 8.2 luego se calienta hasta 80°C de temperatura manteniéndola así durante 25-30 minutos con agitación constante, al término de esto se deja reposar con el propósito de que flocule al máximo para luego proceder a filtrar.

6.- PRIMERA FILTRACION. El jugo tratado se filtra mediante la ayuda de una bomba de vacío, papel filtro y ayudafiltro.

7.- ACIDULACION. El jugo filtrado se acidula con Acido Cítrico en solución hasta un PH igual al original (antes del tratamiento con cal) y se calienta de $70-75^\circ\text{C}$ durante 5-10 minutos, con agitación constante.

8.- REPOSO. A continuación el jugo acidulado se tapa y se deja reposar a temperatura ambiente durante 24 horas. Con objeto de precipitar los citratos formados.

9.- SEGUNDA FILTRACION. Luego de 24 horas, se procede a filtrar el jugo con la ayuda de una bomba de vacío, papel filtro y ayudafiltro. El jugo filtrado deberá ser de apariencia

cristalina, ligeramente verde y con un débil sabor y olor a Ca(OH)_2 .

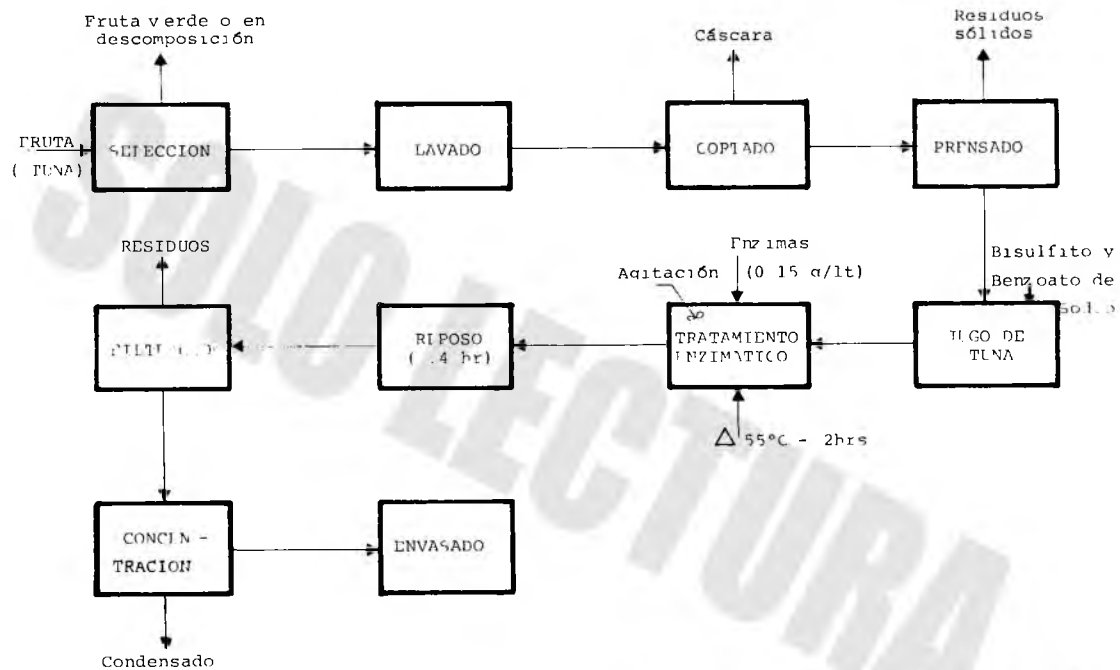
10.- ADSORCION. A continuación el jugo filtrado sufre una operación de adsorción mediante la utilización de una columna empacada con carbón activado granular, previamente lavado; tal operación tiene por objeto eliminar el olor y sabor a cal, así como decolorar el jugo.

11.- CONCENTRACION. La concentración de líquido azucarado obtenido luego de la operación de adsorción, se realiza de la misma forma que en el proceso anterior.

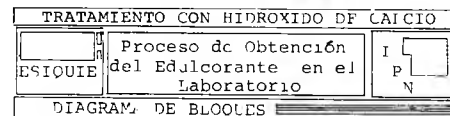
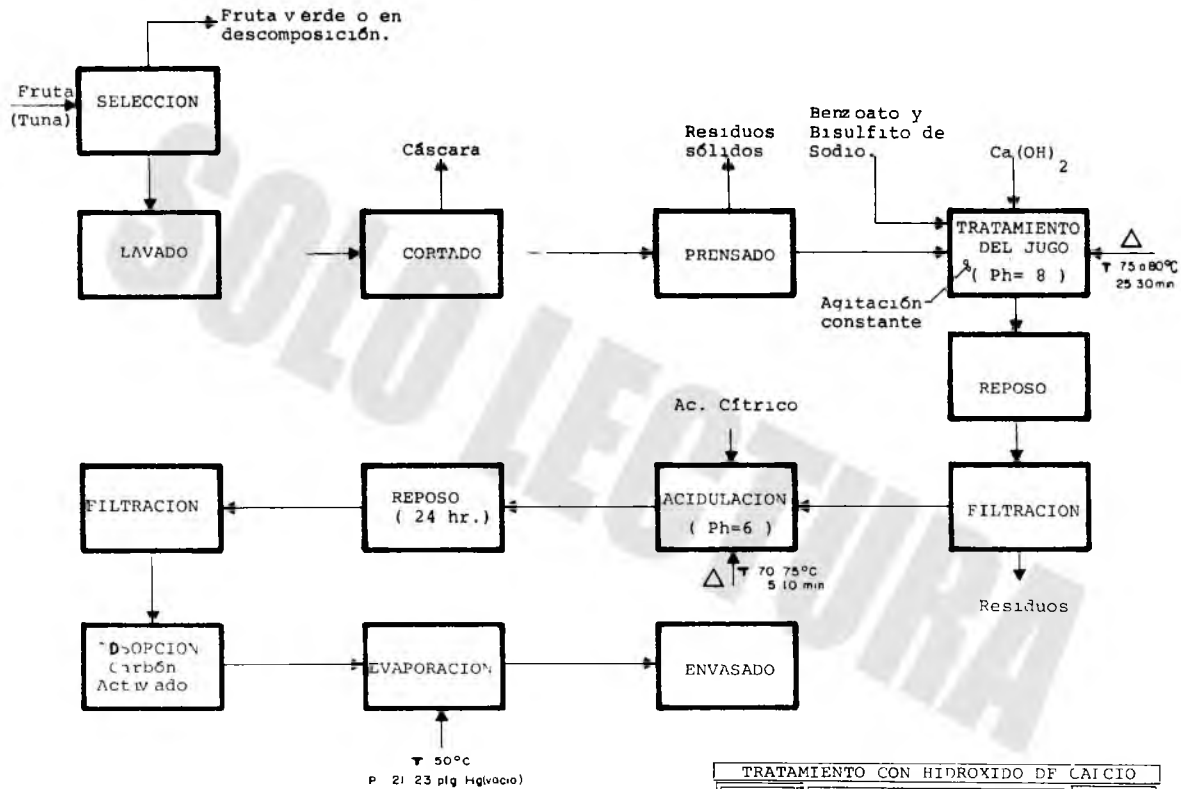
12.- ENVASADO. Finalmente se determina la concentración en grados $^{\circ}\text{Bx}$ del producto y se envasa en un frasco de vidrio con cierre hermético.

4.3- DIAGRAMAS DE AMBOS PROCESOS

A continuación se muestran los diagramas de bloques de los procesos descritos para la obtención del edulcorante a nivel laboratorio:



TRATAMIENTO ENZIMATICO		
ESQUIUE	Proceso de obtención del Edulcorante a nivel de Laboratorio	I.P.N.



PROPOSICION DE UNA PLANTA PILOTO

5.1- EXPERIMENTOS A NIVEL PLANTA PILOTO

Se llevó la fruta a la planta de procesos de la empresa de Refrescos Pascual, S. A., se usó el procedimiento de obtención a nivel de laboratorio encontrándose un inconveniente importante. El paso del proceso de pelado de la fruta resultaba demasiado lento para alimentar a una prensa, sin embargo dado que dicho procedimiento en el laboratorio resultaba efectivo se pensó en una forma de hacer el paso más rápido, encontrándose que dadas las circunstancias, lo más viable era aumentar el número de personas para hacerlo, siendo de 6 a 18 sin resultados positivos.

El intento descrito anteriormente decidimos repetirlo con 50 personas, las cuales sí fueron suficientes para alimentar la prensa y de esta forma hacer el proceso más rápido. Con este resultado se convocó una reunión con nuestro asesor de tesis el Ing. Rafael Chávez Texeiro, donde nos aconsejó que ese camino costaba mucho dinero, razón por la que tuvo que descartarse el procedimiento y pensar en otras alternativas que se describen a continuación:

PRIMER INTENTO

Una persona con gafas protectoras para los ojos y una mascarilla para boca y nariz cargó el sistema de lavado con 300.0 Kg. de fruta, a la salida es colocada en un elevador de congilones donde durante su recorrido se le asperja agua a presión para eliminar residuos de detergente (enjuague), y la deposita en una banda transportadora de selección donde se eliminan las frutas en condiciones no aptas para procesarse (muy verdes o en descomposición), pasan inmediatamente a una mesa

donde se rebanan a lo corto con cuchillos en varios cortes y se alimentan a la prensa observándose que la velocidad de alimentación es suficiente. Se obtiene un jugo viscoso y de un color verde muy fuerte.

Al jugo en las condiciones anteriores se le aplica el tratamiento a base de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que en la planta piloto consiste en lo siguiente: En el prensado el jugo se deposita en un tanque de acero inoxidable de 200 litros donde se le agrega 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, luego se agita con un agitador - - eléctrico y se bombea a una marmita de 300 litros donde se agrega $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial suficiente para obtener un PH de 8.0, se procede a calentar hasta 80°C de temperatura durante 25 minutos con agitación constante, al término de esto se deja en reposo hasta que flocule al máximo e inmediatamente filtrar se con una filtradora y ayudados con 10.0 g/Lt. de ayudafiltro, se puede observar que durante la operación de filtrado existen problemas.

Una vez que el jugo está en condiciones aceptables de filtración se bombea a la marmita donde se acidula con ácido cítrico en solución hasta obtener el PH inicial y se calienta nuevamente a 70°C con agitación constante y durante 7 minutos, luego se deja reposar 24 horas y se filtra con una filtradora y ayudados con 5.0 g/Lt. de ayudafiltro resultando clare y viscoso y con un sabor a cal aunque no muy intenso.

En la planta de Refrescos Pascual no se cuenta con una columna para empacarla con carbón activado granular, y el uso del evaporador no se justifica para un volumen de jugo como el que nosotros manejamos de manera que se tomó del jugo filtrado 5 litros y se llevaron al laboratorio donde se hicieron pasar a través de la columna empacada con carbón activado granular

presentando problemas debido a lo viscoso, y sobre todo que solamente pierda color persistiendo el olor y sabor a cal. El procedimiento se repitió dos veces con el mismo resultado, que nos sirvió para concluir 2 aspectos importantes.

1.- El proceso con tuna sin cáscara obtenida manualmente tendía a ser muy costoso y por lo tanto queda descartado.

2.- Se tiene que usar tuna entera (tuna con todo y cáscara) para el proceso, pero se debe evitar que al ser cortada se prensa junto con la pulpa (parte carnososa) para evitar que la cáscara incorpore sustancias que dan al jugo ese aspecto viscoso. Por otro lado, lo importante debe ser entonces encontrar la forma de obtener el jugo sin prensar.

SEGUNDO INTENTO

En este procedimiento se cambió el sistema de rebanada por el de despedazado (una despulpadora), se llevó a cabo de la siguiente manera:

Una persona con protección para ojos, boca y nariz alimentó con 300.0 Kg. de fruta una banda transportadora que conecta directamente con un sistema de lavado, después de lavarse es colocada en un elevador de congelones, donde durante su recorrido se le asperja agua a presión para eliminar residuos de detergente (enjuague), luego pasa a una banda transportadora de selección donde se eliminan las tunas que no están en condiciones de procesarse (muy verdes o en descomposición), la fruta en buenas condiciones es alimentada a una máquina con un molino de cuchillas que la despedaza en forma irregular y por gravedad es depositada en el primero de dos coladores colocados en serie de mayor a menor tamiz, para obtener por un lado

cáscara y semilla y por el otro el jugo con algunas partículas de fibra, de color verde fuerte, ligeramente viscoso y con un sabor característico a tuna aceptable. Es recolectado en el tanque de 200 litros de acero inoxidable donde se le agrega 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio y 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio.

Al jugo obtenido se le aplicó el tratamiento a base de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ igual que en el experimento anterior presentando algo de dificultad durante la filtración y obteniéndose al final con un color verde débil y un poco viscoso, con un sabor y olor a cal también muy leve después de haber pasado por la columna empacada con carbón activado granular. Se concentró en el evaporador rotatorio hasta 65°Bx, a una temperatura de 45-50°C y 23.0 pulgadas de Mercurio de vacío, observándose un poco viscoso.

Este proceso se repitió 2 veces en las mismas condiciones y obteniendo los mismos resultados. Se dedujo que el problema está en el despedazamiento de la fruta, puesto que al romper la cáscara y estar junto con la pulpa, vuelve a interferir proporcionando el aspecto viscoso.

TERCER INTENTO

Una persona con protección para ojos, boca y nariz alimentó una banda transportadora con 300.0 Kg. de fruta que es depositada en un sistema de lavado, donde al término de ésta es dejada en un elevador de congelones en el que durante su recorrido se le asperja agua a presión con el propósito de quitar residuos de detergente (enjuague), después pasa a una banda transportadora de selección donde se elimina la fruta que no está en condiciones óptimas de proceso, luego pasa a una mesa de madera donde se corta a lo largo con cuchillos en varios

cortes e inmediatamente se alimenta al primero de dos coladores colocados en serie de mayor a menor tamiz obteniendo por un lado la cáscara y semilla y por el otro el jugo con pequeñas partículas de fibra, de color verde normal, con un aspecto aceptable y un sabor característico a tuna fresca. Se le agrega inmediatamente 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio y 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio.

Se le aplicó el tratamiento a base de Ca(OH)_2 y no presentó problemas durante la filtración, en la columna empacada con carbón activado granular todo funcionó normal obteniéndose un jugo brillante listo para concentrarse, incoloro y con un olor y sabor ligerísimo a cal. Se procedió a concentrar en el evaporador rotatorio hasta 65°Bx, a una temperatura de 45-50°C y 23.0 pulgadas de Mercurio de vacío, resultando de un color ambar, brillante con un sabor característico a miel.

Como se puede ver en este experimento todo parece funcionar de acuerdo a lo que se pretende, excepto que en lugar de dos coladores tal vez el jugo se obtenga en mejores condiciones con tres, se repite el experimento con esta variante.

CUARTO INTENTO

Para llevar a cabo este experimento se usaron 300.0 Kg. de fruta, una persona con gafas protectoras para los ojos, y una mascarilla para proteger boca y nariz los alimentó a una banda transportadora que conecta directamente a un sistema de lavado (lavadora rotativa de cilindro), después de lavarse es depositada en un elevador de cangilones, donde durante su recorrido se le asperja agua a presión con el propósito de quitar residuos de detergente (enjuague), luego es colocada en

una banda transportadora de selección donde se permite el paso solo a la fruta en condiciones óptimas de proceso, es decir la verde y la que está en proceso de descomposición se desecha, pasa luego a una mesa de madera donde 8 personas, 4 por cada lado, la rebanan a lo largo en varios cortes para alimentarla inmediatamente al primero de tres coladores colocados en serie y de un mayor a menor tamiz para obtener al final del tercero un jugo de color verde, con sabor y olor a tuna aceptables. Se le agrega 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante, y 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, al estar recolectado en un tanque de acero inoxidable de 200.0 litros provistos de un agitador eléctrico.

Una vez que el jugo se agitó y el conservador y antioxidante están bien distribuidos se bombea a una marmita de 300 litros de capacidad donde se le agrega $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial suficiente para obtener un PH de 8.0 e inmediatamente calentar hasta 80°C durante 25 minutos con agitación constante, al término de esto se deja reposar para que flocule al máximo posible para luego filtrarse en una filtradora y ayudándonos con 10.0 g/Lt. de ayudafiltro y obtenerse de un aspecto ceptable, con olor y sabor a cal.

Una vez terminada la operación de filtrado se pasa a otra marmita de la misma capacidad donde se procede a acidular con ácido cítrico en solución hasta obtener un PH igual al inicial, y calentar otra vez a 70°C durante 7 minutos con agitación constante, luego se deja reposar 24 horas y se filtra con una filtradora y 5.0 g/Lt. de ayudafiltro resultando un jugo claro, brillante, de un aspecto aceptable y con un sabor y olor a cal aunque no intenso.

En el primer intento se explica por qué no se realizan en la planta piloto las operaciones de adsorción y concentración por lo que se procede de la misma manera, es decir, se llevan 5 litros del jugo filtrado a el laboratorio, se hacen pasar a

través de la columna empacada con carbón activado granular, se chequea que a la salida no tenga olores de ningún tipo que sea incoloro y brillante e inmediatamente se toma de éste un litro y se concentra en el evaporador rotatorio hasta 70°Bx, 45-50°C de temperatura, y 23.0 pulgadas de Mercurio de vacío, para obtenerse de un color ambar, brillante, y de un sabor dulce agradable.

El experimento se repitió dos veces más, una de las cuales se hizo en presencia del asesor que dió su aprobación.

SOLO LECTURA

5.2- DESCRIPCION DEL PROCESO A NIVEL PLANTA PILOTO PARA OBTENER EL EDULCORANTE A PARTIR DE TUNA BLANCA

PROCESO USANDO MARMITAS PARA EL CALENTAMIENTO Y TRATAMIENTO DEL JUGO

Una persona con gafas protectoras para los ojos y protegiéndose la boca y nariz con una mascarilla, alimenta con 300.0 Kg. de fruta a una banda transportadora que conecta directamente con el sistema de lavado (lavadora rotativa de cilindro para fruta), al final de esta operación es depositada en un elevador de cangilones en el cual durante su recorrido se le asperja agua a presión para eliminar residuos de detergente (enjuague), luego es colocada en una banda transportadora de selección donde la fruta que no está en condiciones óptimas de proceso es eliminada (verde o en descomposición), la tuna en buen estado es conducida a una mesa de madera rígida donde 8 personas, 4 por cada lado la rebanan a lo largo en varios cortes.

En las condiciones anteriores la fruta es alimentada al primero de tres coladores colocados en serie y de un tamiz de mayor a menor tamaño, obteniéndose al final del tercero un jugo de aspecto aceptable, de un olor y sabor a tuna muy agradable, de un PH de 6.2, 1.93 g/Lt. de acidez titulable como ácido cítrico, de 13⁰Bx y solamente con algunas partículas de fibra en suspensión, es recolectado en un tanque de acero inoxidable de 300 litros y provisto de un agitador eléctrico, aquí se le agrega inmediatamente 1.0 g/Lt. de Benzoato de Sodio como conservador, 1.0 g/Lt. de Bisulfito de Sodio como antioxidante y se agita durante 5 minutos.

Una vez que el jugo fue agitado se bombea a una marmita de acero inoxidable donde se le agrega $\text{Ca}(\text{OH})_2$ calidad industrial suficiente para obtener un PH de 8.0, inmediatamente se procede a calentar hasta una temperatura de 80⁰C manteniéndola durante 25 minutos y con agitación constante, luego se

deja reposar con el propósito de que flocule, al término de lo cual se le agrega 10.0 g/Lt. de ayuda filtro para facilitar la operación de filtración durante su paso por una filtradora. el jugo ya filtrado es bombeado a otra marmita también de acero inoxidable donde se acidula con ácido cítrico en solución hasta obtener un PH de 6.2, o sea el inicial, se calienta hasta 70°C de temperatura manteniéndola durante 5 minutos con agitación constante al término de los cuales se deja reposar durante 24 horas agregándosele 1.0 g/Lt. de ayuda filtro para ayudar a la operación de filtrado en una filtradora, el jugo obtenido es claro, brillante y de un olor y sabor ligero a $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

En los experimentos anteriores se explica la razón por la que en la planta pilote no se realizan las operaciones de adsorción y concentración por lo que se procede a tomar 5 litros del jugo filtrado y se llevan al laboratorio donde se hacen fluir a través de la columna empacada con carbón activado granular de 1.5 metros de alto y 5 centímetros de diámetro obteniéndose inodoro, incoloro y con un sabor dulce agradable, de éste se toma un litro y se carga el evaporador rotatorio donde se concentra hasta 70°Bx a una presión de vacío de 23.0 pulgadas de Mercurio y 45-50°C de temperatura para finalmente obtenerse de un color ambar, brillante y con un sabor característico a miel.

5.3- DIAGRAMA DEL PROCESO

A continuación se muestran los diagramas del proceso descrito anteriormente para la obtención del edulcorante a partir de tuna blanca.

SOLO LECTURA

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UN EDULCORANTE
A PARTIR DE TUMA BLANCA A NIVEL PLANTA PILOTO

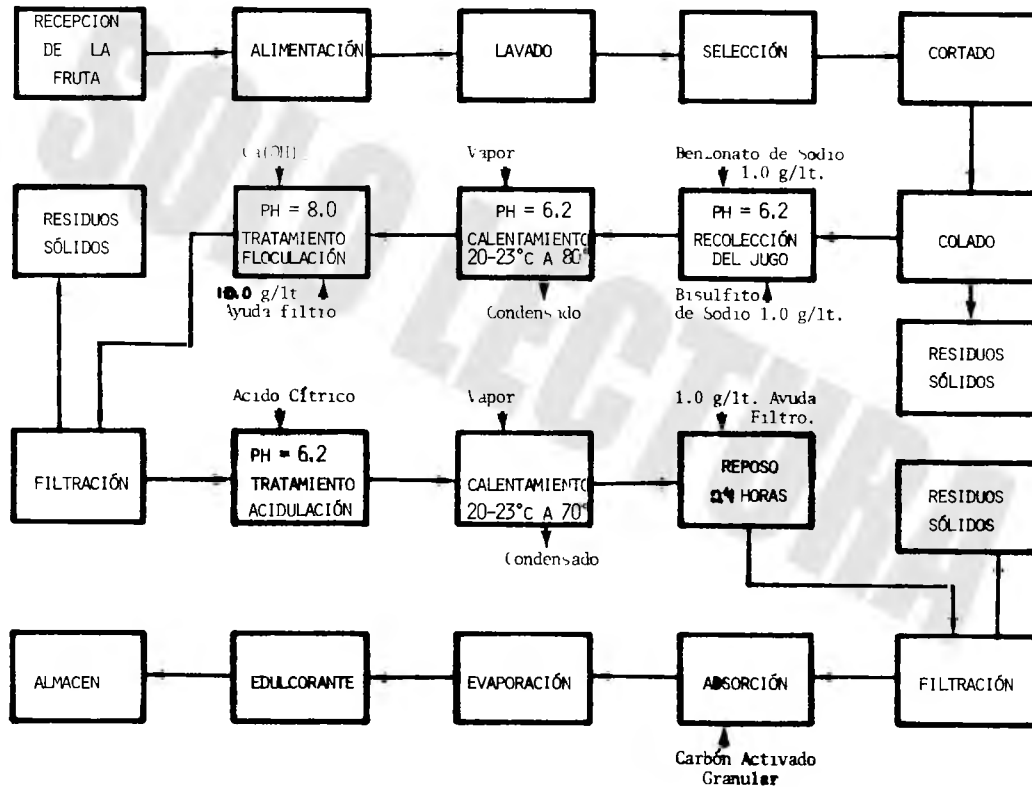
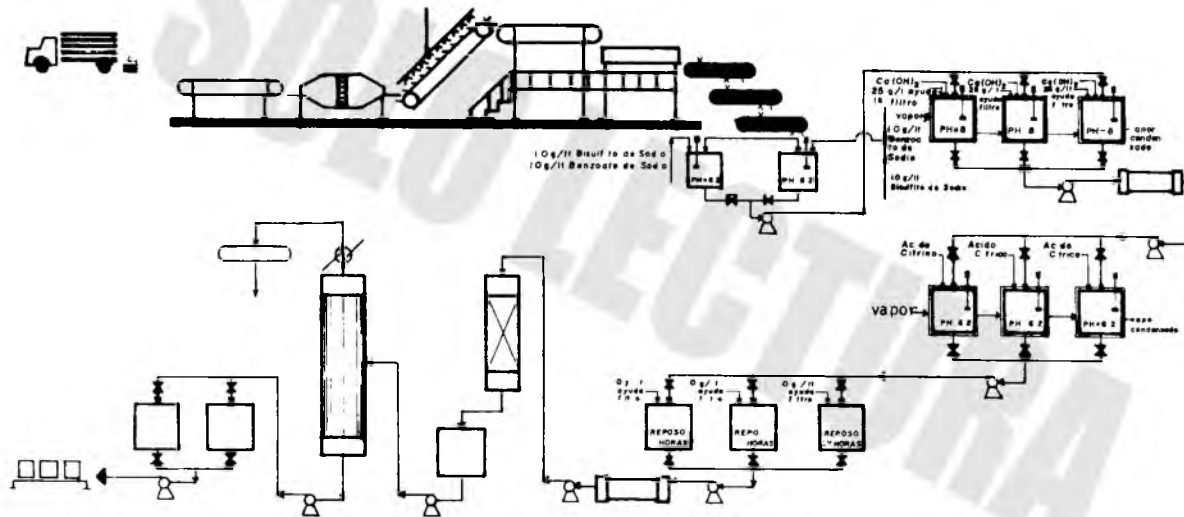


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PARA LA OBTENCION DE UN EDULCORANTE
A PARTIR DE TUNA BLANCA A NIVEL PLANTA PILOTO



5.4- EQUIPO RECOMENDADO PARA EL PROCESO

1.- Banda transportadora de lona y rodillos colocada a un metro de altura, de 4.0 metros de largo y 1.5 metros de ancho accionada por un motor de 1.0 H. P. de potencia y un reductor de tamaño 517 serie 832999 con reducción de 60/1 con una polea motriz de 6" y una reducción de 12".

2.- Lavadora rotativa de cilindro para fruta.

3.- Elevador de canchales de 0.50 metros de ancho y 4.0 metros de largo, accionado por un motor de 1.0 H.P. de potencia y un reductor de tamaño 517 serie 832999 con reducción de 60/1 y con una polea motriz de 6" y una reducción de 12".

4.- La tubería para el asperjado es de 1.0" de diámetro de acero inoxidable con salidas cada 25 centímetros y una longitud de 4.0 metros.

5.- Banda transportadora colocada a 3.0 metros de alto de lona y rodillos de 4.0 metros de largo y 1.0 metro de ancho, accionada por un motor de 1.0 H. P. de potencia y un reductor de tamaño 517 serie 832999 con reducción de 60/1, con una polea motriz de 6" y una reducción de 12".

6.- Mesa de madera de 3.0 metros de largo y 1.0 metro de ancho.

7.- Escalera y plataforma de metal para tener acceso a la banda de selección y la mesa de cortado.

8.- 3 Tamices de un cuerpo de diámetro de 20" de acero inoxidable con mallas del mismo material.

9.- 2 Tanques de acero inoxidable de lámina calibre 20 con una capacidad de 1000 litros, provistos de un agitador eléctrico de 1 H. P. de potencia.

10.- Una bomba centrífuga de 1 H. P. de potencia de acero inoxidable.

11.- 3 tanques de acero inoxidable de lámina calibre 20 encaquetados de una capacidad de 2000 litros, provistos de un agitador eléctrico de 1 H.P. de potencia.

12.- Una bomba centrífuga de 2 H.P. de potencia de acero inoxidable.

13.- Un filtro prensa de 60 placas.

14.- Una bomba centrífuga de 1 H.P. de potencia de acero inoxidable.

15.- 3 tanques de acero inoxidable de lámina calibre 20 de una capacidad de 2000 litros, provistos de un agitador eléctrico de 1 H.P. de potencia, enchaquetados.

16.- Una bomba centrífuga de 1 H.P. de potencia de acero inoxidable.

17.- 3 tanques de acero inoxidable de lámina calibre 20 de capacidad 2000 litros.

18.- 3 mermitas de una capacidad de 2000 litros cada una, de acero inoxidable.

19.- Una bomba centrífuga de 2 H.P. de potencia de acero inoxidable.

20.- Un filtro prensa de 20 placas.

21.- Una bomba centrífuga de 1 H.P. de potencia de acero inoxidable.

22.- Una columna empacada con carbón activado granular (columna de adsorción).

Nota: En la planta piloto no se usó ninguna columna de adsorción, el jugo se llevó a el laboratorio y se hizo pasar por la columna de 1.5 metros de largo y 5 centímetros de diámetro, que se usó para los experimentos a nivel laboratorio.

23.- Un tanque de acero inoxidable de lámina calibre 20 de capacidad de 1000 litros.

24.- Un evaporador de un solo efecto.

Nota: En la planta piloto no se pudo usar ningún evaporador, el jugo se llevó a el laboratorio y se concentró en un evaporador rotatorio de un efecto.

25.- Un condensador.

Nota: El condensador usado lo tiene integrado el evaporador rotatorio de un solo efecto que se usó en el laboratorio.

26.- Una bomba centrífuga de 1 H.P. de potencia de acero inoxidable.

27.- 2 tanques de acero inoxidable de lámina calibre 20 de capacidad 1000 litros.

28.- Una bomba centrífuga de acero inoxidable de 0.5 H. P. de potencia.

29.- Una mesa de metal de 1.0 metro de ancho y 2.5 metros de largo.

30.0 La tubería empleada en el proceso es de 1" de diámetro con sus respectivos accesorios los cuales deben ser de acero inoxidable.

SOLO LECTURA

C O N C L U S I O N E S

Cumpliendo con el objetivo planteado de encontrar una forma de convertir los azúcares presentes en el fruto del nopal (la tuna) en un edulcorante de tipo industrial, el presente trabajo de tesis propone dos alternativas de proceso, factibles de llevarse a escala industrial. Tales alternativas de proceso fueron desarrolladas a nivel laboratorio y una de ellas en cierto grado a nivel planta piloto, para obtener un edulcorante sustituto del azúcar de caña en algunos procesos de la industria de alimentos, a partir del fruto de una variedad del nopal, específicamente el fruto denominado "tuna blanca" que produce el nopal de Alfajayucán u - - Opuntia Amycleae.

Los procesos definidos son: Proceso de obtención del edulcorante utilizando un enzima (pectinaza) y Proceso de obtención del edulcorante utilizando hidróxido de calcio (cal). Dichos procesos presuponen la utilización de la maquinaria, equipo e insumos convencionales de fácil adquisición en el país.

Así mismo, con la información adquirida en la experimentación realizada en la planta de procesos de la empresa Refrescos Pascual, S. A., se propone un listado de maquinaria y equipo, utilizados o factibles de utilizar, en el desarrollo de las dos alternativas de proceso propuestas. Con el fin de proporcionar una base en la selección del equipo que sirva para realizar experimentos más formales a nivel planta piloto. Mismos que harían posible la cuantificación del costo de obtención del edulcorante derivado de la tuna blanca, para ser comparado contra el costo de obtención del azúcar de caña. Elemento de juicio económico indispensable para

sugerir un posible desarrollo industrial en este sentido. Sin embargo, tomando en cuenta la información bibliográfica consultada al respecto del aprovechamiento agroindustrial del nopal y la tuna, lo más conveniente sería tratar de integrar el proceso de industrialización del nopal y la tuna, de tal manera que se utilicen todos los constituyentes.

Por ejemplo, se estiman en 30 millones de hectáreas las zonas áridas y semiáridas del país (Colín, 1976), con potencial para el crecimiento del nopal y otras plantas xerófitas y que al menos el 10% de esta superficie, está en condiciones ventajosas para cultivar el nopal, con una producción conservadora de 100 toneladas de nopal/hectárea/año, indica la bondad del nopal como forraje disponible para alimentar el ganado.

Así mismo, la semilla de la tuna ha sido reportada como posible fuente de aceite (Secerra, 1969; Cígala, 1979 y Colín, 1976). Las características de la semilla, indican la posibilidad de efectuar la extracción del aceite, además de obtener una pasta como subproducto para ser utilizado como forraje (Colín, 1976). Colín en 1976, indica que este aceite es apto para el consumo humano y sus características son similares a las del aceite de cártamo y soya, además de tener un aroma similar al de la grasa de cerdo.

Con lo anterior puede inferirse que este estudio técnico para la obtención de un edulcorante a partir de tuna blanca, además de ser complementado con el estudio económico, debe integrarse a un proyecto más global que incluya los estudios de la utilización del nopal como forraje, de la obtención de aceite de la semilla de la tuna usado en la elaboración del edulcorante, del posible uso como forraje de la cáscara de tuna desechada en el proceso del edulcorante. De tal

manera que se tendría una industrialización integral del nopal y la tuna, así como un mejor desarrollo agroindustrial de la zona o zonas determinadas para ubicar la planta industrial.

Aunado a lo anterior, también habría que considerar la posible tecnificación del cultivo del nopal con objeto de aumentar los volúmenes de producción de tuna y abaratar el costo de la materia prima y, el desarrollo de investigaciones específicas para afectar genéticamente el fruto del nopal, mejorando algunas de sus características: tamaño, cantidad de semilla, grosor de la cáscara, cantidad de azúcares, eliminación de ahuates, prolongación del tiempo de producción del nopal, etc., según conviniera al tipo de planta industrial implementada.

Lo expuesto anteriormente, queda plenamente justificado por el constante aumento en la demanda de azúcar de caña, tanto para consumo doméstico como industrial, que existe en el país año con año. Al grado que durante los años 79, 80, 81, 82, 83, 84 y 85, el déficit entre la producción y el consumo tuvo que ser cubierto con importaciones del dulce.

Por tanto, el presente proyecto dirigido a obtener un edulcorante de tipo industrial susceptible de ser utilizado en industrias como la embotelladora, la Dulcera, Panificadora y Galletera, Vitivinícola, Productos Lácteos y de Vinos y Licores, dejaría abierta la posibilidad de desviar la producción nacional de azúcar preferentemente al precio, beneficiando a mayores sectores de la población.

Por otra parte, la necesidad del desarrollo económico de las zonas rurales del país es incuestionable. Así, la posibilidad agroindustrial, a través de la realización de proyectos como el que aquí se expone, parece representar una so

lución viable para evitar seguir teniendo en muchas partes de nuestro país zonas marginales, principalmente aquellas que por sus características de suelo y clima impiden plantear un desarrollo puramente agrícola.

Finalmente, dadas las características biológicas del nopal y su posibilidad de cultivo para recuperar tierra erosionadas, el aprovechamiento integral del nopal y la tuna, supone incorporar las tierras áridas al sistema productivo del país.

SOLO LECTURA

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Alvarado Esquivel Angela, 1978
Análisis Microbiológico de la tuna
Tesis: Facultad de Ciencias Químicas UNAM.
- 2.- Bravo Hollys Melia, 1980
Exportación desmedida de cactáceas mexicanas
Gaceta UNAM 4(44): 13-15
- 3.- CENTEMEX, 1980
Comunicación Personal
CODAGEM.
- 4.- CODAGEM, 1979
Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal
Folleto informativo No. 158.
- 5.- Jiménez Cantú Jorge, 1979.
Cuarto informe de gobierno del Estado de México.
- 6.- Jiménez M. José Manuel.
Comunicación personal.
Promotora del maguey y del nopal.
- 7.- Memorandum técnico No. 96, 1954.
El nopal y la oveja.
Dirección General de Distritos de Riego.
Departamento de Planeación, Investigación y Estadística.

- 8.- Piña Lujan Ignacio, 1979.
Principales productores de tuna y nopal
Tecnología LANFI 3: 14-16.
- 9.- Piña Lujan Ignacio, Zelaya de la Parra H. y Martínez E. 1979.
Producción de Cochinilla fina, tuna y nopal en México
LANFI:4: 33-36.
- 10.- Universidad de Guanajuato, 1980
Evaluación Económica del Proyecto para Industrializar el nopal.
- 11.- Viades Trejo, 1977.
Colorantes que se consideran nocivos para la salud
Tesis: Facultad de Ciencias Químicas. UNAM.
- 12.- Villarreal F. Rojas, V. Arellano, J. Moreno, 1961.
Estudio Químico sobre 6 especies de nopales.
Ciencias Mexicanas 22: 59-65.
- 13.- Villarreal F., E. de Alba y Romero Guillermo. 1964.
Estudio Químico sobre jugos de tunas enlatadas.
Ciencia 23: 75-82.