

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

**PROPIEDADES COLORANTES DEL JUGO DE  
LA TUNA ROJA EN LIQUIDO Y EN POLVO.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO**

**P R E S E N T A:**

**ARMANDO HERRERA SANCHEZ**

**MEXICO, D. F.**

**1982**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

PRESIDENTE Enrique García Galiano Pérez

VOCAL Gilberto F. Villela Tellez

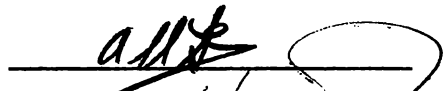
SECRETARIO Alejandro Garduño Torres

1er. SUPLENTE Fidel Figueroa Martínez

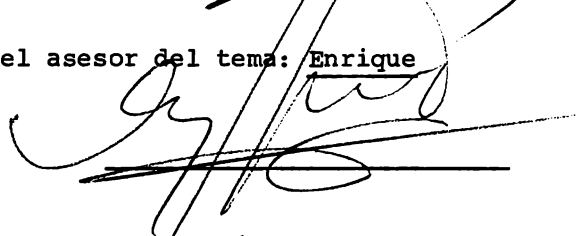
2do. SUPLENTE Eduardo Barzana García

Sitio donde se desarrolló el tema: INTERNATIONAL FLAVORS  
& FRAGRANCES, S.A. de C.V. y U.N.A.M. (FACULTAD DE QUIMICA).

Nombre completo y firma del sustentante: Armando Herrera  
Sánchez.



Nombre completo y firma del asesor del tema: Enrique  
García Galiano Pérez



Nombre completo y firma del supervisor técnico:

Ing. J. José Tueme



Dedico esta tesis a quienes más  
quiero y respeto, por el apoyo  
que me han dado en el transcurso  
de mi vida, mis padres:  
  
Armando Herrera Parra y  
  
Edna Sánchez de Herrera

A mis hermanos con cariño:

Mario, Oscar y Francisco

A mi hermana Lourdes con cariño

Con todo respeto a mis maestros,

que de alguna forma han contribuido

al termino de esta etapa de mi vida.

Al Ing. Juan José Tueme con respeto,

por su apoyo y entusiasmo para la

realización de este trabajo.

Para mis amigos y compañeros

con afecto.

# I N D I C E

	Pág.
Introducción -----	1
Generalidades -----	
A. Tuna Cardona -----	4
B. Colorantes -----	6
Parte Experimental -----	20
Resultados y Discusión -----	39
Conclusiones y Recomendaciones -----	63
Bibliografía -----	69



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

Actualmente se ha demostrado mucho interés por limitar el uso de las materias colorantes artificiales recomendando en su lugar colorantes o pigmentos naturales, debido a la restricción toxicológica dada sobre los actuales colores artificiales empleados en alimentos, como el rojo 2, rojo 4, rojo 40, que tienen efectos fisiológicos secundarios en el organismo.

Según las disposiciones de la Food and Drug Administration de U.S.A. que certificó y prohibió su uso, por cuestiones de índice cancerígeno, teratológico o de índole patológico diverso, en pruebas efectuadas en Septiembre de 1976.

La situación actualmente es crítica, debido a que existe en el mundo gran desconfianza, en cuanto a la completa inocuidad de estos colorantes, por lo que la FDA, constantemente realiza estudios, donde día con día se disminuye la lista de los colorantes sintéticos permitidos.

En México, el uso de los colorantes sintéticos está permitido en forma muy restringida, siguiendo las normas de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Debido a esto, se ha ubicado el estudio a otros colorantes principalmente de origen vegetal y animal. Como ejemplos de colorantes de origen animal está el antiguo rojo, extraído de la cochinilla (éste se tomó de los cuerpos de las hembras de la especie Coccus Cacti) y como colorantes de origen vegetal tenemos la raíz de curcuma, el azafrán, el achiote, la remolacha, etc.

Otro aspecto que debemos de considerar, es el uso directo de los extractos naturales como posibles colorantes. Como ejemplo de estos está el jugo de Betabel (remolacha), usado ampliamente con un deshidratado estabilizado, como colorante y carga para productos ampliadores en jitomate y rellenos para productos coloreados y en bebidas en polvo, gelatinas, etc.

El objetivo de este estudio es llevar a cabo preparaciones con jugo de tuna estabilizadas y secadas, de modo que estas puedan ser utilizadas directamente, como agentes colorantes, por la dificultad que se tiene para purificar los pigmentos. Es más fácil estabilizar a nivel industrial el jugo mediante agentes químicos.

Con el fin de observar los posibles cambios en las propiedades del jugo como agente colorante, a diversos pH y

acondicionar el mismo como posible aditivo natural en la  
industria alimenticia, fue comparado con otros jugos natu-  
rales estabilizados ya usados actualmente en varios produc  
tos a las mismas condiciones para ver su estabilidad y su  
posible uso en bebidas carbonatadas y bebidas en polvo.

↓  
Básico  
para

## GENERALIDADES

### A. TUNA CARDONA

Nopal Cardón (Opuntía Streptachanthae). Nopal muy corpulento, carnosos, arborescentes, erectos, llega a medir - 3m. de altura, con tronco de más de 65 cms. de largo y de color verde obscuro, aréolas pequeñas y muy cercanas, espinas numerosas, grandes flores rojo-guinda, sus partes basales más viejas se vuelven leñosas. Vive en lugares secos, cálidos, templados o extremos de México.

33

La raíz principal y las secundarias tienen más o menos el mismo desarrollo, o bien las segundas se extienden ampliamente. El tallo es craso, ramificado y multiarticulado, con cutículas gruesas, adaptado para almacenar agua en sus tejidos. Cada uno de los artículos recibe el nombre particular de penca; su aspecto es comprimido, tiene forma de raqueta y botánicamente son cladodios, es decir, tallos o ramificaciones de estos que sustituyen a las hojas en sus funciones, ya que presentan abundante parénquima clorofílico.

33

La zona de distribución del Nopal Cardón es principalmente en la Mesa Central de México (San Luis Potosí, Zacatecas y San Luis la Paz, Gto.) y en algunos estados circunvecinos tales como: Jalisco y Durango. Su época de

45

fructificación es de 3 meses.

Esta planta se transforma en algunos productos agroindustriales, tales como: <sup>22</sup> jugo de fruta, queso de Tuna, melcocha, miel de tuna, colonche, tuna pasada o seca. El residuo puede ser utilizado en la engorda de cerdos.

El fruto conocido como Tuna Cardona (*Opuntia Streptacanthae*), el cual es muy succulento y con menos semillas que las demás especies y es sin duda alguna, una de las más apreciadas de todas las especies mexicanas. Su tamaño es pequeño en comparación a otras variedades de tuna, obtenidas por el cultivo, pero es preferida por su sabor y no es dañina al comerse en grandes cantidades como otras tunas.

El fruto es de color púrpura, siendo ésta más <sup>3</sup> acentuado en la pulpa que en la cáscara, su forma es oval o subglobosa, de 4 a 5 cm. de diámetro. Tiene cáscara delgada, muy dulce; se cosecha en Agosto y Octubre, soporta fuertes sequías y heladas, se multiplica por siembra de <sup>22</sup> artículos.

CLASIFICACION TAXONOMICA ✓

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophyta Siphonogama
División	Angiospermas

Clase	Dicotyledonese
Subclase	Dialipétalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactáceas
Subfamilia :	Opuntiodeas
Tribu	Opuntias
Género	Opuntia
Subgénero	Platyopuntia
Especie	Streptacantha

## B. COLORANTES

### 1. Propiedades Principales de los Colorantes.

El color es una mezcla de estímulos y sensaciones que se reflejan en un fenómeno psicofísico, para longitudes de onda dadas desde un rango de 400nm del violeta a 700nm del rojo.

El color percibido por el ojo, depende de la composición espectral de la fuente de luz y de las propiedades Físicas y Químicas del objeto. Para una definición precisa se requiere de la especificación de la longitud de onda dominante, de la pureza colorimétrica y de la intensidad de brillo, que se refleja en la cantidad de color.

## 2. Colorantes en la Industria de Alimentos.

Se puede considerar como un colorante alimentario, aquella sustancia que se adiciona a los comestibles y bebidas con el fin de proporcionar o intensificar su color.

25

Los colorantes se dividen en:

### a) Colorantes Naturales

Son los extractos naturales provenientes de vegetales y animales.

### b) Colorantes Artificiales

Son compuestos químicos orgánicos e inorgánicos que tienen la función de impartir mayor intensidad de color y además son más estables que los colorantes naturales.

48

### 2.1. Colorantes Naturales

Son los extractos coloridos de origen vegetal o animal, también llamados pigmentos, son aislados de animales, frutas y vegetales.

49

Entre los pigmentos que poseen coloración roja se han encontrado de origen vegetal y animal. Los vegetales son Licopenos, Apocarotenos, Antocianinas y Betalainas; y entre los de origen animal están considerados la Hemoglobina, Mioglobina y el Acido Carmínico.

### 2.1.1. Carotenoides

Los carotenoides representan el más extenso grupo de colores naturales, encontrados en los reinos Vegetal y Animal. Son responsables de la coloración en Jitomates,  
26  
naranjas, zanahorias y otros.

Se conocen cerca de 100 o más carotenoides, de los cuales solo unos pocos han sido aislados o sintetizados para usarlos como aditivos. Algunos carotenoides usados como aditivos se tienen: B-caroteno (Fig. No. 1), B-apo-8'-carotenal, Bixina, Cantaxantina y Xantofilias. Las propiedades de B-caroteno, B-apo-8'-carotenal y Cantaxantina, son simi-  
13  
lares en propiedades y métodos de aplicación.

Un aspecto importante de los carotenoides es la actividad de la vitamina "A" en algunos miembros de esta familia. Esta es proporcionada por B-caroteno y B-apo-8'-  
2  
carotenal.

Los carotenoides presentan un problema desde el punto de vista de su aplicación, por su carencia de estabilidad y su baja solubilidad.

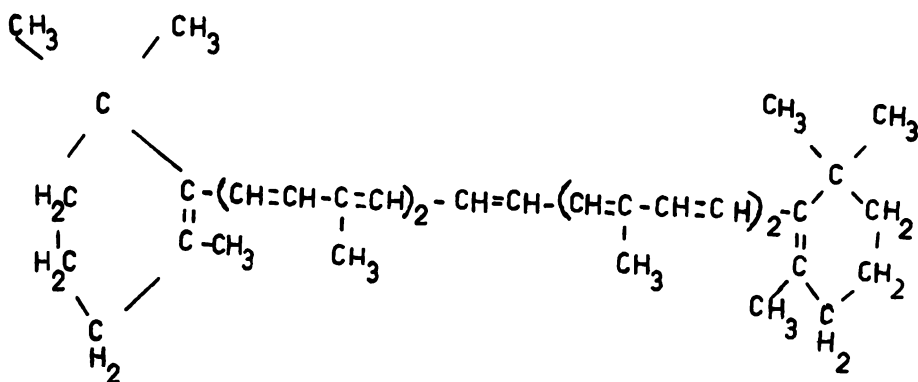
Los carotenoides son utilizados en diferentes presentaciones: líquido, en gel, en suspensión, en emulsión y deshidratado, para mantequillas, quesos, margarinas,



aceites comestibles, sopas, postres, dulces y en otro tipo de productos.

FIGURA No. 1

ESTRUCTURA QUIMICA



B-CAROTENO

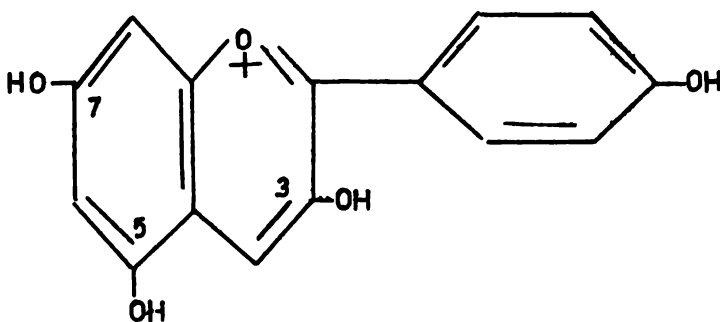
### 2.1.2. Antocianinas ←

Son un grupo de compuestos fenólicos, pigmentos hidrosolubles, responsables de los vistosos colores de muchas flores, frutos y verduras. Se conocen actualmente más de 100, las más importantes son la Cianidina, Pelargonidina, la Peonidina, la Delfinidina y la Malvidina.

Las antocianinas son glucósidos, cuando se les hidroliza producen un azúcar y una aglicona, llamada Antocianidina. Los residuos de carbohidratos más comunmente hallados, son: glucosa, ramnosa, galactosa y genciobiosa.

Las antocianinas poseen una estructura básica en común (Fig. No. 2), que consiste en un núcleo de benzopirilo y un anillo fenólico, ambos reciben el nombre de Flavilio. Los pigmentos de antocianina modifican su color con los cambios de pH y presentan una inestabilidad química. Los pigmentos de antocianinas poseen la máxima importancia en los vinos tintos.

FIGURA No. 2  
ESTRUCTURA FUNDAMENTAL DE LAS ANTOCIANINAS



### ION FLAVILIO

#### 2.1.3. Betalainas

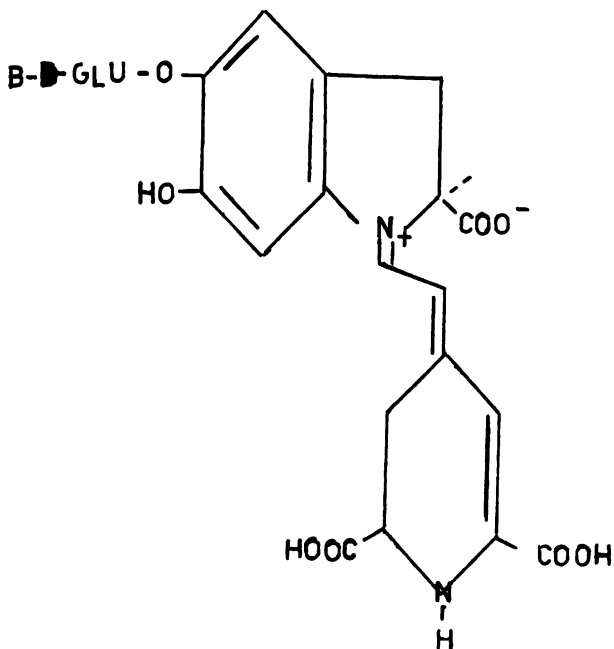
Las Betalainas, son una mezcla de pigmentos rojo-violáceos, llamadas Betacianinas y otros de color amarillo, llamadas Betaxantinas.<sup>24</sup> Estos pigmentos vacuolares hidrosolubles,<sup>40</sup> están presentes en la Tuna Cardona y también en el Betabel, éste último con un mayor contenido.<sup>41</sup>

Las Betacianinas, están clasificadas hoy en día como un tipo de alcaloide, se distribuyen significativamente en diez familias del orden Centrospermas, eliminando toda posibilidad de relación con las Antocianinas, pigmentos con las que se atribuía erroneamente.

Las Betacianinas son glucósidos que pueden contener ácido glucourónico en su molécula y tienen como aglucón a la Betanidina, que forma la Betanina (Fig. No. 3).

FIGURA No. 3

ESTRUCTURA QUIMICA DE LA BETANINA



Entre las Betacianinas más importantes tenemos:

La betanina, isobetanina, betanidina, amarantina, isoamarantina, phylocantina, iresina I, etc. Estos pigmentos son estables en el intervalo de pH 3-7 y se ve afectada por los metales, la temperatura, la presencia de aire y por las radiaciones ultravioleta.<sup>50</sup>

Los usos más importantes están en la fabricación de embutidos y productos cárnicos en general, en gelatinas, helados, postres, etc.

#### 2.1.4. Extracto de Cochinilla

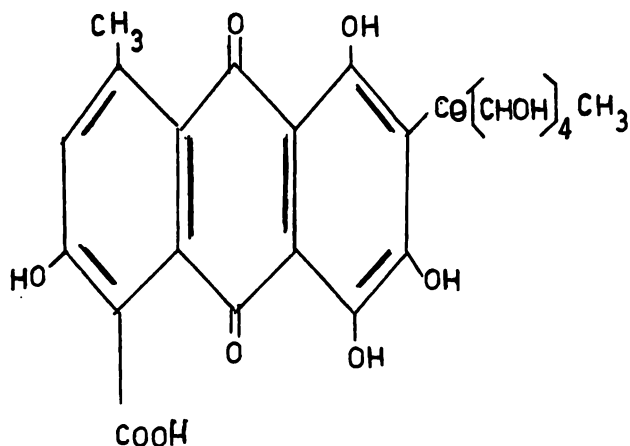
El extracto de cochinilla que es el color rojo, consistente de células secas del insecto hembra (Coccus Cacti). Estos insectos crecen sobre gran variedad de cactus cultivados en las Islas Canarias y parte de Sudamérica. Parte activa de éste pigmento es el ácido cárminico.<sup>13</sup> (Fig. No. 4).

Este producto es ampliamente usado en la industria lactea, ya que no es afectado por el calcio, la desventaja es que tiene un alto costo.

Es extraído por alcalis y soluciones alcoholicas para solubilizarlo en agua y es bastante resistente a los cambios de luz.

FIGURA No. 4

## ESTRUCTURA DEL ACIDO CARMINICO

2.1.5. Hemoglobina y Mioglobina

La Mioglobina es el pigmento de la carne roja.

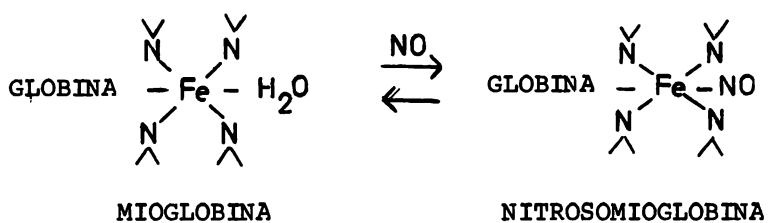
El color es sin duda, uno de los principales factores de calidad en la carne y en sus productos derivados.

El color rojo, característico de la carne roja, se origina en una proteína conjugada con hemoglobina; la mioglobina es muy similar a la hemoglobina, tanto en estructura como en función.

La hemoglobina y la mioglobina poseen una fuerte afinidad por el oxígeno. Bajo condiciones aeróbica, la mioglobina fija oxígeno en forma reversible sin que su átomo de hierro sufra oxidación. En este proceso la molécula de agua es probablemente reemplazada por el oxígeno. El complejo oxígeno-mioglobina, denominado oximioglobina, tiene el color rojo brillante propio de la carne recién cortada. Cuando la mioglobina sufre una oxidación se obtiene un pigmento pardusco denominado metamioglobina. En el tejido vivo, la metamioglobina es rápidamente transformada de nuevo en mioglobina, mediante la acción de agentes reductores, tales como la glucosa, de allí que se empleen ilegalmente en algunos países del mundo, sustancias reductoras, tales como el ácido ascórbico y el  $\text{SO}_2$ , para la preservación del color rojo de la carne mólida. El proceso del curado tiene por objetivo la presentación del color rojo en productos derivados de la carne procesada y cocida, tales como jamones y embutidos. Principalmente el proceso del curado que consiste en agregar pequeñas cantidades de nitratos y nitratos (Fig. No. 5). Se sospecha que las nitrosaminas formadas causan cáncer, pero es un tema contravertido.

FIGURA No. 5

## PROCESO DEL CURADO



## 2.2. Colorantes Artificiales

Para la elaboración de colorantes artificiales se utilizan como materia prima, productos derivados del alquitrán de hulla o algunos compuestos relacionados por su estructura química a tales derivados. Estos compuestos han sido considerados como posibles fuentes de cáncer.

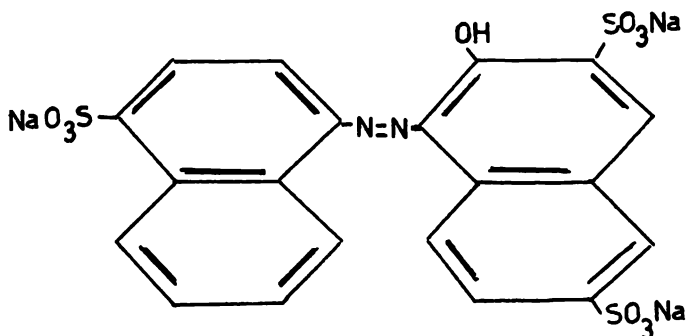


Estos aditivos, únicamente suministran color a los alimentos elaborados, en ningún caso contribuyen al valor nutritivo de los productos que colorean y su presencia es para dar una uniformidad a estos.

Debido a una amplia investigación toxicológica que se ha seguido realizando en los últimos años por parte de la FDA, en restringir el uso de algunos colorantes artificiales, para evitar daños a la salud pública.

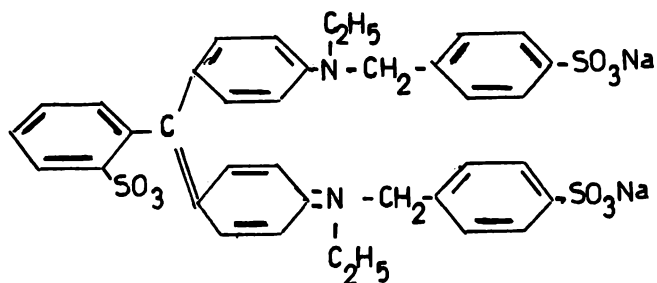
Los colorantes permitidos por ese organismo hoy en día (Agosto de 1981), son los siguientes: Azul No. 1 (Azul Brillantes FCF), Azul No. 2 (Indigotina), Amarillo No. 5 (Tartrazina), Amarillo No. 6 (Amarillo Crepúsculo FCF), Rojo No. 3 (Eritrocina) y Rojo No. 2 (Rojo Allura AC) (Fig. No. 6).

FIGURA No. 6

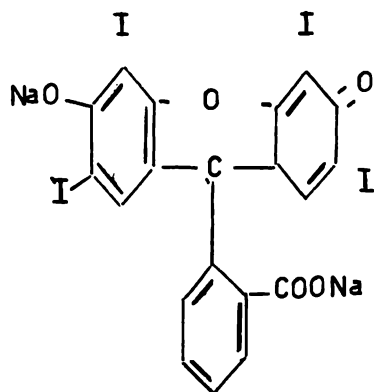


ESTRUCTURA FD&amp;C ROJO No. 2

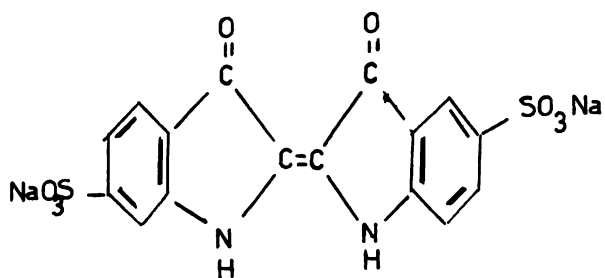
ESTRUCTURA FD&amp;C AZUL No. 1



ESTRUCTURA FD&amp;C ROJO No. 3



ESTRUCTURA FD&amp;C AZUL No. 2



El amarillo No. 5 está en estudio por parte de la FDA, porque se cree que causa reacciones alérgicas en algunos pacientes y también que puede estar jugando un papel en la etiología del comportamiento de hiperkinesia en los <sup>44</sup> niños.

Como se puede observar que actualmente el uso de los colorantes artificiales tienden a estar limitados cada vez más y debido a esto, ha despertado un gran interés por parte de algunas de las industrias alimentarias, en emplear en su lugar pigmentos naturales para colorear sus productos.

P A R T E

E X P E R I M E N T A L

Colección de las especies de Tuna Cardona (Opuntia  
Streptacanthae), para el Procesamiento.

Tunas frescas colectadas en la zona de Zacatecas y Aguascalientes, fueron representativas del cultivo de Septiembre de 1980, donadas por la Promotora del Nopal y del Maguey de la región de Troncoso, Zacatecas, las cuales fueron lavadas a chorro directo de agua, secadas y transportadas a laboratorio para procesar el jugo.

Procesamiento del Jugo y Fermentación.

Las frutas frescas fueron peladas a mano, descartando la cáscara, la cual es altamente rica en pectina, pasando a través de una despulpadora de tornillo sin fin (Chisholm-ryder), con capacidad de 98.8 Kg/hr. y el producto obtenido fue centrifugado en una centrífuga Westfalia para laboratorio de 3,300 rpm., con una capacidad de 20 Kg/hr., descartando las semillas y residuos del jugo.

El jugo centrifugado fue puesto en recipientes de vidrio con capacidad de 10 lt. y con una agitación continua de 350 rpm. con un agitador (Wiar-ton-ont. tipo RZ RI) a temperatura de 25-28°C el cual permite una suficiente areación para la fermentación (Tueme 81).

El jugo fue inoculado con levaduras activas de *Saccharomyces cereviseae* de uso comercial para panificación y manteniendose la fermentación aproximadamente por 3 días hasta que el contenido de azúcar fue reducido a 0.3-0.5%.

El producto de fermentación fue tamizado varias veces por una malla con abertura de 0.42 mm, tipo Duvesa, para descartar residuos de fermentación. El jugo tamizado fue clarificado con 1% de (celite, ayuda filtro analítico Hohns Marville Products Corp. Lompoc, Cal.), el producto fue filtrado varias veces en papel Whatman No. 1, hasta que el jugo se volvió claro, con un mínimo de sólidos en suspensión.

#### Concentración.

Parte de este jugo fue concentrado al vacio a 62.8 mm de Hg. Antes de clarificó con más celite, se pasó a traves de papel Whataman No. 2 y se clarificó separando los sólidos en una centrífuga Westfalia para laboratorio de 3,300 rpm., con una capacidad de 20 Kg/hr., el producto fue concentrado 20 veces, con un evaporador rotatorio de laboratorio Buch Brinkmam Rotavapor R110, operado en un baño de agua, a una temperatura de 35 a 40°C y enfriado a 5°C hasta ser utilizado.

Las muestras de los colorantes sintéticos y naturales fueron obtenidas de fuentes comerciales (Spectrum y Roche), sus propiedades funcionales podrían ser comparadas con el jugo de la Tuna. Las muestras consistieron de jugo concentrado de Arándano, de jugo concentrado de Uva, de jugo de Betabel, FD & C, Rojo No. 40 y un extracto de Col Roja.

#### Secado por Aspersión del jugo de Tuna.

Los jugos de tuna fueron estabilizados con 0.1% de Benzonato y 0.14 g. de Bisulfito de Sodio/lt. de jugo de Tuna y secados por aspersión en un secador de laboratorio (Niro Atomizer Spray Dryer Tipo 316 para investigación), con capacidad de 20 Kg/hr. Las muestras fueron preparadas, utilizando Maltodextrina como vehículo de secado, empleadas en cantidades de 200 g. de Maltodextrina por litro de jugo de Tuna, así mismo en el jugo concentrado 20 veces. Las temperaturas para el secado fueron de 130°C de entrada y 100°C en la salida, obteniéndose un rendimiento de 0.39 en base seca de mezcla.

Las variables de secado fueron seleccionadas en base a los rendimientos finales del producto con una humedad promedio de 2.5 g. h<sub>2</sub>O/100 g. muestra. Las muestras finales fueron almacenadas en recipientes de vidrio cerrados,

hasta la obtención de las pruebas de estabilidad.

#### Medición del Espectro y Propiedades del Colorante.

Los concentrados de jugo de Tuna en estado acuoso fueron diluídos a un pH de 3 y 4, con soluciones Buffer de citratos (Soerensen 1975) y reajustando al valor del pH original, usando una solución de 10% de NaOH, para compensar la alta acidez del pigmento concentrado.

#### Determinación de Longitud de Onda Máxima de Absorción

Para la determinación de la  $\lambda$  máxima de absorción a diferentes pH, se utilizó un Espectrofotómetro de doble rayo, modelo Perkin Elmer 552 UV-vis (Perkin Elmer Corp. Norwalk Conn), determinando la  $\lambda$  máxima de absorción.

#### Determinación del Índice de Degradación

El índice de degradación fue determinado por el procedimiento de Fuleki y Francis 1968, tomando 10 ml. de p.a. de los jugos de Tuna donde fueron diluídos a 250 ml. a pH 1.0 y pH 4.5 Buffers, respectivamente.

Las muestras diluídas fueron equilibradas en un cuarto oscuro a temperatura ambiente por 2 hr., la densidad óptica de las muestras fue medida a 525 nm, usando agua destilada como blanco.



La diferencia de densidad óptica ( $\Delta$  D.O.) fue obtenida por la resta total de densidad óptica a pH 4.5 (T.D.O pH 4.5) con el total de densidad óptica a pH 1.0 (T.D.O pH 1.0), ambos valores fueron calculados a partir de la densidad óptica leída, usando la dilución apropiada y los factores de dilución.

Para el cálculo del índice de degradación, se utilizaron los datos del total de densidad óptica a pH 1.0 entre la diferencia de densidad óptica de (T.D.O pH 4.5) y (T.D.O pH 1.0).

$$I.D = T.D.O. \text{ pH } 1.0 / \Delta \text{ D.O.} = \text{Índice de Degradación}$$

El total D.O (T.D.O.) por 100 ml. de jugo de Tuna concentrado a pH 1.0 y 4.5 fue calculado usando la ecuación siguiente:

$$T.D.O. = D.O. \times V.D. \times F.V. \quad \text{donde}$$

D.O. = La lectura de la absorbancia en la muestra de dilución ( cm.).

V.D. = Volúmen de dilución o el volúmen en ml. de la muestra diluída, preparada para la medición de la D.O.

F.V. = Factor Volumétrico que corrige la diferencia en tamaño entre el volúmen original (V.O.), usualmente 100 ml., para que el cálculo sea hecho y de que la muestra volúmen (VM) o el volúmen del jugo de Tuna concentrado, usado en la preparación de la dilu-

ción de la muestra para la medición de la absorbancia.

$$FV - VO/VM = 100/VM$$

La diferencia en T.D.O. entre el jugo de la Tuna concentrado ( $\Delta$  O.D) fue calculado de la manera siguiente:

$$\Delta \text{ D.O.} = \text{T.D.O pH 1.0} \text{ ————— } \text{T.D.O pH 4.5}$$

#### Determinación de las Coordenadas del Color.

Para la determinación del color en el jugo de Tuna concentrado, se trabajó con un colorímetro Triestímulo photoeléctrico (Gardner Laboratory INC, Bethesda Md.) el cual consiste de filtros y fotoceldas, que proporcionan los valores X, Y, Z, coordenadas internacionales del color, según (Fig. No. 7). Este sistema proporciona medidas del color rojizo y del color verdozo, representadas por los valores de "a".

Los valores del color amarillo y del color Azul, están representados por "b" y la luminosidad del sistema representado por "L", estos valores pueden ser transformados a los valores internacionales, según las ecuaciones siguientes (Cuadro No. 1).

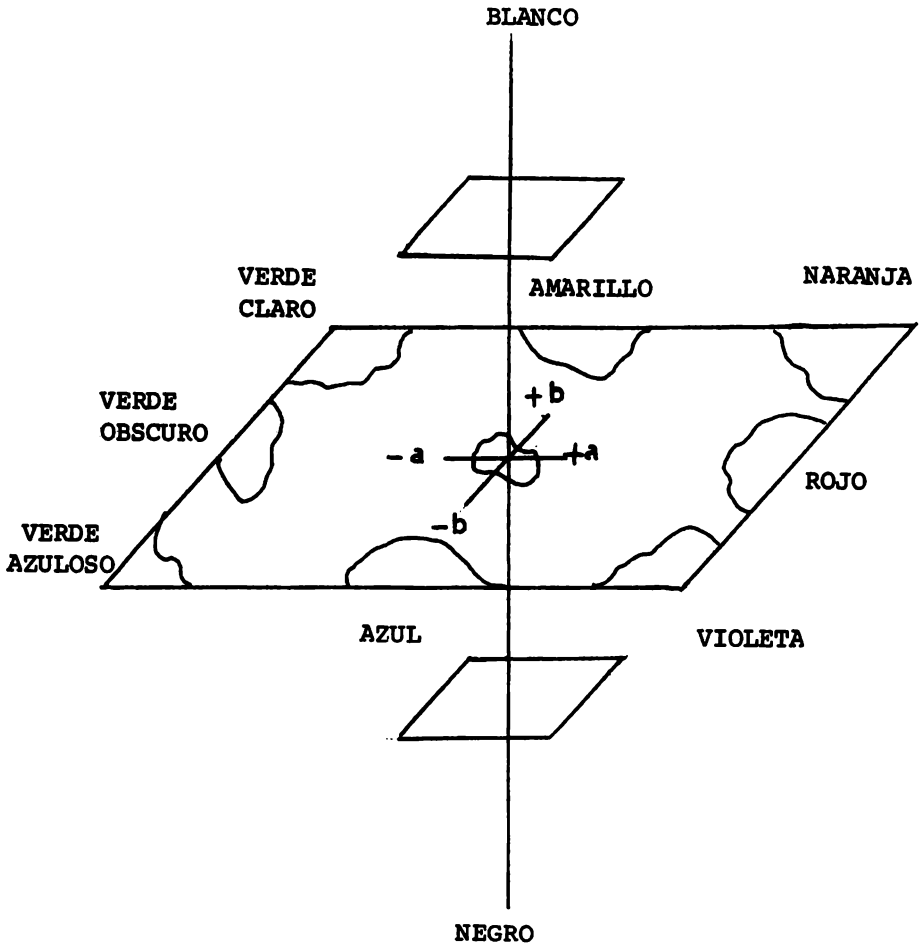


FIGURA No. 7

SITUACION DEL COLOR EN EL ESPACIO

## CUADRO No. 1

## ECUACIONES DE CONVERSION DE LAS ESCALAS DEL COLOR

(de CIE X, Y, Z para crear C)

$$L = 24.99Y^{1/3} - 16$$

L, a, b  
(Cielab 1976)

$$a = 107.7 (1.02X)^{1/3} - Y^{1/3}$$

$$b = 43.09Y^{1/3} - (0.8467Z)^{1/3}$$

$$L_L = 10 Y$$

$L_L, a_L, b_L$   
(Hunter 1968)

$$a_L = \frac{17.5}{Y} (1.02 - Y)$$

$$b_L = \frac{7.0}{Y} (Y - 0.8467Z)$$

$$L_G = 25.29Y^{1/3} - 18.38$$

$L_G, a_G, b_G$

(Glasser, Etal  
1958)

$$a_G = 106 (1.02X)^{1/3} - Y^{1/3}$$

$$b_G = 42.34 (Y^{1/3} - (0.8467Z)^{1/3})$$

$$Y = y$$

$Y, x, y$

(Coordenadas  
Cromáticas)

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

Para la obtención de las lecturas y las coordenadas del color en el colorímetro, se utilizaron soluciones de jugos y colorantes. Estos datos fueron obtenidos en un rango de absorbancia, a una  $\lambda$  máxima entre 0.4 y 3.0 en celdas ópticas de vidrio transparentes de 57.1mm de diámetro y 40 mm de altura, utilizando en las celdas muestras de 50 ml. de los jugos y colorantes.

También se determinaron los valores del ángulo ( $\ominus$ ), del color con la siguiente ecuación ( $\tan^{-1} b_L/a_L$ ) y su índice de saturación  $(a_L^2 + b_L^2)^{1/2}$  obtenidos de las coordenadas del Triestímulo. Estos valores fueron obtenidos a un valor de luminosidad L a A  $\lambda$  max = 1.0 y L = 50.

#### Evaluación de la Estabilidad al Calor del Jugo de Tuna

La estabilidad del color a los incrementos de temperatura en el jugo de la Tuna concentrado líquido y en polvo, junto con los otros colorantes fueron determinados por duplicado usando tubos de 125 x 16 mm., conteniendo un total de 12-14 ml. de la solución colorante en un baño con agua a temperatura de ebullición (92°C) por un tiempo de 5 hr. y seguido por un enfriamiento, en un baño con hielo por espacio de 3 min. Las muestras fueron preparadas a un pH de 3 con un Buffer de citratos (Soerensen 1975)<sup>35</sup> y

ajustando la concentración a una  $\lambda$  máxima entre 1-1.5, valores de absorbancia y también se hicieron para bebidas simuladas.

#### Evaluación de la Estabilidad del Almacenamiento

La estabilidad del almacenamiento de los colorantes preparados con jugo de Tuna concentrado y en polvo, fue determinada a temperatura ambiente de 25°C por un procedimiento usado para el jugo de Betabel (Sapers y Hornstein 1979)<sup>50</sup> y colocados en tubos estériles adicionando 0.1 g. de Benzoato de Sodio para 100 ml. de jugo concentrado.

También se hicieron pruebas de estabilidad en refrescos simulados con jugo concentrado a pH 3 y almacenados bajo luz fluorecente (27-30 m. cd) por 6 meses, luego se hicieron medidas de absorbancia a  $\lambda$  máxima y en las coordenadas del Triestímulo L,  $a_L$  y  $b_L$ .

PREPARACION DE BEBIDAS

<u>Bebida Tipo Fresa</u>	<u>Cantidades</u>
Jarabe de Azúcar (60°Brix)	40.0 g
Solución de Acido Cítrico al 50%	8.5 g
Saborizante de Fresa Soluble	0.5 g
Jugo de Tuna	10.0 g
Solución de Benzoato de Sodio al 50%	0.8 g
Agua Carbonatada	<u>42.5 g</u>
T O T A L	100.0 g

<u>Bebida Tipo Jamaica</u>	<u>Cantidades</u>
Jarabe de Azúcar (40°Brix)	40.0 g
Solución de Acido Tánico al 50%	1.0 g
Solución de Acido Cítrico al 50%	3.0 g
Saborizante Artificial Tipo Jamaica	0.8 g
Jugo de Tuna	15.0 g
Color Caramelo Natural al 50%	1.0 g
Solución de Benzoato de Sodio al 50%	0.8 g
Agua Carbonatada	<u>38.4 g</u>
T O T A L	100.0 g



<u>Bebida Tipo Uva</u>	<u>Cantidades</u>
Jarabe de Azúcar (60°Brix)	40.0 g
Solución de Acido Tartárico al 50%	3.5 g
Jugo de Tuna	15.0 g
Azul FDC # 2 al 3%	1.0 g
, Conc. Artificial de Jugo de Uva	1.0 g
Solución de Benzoato de Sodio	0.8 g
Saborizante Artificial tipo Uva	0.5 g
Agua Carbonatada	<u>38.2 g</u>
T O T A L	100.0 g

<u>Bebida en Polvo Tipo Uva</u>	<u>Cantidades</u>
Azúcar Cristalina	937.0 g
Acido Cítrico Anhidro	46.0 g
Citrato Trisódico Dihidratado	2.4 g
Fosfato Tricálcico	5.0 g
Acido Ascórbico	2.0 g
Saborizante de Uva	2.2 g
Jugo de Tuna en Polvo	5.4 g
	<hr/>
T O T A L	1000.0 g
Para obtener bebida terminada. Disolver 35 gr./250 ml. H <sub>2</sub> O	

<u>Bebida en Polvo Tipo Jamaica</u>	<u>Cantidades</u>
Azúcar Cristalina	888.0 g
Acido Cítrico Anhidro	71.0 g
Citrato Trisódico	4.6 g
Fosfato Tricálcico	10.0 g
Acido Ascórbico	2.0 g
Enturbiante	12.0 g
Saborizante de Jamaica	5.0 g
Jugo de Tuna en Polvo	7.4 g
	<hr/>
T O T A L	1000.0 g
Para obtener bebida terminada. Disolver 35 gr./250 ml. H <sub>2</sub> O	

Los refrescos preparados fueron envasados en tubos estériles y almacenados a la luz flourecente por 6 meses, hasta determinar cambios apreciables en el color y los resultados fueron evaluados periódicamente.

DETERMINACION CUANTITATIVA (POR METODOS ESPECTROFOTOMETRICOS)  
DE BETACIANINAS EN JUGO DE TUNA.

El procedimiento empleado para esta determinación fue basado en una adaptación del método de la cuantificación para el jugo de Betabel desarrollado por Nilsson (1970)<sup>34</sup>, el cual reporta un método que permite establecer los pigmentos mayoritarios que son Betanina-isobetanina ( $\lambda_{max}$  538 nm) e Indicaxantina ( $\lambda_{max}$  485 nm) que constituyen 96% de las Betacianinas respectivamente.

Este método se basa en el espectro de absorción de una mezcla de Betanina e Indicaxantina, siendo ésta, la suma de los espectros de absorción de cada pigmento por separado.

Conociendo la absorción de los pigmentos en el máximo del otro y viceversa es posible calcular la contribución de cada pigmento en el espectro de absorción de la mezcla.

La Betanina absorbe en el  $\lambda_{max}$  de la Indicaxantina (485 nm) siendo que ésta última no absorbe a 538 nm ( $\lambda_{max}$  de la Betanina). Lo que significa que la absorbancia de la mezcla a esta longitud de onda, depende de la concentración de Betanina.

Las concentraciones de Betanina e Indicaxantina se calculan utilizando  $A_{1\%}^{1\text{cm.}} = 1120$  (Piattelli y Minale 1964a)<sup>41</sup> y  $A_{1\%}^{1\text{cm.}} = 1385$  (Piatelli y Col. 1964c)<sup>43</sup>, para los pigmentos puros de Betanina e Indicaxantina estudiadas anteriormente, que sirven para el cálculo de la cuantificación en diluciones en donde existan estos pigmentos sin necesidad de purificarlos para su cuantificación.

Para la determinación de Betacianinas y Betaxantinas se tomó una muestra de 5 ml. y se diluyó a 250 ml. con agua destilada a pH 3, se obtuvo el espectro de absorción y se registraron las absorbancias a 485-538 nm, datos que se obtuvieron para obtener las concentraciones de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\frac{\text{mg de betacianina}}{100 \text{ g de jugo (Bh)}} = \frac{25 \times 5 \times 0.05 \times \text{absorbancia} \times 10^5}{\text{g jugo} \times 112}$$

$$\frac{\text{mg de betaxantina}}{100 \text{ g de jugo (Bh)}} = \frac{25 \times 5 \times 0.05 \times \text{absorbancia} \times 10^5}{\text{g jugo} \times 138.5}$$

Donde los factores corresponden al volúmen de dilución, el tamaño de la muestra y el factor volumétrico, que es el volúmen corregido entre el volúmen original que en 100 y el volúmen de agua usado para extraer el jugo de la Tuna que es de 2000 ml. siendo el factor = 0.05, y para la determinación de Betaxantinas, se calculan sustituyendo el factor de 112 por el de 138.5 en las formulas anteriores.

R E S U L T A D O S

Y

D I S C U S I O N

Los pigmentos que se encuentran en el jugo de Tuna estabilizado, consisten principalmente de Betacianinas y Betaxantinas; siendo parte de las Betacianinas presentes, la Betanina, Isobetanina y Fitoxantina. Como Betaxantinas tenemos a la Indicaxantina, ambos pigmentos constituyen el total de materia colorante del jugo de Tuna, correspondiendo el 96% de Betacianinas y 4% de Betaxantinas (Valades 80).<sup>57</sup>

### Fermentación

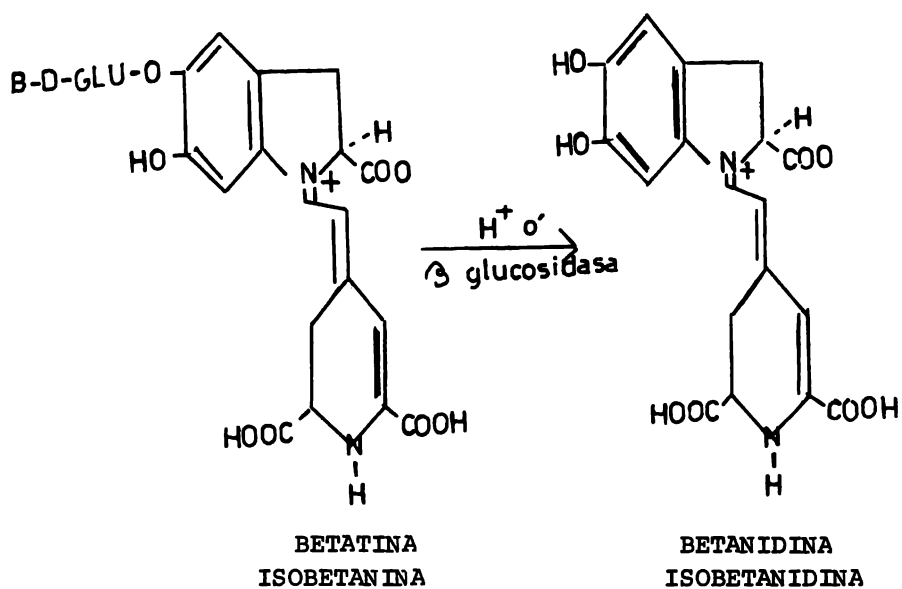
Los azúcares libres presentes que corresponden a un 13.7%, de los cuales el 8.7% son reductores totales y 5% son reductores directos, son consumidos principalmente durante la fermentación inducida por las levaduras, así mismo se observó que los glucósidos constituyentes de las Betacianinas presentes en el jugo de Tuna son degradadas en los períodos finales de esta fermentación, debido a las enzimas producidas por los metabolitos de la fermentación.

Esta degradación en los glucosidos de los pigmentos cambia las estructuras de las Betacianinas e Isobetaninas a Betanidinas e Isobetanidinas o mezcla de ambas, en el que el mismo aglucón está presente en cada una de ellas (Piatelli y Minale 1964a) (Fig. No. 8) propuesto por



FIGURA No. 8

## HIDROLISIS Y REACCIONES DE DEGRADACION DE BETACIANINAS



51

(Schmidt y Col. 1960) así como (Piatelli y Minale 1964).

Fue visto que los pigmentos degradados a Betanidinas, tienen los mismos espectros de absorción en agua, con una  $\lambda$  máxima de 542-546. Estas estructuras obtenidas al final de la fermentación ayudan a la estabilidad del jugo de Tuna. Además la fermentación, ayuda a obtener una mayor funcionabilidad en el manejo del jugo de Tuna porque evita que los azúcares totales interfieran al caramelizarse y obscureciendo el jugo. Así mismo disminuye la viscosidad, haciendolo más fácil para su manejo.

Esta funcionalidad alcanzada durante la fermentación incrementa la estabilidad como aditivo dentro de bebidas carbonatadas y productos lácteos, así como colorante al resistir a los cambios de luz y temperatura dada por los cambios bioquímicos de las estructuras de las Betaninas.

Los cambios obtenidos al llevar a cabo la fermentación del jugo de Tuna, fue una creciente degradación del contenido inicial de azúcar, según los datos obtenidos en el cuadro No. 2.

CUADRO No. 2

DEGRADACION DE AZUCARES REDUCTORES  
DURANTE LA FERMENTACION

% R.T. % Reductores Totales	Tiempo (hr)
8.7	0
7.69	1
6.25	6
5.52	12
4.95	18
2.31	24
1.76	30
1.28	36
0.749	42
0.532	48
0.315	54

### Propiedades Espectrales.

El principal objeto de este estudio fue el de substituir los colorantes sintéticos en alimentos por pigmentos naturales, capaces de impartir el color deseado a un rango de pH útil.

Los espectros y las propiedades colorantes del jugo de Tuna concentrado y otros jugos y extractos naturales, además el rojo No. 40, fueron comparados a pH entre 3 y 4, que es el rango en que oscila la mayoría de los alimentos coloreados artificialmente en bebidas y productos similares.

La absorción visible máxima para soluciones acuosas de Betaninas e Isobetaninas varía ampliamente con el pH.

Los resultados del espectro de las propiedades de los colorantes preparados de jugo de Tuna concentrado, jugo de Arándano concentrado, extracto de Col Roja y jugo de Uva concentrado, fueron reportados en el Cuadro No. 3.

CUADRO No. 3

PROPIEDADES EN EL ESPECTRO DE LOS COLORANTES DEL JUGO DE TUNA CONCENTRADO, EXTRACTO DE COL ROJA, JUGO DE UVA CONCENTRADO Y JUGO DE ARÁNDANO CONCENTRADO.

Colorante	pH	$\lambda$ Máxima	Indice de degradación (a)
Jugo de Tuna Concentrado (b)	3.0	525	1.15
	4.0	533	
Extracto de Col Roja	3.0	524	1.17
	4.0	531	
Jugo de Uva concentrado	3.0	518	1.16
	4.0	520	
Jugo de Arándano Concentrado	3.0	523	1.70
	4.0	530	

(a) Índice de Degradación, definido por Fuleki y Francis (1968).

(b) Jugo de Tuna Concentrado al Vacío 20 veces.

La variación observada al comparar el jugo de Tuna concentrado con el jugo de Arándano concentrado, jugo de Uva concentrado y extracto de Col roja, reveló que la absorción en el espectro de luz a un pH de 3 a 4 fue de rango mayor en el jugo de Tuna concentrado que para los demás. Estos datos están reportados en el cuadro No. 3, siendo el jugo de Tuna concentrado más estable a los demás.

También fue comparado con el jugo de Betabel concentrado, el cual dió valores sumamente altos, siendo no comparable al no presentar una variación. Así mismo al compararlo con el color rojo No. 40, éste fue también altamente estable, dando valores fuera de comparación.

La sensibilidad a los cambios del pH de los jugos mencionados en el cuadro No. 3, dá una idea clara de la degradación del poder colorante obtenido por el índice de degradación. El valor del índice para el jugo de Tuna concentrado fue el valor más bajo que para los demás jugos concentrado estudiados, revelando mayor estabilidad durante su almacenamiento y los cambios al pH.

El principio del índice de degradación, se basa en la absorción de  $\lambda$  máxima a un pH de 1, esto indica la absorción principalmente en los grupos de pigmentos de Antocianinas y Betalainas degradadas y no degradadas y en la diferencia entre pH de 1 y pH de 4.5 será de los grupos no degradados, así que estos valores darán un índice de una medida del color de la estabilidad al tiempo de almacenamiento y cambios al pH, este índice es también el límite al cual un pigmento es rechazado para revelar cambios visuales, así que es posible establecer una correlación entre el índice de degradación y el porcentaje de pigmento original presente en la muestra.

Actualmente este índice se usa para jugo o vinos, en el cual están presentes algunos pigmentos naturales del tipo de Antocianinas y Betalainas.

#### Propiedades Colorantes del Jugo de Tuna.

El estudio con el jugo de Tuna concentrado fue llevado a cabo para observar las propiedades colorantes del mismo, comparado con otros colorantes, esto se basa en las medidas hechas con el aparato Triestímulo, las mediciones se llevaron a cabo con soluciones diluídas a un Buffer 35 (Soerensen 1975) a un pH de 3 y 4, para obtener un rango amplio de la fuerza como colorante, según cuadro No. 4,

donde se muestran los valores de las coordenadas  $L$ ,  $a_L$ ,  $b_L$ , así como el ángulo  $\Theta$  y el índice de saturación, donde se observó que incrementa en el pH de las soluciones del pigmento ajustadas en concentración a una  $\lambda_{max}=1$ , el pigmento se volvió más oscuro (valor más bajo de  $L$ ) y más azul (más bajo de  $b_L$ ) y al ajustar las soluciones en concentración a la constante de luminosidad ( $L=50$ ), se llegó a una disminución en la coloración rojiza (valor más bajo  $a_L$ ). Lo cual indica que es sensible a cambios en el pH.

Así mismo, al incrementar el pH en ambos casos, hubo cambios en el ángulo ( $\Theta$ ) indicativo de cambios del color de rojo-naranja a pH más bajo y a un rojo-violeta a un pH más alto.

Al comparar el color del jugo de Tuna y los otros colorantes, cambiaron la intensidad de luz al ser comparados a una  $\lambda_{max}=1.0$  (Cuadro No. 4).

El jugo de Tuna concentrado, para una  $\lambda_{max}=1$ , dió lugar a soluciones oscuras a un valor  $L=50$ ; no obstante este valor no fue tan alto, como los observados con rojo No. 40 y extracto de Col roja, en que se apreciaron coloraciones rojas más intensas reportadas en el cuadro No. 4. Siendo similares entre sí por lo que respecta a los jugos de Uva concentrado, Arándano concentrado y jugo de Betabel concentrado, los valores de "L" fueron más bajos y son consecuencia de soluciones más claras.



CUADRO No. 4

PROPIEDADES COLORANTES DEL CONCENTRADO DE JUGO DE TUNA Y OTROS COLORANTES

VALOR DEL TRIESTIMULO											
Absorbancia Constante ( $A_{\lambda \text{ max}=1.0}$ )							Valor Constante L(L=50)				
Colorante	pH	L	$a_L$	$b_L$	$\epsilon$	Indice Sat.	$a_L$	$b_L$	$\epsilon$	Indice Sat.	
Conc. de Tuna	3.0	52.0	79.5	9.0	6.5	80.0	71.0	3.7	2.9	71.0	
	4.0	43.0	78.2	12.8	9.2	79.2	79.0	6	4.3	79.2	
Extracto de Col Roja	3.0	50.5	75.4	6.4	4.9	75.7	78.3	8.9	6.5	78.9	
	4.0	39.7	72.6	-2.8	357.9	72.6	65.0	-7.5	353.4	65.5	
Conc. de Uva	3.0	49.0	67.4	20.4	16.8	70.4	66.6	19.8	16.5	69.5	
	4.0	35.3	61.2	16.0	14.7	63.3	51.8	13.2	14.3	53.5	
Conc. de Arándano	3.0	39.7	66.9	19.1	15.9	69.5	59.1	16.8	15.8	61.4	
	4.0	32.2	61.8	15.1	13.7	63.7	47.8	12.8	15.0	49.5	
Conc. de Betabel	3.0	42.7	80.3	9.5	6.8	80.7	73.9	1.2	0.9	74.0	
	5.0	43.5	80.5	14.0	9.9	81.7	74.0	7.5	5.8	74.4	
Rojo No. 40	3.0	61.4	65.4	29.5	24.1	71.7	77.8	33.1	23.0	84.6	
	4.0	61.4	65.4	29.5	24.1	71.7	77.4	33.1	23.2	84.2	

Los pigmentos de jugo de Tuna roja revelaron menor tonalidad naranja-roja que los otros jugos observados a valores bajos del ángulo ( $\Theta$ ) excepto para el pigmento del jugo de Betable que fue más similar al jugo concentrado de Tuna, lo cual revela que ambas tonalidades puedan presentar pigmentos similares en constitución química.

El índice de saturación es un parámetro estudiado anteriormente por (Fuleki and Francis 1968)<sup>2</sup> que revela propiedades sobre la pureza del color y cambios en intensidad, debido a cambios en el pH, obtenido por las coordenadas del Triestímulo ( $L, a_L, b_L$ ).

Este estudio comparativo revela que para cada uno de los jugos y colorantes el índice de saturación llega a un valor máximo y luego disminuye a medida que la concentración del pigmento aumenta.

El comportamiento del jugo de Tuna concentrado fue similar a los valores obtenidos con el extracto de Col roja y jugo de Betabel concentrados a diferencia del jugo de Arándano concentrado que presentó valores diferentes y más bajos, probablemente debido a la baja concentración de Antocianinas, presentes en el Arándano que hace notar estas diferencias (F. Spaks 78). El comportamiento observado de

las Betacianinas y Betacianidinas en el jugo de Tuna concentrado, parecen comportarse similarmente al jugo de Betabel, probablemente debido a la estabilidad alcanzada durante los períodos de fermentación del jugo de Tuna (Tueme 81).<sup>56</sup>

Los estudios observados con rojo No. 40, en solución, muestran que éste no varía con los cambios de pH, siendo un colorante con alto grado de pureza.

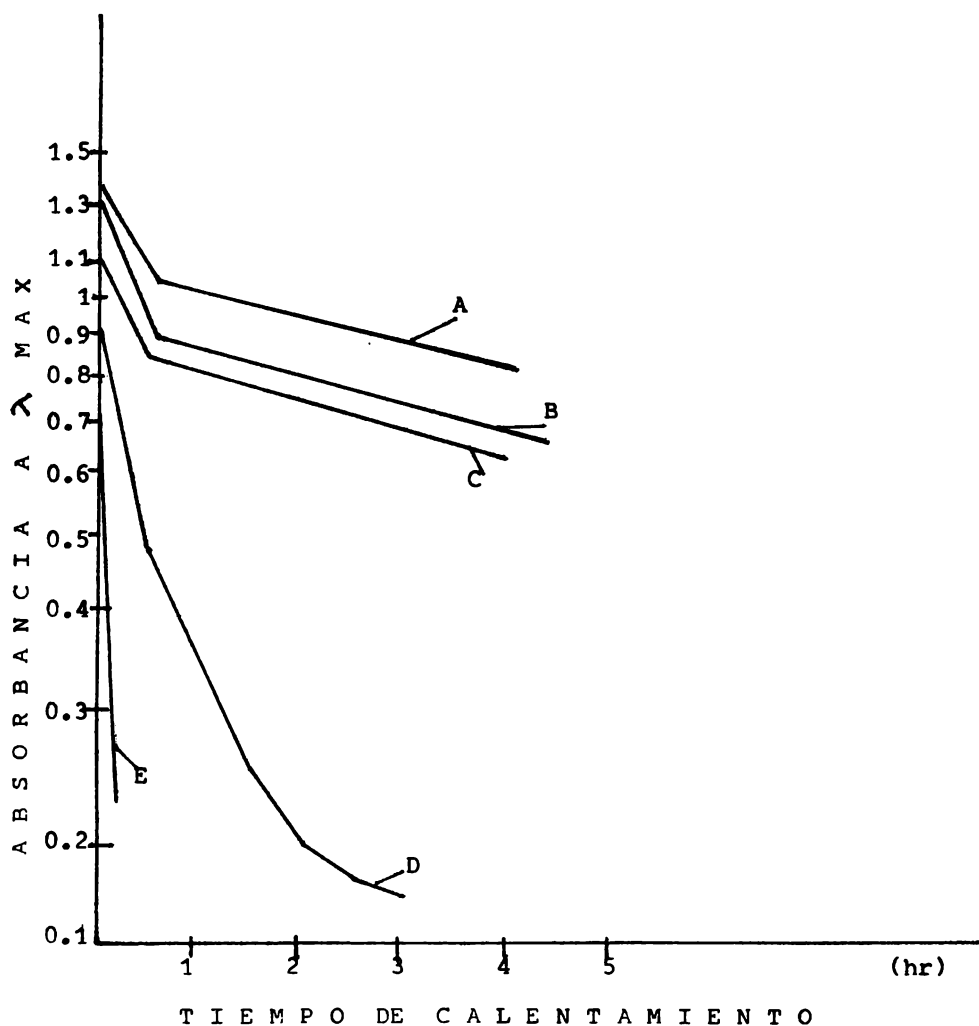
#### Estabilidad al Calor del Jugo de Tuna.

Las medidas hechas para la absorbancia a una  $\lambda$  máxima de los colorantes de jugo de Tuna concentrado, jugo de Tuna en polvo, jugo de Arándano concentrado, extracto de Col roja y jugo de Betabel diluídos a un pH 3 Buffer a una temperatura de ebullición de (92°C) son comparados en la gráfica No. 1.

La gráfica semilogarítmica de la estabilidad del jugo de Tuna roja concentrado al calor, mostró disminución gradual que indica ser lineal así mismo el polvo se comportó similarmente, pero con valores más bajos, siendo más estable el jugo de Tuna concentrado que los observados para jugo de Betabel, jugo de Arándano concentrado y extracto de Col roja, esto pudiese ser interpretado a la estabilidad obtenida durante el proceso de fermentación del jugo de Tuna concentrado, que hidroliza los glucosidos por

GRAFICA No. 1

Efectos del calentamiento a temp. de ebullición (92°C) V.S. absorbancia a pH 3 Buffer de las soluciones de los colorantes: (A) jugo de Tuna Conc.; (B) jugo de Tuna en polvo; (C) Extracto de Col roja; (D) jugo conc. de Arándano y (E) jugo de Betabel.



efectos de la acción enzimática generada por los microorganismos fermentativos por la B-glucosidosa (Piatelli y Mina-  
 41  
 le 1964) al transformar las Betaninas a Betanidinas; por lo que respecta a los otros jugos concentrados estudiados, el más estable es el extracto de Col roja, donde su estabilidad se alcanza por el alto grado de acilación de las Antocianinas (Napolis y Francis 1965), no siendo alcanzado por el jugo de Arándano concentrado, ni por el jugo de Betabel por carecer de Antocianinas y Betalainas aciladas, que los hace muy susceptibles a los cambios de temperatura y fácilmente degradadas (Napolis y Francis).  
 31

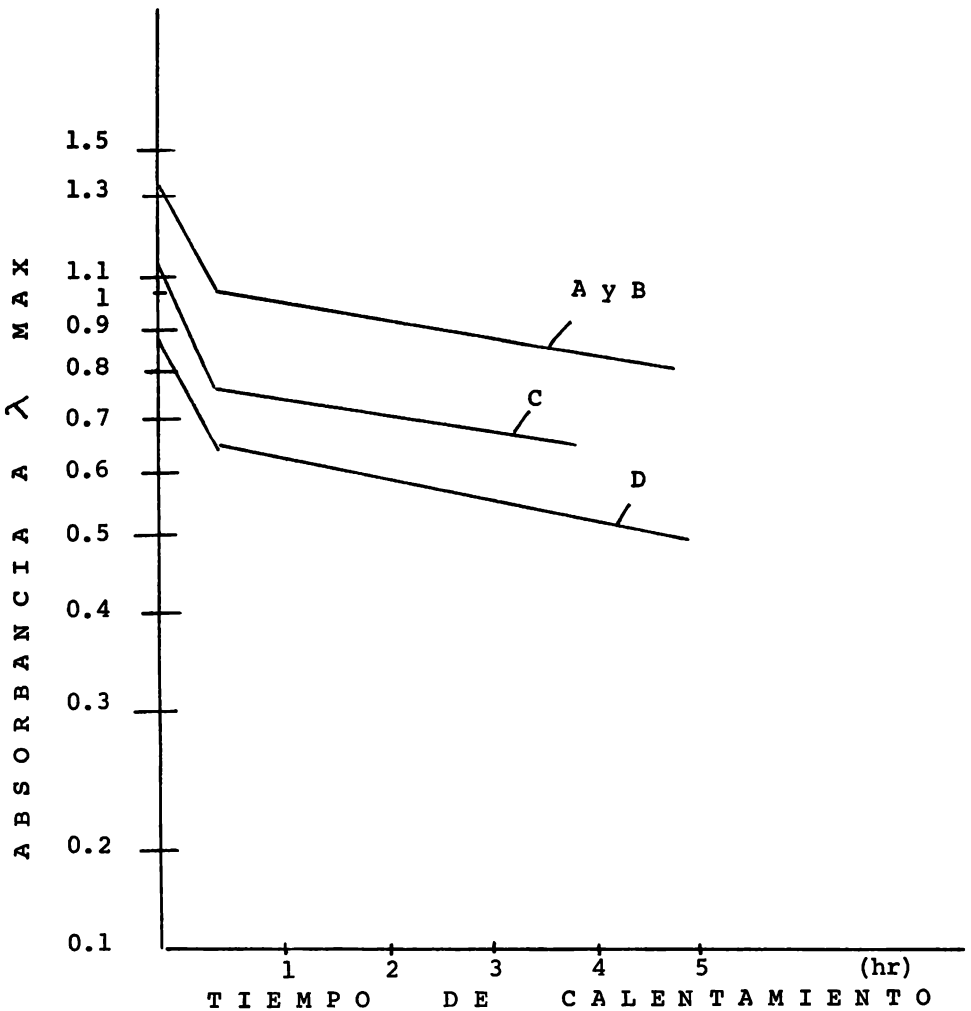
También se determinó la estabilidad del jugo de Tuna concentrado, al preparar bebidas de frutas simuladas, usando el jugo a pH de 3 y 4 Buffer combinadas con azúcar y ácido cítrico.

Las curvas de absorbancia semilogarítmicas, contra tiempo de calentamiento, dieron curvas similares a las de Buffer pH 3 y a las bebidas simuladas al mismo pH (Gráfica No. 2).

Esto probablemente fue debido al comportamiento similar del jugo, que al estar en solución no parece ser modificado, dando así una confiabilidad a ser utilizado por la industria en bebidas y refrescos.

GRAFICA No. 2

Efectos del calentamiento a temperatura de ebullición (92°C) V.S. absorbancia con soluciones de jugo de Tuna concentrado: (A) a pH 3 Buffer; (B) a pH 3 bebida simulada; (C) a pH 4 bebida simulada y (D) a pH 4 Buffer.



Estudios similares con Antocianinas aisladas, revelaron que la estabilidad al calor de las Antocianinas es independiente del pH en ausencia de aire (Markakis 1974) y en presencia del aire son más estables a pH bajo, con lo que se puede considerar similar comportamiento para las Betacianidinas (Markakis 1974).

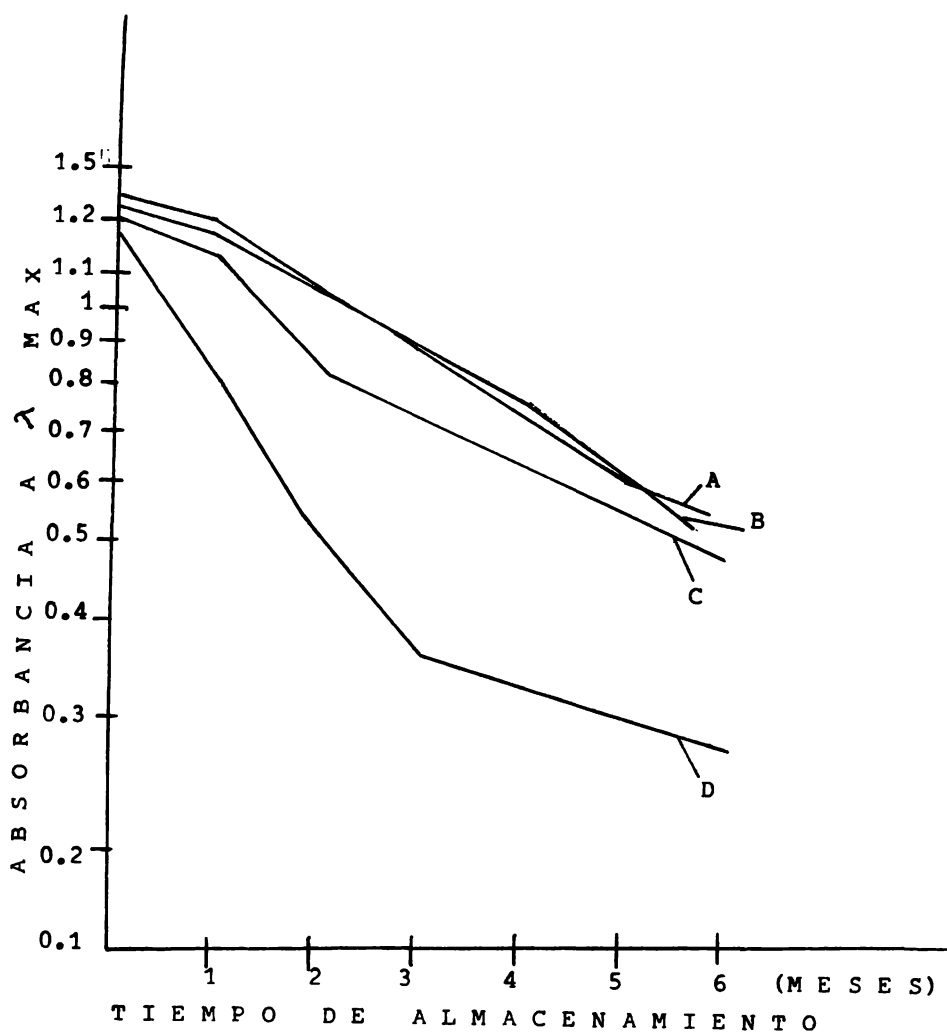
#### Almacenamiento y Estabilidad de los Pigmentos de Jugo de Tuna.

Durante el almacenamiento expuesto a la luz, a 25°C, el color de las soluciones del jugo de Tuna concentrado desaparece gradualmente y se vuelven anaranjadas así mismo también fue observado un comportamiento similar para el jugo de Tuna en polvo; siendo que el polvo cambia más rápido que el jugo concentrado en solución.

Los cambios en la absorbancia a una  $\lambda$  máxima y un pH 3 Buffer, de las soluciones de los colorantes de jugo de Tuna en polvo, de jugo de Tuna concentrado, extracto de Col. roja y jugo de Betabel, se muestran en la gráfica No. 3, donde los colorantes del jugo de Tuna concentrado y en polvo fueron más estables durante el almacenamiento que al extracto de Col roja y al jugo de Betabel, debido probablemente a una mayor estabilidad lograda en el proceso de fermentación.

GRAFICA No. 3

Efectos del almacenamiento en luz a 25°C V. S. absorbancia a pH 3 Buffer de las soluciones colorantes:  
(A) jugo de Tuna Conc.; (B) jugo de Tuna en polvo; (C) extracto de Col roja; (D) jugo de Betabel.





Los cambios visuales observados durante el almacenamiento fueron directamente dados por los parámetros obtenidos en el colorímetro Triestímulo.

Al medir el jugo de Tuna concentrado en bebidas simuladas, los valores de luminosidad del pigmento (L), el ángulo ( $\Theta$ ) y el índice de saturación, se tomaron periódicamente por un tiempo de 6 meses.

El incremento del valor de (L), durante el almacenamiento en un índice directo de pérdida del color - (Cuadro No. 5 y gráfica No. 4); así como un aumento en los valores del ángulo ( $\Theta$ ), que indicaron cambios en el color del jugo concentrado, pasando de rojo a un tono rojo-naranja dado posiblemente a una secuencia paralela de reacciones de obscurecimiento no enzimática de Maillard, conjuntamente con la degradación de las Betalainas durante el almacena--  
50  
miento (Sapers G.M. 1979).

Una disminución del índice de saturación, fue <sup>58</sup> debido a los cambios de la pureza del color (Van Buren 1974) que refleja una pérdida del color rojizo debido a la degradación de Betalainas y por efecto de pH, luz y temperatura. Así mismo estos cambios también fueron observados en cada una de las bebidas simulada a un pH y Buffer. Estos cambios nos dan idea de la estabilidad recomendable y confiable

para la utilización de este jugo concentrado de Tuna en la Industria alimenticia pudiendo de antemano competir con los pigmentos comparados en este estudio.

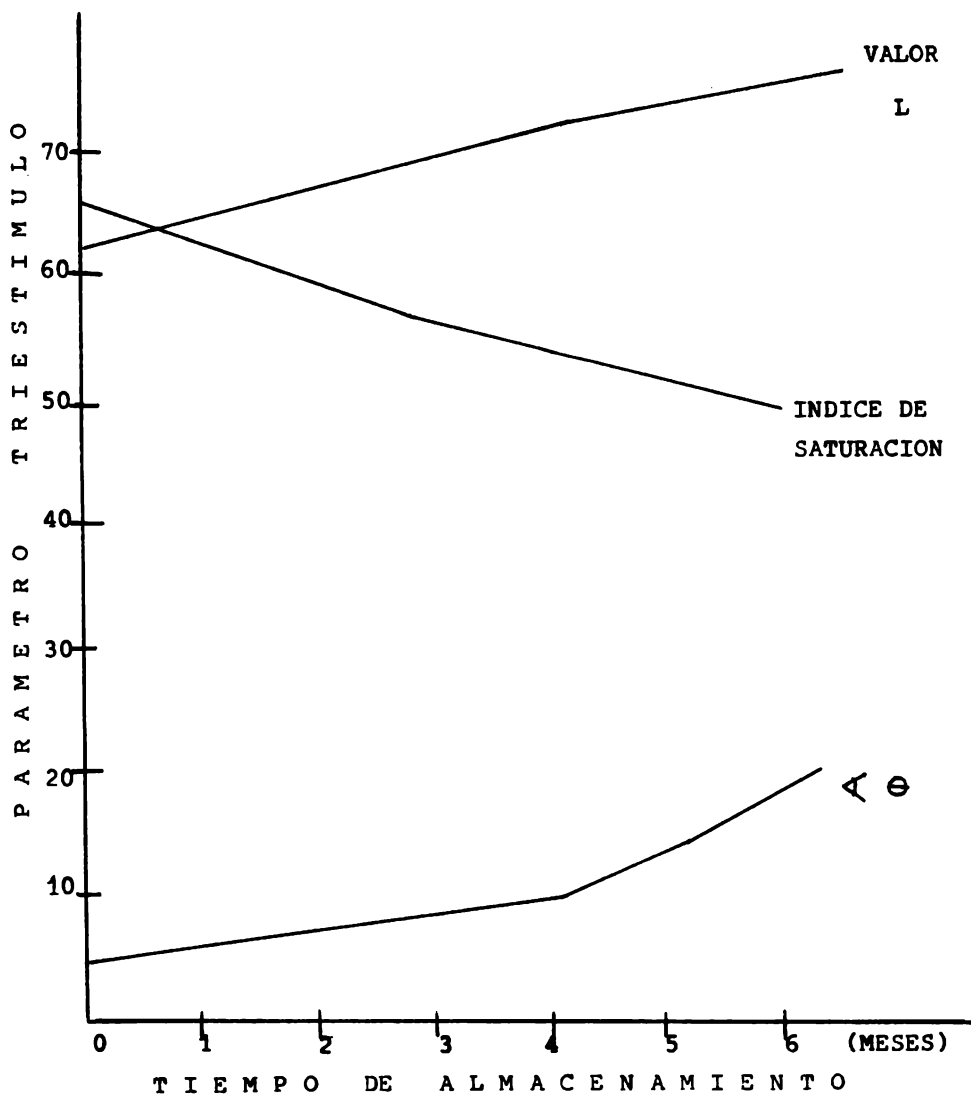
CUADRO No. 5

Valores del parámetro del Triestímulo de una bebida simulada a pH 3, elaborada con jugo de Tuna concentrado, durante el almacenamiento a 25°C.

Tiempo Meses	L	a <sub>L</sub>	b <sub>L</sub>	∅	Indice de Saturación
0	60.1	64.3	4.8	4.3	64.5
1	63.5	59.8	5.5	5.3	60.0
2	66.2	57.5	6.3	6.2	57.8
3	68.3	56.2	6.6	6.7	56.5
4	71.2	55.4	7.3	7.5	55.8
5	72.7	52.2	12.2	13.2	53.6
6	74.4	49.2	16.3	18.3	51.8

GRAFICA No. 4

Efectos del almacenamiento a la luz a 25°C V.S. los parámetros del Triestímulo de una bebida simulada a partir de jugo de Tuna concentrado a pH 3.



Determinación Cuantitativa de Betacianinas en Jugo de

Tuna.

Los estudios llevados a cabo en jugo de Tuna por el método de cuantificación espectrofotométrica desarrollada por Nilsson (1970), revelaron que la cantidad de Betacianinas presentes entran en una proporción de 36-39 mg/100 g. de jugo y de Betaxantinas presentes varía de 10-12 mg/100 g. de jugo de Tuna, como se muestran en el cuadro No. 6.

CUADRO No. 6

Muestras	Betacianinas mg/100 g. b.h.	Betaxantinas mg/100 g. b.h.
1	36.38	10.43
2	36.81	10.83
3	38.52	11.37
4	36.47	10.74
5	38.16	11.32
6	39.16	11.78
7	37.78	11.23
8	36.25	10.27
9	38.34	11.52
10	36.48	10.79
Promedio	37.47	11.02

Los análisis hechos para determinar la cantidad de Betacianinas y Betaxantinas en el jugo de Tuna concentrado en polvo, se presentan en el cuadro No. 7, los resultados obtenidos revelan que los valores disminuyen hasta un 35%, debido a que estos pigmentos son termolábiles. Estos cambios se obtienen durante los períodos de secado por aspersión a temperatura de 130°C a 100°C. Así mismo se pierden las propiedades que se tienen en el jugo concentrado líquido observadas en las gráficas No. 1 y 2.

CUADRO No. 7

Muestra	Betacianinas mg/100 g. b.h.	Betaxantinas mg/100 g. b.h.
1	13.41	4.032

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

Y

R E C O M E N D A C I O N E S

### CONCLUSIONES

- 1) El jugo de Tuna Cardona concentrado y en polvo usado como colorante, reveló mayor estabilidad en los cambios observados al calor y almacenamiento, al ser comparado con el jugo de Arándano concentrado, jugo de Betabel y Extracto de Col roja.
- 2) La estabilidad alcanzada durante la fermentación del jugo de Tuna, al disminuir el total de azúcares libres (13.7%) hace posible el poder obtener jugo concentrado y en polvo, evitando así su caramelización y viscosidad al ser concentrado, incrementando así su estabilidad para uso industrial.
- 3) El jugo de Tuna concentrado presenta variación en la longitud de onda absorbida, así como de los valores de las coordenadas cromáticas de color ( $L$ ,  $a_L$ ,  $b_L$ ,  $\Theta$ , Índice de Saturación), debido a los cambios de pH siendo el rango de 3 a 4 los más estables. Por lo que pudo ser utilizado en la preparación de refrescos y bebidas carbonatadas.
- 4) El jugo de Tuna concentrado cambia en las tonalidades al variar con el pH en las coordenadas del Triestímulo ( $L$ ,  $a_L$ ,  $b_L$ ). Siendo rojo-naranja a valores de pH bajo y rojo-violeta a pH alto.



- 5) En períodos de almacenamiento mayores de 4 semanas, el jugo de Tuna concentrado cambia ligeramente a rojo-naranja, perdiendo parte de su color rojizo característico, observado en los parámetros de color ( $L$ ,  $a_L$ ,  $b_L$ ), siendo más estable que los otros jugos comparados, pudiendose utilizar ampliamente además de bebidas en productos lácteos.
  
- 6) El jugo de Tuna en polvo es más inestable a los cambios de pH y temperatura que el jugo de Tuna concentrado líquido, siendo 35% menos la concentración de Betacianinas en el secado del jugo de Tuna por ser termolábiles a la temperatura del proceso. Sin embargo tiene gran aplicación en bebidas en polvo y reemplazamiento de jitomate, fresa y jamaica.
  
- 7) El jugo de Tuna concentrado es más estable al calor que los jugos de Arándano concentrado, Betabel y extracto de Col roja; no obstante, se mostró una relación entre la termoestabilidad y la variabilidad del pH.

- 8) En base al estudio presentado en bebidas simuladas a los pH característicos de 3 y 4, mostró que se puede usar con mucha confianza, tanto en líquido como en polvo, pudiendo ser utilizado en la industria de refrescos y bebidas carbonatadas por período hasta de 3 meses.
  
- 9) El estudio realizado abre un panorama alentador para el aprovechamiento de la fruta del nopal a nivel industrial, por lo que es necesario situar este proceso dentro de la problemática actual de la producción-consumo de la tuna en el país.

### RECOMENDACIONES

- 1) Realizar investigación química básica, tendiente a esclarecer los pasos bioquímicos suscitados en la fermentación, para confirmar la estabilidad de las Betacianinas.
- 2) Es necesario cuantificar los cambios suscitados en la fermentación, para poder determinar que estructura es la responsable de la estabilidad.
- 3) Complementar las pruebas sensoriales de los productos terminados con el jugo de Tuna y de acuerdo con la aceptación en comparación con los otros pigmentos estudiados, para determinar en una muestra más amplia en que grado modifica el perfil de sabor obtenido.
- 4) Realizar estudios económicos para complementar el desarrollo industrial de la técnica presentada en este trabajo, optimizando las diferentes variables y alcanzar un mejor manejo operativo adecuado, que permita su utilización con ventajas competitivas sobre los colorantes artificiales que son potencialmente tóxicos.

- 5) Diseñar y optimizar el equipo necesario, para la extracción del jugo de Tuna y su concentración a nivel piloto e industrial, así como realizar cambios para obtener mejores rendimientos.

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

- 1.- Bejarano y Almada, A. 1973  
Anteproyecto de una Planta para la elaboración de una bebida enlatada hecha a partir de Tuna.  
Tesis Prof. de la Facultad de Química, U.N.A.M.  
México, D.F.
  
- 2.- Braverman, J.B.S.  
Introducción a la Bioquímica de los Alimentos 12:207  
218; 16:267-282.
  
- 3.- Britton, N.L. y Rose, J.N. 1937  
The Cactaceae. (Reimpresión 1963). (I) 184 p. Dover  
Publ., Inc. Ney York.
  
- 4.- C.I.E 1981  
International Commission on Illumination, proceedings  
of the eight session. Cambridge, England.  
Cited by Clydesdale, F.M. and Francis, F.J. 1968.  
Color measurement of foods: 8. Developments of the  
C.I.E. system. Food Prod. Dev. 2:50
  
- 5.- CETENAL. 1970  
Cartas climáticas Zacatecas, 130-II y San Luis Potosí,  
140-I. Primera Edición.  
México, D.F.
  
- 6.- Dreiding. A.S. 1961  
The Betacyanins, a class of red pigments in the Cen-  
trospermas. En: "Recent Developments in the Chemis-  
try of Natural Phenolic Compounds" (W.O. Ollis, ed.)  
pp. 194-211.  
Pergamon Press, Oxford.
  
- 7.- Eagerman, B.A., Clydesdale, F.M., and Francisc, F.J.  
1968

Quantitative methods for anthocyanins. 2. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice.  
J. Food Sci. 33:78.

- 8.- Engler, A. 1936  
"Syllabus der Pflanzenfamilien", 11a. edición (L. - Diels, ed.).  
Borntraeger, Berlin.
- 9.- Escamilla, H.L. Reyes, A.D. y Gutiérrez, V.V. 1977.  
Proyecto para la Industrialización de la Tuna.  
Tesis Prof. Facultad de Química, U.N.A.M.  
México, D.F.
- 10.- FAO/OMS. 1963  
Normas de Identidad y de Pureza para los Aditivos alimentarios. Vol. I Substancias conservadoras, antimicrobianas y antioxidantes. Vol. II, Colores alimentarios.
- 11.- Fischer, N. and Dreiding, A.S. 1972  
Biosynthesis of Betalaines.  
Cleavage of the aromatic ring during the enzymatic transformation of dopa into betalamic acid.
- 12.- Fuleki, T. and Francis, F.J. 1968  
Quantitative methods for anthocyanins. 2  
Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice. J. Food Sci. 33:78'
- 13.- Furia, Thomas, E. 1968  
Handbook of Food Additives.  
The Chemical Rubber Co. p. 25-47.  
Cleveland, Ohio.
- 14.- Gardner, S. 1972

Color Additive FD&C Red No. 2: Proposed limit on ingestion. Fed. Reg. 37:13181.

- 15.- Hodgman, C.D. 1954  
"Handbook of Chemistry and Physics, 36th ed.  
Chemical Rubber Publishing Co., p. 1617.  
Cleveland, Ohio.
- 16.- Hrazdina, G., Iredale, H., and Mattick, L.R. 1977.  
Anthocyanin composition of Brassica oleraces cv.  
Red Danisch. Phytochemistry 16:297.
- 17.- Hunter, R.S. 1942  
Photoelectric tristimulus colorimetry with three filters. Natl. Bur. Std. Circ. C 429.
- 18.- Impellizeri, G., Piattelli, M. and Sciuto, S. 1973a.  
A new Betaxanthin from Glottiphyllum longum.  
Phytochemistry 12:2293-2294.
- 19.- Johnson, L.E., Clydesdale, F.M. and Francis, F.J.  
1976.  
Use of expanded color scales to predict chemical and  
visual changes in solutions, J. Food Sci. 41:74
- 20.- Kirk, E.R., Othmer, F.D. 1961  
Color y Constitución. En: "Enciclopedia de Tecnología  
Química". Vol. 5  
Unión Tipográfica editorial Hispano-americana.  
México, D.F.
- 21.- Kramer, A. 1958  
The potential of color measurment in quality control.  
Natl. Canners Assoc. Inform. Letter 1966, 49-51.  
Washington, D.C.
- 22.- Lozano, G.M. 1958

Contribución al Estudio e Industrialización del Nopal (Opuntia spp).

Tesis Prof. Escuela Superior de Agricultura (Antonio Nastro).

Buenavista, Coahuila, México.

- 23.- Lusas, E.W., Rice A.C. And Weckel, K.G. 1960  
Changes in the color of canning beets. I. Changes  
College of Agr. University of Wisconsin.
- 24.- Mabry, T.J. and Dreiding, A.S. 1968  
The Betalains, pp. 145-160. En: "Recent advances in  
phytochemistry. Vol. 1 (Mabry, T.J., Alston, R.E. and  
Runeckles, V.C., eds.).  
Appleton-Century-Crofts, New York.
- 25.- Mackinney, G., and Chichester, C.O. 1954  
The color problem in food.  
Advances in Food Research 7, 301-351.  
Academia Press, N.Y.
- 26.- Machinney, G., and Little, A. 1962  
Color of Foods.  
Avi Publishing. Co., Westport, Conn.
- 27.- Magruder, R. y Col. 1940  
Description of types of principal American varieties  
of red garden beets.  
U.S. Dep. of Agr. Miscellaneous Publ. 374.
- 28.- Markakis, P. 1974  
Anthocyanins and their stability in foods. CRC Critical  
Reviews in Food Technol.  
March, p. 437.
- 29.- Marroquín, S.J.G., Borja, C., Velázquez, C. y de la  
Cruz, J.A. 1964  
Estudio Ecológico Dasonómico de las Zonas Áridas del



Norte de México. INIF-SAG, México, D.F.

- 30.- Minale, L., Piatte lli, M. and de Stafano, S. 1967  
Pigments of Centrospermae. VII. Betacyanins from  
Gomphrsna globosa L. Phytochem. 6:703-709.
- 31.- Napolis C. and Francis, F.S. 1965  
Cranberry Anthocyanins, J.  
Food Sci. 30:396.
- 32.- Nickerson, D. 1938  
Use of I.C.I. tristimulus values in disck colorimetry.  
U.S. Dept. Agr. Prelim Rept.
- 33.- Nieto, R.D. 1975  
Tratado Elemental de Botánica.  
Capítulo ~~XXXI~~, 649-652.
- 34.- Nilsson, T. 1970  
Studies into the pigments in beet root.  
Lantbrukshoegskolane Annaler 36:279-219.
- 35.- Orozco, D.F. 1975  
Análisis Químico Cuantitativo. 17:251-265.
- 36.- Paredes, L. y Rojo, B.O. 1973  
Estudio para el enlatado de jugo de Tuna. Tecnología  
de Alim. 8:237-240.
- 37.- Pasch, J.H. and von Elbe, J.H. 1975.  
Betanins Degradation as Influenced by water activity,  
J. Food Sci. 40:1145-1146.
- 38.- Pasch, J.G., Elbe, J.H. and Sell, R.J. 1975  
Betalaines as colorantes in dairy products, J. Milk

Food Tech. 38:25-28.

- 39.- Peterson, R.G. and Joslyn, M.A. 1958  
Natura of Betanin, the pigment of red beet.  
Natura 182:45-46.
- 40.- Piattelli, M. and Imperato, P. 1969  
Betacyanins of the family Cactaceae.  
Phytochem. 8:1503-1507.
- 41.- Piattelli, M. and Minale, L. 1964a.  
Pigments of Centrospermae. I. Betacyanins from Phyllocactus hybridus Hort., and Opuntia ficus-indica Mill.  
Phytochem. 3:307-311.
- 42.- Piattelli, M. and Minale, L. 1964b.  
Pigments of Centrospermae. II. Distribution of betacyanins. Phytochem. 3:547-557.
- 43.- Piattelli, M. Minale, L. and Prota, G. 1964c.  
Isolation, structure and absolute configuration of indacaxanthin. Tetrahedron 20:2325-2329.
- 44.- Pigmentos y Oxidos, S.A. 1981  
Colores Certificados para Alimentos.
- 45.- Piña, L.J. 1970  
Región productora de Tuna en el estado de Zacatecas.  
Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 15:64.
- 46.- Pucher, G.W., Curtis, L.C. and Vickery, H.B. 1938a.  
The red pigment of the root of the beet (Beta vulgaris)-I. The preparation of betanin. J. Biol. Chem. 123:61-70.
- 47.- Pucher, G.W., Curtis, L.C. and Vickery, H.B. 1938b.

The red pigment of the root of the beet. (*Beta vulgaris*)-II. A Method to determine betanin.  
J. Biol Chem. 123:71-75.

- 48.- Reglamento de Aditivos para Alimentos. (1958)  
Diario Oficial. Febrero 15, México.
- 49.- Riboh. M. 1977  
Natural colors: what works...what doesn't.  
Food Engr. May:66.
- 50.- Sapers. G.M. and Hornstein, J.S. 1979  
Varietal differences in colorant properties and stability of red beet pigments. J. Food Sci. 44:1245.
- 51.- Schmidt, O. th., Becher, P. and Hubner. 1960  
Tur Kenntnis der Farbstoffe der roten Rube. Chem. Per. 93:1296.
- 52.- Shewfelt, R.L. and Ahmed, E.M. 1977  
Anthocyanin extracted from red cabbage shows promise as coloring for dry beverage mixes.  
Food Product Development 11(4):55.
- 53.- Shewfelt, R.L. and Ahmed, E.M. 1978  
Enhancement of powdered soft drink mixes with anthocyanin extracts. J. Food Sci. 43:435.
- 54.- Spaks, Francisc. 1978  
Estudio Comparativo de los Pigmentos del jugo de -  
Arándano, jugo de Betabel y Extracto de Col roja.  
IFF N.Y.
- 55.- Tanchev, S.A. and Timberlake, C.F. 1969  
The anthocyanins of ted cabbage (*Brassica Oleracea*)  
Phytochemistry 8:1825.

- 56.- Tueme 1981  
Efecto de la Fermentación sobre los Glucosidos en  
Betacianinas provenientes del jugo de Tuna concen-  
trado.  
IFF de México
- 57.- Valdez Villarreal, A. 1980  
Pigmentos de Tuna Cardona (*Opuntia Streptacantha* L.)  
como posibles colorantes alimentarios..  
Tesis Prof. Universidad La Salle.  
México, D.F.
- 58.- Van Buren, J.P., Hrazdina, G. and Robinson, W.B. 1974  
Color of anthocyanin solutions expressed in lightness  
and chromaticity terms.  
Effect of pH an type of anthocyanin. *J. Food Sci.*  
39:325.
- 59.- Vilece, R.J. Fagerson, I.S. and Esselben, W.B. 1955  
Darkening of food purees and concurrent changes in  
composition in headspace gas. *H. Agr. Food Chem.*  
3:433.
- 60.- Villarreal, A. 1964  
Nopal como forraje para el ganado.  
Tesis Prof. Escuela Nacional de Agricultura.  
Chapingo, México.