

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y  
MANUFACTURERA**



**ESTUDIO DE LA INDUSTRIALIZACION DE LA  
BETERRAGA PARA LA OBTENCION DEL  
COLORANTE ROJO EN POLVO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUIMICO**

**LOZANO NORIEGA JOSE  
ROSALES HUAMANI JIMMY**

**LIMA - PERU**

**1991**

## DEDICATORIAS

Para Alcira, mi adorada madre;  
mis queridos hermanos y Vicky  
con quienes compartí sacrificios,  
esfuerzos y alegrías para culminar  
mi carrera profesional y finalmente  
alcanzar titularme.

JOSE

Dedico este trabajo  
A la memoria de mi señora madre  
fallecida :  
Teresa Huamaní Ninfa  
A mi querida y adorada :  
Quetita Olivera Falconi  
A mi padre :  
Heli Rosales Ayala  
A mi hermano :  
Carlos Rosales Shon  
Quienes con su gran amor y ayuda  
permitieron que salga adelante  
para poder culminar mi carrera  
profesional y lograr titularme.

JIMMY

Lima , Setiembre 1991

## AGRADECIMIENTO

En forma muy especial, al Ing. Adolfo Marcelo A. por habernos brindado todo lo necesario para el desarrollo del presente trabajo y su valiosa asesoría. Asimismo nuestro reconocimiento a todos los integrantes de la plana docente de la Facultad que de alguna manera hayan contribuido en su realización.

## INDICE GENERAL

	Pág.
i. RESUMEN .....	8
ii. RESULTADOS .....	8
iii. CONCLUSIONES .....	10
iv. RECOMENDACIONES .....	11
 INTRODUCCION .....	 12
 CAPITULO I : LA BETARRAGA .....	 14
A. Características .....	14
1. Aspecto botánico .....	14
2. Composición química .....	14
3. Variedades .....	15
4. Producción nacional .....	15
5. Comercialización .....	15
B. Propiedades y usos .....	17
1. Propiedades del jugo .....	17
2. Usos .....	17
C. Colorantes de la betarraga .....	18
1. Clasificación .....	18
2. Estructura química .....	19
3. Métodos de identificación .....	22
4. Descripción del colorante rojo .....	24
4.1 Especificaciones .....	24
4.2 Pruebas de reconocimiento .....	26
4.3 Estabilidad .....	28
4.4 Toxicología .....	35
4.5 Usos .....	35
 CAPITULO II : METODOLOGIA DE PROCESAMIENTO.....	 40
A. Métodos posibles de extracción .....	40
1. Descripción de cada uno .....	40
1.1 Método 1 (Musso H.) .....	40
1.2 Método 2 (Bilyk A.) .....	41
1.3 Método 3 (Wiley R.) .....	44
2. Diagramas de flujo .....	47
B. Selección del método (nivel banco) .....	52
1. Procedimiento .....	52
2. Requerimientos .....	55
2.1 Materiales .....	55
2.2 Equipo e instrumentación .....	56
2.3 Servicios .....	57
3. Diagrama de operaciones .....	57
 CAPITULO III : RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	 59
A. Parámetros a determinar .....	59
1. Factores que intervienen .....	59
2. Métodos de medición .....	61
B. Pruebas experimentales .....	66

	Pág.
CAPITULO IV : DISEÑO DE LA UNIDAD PILOTO	78
A. Escalamiento de los resultados	78
B. Etapas consideradas	80
1. Descripción	80
2. Diseño de equipos	82
2.1 Tanque de calentamiento	82
2.2 Prensa	85
2.3 Tanque de agitación	85
2.4 Filtro rotatorio	89
2.5 Tanque de concentración	92
2.6 Secador por atomización	92
3. Diagrama de flujo	96
C. Evaluación económica de la unidad	97
1. Inversión total de capital	99
2. Costo total del producto	104
3. Rentabilidad	107
APENDICE	109
-Equipos de laboratorio utilizados	109
-Color Index	117
-Normas legales para aditivos alimentarios.....	118
BIBLIOGRAFIA	121

#### INDICE DE FIGURAS

Nº de Figura		
1	: Espectro de absorción de la betanina	20
2	: Espectro infrarrojo de la betanina	20
3	: Estructura general de las betacianinas.....	23
4	: Estructura química de la betanina e i-sobetanina	23
5	: Estructura de las vulgaxantinas I y II.....	23
6	: Degradación de la betanina a 100°C	29
7	: Efecto de la actividad del agua en la vida media	31
8	: Efecto de la temperatura a pH=5	32
9	: Efecto del tratamiento térmico en la actividad enzimática a 100°C	34
10:	Método 1 (Musso H.)	49
11:	Método 2 (Bilyk A.)	50
12:	Método 3 (Wiley-Lee)	51
13:	Método seleccionado	58
14:	Espectro de absorción del colorante rojo de betarraga	76
15:	Escalamiento de los resultados a nivel banco	79
16:	Tanque de calentamiento y concentración	84
17:	Prensa	86
18:	Tanque de agitación	88

	Pág.
19: Filtro rotatorio .....	90
20: Secador .....	94
21: Cabeza atomizadora .....	95
22: Diagrama de flujo de la unidad .....	96
23: Baño para tratamiento térmico (Yamato).....	114
24: Evaporador rotatorio (Yamato) .....	115
25: Secador por atomización (Niro Atomizer).....	116

### INDICE DE TABLAS

Nº de Tabla			
1	:	Composición química de la betarraga .....	16
2	:	Producción nacional de betarraga .....	16
3	:	Colorantes sintéticos observados y/o prohibidos por la FDA .....	36
4	:	Algunas mezclas con colorantes sinté- ticos .....	36
5	:	Países donde el color es permitido .....	39
6	:	Resultados de la extracción de la be- tanina (Método de Bilyk) .....	46
7	:	Condiciones de operación para la ex- tracción-difusión (Método de Wiley) .....	46
8	:	Obtención del producto final (Método de Wiley) .....	48
9	:	Extracción a los sólidos del prensa- do (Método seleccionado) .....	69
10	:	Propiedades de la muestra a secar (Método seleccionado) .....	73
11	:	Condiciones de operación del secado (Método seleccionado) .....	73
12	:	Costo del equipo adquirido .....	101
13	:	Inversión total de capital .....	103
14	:	Costo total del producto .....	106
15	:	Flujo de fondos y rentabilidad .....	108

## i. RESUMEN

Se ha estudiado la posibilidad de industrializar la betarraga comestible para la obtención de colorante rojo (betanina) de uso alimenticio.

A partir de métodos posibles de extracción de colorante se ha elaborado un método propio, que incluye algunas de las operaciones indicadas en ellos, factible de realizarse a nivel piloto.

Se ha obtenido un colorante con una concentración de betanina promedio de 0.7 %, para lo cual mediante pruebas de laboratorio la betarraga almacenada en frío, fue sometida a un tratamiento térmico (enzimático) para luego separar el extracto de los sólidos por prensado.

De los sólidos se ha extraído el colorante remanente, usando como solvente ácido cítrico diluido. Luego de filtrar la suspensión agitada, los sólidos residuales son retirados y el filtrado se mezcla con el extracto del prensado.

La mezcla se concentra al vacío y el jugo concentrado se combina con un aditivo sólido que mejora la eficiencia del secado, de donde obtenemos el colorante rojo de betarraga en polvo.

## ii. RESULTADOS

El producto final presentó las siguientes características:

- Soluble en agua
- Color rojo-violeta

Densidad del polvo:	0.54
Concentración de betanina:	0.7 %
- pH:	5.0
% Carbohidratos:	75.0
% Humedad:	8.8
- % Cenizas:	4.8
- % Grasa:	0.1
% Proteína:	9.3
Trazas:	Calcio, Fósforo, Hierro, Vitaminas A, B1 y B12 y Aminoácidos
- Aspecto bacteriológico:	Coliformes, levaduras y salmonellas; menos de 1000 por gramo

utilizándose las siguientes condiciones de operación:

- Materia Prima           Betarraga comestible (Beta vulgaris) del tipo Rojo de Detroit.
- Almacenamiento        15-20 días a 2°C
- Tratamiento térmico:  100°C, 5 min, operación batch.
- Prensado                Relación ml jugo/g de betarraga = 0.70  
operación batch.
- Extracción             Acido cítrico al 0.1%  
Relación solvente/sólidos = 2.5  
50°C , operación batch.
- Filtración              300-400 mmHg de vacío, operación con-  
continua.
- Concentración         450-600 mmHg de vacío, operación batch  
Razón de vaporización = 0.5

- Secado : Densidad de solución alimentada = 1.2  
Temperatura y Presión de entrada de  
aire = 120-125°C ; 4 kgf/cm<sup>2</sup>  
Aditivo = 5 a 7% del peso de la solu-  
ción alimentada, operación continua.

### iii. CONCLUSIONES

- Se ha determinado la factibilidad de sustituir el colorante rojo sintético ,por uno similar de origen natural,tanto técnica como económicamente.

Purificando el colorante estudiado se alcanzaría la máxima concentración de betanina,pero ello limita su aplicación a mayor escala por el alto costo que significaría dicha operación.

La adición de un agente sólido para mejorar la recuperación de sólidos durante la operación de secado,si bien disminuye la concentración de betanina permite que el método seleccionado sea factible.A pesar de su baja concentración el colorante presenta buena intensidad de color.

El colorante rojo de betarraga es estable a determinadas condiciones de pH,temperatura,humedad relativa,etc.,por tanto es importante su rápida extracción a fin de evitar mayor degradación del colorante.

**iv. RECOMENDACIONES**

- Estudiar la posibilidad de aprovechar los residuos de la extracción del colorante, como fuente de pectinas.
  
- Realizar investigaciones acerca del empleo de purificadores de bajo costo; posibilidades de diseñar una planta versátil que no sólo sirva para el caso propuesto, sino para la obtención de otros colorantes, etc. que permitan alcanzar un mejor rendimiento que los resultados obtenidos.

Mayor control en los productos alimenticios elaborados con colorantes sintéticos autorizados por los organismos de salud, tales como la Comisión Nacional de Medicamentos Alimentos y Drogas (CONAMAD)

## INTRODUCCION

Desde tiempos pre-históricos los colorantes naturales para alimentos y teñido de fibras fueron ampliamente usados, decayendo su uso cuando en 1856, el inglés Sir William H. Perkin en su intento de sintetizar quinina obtuvo el primer colorante sintético: la mauveína (púrpura de anilina).

Posteriormente químicos alemanes perfeccionaron los colorantes de alquitrán de hulla hasta tal punto que empresas de colorantes naturales se arruinaron totalmente antes de que finalizara el siglo.

Después de más de un siglo de predominio de los colorantes sintéticos, existe en el presente un renovado interés a nivel mundial hacia el uso de colorantes obtenidos de fuentes naturales, por los efectos cancerígenos que han mostrado muchos de los productos sintéticos utilizados en la alimentación, por lo que han sido delistados por la FDA (Food and Drug Administration, USA)

Estudios de toxicidad, vienen comprobando que algunas sustancias aprobadas y reconocidas como aptas para consumo humano, pueden provocar trastornos en la salud de los consumidores, cuando se emplean en dosis elevadas. Por ello es conveniente pensar en el uso de colorantes naturales.

Son muchas las plantas que producen colorantes, pero no están lo suficientemente concentradas para una rápida y económica extracción, en consecuencia son escasas las plantas que tienen

importancia comercial como fuente de colorantes. Se estima que obtener dichos colorantes, podría costar de 30 a 100 veces más que producir colorantes sintéticos certificados en la actualidad. Por ello es importante que el proceso de obtención no debe ser excesivamente complejo, costoso y el producto debe cubrir las perspectivas industriales.

En nuestro país se tiene poco conocimiento de las aplicaciones del colorante rojo de betarraga como sustituto de los rojos sintéticos en la industria de alimentos, por ello es importante tener en cuenta lo indicado anteriormente con el fin de evitar los peligros en el uso de éstos últimos. En el caso particular del colorante rojo, éste posee buenas propiedades para poder ser usado en la industria de alimentos por lo que ha sido declarado apto en muchos países.

## CAPITULO I : LA BETARRAGA

### A. Características

La betarraga es una planta de cosecha bianual,de origen europeo,que se adapta a cualquier clima, siendo su producción en cualquier fecha del año, sin embargo se obtienen los mejores resultados en climas templados.

Una vez cosechada se puede clasificar de tres a nueve tamaños, donde las más pequeñas suelen ser destinadas a la industria de colorantes.

En la actualidad se conocen 3 tipos de betarragas, las cuales difieren en su uso y cultivo y son:

Betarraga azucarera, para dicha industria.

Betarraga forrajera, para alimento de ganado.

- Betarraga de huerta, para uso alimenticio.

Esta última es de interés, debido a su mayor contenido de colorante rojo (betanina).

#### 1. Aspecto botánico

- División: Fanerógenas
- Clase: Dicotiledónea
- Orden: Centrospermae
- Familia: Chenopodiaceae
- Género: Beta
- Especie: Beta Vulgaris

#### 2. Composición química

La composición a mostrar en la tabla N° 1 es aproximada

debido a que la cantidad de cada elemento varía según la mayor o menor riqueza del suelo, época del año, grado de madurez, tiempo desde que fue extraída, etc.

### 3. Variedades

La betarraga presenta cuatro variedades:

Cheta de Egipto

Crosby

Roja de Detroit

- Early Wonder

Estas difieren por la forma de su raíz y contenido de colorante, además existen diferencias en las concentraciones de sus pigmentos que van desde 30 a 100 mg de betanina por cada 100 g de betarraga.

### 4. Producción nacional

La tabla N° 2 muestra dicha producción. Se observa que el departamento de Lima es el mayor productor nacional.

### 5. Comercialización

El siguiente diagrama muestra las etapas de la comercialización:

Productor

Comerciante mayorista

Comerciante minorista

Consumidor

Además, la betarraga está clasificada por tamaños. Su venta es a granel, en atados cuyo precio está alrededor de

TABLA Nº 1  
COMPOSICION QUIMICA DE LA BETARRAGA

ANALISIS	PARTE COMESTIBLE		TOTAL DEL TUBERCULO
	Nº DE PRUEBAS	PROMEDIO	
% Cáscara y Tallo			20.0
% Agua	26	87.5	70.0
% Proteínas	26	1.7	1.3
% Grasa	26	0.1	0.1
Carbohidratos:			
-Total (con fibra)	26	9.5	7.7
-Fibra	26	1.0	-
% Ceniza	26	0.9	0.9
Calorías por 100 g.		44.0	36.9
Calcio (*)	14	14.0	
Fosforo (*)	26	38.0	
Hierro (*)	23	0.8	
Vitamina A (*)	13	Trazas	
Vitamina B1 (*)	26	0.01	
Vitamina B12 (*)	26	0.04	
Vitamina C (*)	25	5.0	

(\*) expresado en g/ 100 g. de parte comestible.

TABLA Nº 2

PRODUCCION NACIONAL DE BETARRAGA

DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION (Tm)

AÑO	Has	Tm
84	2706	19786
85	873	10985
86	905	11349
87	932	11686
88 +	965	11995

DPTOS.	84	85	86	87
Lima	7204	6580	6651	7335
Junín	8912	1980	2050	1850
Cajamarca	972	540	594	443
Arequipa	1356	1384	1740	1820

+ Proyectado

US\$ 0.15 ( Noviembre de 1990 ).

## B. Propiedades y usos

### 1. Propiedades del jugo

Según informe publicado por el Comité Mixto de la Agricultural Organization y de la World Health Organization (FAO/WHO) se reportan las siguientes propiedades:

Soluble en agua

Tinte rojo violeta

Cantidad de betanina máxima : 1%

Extracto seco: 66-72 °Bx

pH:5.9-6.0

Densidad a 20°C: 1.050 (sin concentrar)

Tensión superficial: 41-42 dy/cm

Indice de refracción:1.35-1.36 a 25°C

Gérmenes totales: menos de 1000/g

### 2. Usos

La betarraga,también conocida como remolacha,es una hortaliza que crece en una variedad de climas.Se usa como alimento humano,en forma fresca para el consumo directo.

También la betarraga seca en forma de cubos y cocinada es usada en la alimentación humana de diversas maneras.

En países europeos,se acostumbra consumirla en forma de jugos,extractos ó combinados con jugos de frutas.En Austria el jugo fresco enriquecido con vitaminas y zumo de limón es usado como bebida para diabéticos.

## C. Colorantes de la betarraga

### 1. Clasificación

Las betalainas, la clase de compuestos coloreados encontrados en la betarraga comestible (*Beta vulgaris*) describe a 2 grupos de pigmentos cercanamente relacionados tanto química como biogénicamente. Ellos son:

las betacianinas, de color rojo

las betaxantinas, de color amarillo

Ambos a su vez clasifican a otros pigmentos, algunos de los cuales están contenidos en la *Beta Vulgaris*.

#### **Betacianinas**

Aunque la composición química de estos compuestos fue muy estudiada por numerosos investigadores que la llamaron : "betaciano" según Schudel (1918), "antocianina nitrogenada" según Lawrence, et al. (1939) ; los pigmentos rojos fueron finalmente llamados betacianinas (Dreiding, 1961).

Las betacianinas encontradas en las betarragas contienen principalmente:

- Betanina, en proporción de 75-90% es la principal.
- Isobetanina
- Frebetanina
- Isoprebetanina

#### **Betaxantinas**

Al igual que las betacianinas, también fueron investigadas; llamándose las "flavocianinas" (Price, et al,

1939) .Cuando en 1964,el pigmento amarillo de los frutos de la Opuntia ficus-indica fue aislado,este grupo quedó definido (Piatelli,et al.,1964) .

De la Beta vulgaris se han obtenido dos betaxantinas (Piatelli,et al.,1965) :

-Vulgaxantina I

-Vulgaxantina II

## 2. Estructura química

### **Betacianinas**

En un principio se pensaba que su estructura era similar a las antocianinas debido a cierta similitud en sus propiedades,pero esto sería descartado después por Wyler y Dreiding (1957) cuando aislaron cristales rojo-violeta de betanina.

Luego Peterson y Joslyn (1960) realizaron un estudio químico de los pigmentos de betarraga, donde por análisis espectral, tipos de reacciones y productos de degradación demostraron que la betanina no era una antocianina nitrogenada, pero que sí la mayor cantidad de pigmento rojo era nitrogenado . El espectro de absorción de las betacianinas muestra que no existe absorción cerca de la región Ultravioleta (UV) ,sinónimo de ausencia de aromaticidad (ver figura N°1) .

El espectro Infrarrojo (IR) confirma lo anterior ya que a 3.2-3.3 micrones (3000  $\text{cm}^{-1}$ ) no existe el pico caracterís-

Fig N°1 ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE LA BETANINA PURA

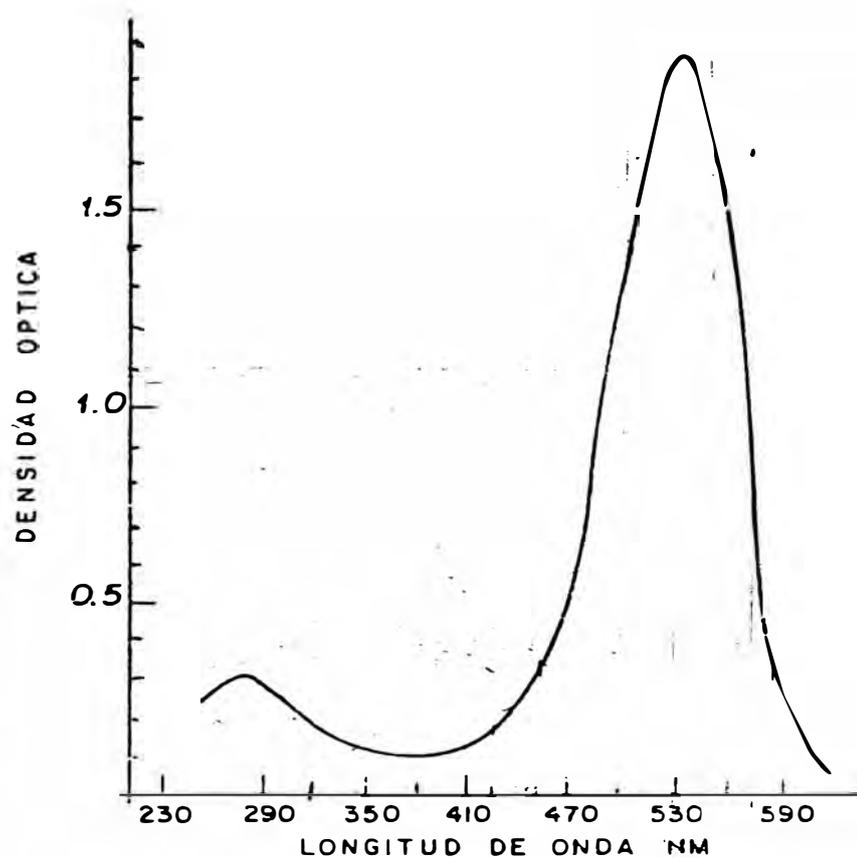
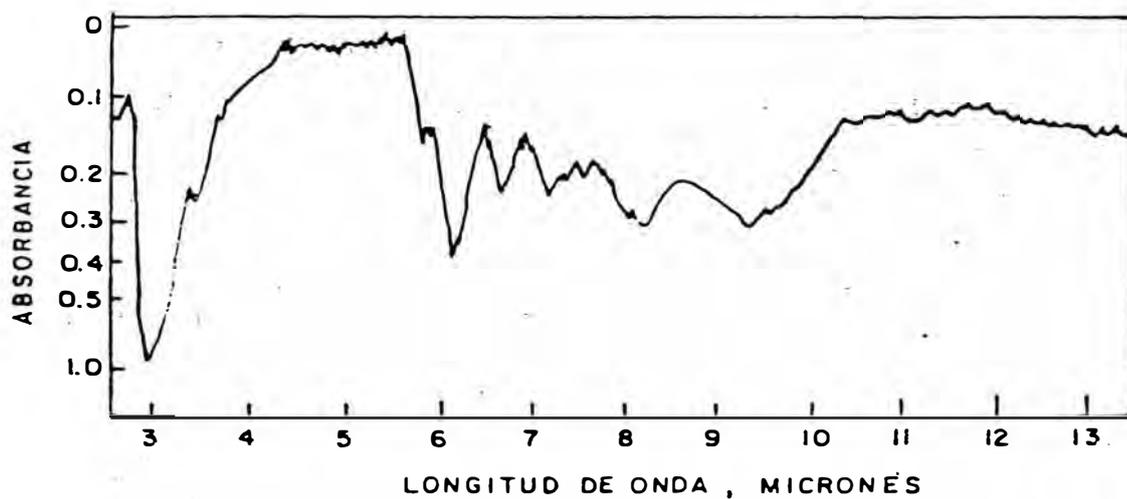


Fig N°2 ESPECTRO INFRA ROJO DE LA BETANINA



FUENTE . R G PETERSON Y M.A. JOSLYN (1960)

tico de los enlaces C-H aromático y entre 6.2-6.7 micrones (1450-1600  $\text{cm}^{-1}$ ) no existen las señales típicas del enlace C=C en anillo aromático. Con todo ello se concluye que los únicos con anillo nitrogenado en su estructura y que no son aromáticos son los compuestos pirrólicos (ver fig. N°2) .

Finalmente Piatelli, et al., 1964 y Wilcox, et al., 1965 presentaron una estructura general para las betacianinas. A estas, se las define como provenientes de dos agliconas (productos de la hidrólisis de los glucósidos) las que difieren solo en la estereoquímica del carbono 15 (ver figura N° 3):

la betanidina

la isobetanidina

A éstas se han definido un par de isómeros en la *Beta vulgaris* (ver fig. N°4) :

la betanina, 5- $\beta$ -d glucopiranosido de betanidina

la isobetanina, 5- $\beta$ -d glucopiranosido de isobetanidina

A su vez de éstos se obtiene por deacilación, dos derivados:

la prebetanina, de la betanina

la isoprebetanina, de la isobetanina (Wyler, et al., 1967)

### **Betaxantinas**

La primera betaxantina extraída en 1964 fue llamada "indica xantina" y sirvió para establecer claramente la estructura de éstas; mediante estudios físicos y de degradación. Esta información combinada con la del espectro de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) permitió definir di-

cha estructura (Piatelli, et al., 1964) .

Posteriormente fueron identificados los pigmentos amarillos de la beta vulgaris: la vulgaxantina I y la vulgaxantina II (ver fig. N°5) .

### 3. Métodos de identificación

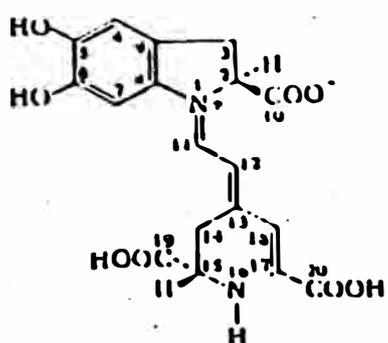
#### **Betacianinas**

Muchas reacciones de coloración, basadas en cambios de pH, fueron propuestas para distinguir betacianinas de antocianinas, pero poseían cierta incertidumbre. Luego Reznik (1955) utilizó cromatografía de papel, pero obtuvo valores de R<sub>f</sub> (Constante de desarrollo del cromatograma, que relaciona la distancia recorrida por la muestra y la del solvente) muy bajos.

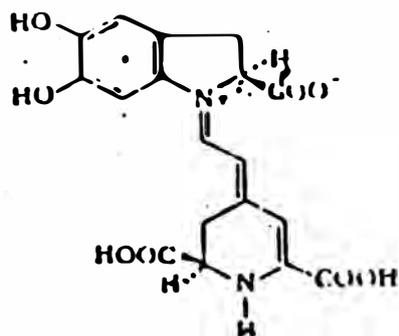
Sin embargo la electroforesis de papel, es un buen método para detectar y diferenciar betacianinas en plantas (Reznik, 1957) ya que éstas migran hacia el ánodo mientras las antocianinas lo hacen al cátodo.

Para posteriores identificaciones deben considerarse sus espectros electrónicos. Betaninas simples muestran intensa banda de absorción cerca de la región visible, entre longitudes de onda de 534 a 554 nm. Nilson (1974) identificó los colorantes de betarraga, demostrando que el espectro de la fracción roja tenía su máxima absorción a 535 nm, lo que corresponde a un espectro de betanina pura, mostrado en la fig. N°1 .

Figura 3

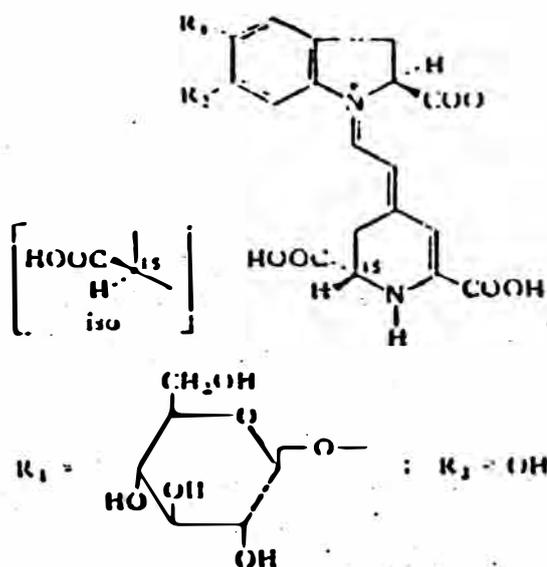


Betanidina



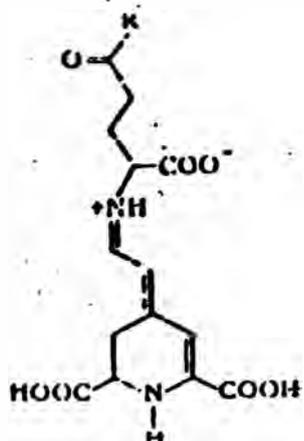
Isobetanidina

Figura 4



Betanina e Isobetanina

Figura 5



K = NH<sub>2</sub> : vulgaxantina I  
K = OH : vulgaxantina II

El espectro IR no es de mucha utilidad, para diferenciar betacianinas de betaxantinas, puesto que estos compuestos presentan grupos funcionales similares y sus espectros son muy parecidos. La espectroscopia de RMN podría dar buena información pero su uso está limitado por la baja solubilidad de éstos compuestos en solventes orgánicos y por su fácil descomposición.

### **Betaxantinas**

No existen pruebas colorimétricas especiales para las betaxantinas. Dado que poseen propiedades electroforéticas similares a las betacianinas, la electroforesis de papel es un buen método para su detección.

Todos los pigmentos de este grupo tienen una absorción máxima a 470 nm lo que ha servido para caracterizarlos.

## **4. Descripción del colorante rojo**

### **4.1 Especificaciones**

Según el 22° informe del Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios) Ginebra 1978; se reporta el colorante rojo de betarraga bajo lo siguiente:

-Definición .- Producto natural obtenido por deshidratación de betarragas comestibles, de buena calidad, maduras y enteras. Polvo rojo-violeta grumoso muy soluble en agua.

-Sinónimos .- Rojo de betarraga (Beet red)

Betainina (Beet powder)

-Código ECC (Comunidad Económica Europea): E162

-Color Index: No tiene (1982)

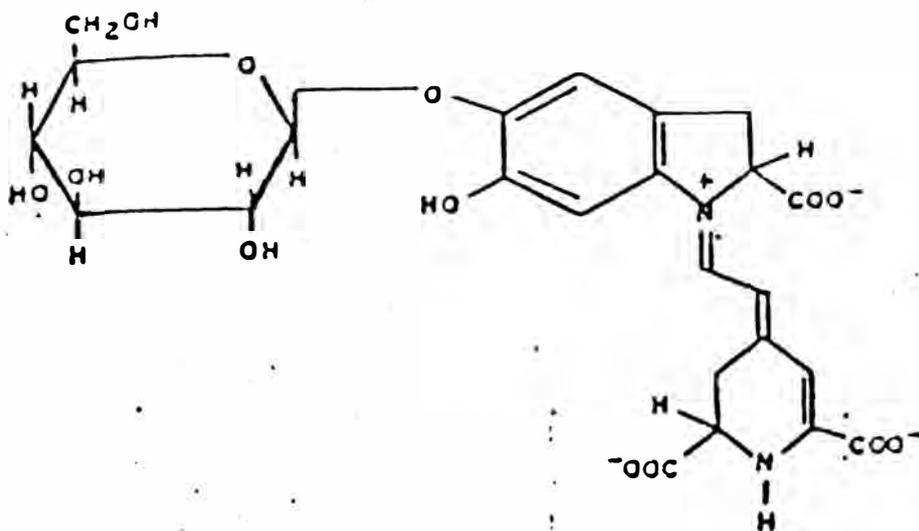
-Nombre químico.- Betainina; 5-β-D-glucopiranosido de betanidina.

-Uso funcional.- Colorante alimenticio.

-Peso molecular.- 550.48

-Fórmula global.- C H O N  
24 26 13 2

-Fórmula estructural.-



Según la FDA en el título Food and Drugs se especifica lo siguiente:

-Identidad .- El aditivo colorante de batarragas se presenta como polvo rojo-oscuro y se obtiene de batarragas comestibles, de buena calidad y maduras por deshidratación .

-Mezclas de aditivos colorantes con batarragas deshidratadas pueden contener como diluyentes solo aquellas

sustancias autorizadas (calcio, fósforo) para seguridad en el uso de éstos en alimentos coloreados .

-Especificaciones .- El aditivo colorante deberá adecuarse a las siguientes especificaciones:

Materia volátil: No más de 4%

Ceniza ácida insoluble: No más de 0.5%

Plomo: No más de 10 ppm

Arsénico: No más de 1 ppm

Mercurio: No más de 1 ppm

-Usos y restricciones: Las betarragas deshidratadas pueden usarse con seguridad en alimentos coloreados en cantidades convenientes.

-Designación .- La etiqueta del aditivo colorante y cualquier mezcla preparada con él, es únicamente o en parte para propósitos de coloración.

#### 4.2 Pruebas de Identificación

Según FAO Food and Nutrition Paper N°31/1 (1984) son:

a. Solubilidad: Según sea polvo o jugo concentrado, la betanina es:

Soluble o miscible en agua.

Insoluble o inmisible en etanol absoluto.

b. Espectrofotometría: La betanina en agua presenta:

Absorbancia máxima aprox. 530 nm a pH=5.4

Ensanchamiento máximo aprox. 545 nm a pH=8.9

c. Color: El color de una solución de extracto en a-

gua varía entre rojo y rojo violeta, pero vira a amarillo cuando se agrega NaOH al 10%. Se volverá lentamente a rojo, dejándolo a temperatura ambiente. La reacción propuesta por Peterson y Joslyn (1957) tiene un  $pK_a=10.5(*)$  para el viraje de la forma roja a amarilla.

d. Pureza: El colorante rojo contiene:

-No más de 1% de betanina, en forma líquida.

-No más de 4% de betanina, en forma de polvo.

Además presenta:

-Materia volátil.-No más de 4%

-Ceniza ácida insoluble.-No más de 0.5%

-Arsénico.-No más de 3 mg/kg

-Plomo.-No más de 10 mg/kg

-Metales pesados.-No más de 40 mg/kg

e. Cromatografía de capa fina

-Usando como soporte celulosa (0.25 mm) y como solvente buffer de fosfato de Sorensen a  $pH=5.6$

El colorante rojo da varias manchas de colores:

Amarillo, naranja, rojo, violeta y púrpura. La betanina aparece como una mancha púrpura con  $R_f=0.7$ .  
valor de  $R_f=0.7$ .

-Usando como soporte celulosa (0.10 mm) y el solvente se prepara con 2 g de citrato de sodio

(\*)  $pK_a$ : Logaritmo inverso de la constante de acidez

más 78.5 ml de agua con 21.5 ml de amoniaco. Aquí la betanina es amarilla.

#### 4.3 Estabilidad

Debido a que la betanina es estable bajo ciertas condiciones, es útil determinar en detalle aquellos factores que tienen mayor influencia en su color y estabilidad, los que detallamos a continuación:

##### a. pH

En la estructura de la betanina se observan 3 grupos carboxílicos ionizables, lo que hace que este compuesto presente con facilidad variaciones de pH.

La estabilidad al calor (100°C) de la betanina a valores de pH entre 3.0 y 7.0 ha sido estudiada y los resultados muestran que la mayor estabilidad ocurre a pH entre 4.0 y 5.0 tal como se muestra en la fig. N° 6. Esto es verificado por estudios espectrofotométricos realizados.

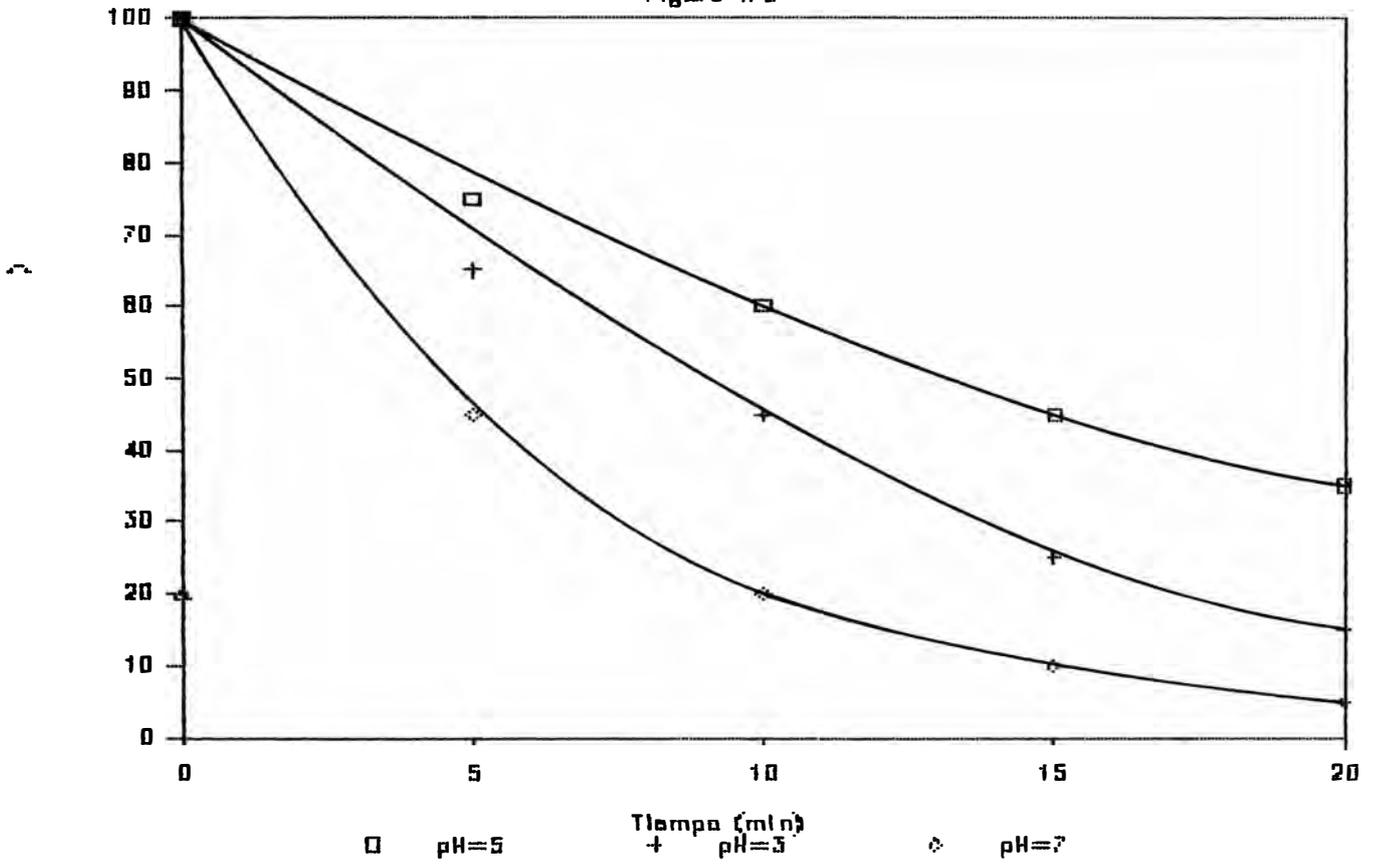
A pH=5.0 muestran una absorbancia máxima a 535 nm sin pérdida de color (Von Elbe 1974).

##### b. Actividad del agua

Equivalente a la humedad relativa, la actividad del agua influye en las velocidades de muchos procesos químicos y fisiológicos, por ello es posible que pueda ejercer influencia sobre la estabilidad de la betanina.

# DEGRADACION DE LA BETANINA A 100°C

Figura N°8



Estudios realizados por Pasch y Von Elbe (1975) indican un aumento en la estabilidad de la betanina a 75°C ,cuando la actividad del agua disminuye de 1.0 a 0.37 .

A su vez cuando ocurría esta reducción la vida media de la betanina era 4 veces mayor.

La figura N°7 muestra la variación de la actividad del agua versus la vida media en dicha experiencia.

#### c. Temperatura

La degradación de la betanina estudiada a diferentes temperaturas demostró que sigue una cinética de primer orden (Von Elbe,et al,1974;Saguy, et al 1978) .El mecanismo exacto de la degradación de la betanina no es aún determinado,pero se piensa en un rompimiento del enlace adyacente al nitrógeno cuaternario.

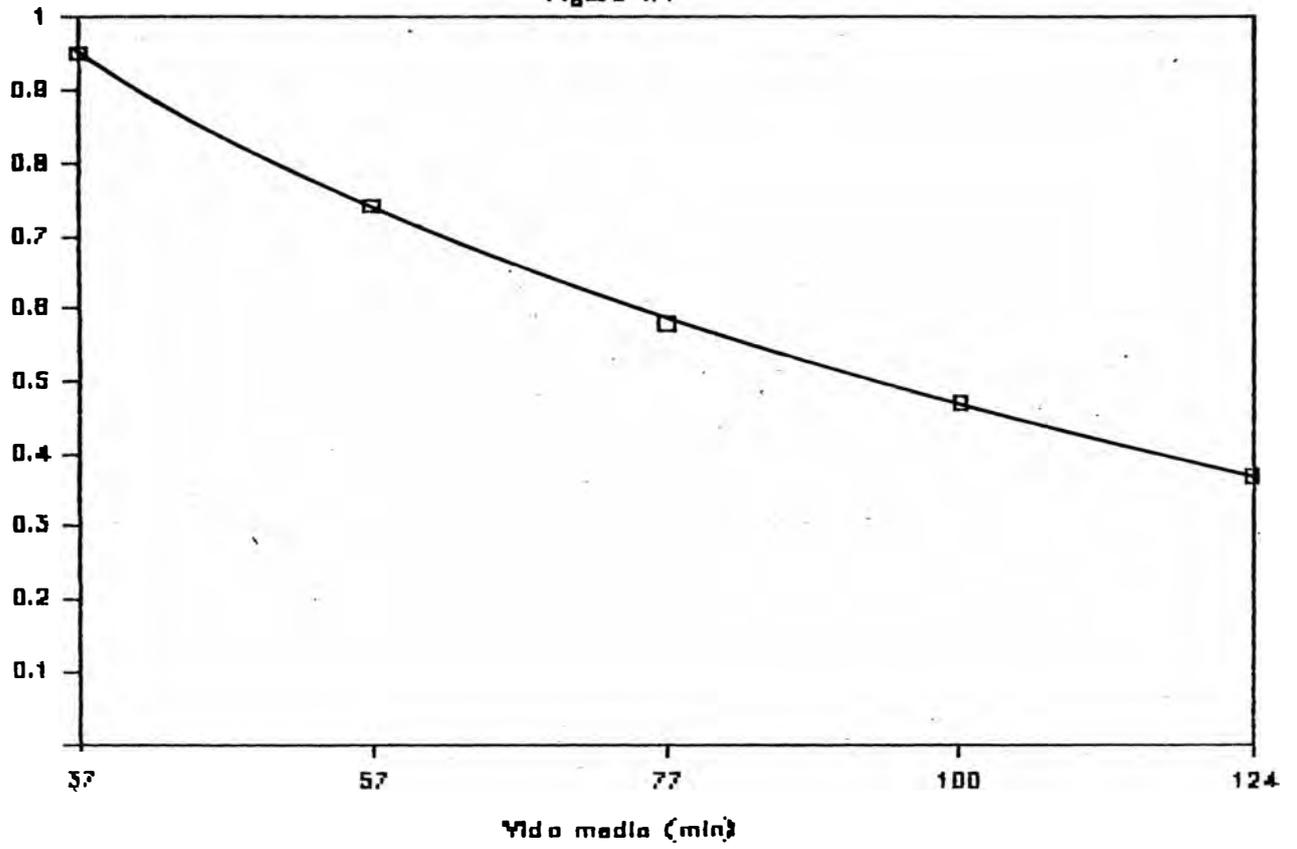
Experimentos realizados por Von Elbe (1974) a pH= 5 muestran una reducción de la vida media con la temperatura,tal como se indica en la figura N°8 .

#### d. Luz

El pigmento tiene una resistencia limitada a la luz por ello la pérdida de color aumenta en su presencia y la total destrucción del colorante ocurre durante exposiciones a radiación UV durante 120 hr ó a radiación gamma (100 Krad) ,según Aurstad y Da-

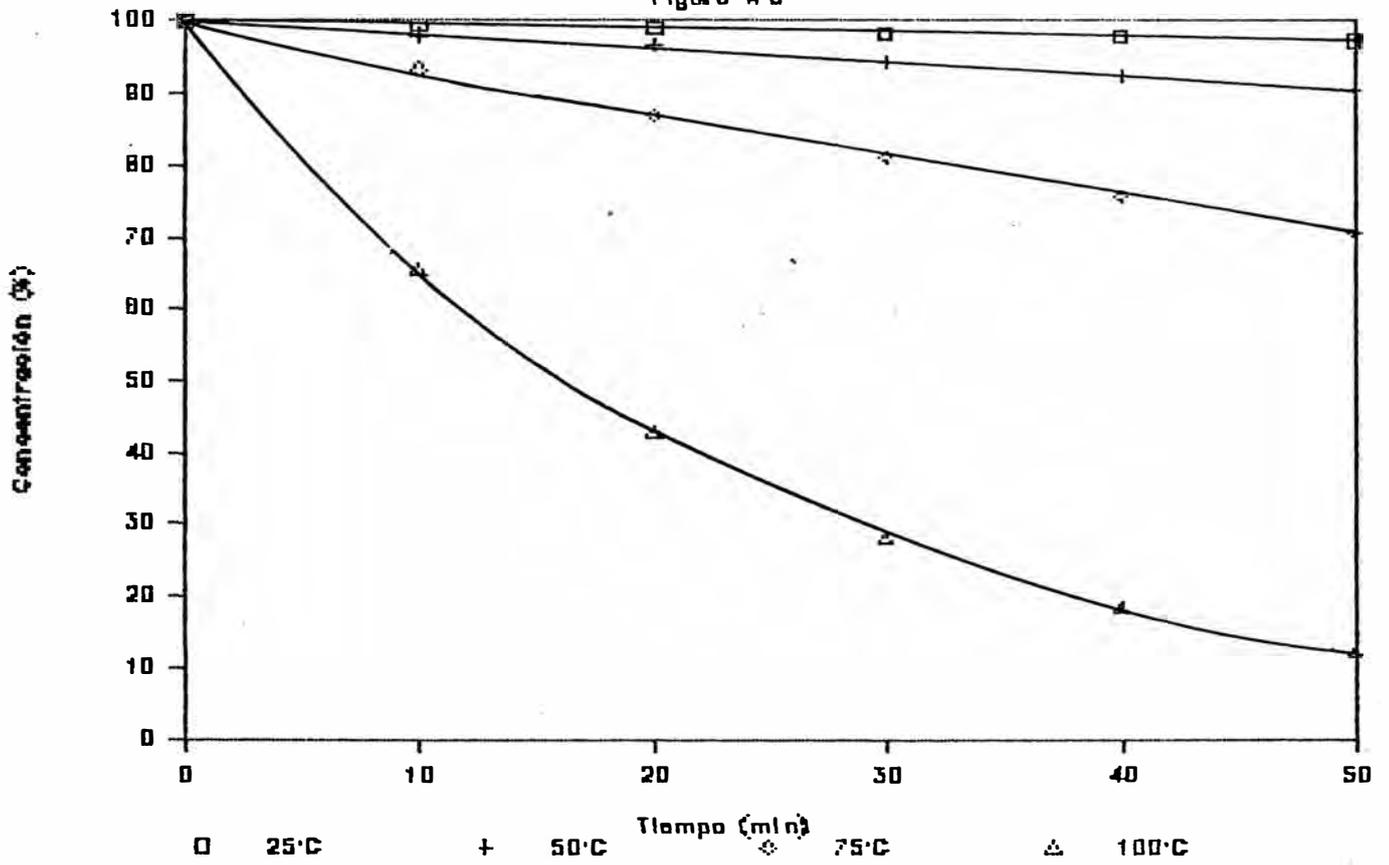
# EFEECTO DE LA ACTIVIDAD DEL AGUA

Figura N°7



# EFFECTO DE LA TEMPERATURA A pH=5

Figura N°8



hle (1973) .

Por ello, se recomienda almacenar el polvo rojo en frascos oscuros bien sellados.

e. Aire

Von Elbe, et al, 1974 almacenó soluciones buffer de betanina a pH=7.0 durante 6 días a 15°C en atmósfera de aire y nitrógeno, reportando un aumento de 15% en la degradación de la betanina, debido al aire.

El efecto deteriorante del aire se manifiesta como un viraje de color del producto a pardo.

f. Actividad enzimática

Se reconoce la presencia de una enzima, llamada peroxidasa, dentro del tejido intracelular de la betarraga, causante de pérdida de color. Estudios realizados por Lashley y Wiley (1974) indican que las enzimas pueden ser inactivadas por tratamiento térmico antes de procesarlas.

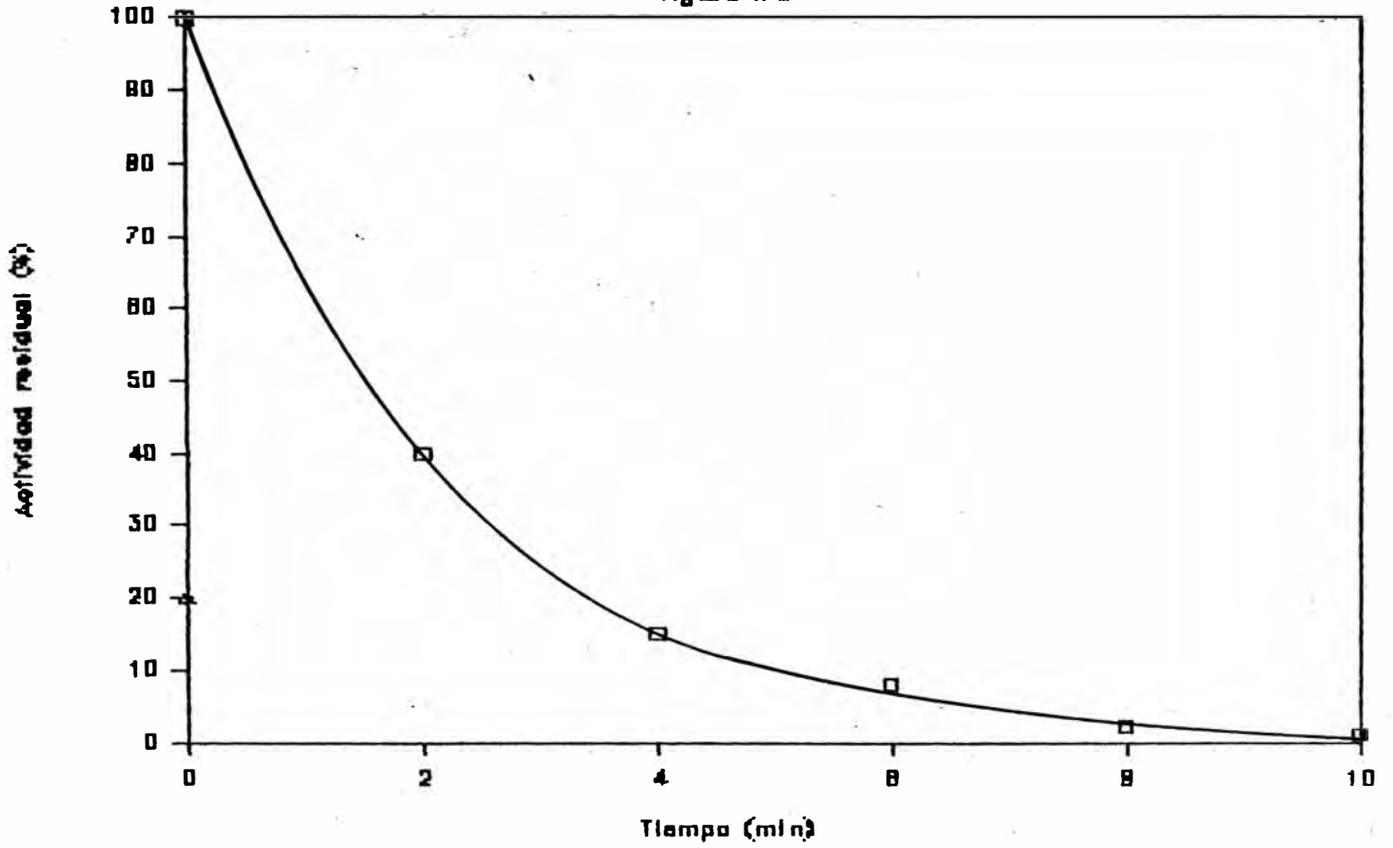
La figura N°9 muestra el efecto del tiempo de tratamiento térmico a 100°C en la actividad enzimática de la peroxidasa en la betarraga.

g. Cationes metálicos

Estos iones se manifiestan en cualquier alimento ó pueden presentarse en los equipos de proceso. Su

# EFFECTO DEL TRATAMIENTO TERMICO A 100°C

Figura N°8



acción se traduce en una reducción de la vida media del colorante, siendo el catión Cu(II) el que presenta una acción más deteriorante, muy por encima del Fe(III) (Von Elbe, 1979) .

#### 4.4 Toxicología

La tabla N°3 muestra algunos de los colorantes sintéticos que han sido observados y/o delistados por la Food and Drug Administration (FDA) ,debido a sus efectos secundarios cancerígenos y de toxicidad.

La tabla N°4 indica algunas mezclas con los colorantes sintéticos en cuestión.

Además, pruebas de toxicidad fueron realizadas en ratas sin reportarse muerte alguna por administración oral de betanina en altas dosis.

#### 4.5 Usos

Debido a que la betanina es algo inestable, es conveniente añadir el colorante casi al final del proceso donde va a ser usado, lo cual limita su uso más amplio en la industria de alimentos. Sin embargo su aplicación más exitosa se da en:

- a. Alimentos procesados ó almacenados a baja temperatura .- En la preparación de chorizos, salchichas, helados y yoghurts donde se utiliza preparados coloreados que contienen betanina, tales como:
  - Un colorante para yoghurt y helados a partir del

TABLA N°3

COLORANTES OBSERVADOS Y/O PROHIBIDOS POR LA FDA

COLORANTE	COLOR INDEX	NOMBRE COMUN	INTRODUCCION	DELISTADO
Naranja N°1	14600	Orange 1	1907	1956
FDC Rojo N°2	16185	Amaranto	1907	1976
FDC Rojo N°40	16035	Allum red AC	1971	Cuestionado
FDC Rojo N°1	16155	Ponceau 3R	1907	1961
FDC Rojo N°4	14700	Ponceau 5X	1929	1976

TABLA N°4

ALGUNAS MEZCLAS CON COLORANTES SINTETICOS

COLOR IMITADO	MEZCLA UTILIZADA
Albaricoque	Amarillo N°5(38%) Amarillo N°6(60%) Rojo N°1(2%)
Yema de huevo	Amarillo N°5(85%) Naranja N°1(15%)
Fresa	Rojo N°2(45%) Naranja N°1(10%) Rojo N°4(45%)
Mora	Rojo N°2(96%) Azul N°1(4%)
Uva	Rojo N°2(80%) Azul N°1(20%)

jugo de betarraga al 0.2% de betanina.

- Mezcla de colorante de betarraga al 0.2% de betanina con vitamina C y propanoato de sodio. Se aplica en dosis de 0.1 a 1% en jugos y helados.
- Colorante de bebidas gaseosas con pequeñas cantidades de ácido ascórbico.

- b. Alimentos comercializados en forma seca ó almacenados por periodos cortos .- Tales como caramelos, bebidas instantáneas, gelatinas; donde se usan:
- Un preparado instantáneo en forma de polvo que da un color rojo-grosella a las bebidas.
  - Colorante preparado para productos dulces conteniendo colorante rojo en polvo y jarabe azucarado en proporción 5:1 .

En la última reunión del JECFA (1987) ; se hizo algunas referencias hacia el rojo de betarraga:

"Cuando es usado para mejorar el color de productos, podría tenerse en cuenta. Si, por otro lado, es usado más específicamente como colorante, es necesario establecer detalles precisos, ya que el nitrato podría ser un componente del rojo de betarraga, siendo necesario asegurarse que los niveles de nitrato no excedan las especificaciones. Bajo estas condiciones hay tener en cuenta la necesidad de limitar el nitrato contenido en alimentos para niños".

La tabla N°5 muestra los países donde actualmente el

uso del color es permitido ó no. A pesar que el uso de un color puede ser permitido dentro de un país, su uso en productos alimenticios se restringe. Por tanto es importante revisar las leyes locales antes de introducir cualquier producto coloreado en un país.

La dosis orientativa para el uso del colorante rojo en polvo es 800-1000 g/100 kg de producto acabado.

En el Apéndice, se indican las normas internacionales legales, para el uso de aditivos alimentarios y por tanto de los colorantes.

TABLA N°5

PAISES DONDE EL COLOR ES PERMITIDO			
Alemania Occ.	+	India	-
Argentina	-	Italia	+(1)
Austria	+	Japón	+
Bélgica	+(1)	México	+
Bolivia	+	Nicaragua	+
Brasil	+	Nigeria	-
Chile	+	Panamá	+
Colombia	+	Perú	+
Corea del Sur	*	Portugal	+
Costa Rica	+	Pto. Rico	*
Dinamarca	+	Reino Unido	+(1)
Ecuador	+	Suiza	+(1)
Egipto	-	Taiwan	*
El Salvador	+	Túnez	*
España	+(3)	U.R.S.S.	*
Estados Unidos	+(2)	Uruguay	+
Francia	+(1)	Venezuela	*
Holanda	+(1)	Yugoslavia	+
Honduras	+	Zimbabwe	-

+ Permitido                      - Prohibido                      \* Sin legislación

(1) Se permite mezclado con Na, K, Ca ó Al

(2) Permitido como polvo ó jugo de betarraga

(3) Se requiere autorización para todos los aditivos en España

## CAPITULO II: METODOLOGIA DE PROCESAMIENTO

### A. Métodos posibles de extracción

#### 1. Descripción de cada uno de ellos

Se reportan varios métodos a nivel laboratorio y a pequeña escala, algunos de ellos algo complejos y costosos, debido a que se obtiene betanina con alta pureza, lo que limita su aplicación. Otros son menos complicados y por tanto más económicos, donde el producto final va acompañado de algún aditivo utilizado dentro del proceso y por consiguiente menos puro en betanina.

A continuación describimos los siguientes métodos:

#### METODO 1 (Musso, H. 1979)

##### Procedimiento

Este método fue aplicado para separar los pigmentos del *Opuntia Soeherenssi* "ayrampu", cuyas semillas contienen un buen porcentaje de betanina.

Se realiza la extracción, licuándolas durante un minuto a 70°C usando como solvente ácido cítrico al 0.1% en la proporción solvente a materia prima de 4:1.

Una primera purificación es realizada cuando el extracto se filtra, el filtrado es concentrado por evaporación al vacío. El jugo concentrado es adsorbido a través de una columna de gel de Sephadex, tipo A-25 y luego separado del gel por elución con NaCl. El eluido es concentrado por evaporación y luego desalinizado por intercambio iónico

con una resina de Sephadex, tipo G-10. La solución desalinizada es concentrada por evaporación y se repite las operaciones de adsorción e intercambio indicadas. Finalmente la betanina en solución acuosa es nuevamente concentrada obteniéndose un jugo coloreado con betanina de alta pureza.

#### Resultados

No se reportaron resultados experimentales.

#### METODO 2 (Bilyk, A. 1979)

Consiste en la extracción con etanol acidificado del polvo de betarraga, para la obtención del colorante rojo libre de pigmentos amarillos presentes también en la betarraga, ya que estos últimos podrían causar cambios de color durante el almacenamiento.

El método consta de dos partes: Preparación de materia prima y parte experimental en sí.

#### Preparación de materia prima

Raíces de betarragas frescas fueron lavadas y cortadas en cubos. Se obtuvo 1600 mL de jugo de betarraga a partir de 2.2 kg de betarraga en un extractor de jugos.

El jugo se filtra en una tela de algodón y es colocado en 4 botellas de liofilización (1200 mL) las que son colocadas en un liofilizador para remover el agua. Se recuperó 137.7 g de polvo de betarraga y este se almacenó bajo

una atmósfera de nitrógeno en un refrigerador.

#### Parte experimental

Según el procedimiento mostrado en el diagrama de flujo con 500 mL (10x50 mL) de etanol al 95% en ebullición y 20 g de polvo de betarraga, se inició la extracción, en un vaso de 150 mL agitado. Los extractos etanólicos colectados se filtran con papel Whatman 2V y dejado en reposo a -25°C por un día, al cabo del cual un precipitado naranja (betaxantinas) se ha formado, el cual debe separarse con el mismo papel de filtro, secarse al vacío y almacenarse a 5°C. El solvente puede recuperarse por destilación a presión reducida a 30°C.

Posteriores extracciones al residuo de la extracción anterior, ya libre de pigmentos amarillos, fueron realizados con etanol acidificado así:

- El primer residuo se extrajo con 2x50 mL de etanol al 95 % conteniendo 1 % de HCl.
- La segunda extracción con 3x50 mL de etanol al 95% con 0.6% HCl.
- La tercera extracción con 4x50 mL de etanol al 95% conteniendo 0.4% HCl.

En todos los casos el extracto etanólico fue neutralizado con NaOH diluido. Las fracciones obtenidas antes fueron colectadas y luego analizados por espectrometría y cromatografía de capa fina donde mostraban ser similares.

El residuo final contiene sustancias todas solubles en HCl concentrado.

Otra extracción similar se realizó con concentraciones de HCl más bajas : 0.6,0.4 y 0.2 % respectivamente. Sin embargo la pureza del producto obtenido en éstas fue menor.

### Resultados

El principal objetivo de la investigación fue separar los colorantes amarillos de los rojos ; esto se alcanzó en la extracción inicial donde bajo enfriamiento, las betaxantinas: vulgaxantina I y II fueron aislados del extracto etanólico en forma de precipitados obteniéndose 3.9 g de este. El residuo obtenido del filtrado fue 4.4 g.

Las fracciones I,II y III dieron 6.1,1.8 y 1.1 g de producto respectivamente; lo que suma 9.0 g que representan el 45% de la muestra original de betarraga en polvo. El residuo final pesó 2.7 g.

Todos los resultados se muestran en la tabla N°6

Las fracciones obtenidas fueron analizadas por cromatografía de capa fina, la cual alcanzó una rápida separación de los componentes, identificándose:

- Polvo de betarraga, conteniendo los pigmentos rojo y amarillo y materias de baja polaridad como azúcares.
- Betacianinas (señal simple).

- Betaxantinas, menos polares que las betacianinas.
- Residuos de filtrado, menos polar aún.

#### METODO 3 (Wiley R.; Ya-Nien Lee, 1978)

Se usó un aparato de difusión en contracorriente continuo llamado difusor-extractor piloto (DDS) de acero inoxidable .

#### Preparación de materia prima

Betarragas del tipo rojo de Detroit y Garnet fueron almacenados a 2°C con una humedad relativa de 85 % hasta dos meses antes de procesarlas.

#### Procedimiento

La unidad DDS, basado en el principio de extracción en contracorriente fue usado para la extracción de betalainas de la betarraga. Las variables consideradas en la operación preliminar del difusor fueron:

- Angulo de inclinación del difusor
- Velocidad de rotación del hélice
- Temperaturas en el sistema
- Flujo de solvente en la extracción
- Velocidad de ingreso de la betarraga
- Grosor de las rodajas de betarraga
- Atmósfera de difusión
- Tiempo de retención en la unidad

Se uso un rodajador tipo Urschel (GKS) el cual produce rodajas de 1.5 a 16 mm de espesor.

Se realizaron 4 experimentos teniendo en cuenta que:

- La principal variable de los experimentos fue la acidez del solvente de extracción, la cual varió entre 0.00 % y 0.125 %
- El extracto de betarraga fue guardado en contenedores oscuros de 5 gal ,previa adición de enzima pectinasa (Likhart, IN )durante 36 hr a 2°C. El jugo enzimático clarificado fue filtrado a través de tierras de diatomeas a 10 psi .
- Para los experimentos 3 y 4 ,el extracto fue concentrado en un evaporador flash (FE-2) a 50-55 °C por una hora hasta 26° Brix . En un secador por atomización portátil (Niro Atomizer) se obtuvieron muestras de colorante rojo en polvo, siendo la temperatura del aire de entrada entre 135 a 150° C ;añadiéndose un agente de ayuda para el secado (cereal hidrolizado) para alcanzar una concentración de sólidos totales del 30 % .

#### Resultados

Las condiciones de operación óptimas y los porcentajes de recuperación y concentración de betanina, son mostrados en la tabla N°7 .

En la operación de concentración solo hubo un 1.7% de pérdida de betanina. Luego de las pruebas de secado, se encontró que el pH tiene influencia en la relación betacianina/betaxantina.

TABLA Nº 6  
RESULTADOS DE LA EXTRACCION DE LA BETANINA (Método de Bilyk)

Materia	Porcentaje de la muestra original (%)	Total (%)
Extracción Inicial		
Producto cristalino	19.5	
Filtrado	22.0	
Extracto etanólico		41.5
1º residuo		58.5
1º Extracción:Fracción I	30.5	
2º Extracción:Fracción II	9.0	
3º Extracción:Fracción III	5.5	
Fracciones colectadas		45.0
Residuo final		13.5

TABLA Nº 7  
CONDICIONES DE OPERACION PARA LA EXTRACCION-DIFUSION (Método de Wiley)

Prueba	Cultivo	% de betanina en la betarraga	% ácido cítrico en el solvente
1	Rojo de Deitrot	0.0976	0.000
2	Rojo de Deitrot	0.0976	0.050
3	Garnet	0.0700	0.090
4	Garnet	0.0979	0.125

Prueba	pH	% jugo de betanina	% recuperación
1	6.13	0.033	53.8
2	5.20	0.046	70.6
3	5.50	0.030	71.1
4	5.50	0.035	62.5

Prueba	pH	% residuo de betanina	% pérdida
1	6.30	0.014	34.4
2	5.30	0.008	26.4
3	4.00	0.003	28.7
4	3.80	0.001	37.2

La recuperación promedio a pH=5.0 después de concentrar ( 70.6 % ) y de secar ( 87.3 % ) proporciona un total de 62 % .Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N°8

#### Recomendaciones para la operación de secado

Se sabe que jugos de frutas y vegetales se mezclan con almidón y luego se seca,debido a que el almidón estabiliza el pigmento.

- Otros estabilizantes son:

El ácido péctico,agregando 1-2 partes de ácido por 10 de jugo y evaporando.

Mezcla de ácido ascórbico,color caramelo (obtenido por calentamiento de carbohidratos) y pirofosfato de sodio.

La mezcla resultante se homogeniza con goma arábica,agua y el jugo de betarraga. Luego se seca para dar un polvo rojo con estabilidad y valor UV similar al colorante sintético rojo N° 2.

## 2. Diagramas de flujo

Las figuras N°10,11 y 12 presentan los diagramas de flujo para cada uno de los métodos considerados.

TABLA Nº8

OBTENCION DEL PRODUCTO FINAL (Método de Wiley)  
CONCENTRACION

pH inicial de jugo	% betanina en el jugo	% betanina en concentrado	% recuperación
5.5	0.033	0.12	93.4
5.0	0.033	0.11	89.4
4.5	0.033	0.13	93.4
4.0	0.070	0.12	93.2

SECADO

pH muestra	% betanina	% vulgaxantina I
5.5	0.354	0.349
5.0	0.359	0.323
4.5	0.383	0.335
4.0	0.380	0.323

Figura N°10  
METODO 1

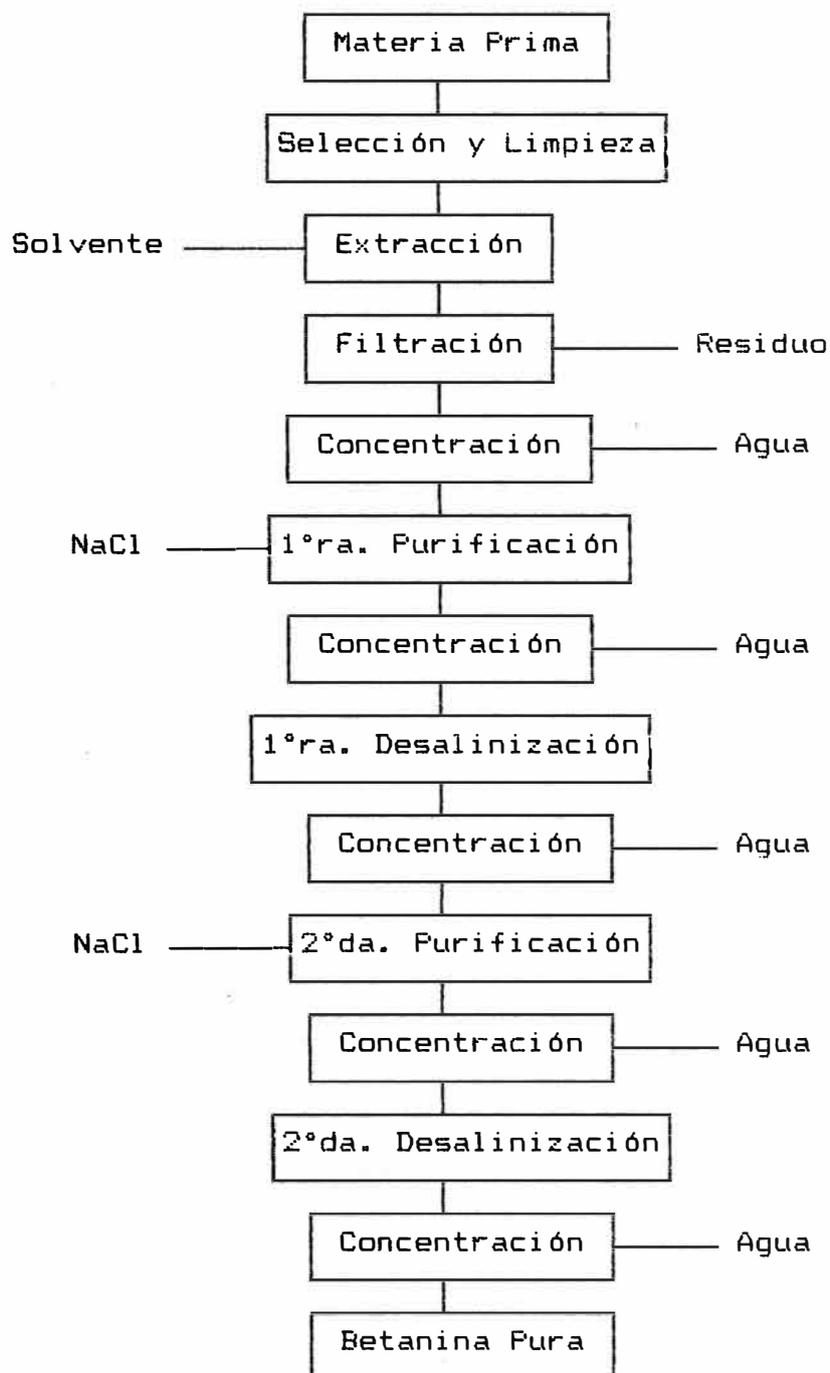


Figura N°11  
METODO 2

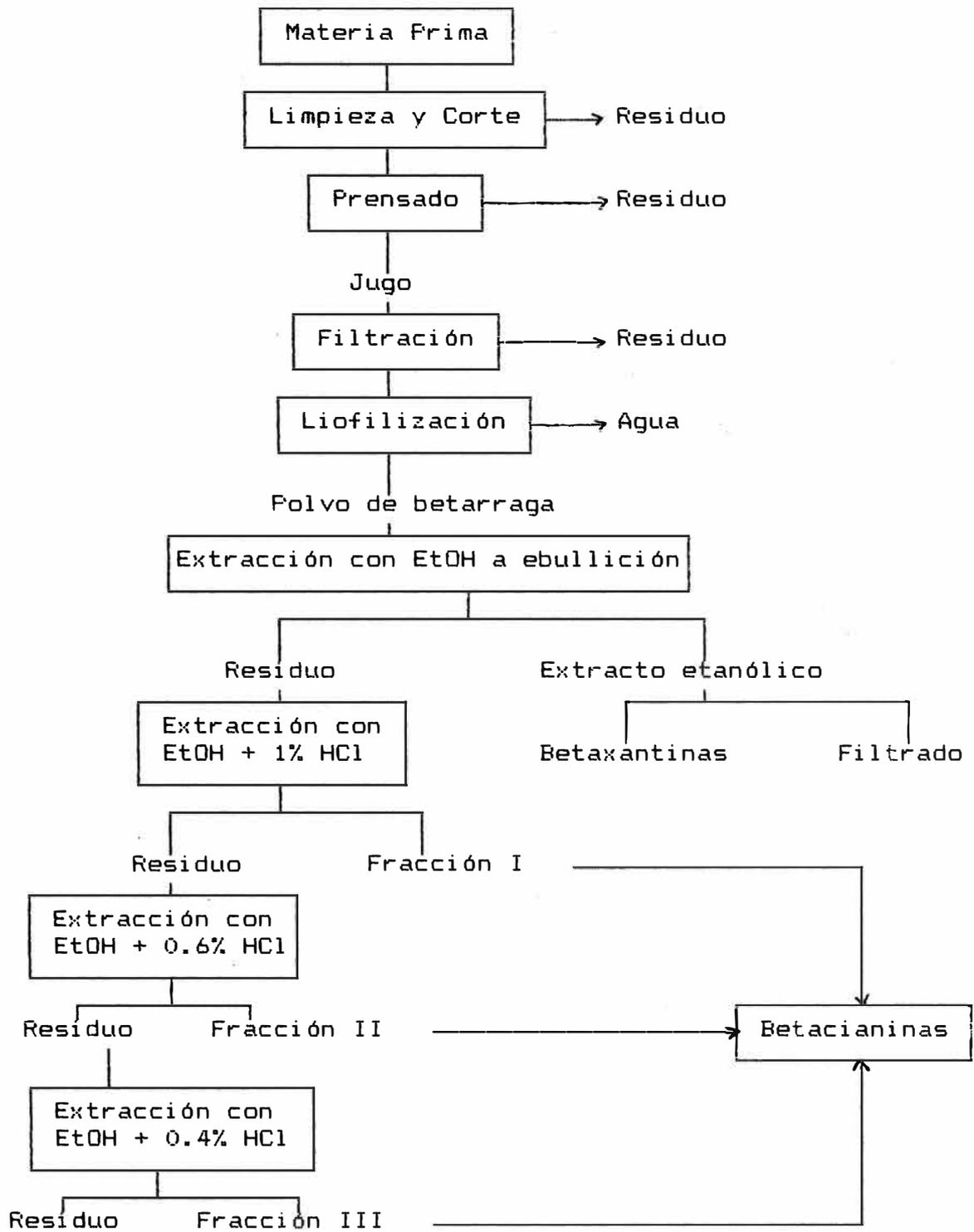
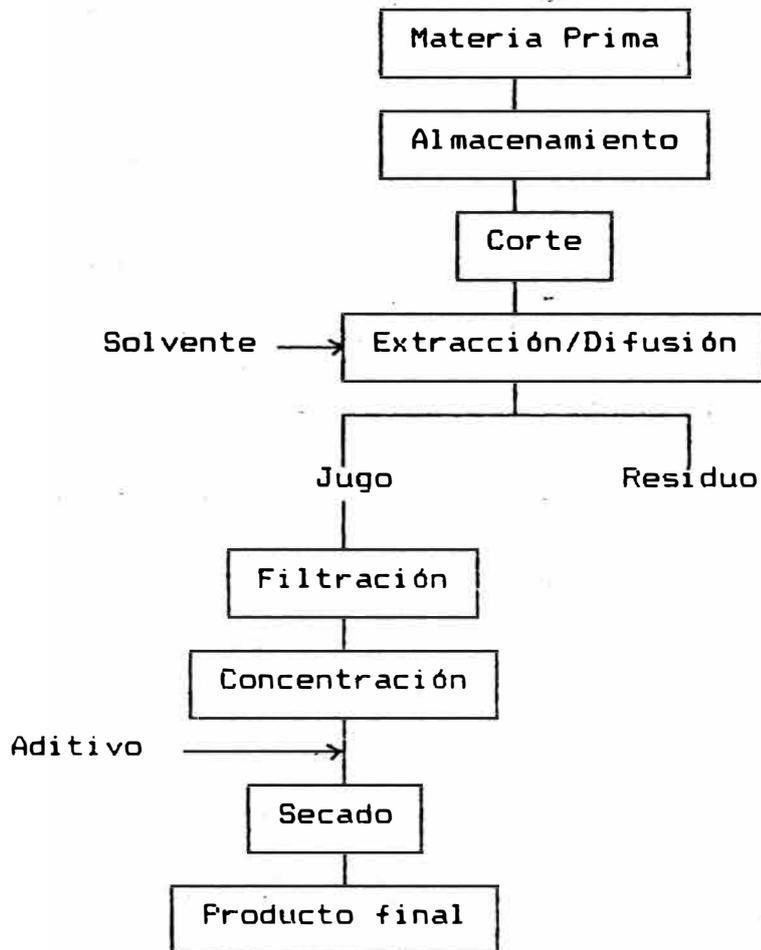


Figura N°12  
METODO 3



## B. Selección del método (nivel banco)

Los métodos descritos anteriormente, nos proporcionan consideraciones de importancia en la extracción del colorante; sin embargo, si deseáramos obtenerlo en condiciones técnicas y económicas ventajosas, que permitan su posible aplicación a mayor escala (nivel piloto) algunas operaciones incluidas en dichos métodos no podrán ser tomadas en cuenta, por las siguientes razones:

- Las técnicas cromatográficas que son de mucha utilidad en los procesos que se realizan en laboratorio, presentan dificultades de operación a mayor escala y un alto costo, aún cuando se conocen columnas de Sephadex de hasta 2.5 L

Las resinas de intercambio iónico, si bien no presentan mayores problemas a gran escala, su costo es alto.

Por ello se ha escogido dentro del método seleccionado, operaciones unitarias prácticas de bajo costo y factibles de ser realizadas a nivel banco y piloto.

### 1. Procedimiento

Consta de las siguientes etapas :

#### **Obtención de materia prima**

La materia prima esta constituida por las raíces de betarraga, que se presentan en atados.

#### **Selección y Limpieza**

Se hace manualmente, seleccionando aquellas betarragas

frescas, no deterioradas ni golpeadas y eliminando los tallos y raíces.

#### **Tratamiento Térmico**

Es importante este tratamiento, ya que inhibe a la betarraga de las enzimas responsables de la pérdida de color (peroxidasas) sin deteriorar la calidad del colorante. Además permite liberar algunos contaminantes adheridos a la cáscara.

Esta operación, también conocida como "inactivación enzimática", consiste en sumergir las betarragas en agua hirviendo por un tiempo determinado que permita inactivar la mayor cantidad de enzimas, pero que a su vez no afecte al colorante por su sensibilidad a la degradación a altas temperaturas.

#### **Pelado y Corte**

Utilizando cuchillos de acero inoxidable, esta acción se realiza manualmente y se ve facilitada por la operación anterior. El corte se hace en trozos de tamaño uniforme que permitan el prensado.

#### **Prensado**

Se efectúa usando un extractor de jugos, para lo cual la betarraga aún caliente es introducida al extractor aplicándose presiones variables con un émbolo.

Al final el extracto coloreado es colectado para una

posterior operación y los sólidos pasan a la siguiente etapa.

#### Extracción

De los los sólidos obtenidos en el prensado se extrae aún más colorante. Por ello éstos se licúan usando como solvente ácido cítrico diluido, en una proporción sólidos a solvente fija, que permita alcanzar el pH de estabilidad del colorante, a temperatura y tiempo de extracción conocidos. El solvente a usar es ácido cítrico diluido.

#### Filtración

El jugo obtenido en la extracción se filtra al vacío, para separar los sólidos residuales. Es recomendable decantar algo antes de filtrar.

#### Concentración

El filtrado y el extracto colectado en el prensado se mezcla y se coloca en un evaporador rotatorio al vacío (rotavapor) a presión y temperatura determinadas, con el fin de concentrar aproximadamente hasta la mitad del volumen, favoreciéndose la operación de secado.

Antes y después de ésta operación debe verificarse el pH de estabilidad del colorante rojo.

La recuperación de solvente no es muy importante debido a su alta dilución.

## **Secado**

El concentrado se seca por atomización con el fin de obtener el colorante rojo en polvo. En esta operación los azúcares presentes en el jugo hacen que el polvo tienda a adherirse en la cámara de secado. Para minimizar ello se usa un "encapsulante" adecuado, el cual previamente es disuelto en el concentrado y luego se seca. La elección del encapsulante dependerá de si se desea un colorante muy soluble ó parcialmente soluble en agua.

Así es posible lograr una mejor recuperación de sólidos en el producto final, con el colorante adherido al encapsulante.

## **Producto final**

Es el colorante rojo de betarraga en polvo de uso alimenticio, que debe almacenarse en frascos de vidrio oscuro y a baja temperatura.

## **2. Requerimientos**

Las pruebas experimentales se realizaron en los laboratorios N°23 y 23-A de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Ingeniería.

### **2.1 Materiales**

Materia prima:	Betarraga de huerta
Solvente:	-Acido Cítrico USP
	-Agua destilada

Aditivos:                    -Almidón de cereales  
                                  -Fectina cítrica  
                                  -Carboximetilcelulosa  
                                  -Almidón de yuca

Reactivos de análisis: -Glicerina USP  
                                  -Soda caústica en polvo  
                                  -Fosfato ácido disódico 0.2M  
                                  -Acido cítrico 0.1M  
                                  -Agua oxigenada  
                                  -Acido sulfúrico concentrado  
                                  -Acido clorhídrico diluido  
                                  -Acetona  
                                  -Buffer pH=7.0

## 2.2 Equipo e Instrumentación

Los equipos indicados son detallados en el Apéndice (pág. 10<sup>9</sup>) :

-Baño de agua  
-Licuoextractor de jugos  
-Evaporador rotatorio al vacío (rotavapor)  
-Secador por atomización (spray)  
-Sistema de filtración

Instrumentos de medición:

-pH meter digital, marca Cole-Parmer modelo Digi-Sense 5885-80/9 v  
-Espectrofotómetro, marca Spectronic  
-Balanza electrónica, marca Metler modelo H10, de 4

decimales

- Balanza analítica, marca Merleggyar (Hungria), de 2 decimales
- Termómetro de -10 a 110°C
- Densímetro, con escala 1.00-1.20
- Viscosímetro de Ostwald
- Extractor sólido-líquido (Soxhlet)
- Balón de digestión orgánica
- Cronómetro
- Horno mufla, marca Muszeripari (Hungria), 3x220 v/60 Hz
- Estufa cilíndrica, marca Heraeus (Hungria), 220v, temperatura máxima: 110°C
- Balón de destilación, condensador y erlenmeyer
- Cuchillo de acero inoxidable
- Vasos pyrex, piceta, probeta de 100 mL, pipeta de mL, vagueta, espátula y frascos oscuros
- Tubos de ensayo y análisis colorimétrico de 13x100
- Bureta de 25 mL

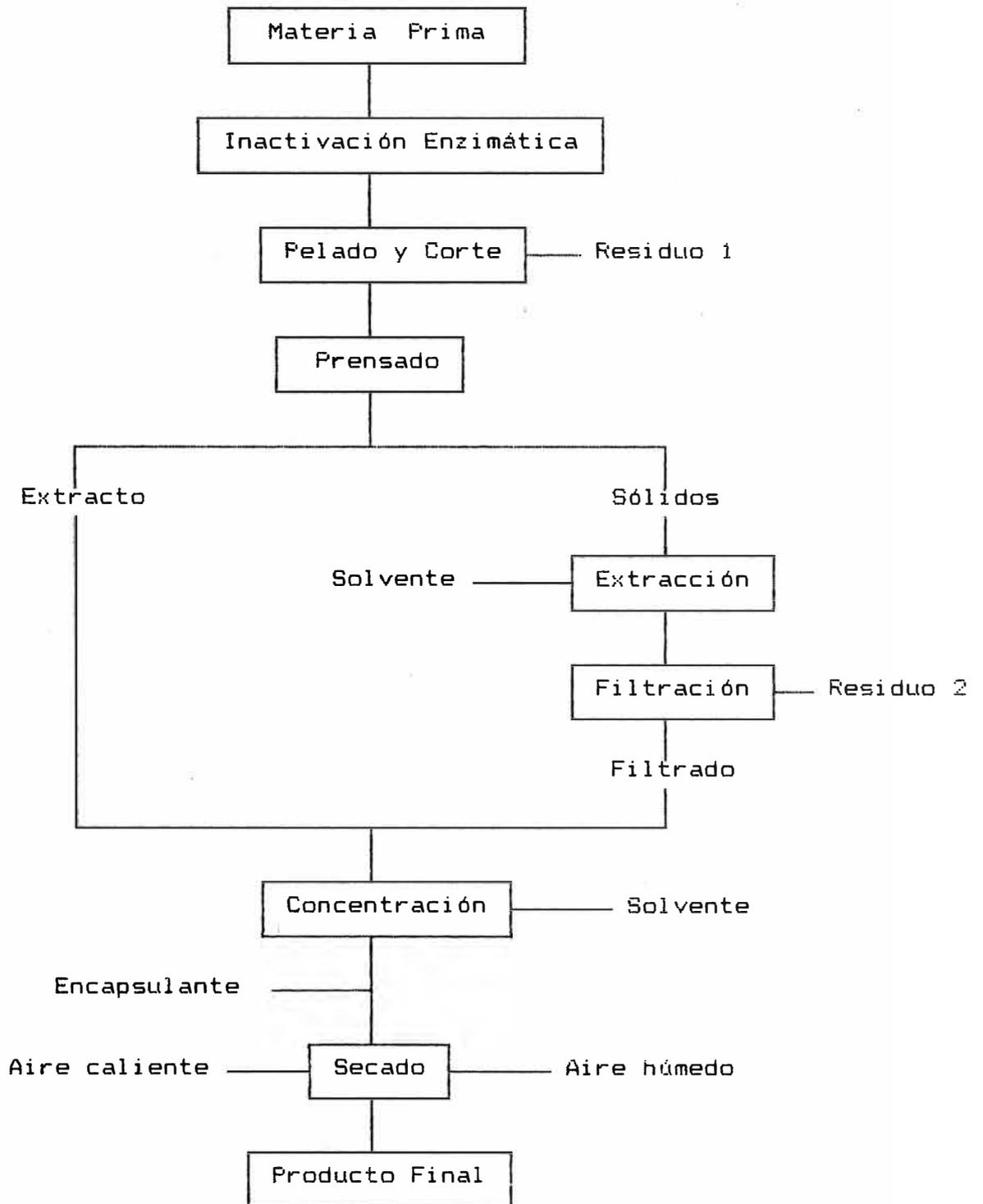
### 2.3 Servicios

- Aire comprimido
- Vacío
- Energía eléctrica
- Agua

### 3. Diagrama de operaciones

La figura N°13 presenta un diagrama de bloques de las operaciones consideradas en el método seleccionado.

Figura N°13  
METODO SELECCIONADO



## CAPITULO III: RESULTADOS EXPERIMENTALES

### A. Parámetros a determinar

Según el método seleccionado en el capítulo anterior, existen varios parámetros a fijar, siendo objetivo principal obtener la mayor recuperación y concentración de colorante, pero dentro de condiciones adecuadas que permitan una rápida y económica extracción.

En la medición de dichos parámetros se usan métodos convencionales especificados o reconocidos; y otros reportados en la bibliografía.

#### 1. Factores que intervienen en la obtención de producto

En cada operación indicada en el método son de interés medir las siguientes variables:

##### **Materia prima**

- Tipo de cultivo
- Contenido de betanina y composición química
- Cantidad a procesar
- Tiempo y temperatura de almacenamiento

##### **Tratamiento Térmico**

- Tiempo de inactivación
- Temperatura
- Actividad enzimática residual

##### **Pelado y Corte**

- Porcentaje de residuo
- Grosor de rodajas

### **Prensado**

- Presión de trabajo  
    Volumen, densidad y pH de extracto
- Porcentaje de sólidos residuales

### **Extracción**

- Temperatura
- Tiempo
- Solvente
- Velocidad de agitación  
    Relación solvente/sólidos alimentados

### **Filtración**

- Presión de vacío
- Área
- Tiempo

### **Concentración**

- Presión
- Temperatura  
    Tiempo  
    Volumen, densidad y pH del jugo

### **Secado**

- Presión de aire de entrada
- Temperatura de entrada de aire
- Número de rpm
- Tiempo
- Porcentaje de aditivo en la solución alimentada

- Propiedades de la solución alimentada
- % de recuperación de sólidos y de colorante

#### Producto Final

- Contenido de betanina y composición química
- Diámetro de partícula
- Porcentaje de betanina y otros análisis

## 2. Métodos de medición de las variables

### Humedad (H)

Se pesa una cantidad conocida de muestra y se seca a 110°C hasta alcanzar un peso constante. Así:

$$\% H = \frac{(W_1 - W_2) * 100}{W_1}$$

siendo:  $W_1$  = peso inicial de la muestra húmeda  
 $W_2$  = peso de la muestra seca

### Sólidos totales (ST)

Se determina por diferencia entre el peso total y la humedad calculada. Por tanto:

$$\% ST = 100 - \% H$$

### pH

Las mediciones se efectuaron generalmente a temperatura ambiente usando el potenciómetro digital mencionado anteriormente (pág.56) .

### Densidad

Se determina por lectura directa del hidrómetro que a su vez

indica la temperatura de la solución.

La densidad aparente se midió por el método del volumen desplazado.

#### Sólidos totales disueltos (STD)

A partir de la densidad de la solución y usando la ecuación simplificada:

$$\% \text{ STD} = (D - D_0) * 100 / D$$

siendo: D = densidad de la solución

D<sub>0</sub> = densidad del agua a la temperatura de la solución

#### Cenizas

Una muestra es colocada en un horno mufla a 600°C. El residuo final, luego de quemar la materia orgánica, constituye las cenizas que se expresan en porcentaje.

#### Proteínas

Se mide en forma indirecta, conociendo la cantidad de nitrógeno total presente en la materia orgánica. Para ello se realiza la destrucción de ésta con ácido sulfúrico concentrado en caliente (digestión orgánica) obteniéndose sulfato de aluminio, el cual luego se destila, por arrastre de vapor, hasta amoníaco y finalmente titulado con ácido clorhídrico (HCl).

Así:

$$\% \text{ Nitrógeno total} = \frac{\text{Volumen HCl (ml)} * \text{Normalidad HCl} * 1400.7}{\text{Peso (mg) de muestra}}$$

$$\% \text{ Proteína total} = 6.25 * \% \text{ Nitrógeno total}$$

### Carbohidratos

Se obtiene por diferencia del total y los porcentajes de proteínas totales, grasas, cenizas y humedad.

### Viscosidad

Se eligió el método de Ostwald, según la Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C. 1975) .

### Tensión Superficial

Se midió por capilaridad tomando como referencia agua.

### Concentración de Betanina y vulgaxantina

Se puede determinar ya sea para la betarraga cruda, en jugo o en polvo, según los métodos encontrados en FAO Food and Nutrition Paper N°31/1 (1984) .

- Para el polvo:

Pesar una muestra con aproximación de 4 decimales y disolverla en solución buffer McIlvaine's de pH=5. Centrifugar si fuese necesario. Luego tomar una alícuota para efectuar la medición.

La absorbancia de la betanina y vulgaxantina se calculan de las ecuaciones propuestas por Nilsson (1970) así:

$$A_b = 1.095 * \left( A_{537} - A_{600} \right)$$

$$A_v = -0.258 * A_{537} + A_{476} - 0.742 * A_{600}$$

donde:  $A_b$  = absorbancia de betanina

$A_v$  = absorbancia de vulgaxantina I

$A_{476}$ ,  $A_{537}$  y  $A_{600}$  absorbancia de la muestra a las longitudes de onda indicadas

El buffer se prepara con:

Solución A (Acido cítrico 0.1 M): Disolver 21.0 g de ácido cítrico ( $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ ) en 1000 mL de agua destilada.

Solución B (Fosfato ácido disódico 0.2 M): Disolver 35.6 g de fosfato ácido disódico ( $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ ) en 1000 mL de agua destilada.

Se mezcla: 48.5 mL de solución A + 51.5 mL de solución B. Se obtiene una solución buffer de pH=5.0 .

Cálculos:

$$\text{Concentración (\%)} = (A * V) / (E * L * W)$$

donde A= Absorbancia de betanina o vulgaxantina I

V= Volumen de la solución medida en mL

L= Longitud de celda en cm

W= Peso de la muestra en g

E= Coeficiente de extinción molecular: 1120 para la betanina y 750 para la vulgaxantina I

### Influencia de la actividad del agua

La velocidad de degradación de la betanina en sistemas agua-glicerina fue estudiada. Para ello se prepararon soluciones del sistema en proporciones dadas, las cuales corresponden a una determinada actividad del agua según la ecuación de Norrish (1966):

$$\log a_w - \log x_2 = K_2 * x_1 \quad \text{donde}$$

$a_w$  = actividad del agua

$x_1$  y  $x_2$  = fracciones molares de glicerina y agua

$K_2 = -0.38$  (constante para el sistema dado)

Aproximadamente 10 mg de muestra se añade a 17 mL de cada solución agua-glicerina dada. Luego una alícuota de 2 mL se coloca en un frasco hermético. Las muestras se colocaron en agua helada antes de iniciar el experimento. Después de alcanzar una temperatura de equilibrio, los frascos fueron sumergidos en un baño de agua a 75°C. Cada 5 a 15 min, un frasco se separaba y de inmediato enfriaba para su respectivo análisis, siguiendo los métodos indicados.

#### Actividad enzimática

Este método se usa para obtener la actividad enzimática residual después de someter la betarraga a tratamiento térmico.

La actividad enzimática de la peroxidasa se mide por la aparición de guayacol oxidado a una longitud de onda de 485 nm. El sistema de ensayo contiene:

- Buffer fosfato de pH=7
- Agua oxigenada 0.001 M
- Extracto enzimático

Se añade el extracto enzimático, de concentración

variable en betanina, al volumen de reacción. Se midió la actividad tomando los cambios de absorbancia por minuto.

#### B. Pruebas experimentales

Se indica la medición de los factores considerados en cada etapa del procedimiento incluyendo sus rangos de variación ó valores promedio en las diferentes pruebas realizadas.

#### Materia Prima

Constituída por raíces de betarragas de las siguientes características:

- Tipo: Betarraga de huerta
- Especie: Beta Vulgaris
- Variedad: Roja de Detroit

Luego de eliminar los tallos fueron almacenadas durante 15-20 días en frío (2°C aprox.) antes de procesarlas.

Se tomaron muestras de la parte comestible de las raíces de betarraga obteniéndose los siguientes resultados, según los métodos de medición indicados:

- Humedad: 85 - 88 %
- Grasas: 0.15-0.20 %
- Total proteínas: 1.5 - 2.0 %
- Cenizas: 1.0 - 1.2 %
- Total carbohidratos: 8.6 - 12.3 %
- Total: 100 %

Densidad aparente : 1.15 g/cc

Se observa que los resultados están de acuerdo a la tabla N°1

### Tratamiento térmico

Experimentos realizados por Lashley y Wiley (1979) verificaron una cinética de primer orden en la inactivación de la peroxidasa a 100°C .

Así se tiene:  $\ln C/Co = - K * t$

donde: C = actividad residual de la peroxidasa al tiempo t

Co = actividad inicial de la peroxidasa

t = tiempo de tratamiento térmico

K = constante de velocidad de inactivación

Los resultados indicados se muestran en la figura N° 9 (Capítulo 2) :

C/Co	1.0	0.320	0.111	0.101	0.0103	0.010
t (min)	0	2	3	5	8	10

Se prefirió un tratamiento con un porcentaje aceptable de inhibición y corto tiempo de tratamiento, por tanto:

-Tiempo: 5 min

-Temperatura: 100°C

-Actividad enzimática residual: 10%

### Pelado y Corte

Al eliminar la cáscara y la porción de tallo remanente (residuos) se ha encontrado:

-Peso de residuo: 9-12% Peso de materia prima

-Humedad de betarraga limpia: 85-86%

-Concentración de betanina: 0.085-0.095%

-Concentración de vulgaxantina: 0.040-0.045%

Luego la betarraga limpia se corta en rodajas de 1/2" de espesor.

### Prensado

Se midió:

- Relación jugo (mL)/betarraga limpia (g) = 0.68-0.71
- Densidad del jugo = 1.040-1.050
- pH del jugo = 5.9-6.0
- Humedad de sólidos luego de prensar = 57.0-65.0%
- Densidad aparente de sólidos = 1.66

### Extracción

Todos las pruebas se hicieron licuando a 6500 rpm aprox. durante 1.5 min y se muestran en la tabla N° 9 .

Se ha estudiado 3 factores importantes:

- Concentración de ácido cítrico en el solvente

Se ensayaron varias concentraciones de ácido cítrico en el solvente, para la extracción de colorante presente en los sólidos del prensado, tal como se indica en las pruebas 1 a 4

Observamos que la concentración de betanina alcanzada en las pruebas 2 y 3 era casi similar, prefiriéndose los resultados de la prueba 3 por alcanzar un pH adecuado. Sin ácido (prueba 1) no se logra el pH adecuado para la estabilidad del colorante, aún cuando la concentración de colorante es superior.

Por tanto:

Concentración de ácido cítrico = 0.10%

TABLA N°9  
EXTRACCION A LOS SOLIDOS DEL PENSADO

Prueba	% Acido Cítrico	pH del extracto	Relación solvente a sólido	Temperatura (°C)	% Betanina en el jugo
1(*)	0.00	6.0	1/1	20°	0.075
2(*)	0.05	5.4	1/1	20°	0.068
3(*)	0.10	4.8	1/1	20°	0.066
4(*)	0.15	4.7	1/1	20°	0.051
5(+)	0.10	4.8	1/1	20°	0.064
6(+)	0.10	4.6	2/1	20°	0.067
7(+)	0.10	4.4	2.5/1	20°	0.070
8(+)	0.10	4.0	3/1	20°	0.058
9(-)	0.10	4.4	2.5/1	20°	0.069
10(-)	0.10	4.5	2.5/1	50°	0.072
11(-)	0.10	4.7	2.5/1	70°	0.073
12(-)	0.10	5.0	2.5/1	90°	0.057

(\*) Variable analizada:Concentración de ácido cítrico(%)

(+) Variable analizada:Relación solvente a sólido

(-) Variable analizada:Temperatura

-Proporción solvente/sólidos

Fijado el porcentaje de ácido cítrico se ensayaron diversas proporciones cuyos resultados se dan en las pruebas 5 a 8

Una relación 2.5/1 es óptima para una buena difusión del colorante y da un pH adecuado para la posterior mezcla del filtrado con el jugo del prensado.

Por tanto:

Proporción solvente/sólido= 2.5/1

-Temperatura

Fijadas las dos variables anteriores, se determinó la temperatura de extracción obteniéndose la información indicada en las pruebas 9 a 12 .

El intervalo entre 50° y 70°C es deseable, pues se alcanza prácticamente la misma concentración de betanina, pero teniendo en cuenta la estabilidad del colorante se prefiere:

Temperatura de extracción= 50°C

**Filtración**

La suspensión obtenida en la operación anterior, se filtró al vacío, obteniéndose:

-Peso de torta húmeda	=	15-16% Peso de suspensión
-Humedad de la torta	=	38-42%
-Densidad del filtrado	=	1.015-1.025
-pH del filtrado	=	4.4-4.6

La prueba de filtración a presión entre 300-400 mmHg de

vacío proporcionó los siguientes valores para un volumen de suspensión de 310 mL :

-Volumen de filtrado(mL)	=	0	52	94	178	250	255
-Tiempo(min)	=	0	5	10	20	30	40
-Espesor de torta aprox.	=	2 cm					

Se observó que las pérdidas por evaporación de agua durante la filtración fueron mínimas.

Asumiendo que la suspensión retenida por la torta ocupa el volumen correspondiente a la porosidad, se obtiene:

Volumen de torta = Volumen de suspensión - Volumen de filtrado

-Volumen de torta =  $310 - 255 = 65$  mL

-Area efectiva =  $65 / 2.0 = 32.5$  cm<sup>2</sup>

### Concentración

De la mezcla del filtrado con el jugo del prensado se tiene:

-Densidad de mezcla = 1.028-1.037

-pH de mezcla = 5.0- 5.2

Durante la evaporación se escogen los rangos de presión y temperatura, de forma que no aparezcan espumas causantes de arrastre en la operación como tampoco se exceda el calentamiento de la solución. Se obtuvo:

Presión de vacío (mmHg)	600	550	500	450
Temperatura (°C)	62	68	72	76

-Tiempo total de operación = 40 min

-Razón de vaporización (Volumen final/volumen inicial) = 1/2

Mientras se concentra la solución adquiere mayor densidad y viscosidad lo que dificulta una adecuada transmisión de calor.

Se obtiene un concentrado de las siguientes características:

- Densidad = 1.060-1.075
- pH = 4.8-4.9
- Concentración de betanina = 0.11-0.12%

### Secado

Previamente el concentrado se mezcla con un aditivo, llamado "encapsulante", cuyo objetivo es facilitar la operación de secado al incrementar la cantidad de sólidos en la solución a concentrar.

Los aditivos ensayados han sido:

- Carboximetil celulosa (CMC)
- Almidón de yuca ("chuño")
- Almidón de cereales (maíz)
- Pectina cítrica

Los dos primeros no han ofrecido buenos resultados por la baja recuperación de sólidos en el producto final, debido a que estos quedan muy adheridos al equipo, en cambio los últimos sí permiten una mayor recuperación del producto.

Las propiedades de la solución alimentada y las condiciones de operación se indican en las tablas N° 10 y 11

En la determinación del diámetro medio de partícula se ha

TABLA N°10  
PROPIEDADES DE LA MUESTRA A SECAR

Prueba	Densidad (g/cc)	Temperatura (°C)	Viscosidad (cp)	Tensión Superficial (dy/cm)
1	1.075	25	3.3	83.0
2	1.085	33	3.8	94.1
3	1.085	30	3.7	93.5
4	1.090	26	4.2	99.4

TABLA N°11  
CONDICIONES DE OPERACION

Prueba	Flujo de alimentación (lb/min)	Temperatura de aire (°C)	Presión de aire (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Betanina en producto	% Recuperación
1	0.039	140	4	0.39	57
2	0.032	135	4	0.48	62
3	0.035	125	4	0.74	77
4	0.021	125	4	0.77	71

utilizado la correlación de Henring-Marshall por poseer la solución a secar propiedades parecidas a las del agua y el sistema de secado aplicable a dicha correlación mostrada :

$$D_{vm} = K * \left( \frac{M}{L} \right)^{0.24} / \left( (N*d)^{0.83} * (n*h)^{0.12} \right)$$

donde:

$D_{vm}$  =Diámetro medio de partícula (micrones)

$$K = 85 * 10^4$$

M =Flujo de sólidos(lb/min):0.039 (Prueba N°3:Tabla N°11)  
L

En el sistema de secado:

N = Número de revoluciones por minuto:30800 rpm

n = Número de ventanas:24

d = Diámetro exterior del rodete:1.97"

h = Altura de ventana:0.236"

Se obtiene:  $D_{vm} = 33.97$  micrones

### Producto Final

El producto final obtenido en las pruebas N° 3 y 4 ha sido caracterizados,por ofrecer las mejores resultados en recuperación y concentración de colorante,mostrando en promedio los siguientes valores:

-% Humedad	=	8.8
-% Grasa	=	0.1
-% Ceniza	=	4.8
-% Proteína total	=	9.3
-% Carbohidratos	=	75.0

Trazas: Calcio, Fósforo, Hierro, Vitaminas A, B y C .

12

Total = 100%

Otras propiedades:

-Densidad = 0.55 g/cc

-pH = 5.0 aprox.

-Diámetro de partícula = 55.6 micrones

-Solubilidad en agua = Parcial o Total

-Espectro de absorción = Pico máximo a 537 nm

-Humedad

La influencia de la actividad del agua en la degradación de la betanina ha sido estudiada por Pasch, J. (1975) obteniéndose los resultados mostrados en la figura N°7 :

x	= 0.00	0.20	0.40	0.60	0.70	0.80	0.85
1							
x	= 1.00	0.80	0.60	0.40	0.30	0.20	0.15
2							

La actividad del agua se calcula a partir de la ecuación de Norrish (ver pág. 65 ) y la vida media asumiendo cinética de primer orden en la degradación. Así:

Actividad (aw)	= 1.00	0.95	0.87	0.74	0.63	0.47	0.37
Vida media (min)	= 33	37	43	57	71	100	124

-Solubilidad

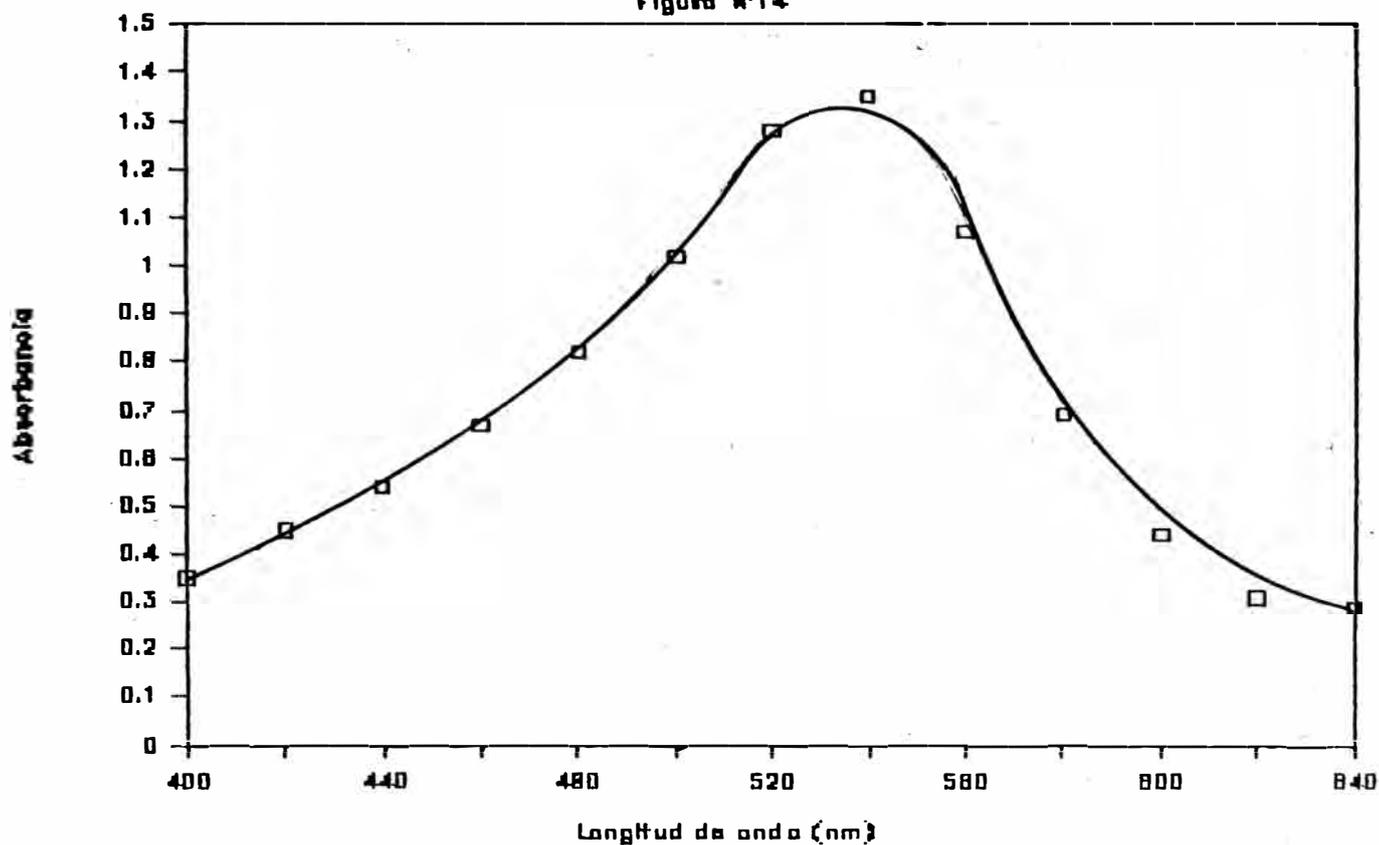
Si el aditivo del secado es almidón hay solubilidad parcial pero si fuese pectina es total.

-Espectro de absorción

Se obtuvieron los siguientes resultados con el producto final de la prueba N°3, también mostrados en la fig. N°14 :

# ESPECTRO DE ABSORCION DEL COLORANTE

Figura N°14



Longitud de onda (nm)	Absorbancia
400	0.35
420	0.51
440	0.62
460	0.71
480	0.84
500	1.02
520	1.28
540	1.35
560	1.07
580	0.69
600	0.44
620	0.31
640	0.29

Concentración de betanina

Para su determinación, se usa las ecuaciones mostradas en la pág. 63 .

Para V= 12.0 mL , L= 1 cm y W= 0.0148 g se obtuvo:

$$-A_{537} = 1.34 \text{ y } A_{600} = 0.44 ; Ab = 1.095 * (A_{537} - A_{600}) = 0.985$$

$$\% \text{ Betanina} = \frac{A_b * V}{(1120 * W)} = 0.713$$

RESUMEN DE PARAMETROS OPTIMOS PARA EL PROCESO

Etapa	Parámetros
Almacenamiento de mat. prima	15-20 días ; 2°C
Tratamiento Térmico	100°C ; 5 min
Prensado	ml jugo/g de betarraga=0.70
Extracción	Solvente/Sólidos =2.5 ; 50°C
Filtración	300-400 mmHg de vacío
Concentración	450-600 mmHg de vacío Razón de vaporización=0.5
Secado	Aire:120-125°C; 4 Kgf/cm <sup>2</sup> Aditivo:5-7% del peso de la ali- mentación (densidad=1.2)

#### CAPITULO IV : DISEÑO DE LA UNIDAD PILOTO

##### A. Escalamiento de los resultados a nivel banco

Se ha propuesto obtener 3 kg de colorante por cada ciclo de trabajo ,se ha asumido que el volumen producido es captado en su totalidad por el mercado,debido a que la producción está dirigida a abastecer básicamente a una planta exportadora de alimentos.Se realizarán 2 ciclos de trabajo por día.

Se ha tenido en cuenta lo siguiente :

El tamaño resultante de los equipos de procesamiento están dentro del estándar producido por los fabricantes.

- Aquello garantiza una buena calidad del producto final,procesando la betarraga en el tiempo necesario sin afectar la estabilidad del colorante.

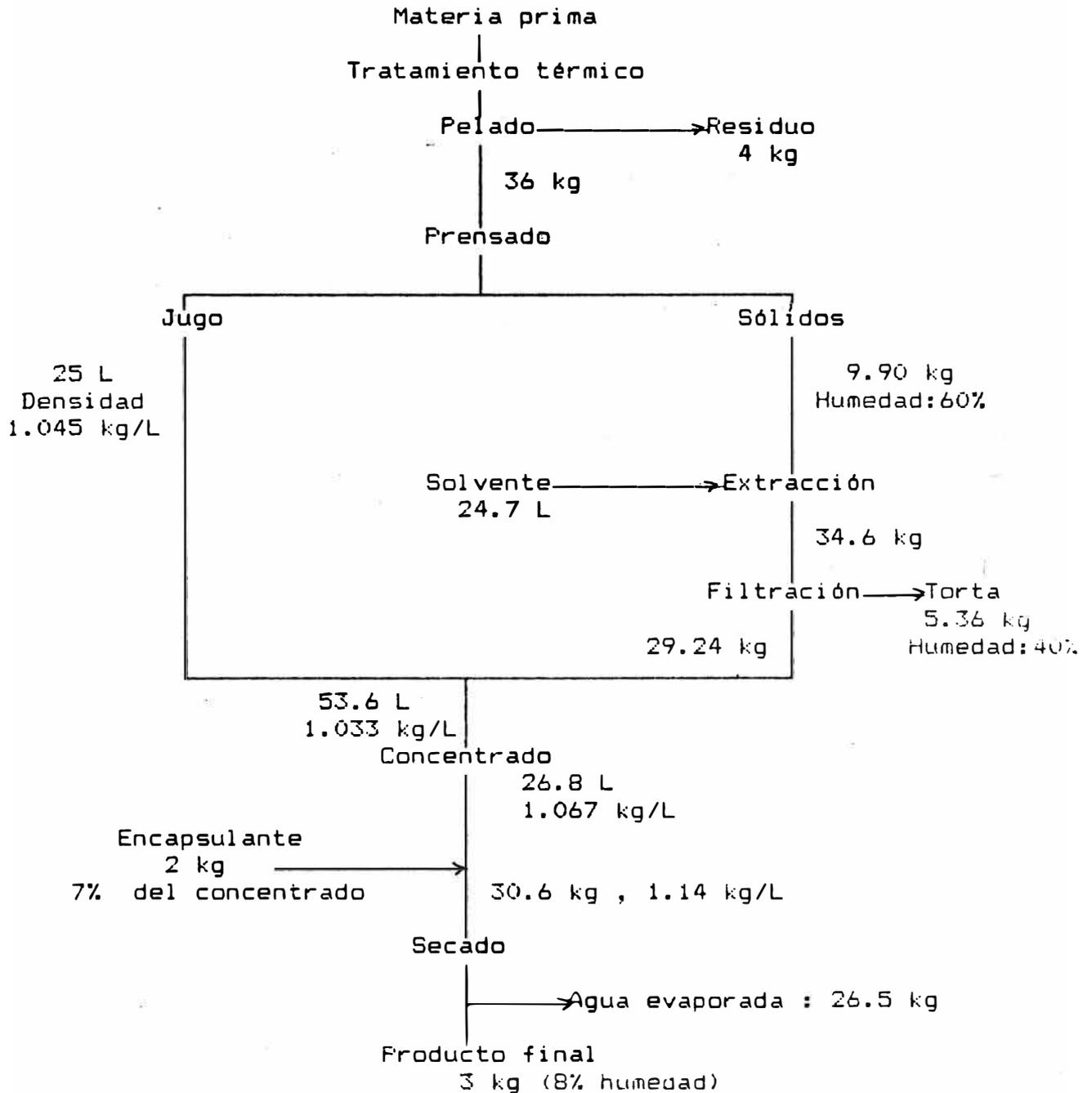
La capacidad de los equipos puede ampliarse posteriormente dependiendo de los requerimientos de producción y la demanda futura del mercado.

Para la obtención de 3 Kg de colorante rojo en polvo son necesarios 40 Kg de materia prima.Para el balance de materia se ha tenido en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas a nivel banco.

Se muestra dicho balance en la figura N° 15 .

Figura N° 15  
Escalamiento de los resultados a nivel banco

Base: 40 Kg de materia prima (raíces de betarraga)



## B. Etapas consideradas

Se utilizarán las siguientes operaciones :

Preparación de materia prima

Calentamiento

Prensado

Agitación

Filtración

Concentración

Secado

- Control de Calidad

### 1. Descripción

#### a. Preparación de la materia prima

La betarraga en atados es limpiada y sus raíces seleccionadas al comienzo del proceso. La materia prima puede almacenarse hasta por medio mes a 2°C

#### b. Calentamiento

La materia prima se sumerge en un tanque de calentamiento, que contiene agua a 100°C, por un tiempo de 5 minutos.

#### c. Prensado

Se utiliza para la separación del extracto presente en la betarraga, mediante la compresión de esta, en condiciones que permitan que el extracto fluya al mismo tiempo que retiene el sólido entre la superficie de compresión.

En esta operación se extrae el extracto de la betarraga que contiene mayor proporción de colorante que los sólidos remanentes.

d. Agitación

Con la parte sólida obtenida del prensado se extrae el colorante que aún contiene, usando como solvente ácido cítrico diluido. La mezcla es agitada a una velocidad, temperatura y tiempo determinados.

e. Filtración

Se realiza en un filtro rotatorio al vacío, obteniéndose una torta húmeda adherida al medio filtrante (tela). Con el tiempo dicha torta incrementa su espesor a su vez que el filtrado atraviesa dicha resistencia. Los sólidos son retirados del medio y el filtrado se mezcla con el líquido obtenido del prensado obteniéndose un jugo rico en colorante

f. Concentración

Para aumentar la concentración de la mezcla de jugo con extracto y facilitar el secado, se evapora a una temperatura que no produzca degradación del colorante (menor a 75°C) a presión de vacío.

Usando el mismo tanque utilizado en el calentamiento anterior y trabajando al vacío esta operación resulta rápida y eficiente. El vapor eliminado se con-

densa y puede utilizarse para limpieza del tanque.

El concentrado puede almacenarse cierto tiempo a baja temperatura antes del secado.

g. Secado

Para obtener el producto en polvo se utiliza un secador por atomización. Al concentrado previamente se le adiciona un aditivo que ayuda el secado (encapsulante) hasta obtener una mezcla homogénea por agitación en un tanque de alimentación al secado.

Esta operación incluye ciertas variables importantes como presión, temperatura, flujo de aire, etc. las que fueron fijadas previamente.

h. Control de Calidad

Se realizarán pruebas de control para las materias primas, productos intermedios y productos finales. Las normas que se especifiquen deberán asegurar un producto de óptima calidad que garanticen un buen rendimiento en producto final y permita un mejor almacenamiento.

2. Diseño de Equipos

Todos los equipos son de acero inoxidable tipo 302(20)  
Para los cálculos se toma como referencia la fig. N°15.

2.1 Tanque de calentamiento

El tanque se va a utilizar para 2  
operaciones: calentamiento y concentrado .

Además se le adaptará otros equipos adicionales para su buen funcionamiento.

Es mostrado en la figura N°16

Se usó :

- La relación H/D = 1.5
- Carga de materia prima = 40 kg
- Residuo 1 = 10% de materia prima
- Densidad de carga = 1.15 Kg/L

Se asume lo siguiente:

- Diámetro (D) = 40 cm
- Volumen de agua = 60% del volumen del tanque
- Pérdidas de calor al medio ambiente despreciables

Se determinó :

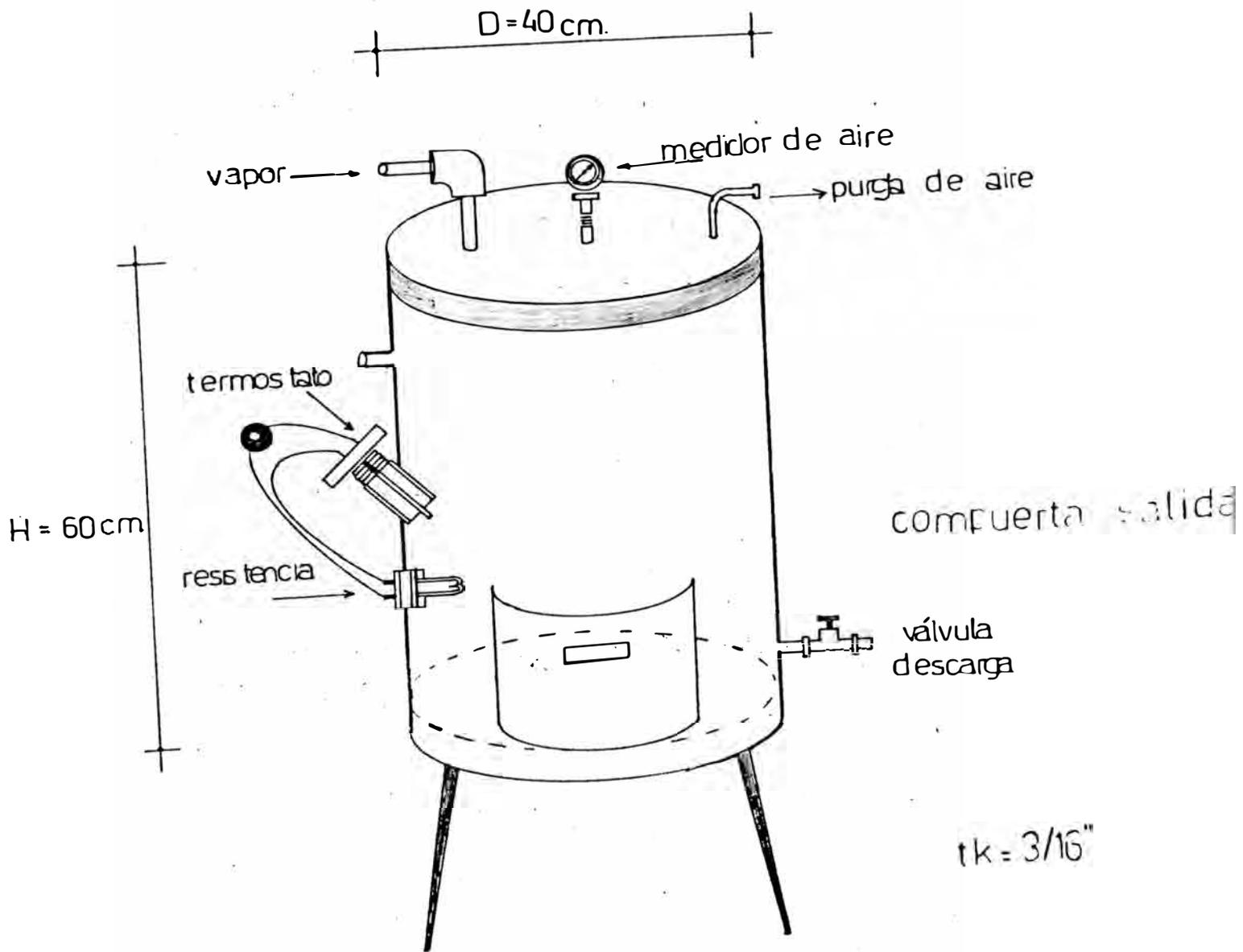
- Altura (H) =  $1.5 * 40 = 60$  cm
- Volumen del tanque =  $\pi * (40^2 / 4) * 60 \approx 75$  L
- Espesor del tanque = 3/16"
- Betarraga limpia =  $40 * 0.9 = 36$  Kg

Accesorios Adicionales

- Resistencia eléctrica de nicrom 14 : 4 Kw
- Tiempo necesario para elevar la temperatura del agua : 1 hr
- Termostato : 0 - 120 °C
- Vacuómetro : 0 - 760 mm Hg
- Bomba de vacío : 0.5 Hp

Fig. N°16

# TANQUE DE CALENTAMIENTO Y CONCENTRACION



Tanque pulmón de vacío

- Válvula de descarga a máquina peladora

Condensador

Agua ablandada

Sistema de tuberías

Válvula de purga de aire

## 2.2 Prensa

También denominado exprimidor, usamos una prensa por lotes llamada " prensa de ollas " ya que la operación no es continua.

Accesorios :

Malla inferior y superior

- Ariete de compresión

- Medio filtrante

- Tuberías de descarga

Se muestra en la figura N° 17 .

## 2.3 Tanque de Agitación

Se ha diseñado un tanque para tratar el colorante remanente en los sólidos obtenidos del prensado, con adición de un solvente.

Se muestra en la figura N° 18 .

Se usó :

-Propiedades (ver pág. 68)

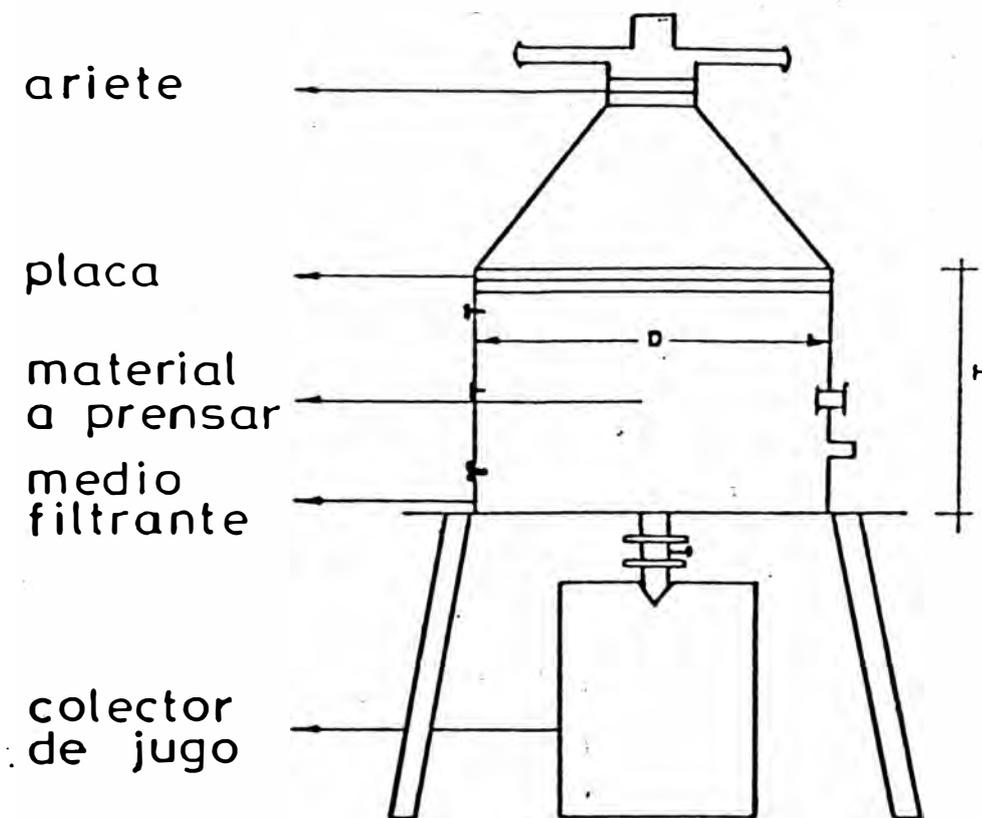
Densidad del sólido ( $\delta_s$ ) = 1.66 kg/l

Densidad del solvente ( $\delta_l$ ) = 1.00 kg/l

- Solvente/sólidos residuales = 2.5

Fig. N°17

PRENSA



D=40 cm

H=30 cm.

- % de sólidos secos = 11.0

Se asume :

- Relación H/D = 1.25

- Diámetro del tanque (Dt) = 37 cm

Se determinó :

- Velocidad de sedimentación = 13.8 pie/min  
(Vt) ( ver (7))

- Densidad de suspensión ( $\delta m$ ) =  $(1.66+2.5*1)/3.5$   
= 1.19 kg/L

- Altura ( H ) =  $1.25*37 = 46.3$  cm

- Volumen del tanque =  $( \pi*37^2/4 ) * 46.3$   
 $\approx 50$  L

- Espesor del tanque = 3/16 "

- Solvente añadido (V1) =  $9.90 * 2.5 / 1.0$   
= 24.7 L

- Volumen total (Vm) =  $(24.7 + 9.9)/1.19$   
 $\approx 30$  L

Accesorios Adicionales

- Agitador

Tipo : Turbina con 4 placas deflectoras

Diámetro del agitador (Da): entre Dt/3 a Dt/2

Se escogió: Da=  $0.4*D_t = 16$  cm

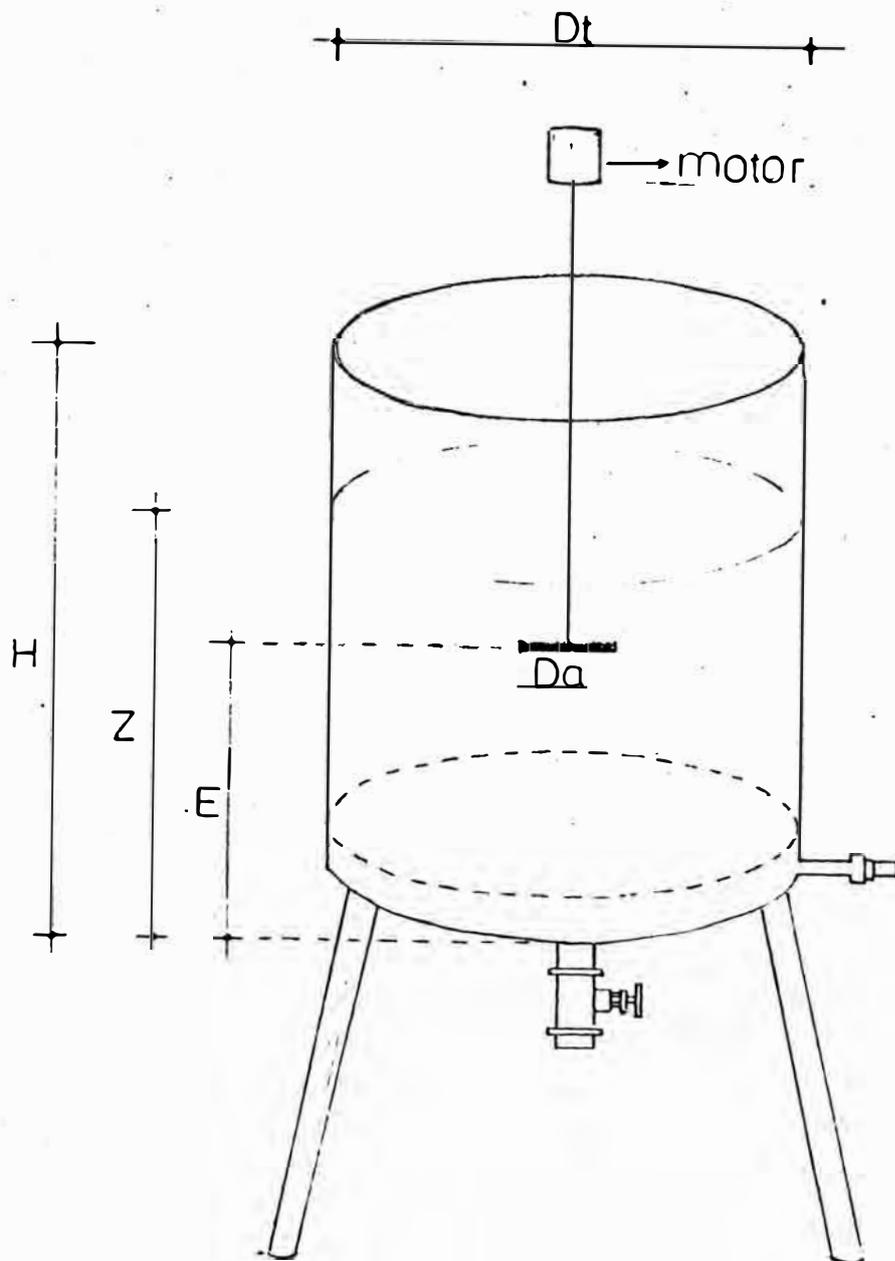
Altura del agitador (e) : e=Da = 16 cm

Velocidad de rotación = 400 rpm  
(entre 350-420 rpm)

Porosidad ( $\epsilon$ ) =  $V_1/V_m = 0.82$

Altura del líquido en suspensión (z) = 25 cm

Fig N°18  
TANQUE DE AGITACION



$D_t = 37$  cm.  
 $H = 45,3$  cm.  
 $D_a = 16$  cm.  
 $Z = 25$  cm.  
 $E = 16$  cm.

velocidad de rotación = 400rpm.

potencia = 0.25 Hp

espesor del  $T_k = 3/16''$

$$\beta \text{ (Nº adimensional)} = (z-e)/Dt - 0.1$$

Potencia del agitador (P)

$$P = (1-\epsilon)^{2/3} * (Dt/Da)^{1/2} * e^{4.35\beta} * \delta m * Vt * Vm \text{ ---} (*)$$

$$P = 0.23 \text{ hp}$$

Se escogió un agitador de 0.25 Hp

#### 2.4 Filtro rotatorio al vacío

Está compuesto por tambor que gira alrededor de su eje horizontal. El tambor está sumergido parcialmente en un tanque abierto que contiene la suspensión a filtrar. La superficie del tambor está compuesta de cierto número de compartimentos a lo largo de todo el tambor.

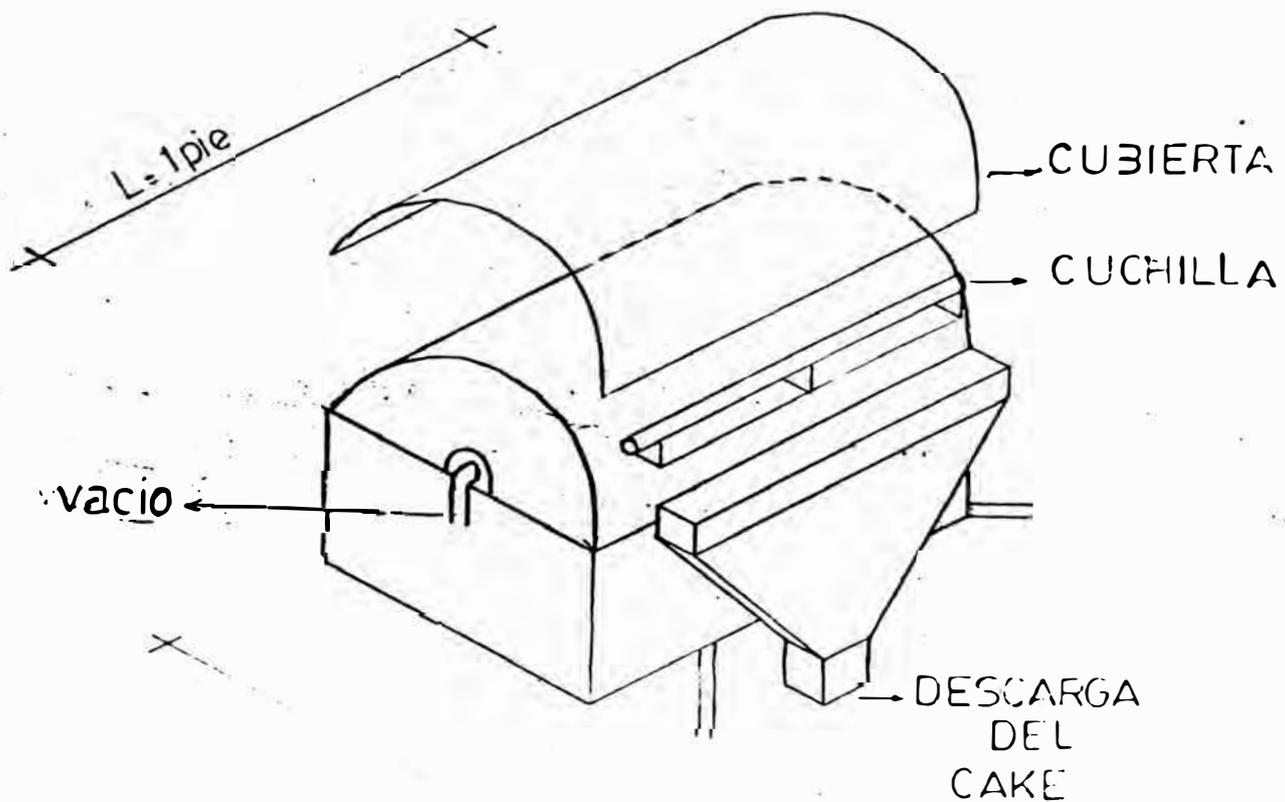
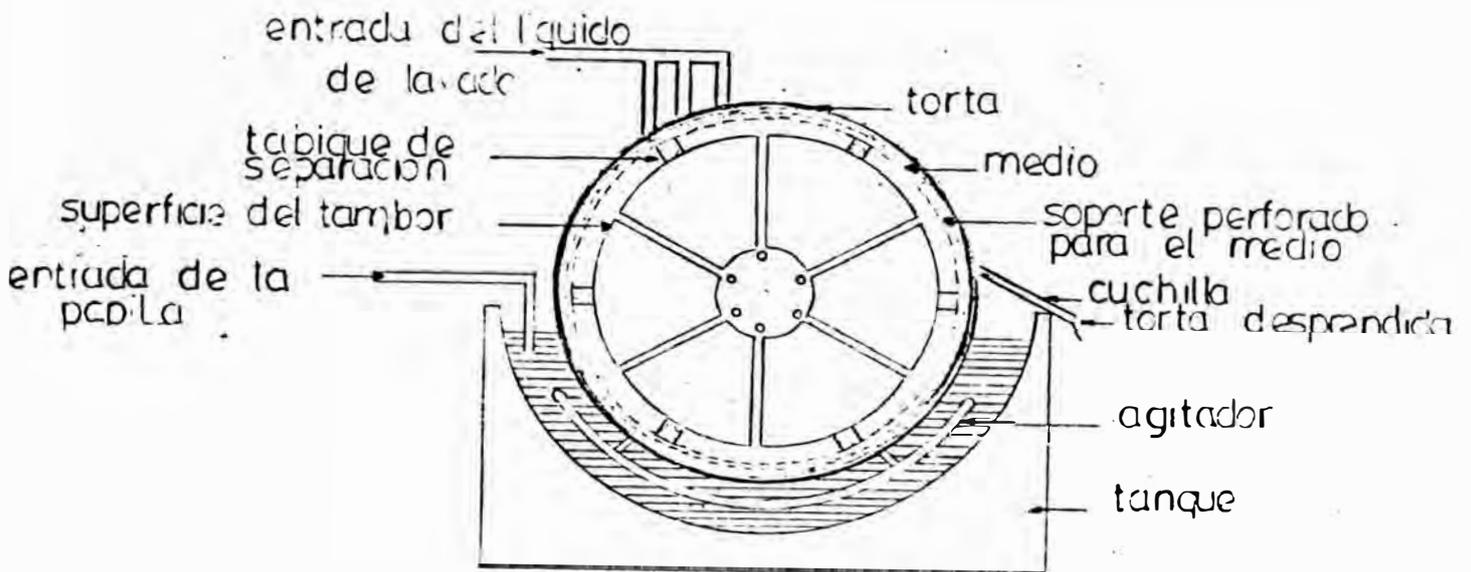
El medio de filtración cubre toda la superficie del tambor y se soporta en placas perforadas; a medida que gira el tambor cada compartimento se sumerge y se hace vacío en él, por medio de una válvula rotatoria.

Se forma una torta en la superficie exterior del medio, la que se desprende con la ayuda de una cuchilla. El filtrado fluye a través del medio y sale del compartimento por el tubo de drenaje hacia el depósito de filtrado.

Se muestra en la figura N° 19

(\*) Ver ec. 20-72 (16)

Fig. N°19  
 FILTRO ROTATORIO



Se asume lo siguiente:

- Relación L/D = 1
- Diámetro (D) = 1 pie

Se sabe (ver pág. 79) :

- Peso de suspensión a filtrar = 34.6 kg
- Peso de torta obtenida = 15% peso de suspensión (5.36kg)
- Volumen de filtrado = 29.8 L
- Densidad de filtrado = 1.020

Además :

- Velocidad del tambor = 0.5 rpm(4)
- Presión de vacío entrada = 8.7 psi (ver pág.70)
- Presión de salida = 14.7 psi

Accesorios Adicionales

- Filtro ayuda = 0.1% del peso de líquido
- Cubierta de filtro

Se determinó:

- Potencia de la bomba de vacío (P)

Se usó las ecuaciones mostradas(20):

$$P = 0.003 * k * P_1 * Q_f * ((P_2/P_1)^{(k-1)/k} - 1) / (k-1)$$

siendo: k=relación Cp/Cv del aire=1.4

P1=presión de entrada=5.7 psia

P2=presión de salida=14.7 psia

Qf=flujo de aire en pie<sup>3</sup>/min calculado de:

$$Q_f = (\bar{\alpha}_a * \mu * (\alpha/\beta) / (\bar{\alpha}_f * \mu_a * 2 * w)) * m$$

$\bar{\alpha}_a$ =fracción de área filtrante=0.1

$\bar{Q}_f$ =fracción de área sumergida=0.3

$(\alpha/\beta)$ =relación adimensional=0.1

$\mu_a$ =viscosidad del aire a 70°F  
= 0.018 cp

$\mu$ =viscosidad del agua a 70°F  
= 0.982 cp

$w$ =lb de sólido en la torta por pie<sup>3</sup>  
filtrado

=62.3\*1.02/(29.24/(5.36\*0.60))=6.98

$m$ =lb de torta seca/hr=5.36\*0.60\*2.2  
=11.8

reemplazando datos para  $Q_f$  se obtiene:

$Q_f$ =0.24 pie<sup>3</sup>/min a 70°F y 5.7 psia

reemplazando datos para  $P$  se obtiene 0.01

Se escoge el tamaño comercial más pequeño:0.50 hp

## 2.5 Tanque de concentración

Se utiliza el Tanque de calentamiento descrito anteriormente operando a presión de vacío, entre 450 y 600 mmHg .

## 2.6 Secador por atomización

Para obtener el producto final se introduce el producto alimenticio concentrado en la cámara en forma atomizada, donde se pone en contacto íntimo con una corriente de aire caliente.

Se tiene así un secado muy rápido y la producción del polvo seco . El tiempo de secado de la partícula-

la facilita la estabilidad del producto .

Se muestra el secador en la figura N° 20 y el atomizador en la N°21 .

Se ha diseñado lo siguiente:

De la figura 20.72 (19) sabiendo que :

Capacidad de evaporación = 58.3 lb de agua/hr

Se lee:Volumen de cámara(V) = 100 pie<sup>3</sup> aprox.

Además  $H = 0.4 * D$  ..... (19)

$$h = (D/2) * \cotg 30^\circ$$

$$\text{Reemplazando } V = \pi * D^2 * H/4 + \pi * D^2 * h/12 = 100$$

Se obtiene: D = 5.7 pies

$$H = 2.3 \text{ pies}$$

$$h = 5.0 \text{ pies}$$

Relación : diámetro del disco/diámetro de cámara

$$0.16/2.8 = 0.06$$

Tomada de las dimensiones del secador de laboratorio (ver Apéndice)

Otras especificaciones son :

$$\text{Presión de trabajo} = 4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Número de revoluciones} = 30800 \text{ rpm}$$

$$\text{Diámetro del disco rotatorio} = 0.35 \text{ pies}$$

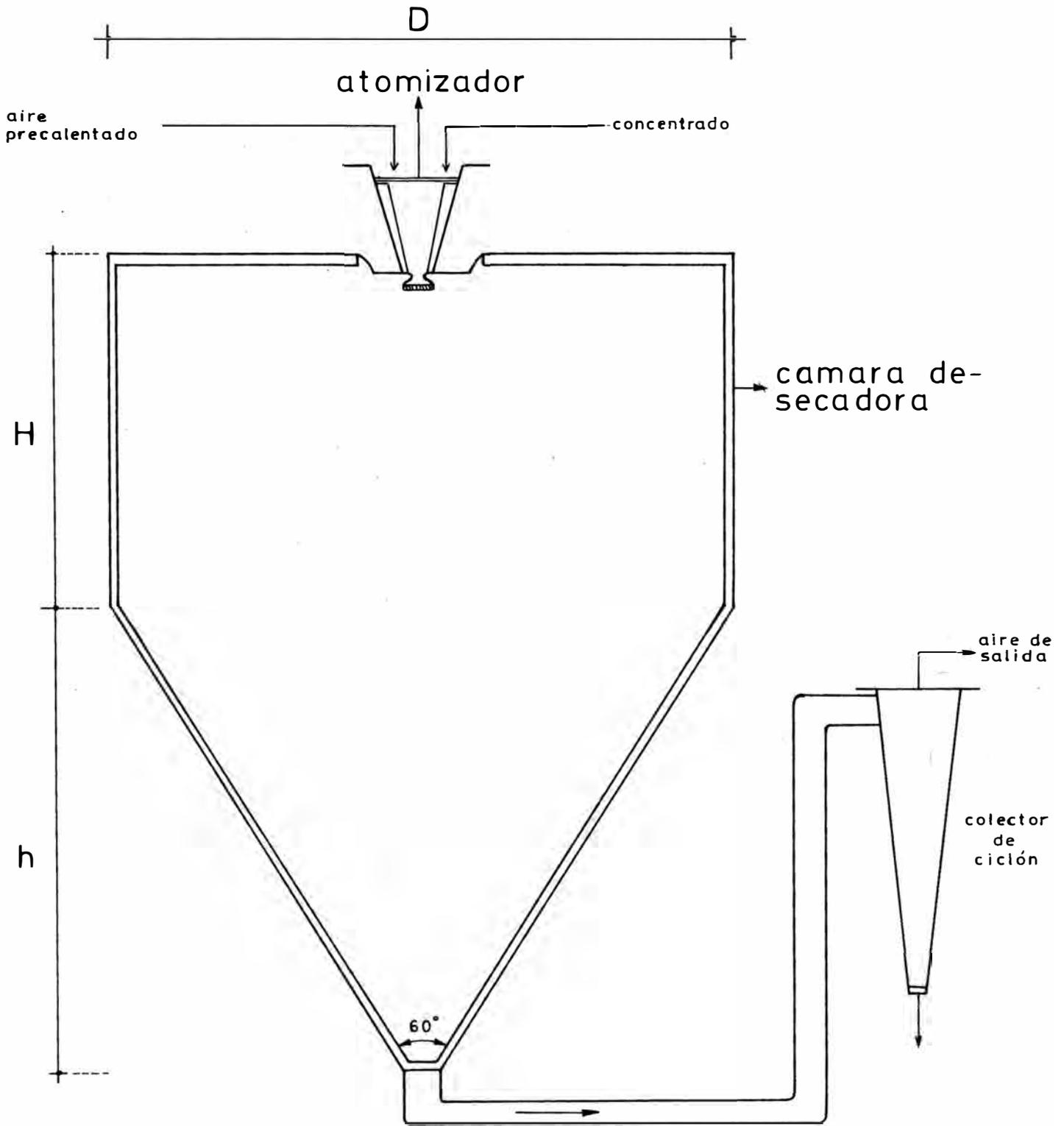
$$\text{Número de ventanas} = 24$$

$$\text{Altura de ventana} = 0.5''$$

$$\text{Patrón de flujo} = \text{mixto}$$

Otros accesorios importantes en el diseño son:

Fig. N° 20



SECADOR

$H = 2,3$  pies  
 $h = 5$  pies  
 $D = 5,7$  pies

# CABEZA ATOMIZADORA CENTRIFUGA

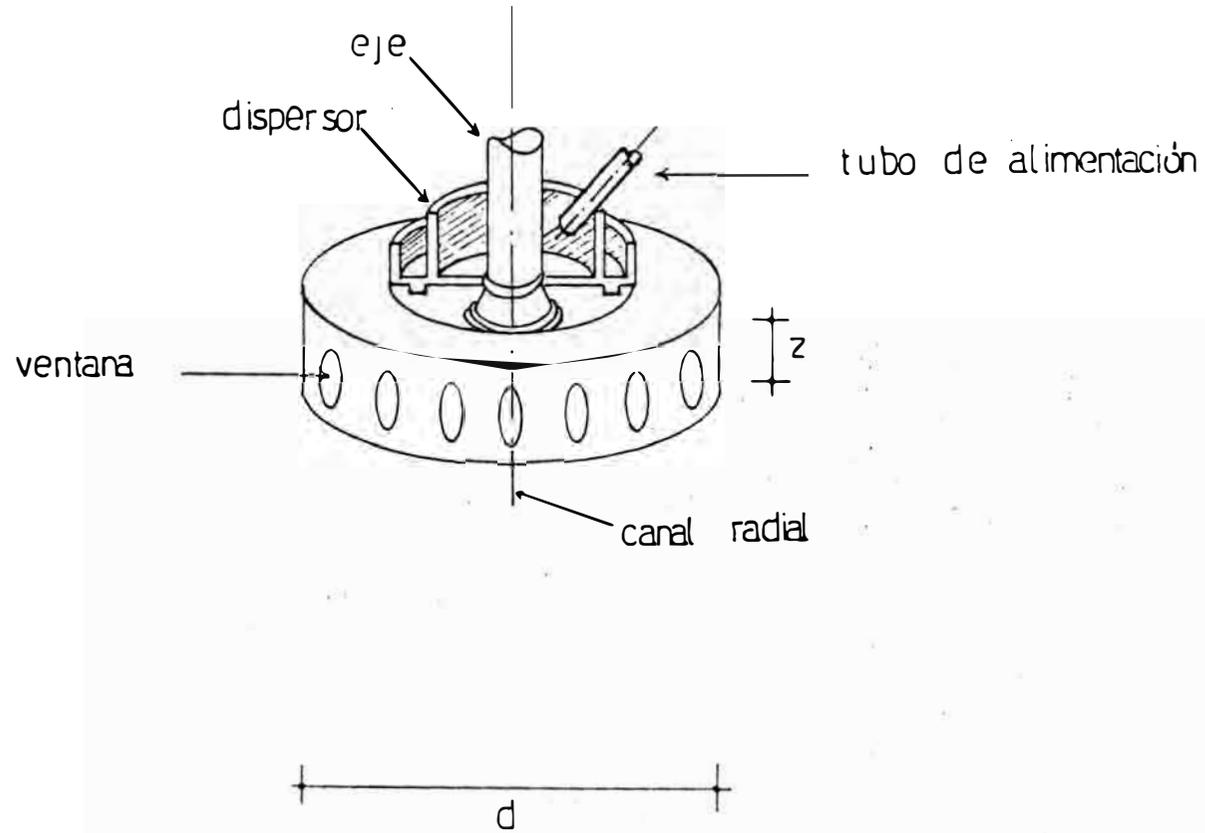


Fig. N°21

$d = 0,35$  pies  
 $z = 05$  pulg.

Tanque de alimentación: 40 Lt

Atomizador

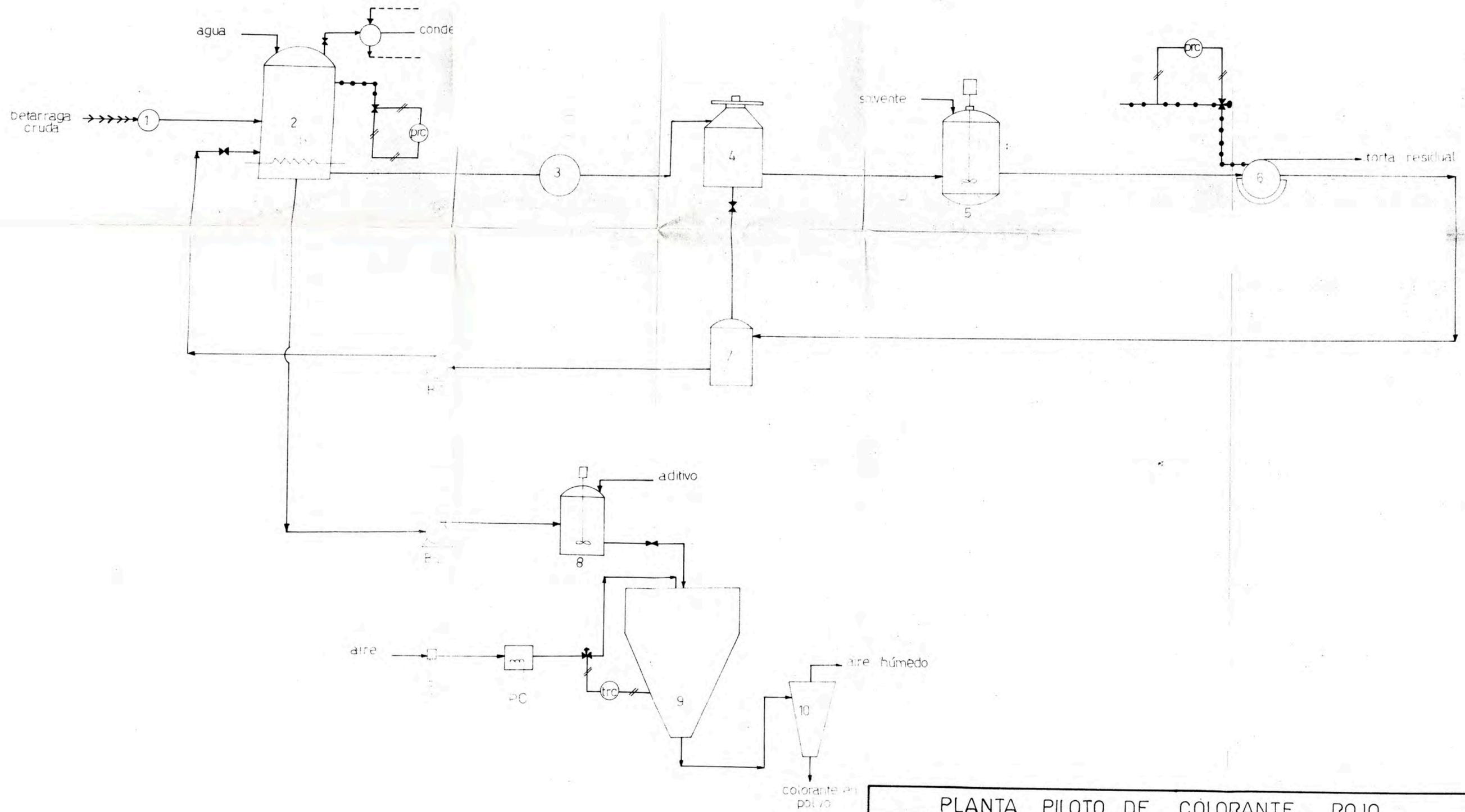
Ciclón

Sistema de transporte neumático

Filtro de aire

### 3. Diagrama de Flujo

La figura N° 22 mostrada a continuación representa el diagrama de flujo de la planta piloto de colorante rojo en polvo.



PLANTA PILOTO DE COLORANTE ROJO		
SIMBOLOGIA		
líneas	1. selección y limpieza	9. secador spray
..... vacío	2. tanque de calentamiento y concentración	10. ciclón
..... proceso	3. pelado y corte	B1. bomba de retorno
----- agua de enfriamiento	4. prensa	B2. bomba de alimentación
====>>>> refrigeración	5. tanque de agitación	C1. compresor de aire
—/— instrumentación	6. filtro rotatorio	PC. precalentador
	7. tanque colector de jugo	PRC. controlador e indicador de presión
	8. tanque de alimentación	TRC. controlador e indicador de temperatura

### C. Evaluación económica de la unidad

Se ha determinado la inversión de capital total por estimación detallada de cada rubro (\*) y el costo total del producto a fin de calcular la rentabilidad de instalar la planta piloto.

Se ha encontrado factible sustituir el colorante rojo sintético FDC N°2 cuyo color es similar al rojo de betarraga; debido a que el precio en el mercado del primero varía (según su concentración) entre 50 y 60 US\$/Kg y al evaluar la rentabilidad del proyecto se ha escogido como valor de venta del rojo de betarraga 45 US\$/Kg, que aún cuando no alcanza su máxima concentración, es apto para el consumo humano.

No se han considerado los residuos de la extracción del colorante, los que pueden tener valor comercial al ser vendidos como alimento para animales o fuente de pectinas.

Se asumirá que los ingresos por ventas, producción, abastecimiento y precios de materias primas y productos terminados permanecerán en valores promedio constantes.

Para la evaluación económica se define lo siguiente:

#### **Valor Actual Neto**

Permite determinar el beneficio total neto actualizado de un proyecto. Se obtiene por diferencia entre los beneficios actualizados y los costos, también actualizados a una tasa de

(\*) ver (20): Método A, pág. 125

descuento "k" ,matemáticamente definida por:

$$VAN = - I + \frac{FBN_1}{(1+k)} + \frac{FBN_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FBN_n}{(1+k)^n}$$

### Tasa Interna de Retorno

Es aquella tasa de descuento que logra que el VAN del proyecto sea cero y se calcula por:

$$TIR : VAN = f(k) = 0 \quad \text{siendo } k = TIR$$

### Relación Beneficio-Costo

Es el cociente resultante de dividir la sumatoria del flujo neto de beneficios actualizados,entre la sumatoria del flujo neto de costos actualizados,generados en toda la vida útil del proyecto y está definida por:

$$B/C = \left( \frac{FBN_1}{(1+k)} + \frac{FBN_2}{(1+k)^2} + \dots \right) / I$$

donde

FBN: Flujo de beneficios netos

I : Inversión total en el año cero

n : Vida útil del proyecto (años)

k : Tasa de descuento o corte

1. Inversión Total de Capital

Costos directos (CD)

a. Equipos y maquinaria

1. Equipo adquirido (ea) : ver tabla N°12

2. Instalación de equipos : 35% del (ea)

- mano de obra

- soportes

- plataformas

- gastos de construcción y otros

3. Instrumentación y controles : 5% del (ea)

- manómetros

- medidores de nivel y temperatura

- calibración

4. Instalaciones eléctricas : 10% del (ea)

- materiales necesarios para las instalaciones de potencia y iluminación

- transformadores y otros

b. Obras civiles : 25% del (ea)

- materiales y suministros para la construcción de planta

c. Instalaciones de servicios : 8 % de (ICF)

- instalaciones para proveer agua

- luz, potencia, aire comprimido

- protección contra incendios

d. Terreno :

- 250 mt<sup>2</sup> (3 US\$/mt<sup>2</sup>)

Costos Indirectos (CI)

a. Ingeniería y supervisión :10% del (CD)

- preparación de planos

- supervisión de obras

b. Gastos de organización y :10% del (CD)

puesta en marcha

c. Eventualidades :8% de (ICF)

Inversión de Capital Fijo (ICF) =(CD)+(CI)

Capital de Trabajo (CT) : 10 % de la (IT)

- materias primas y productos terminados  
para 15 días operativos

- útiles de oficina

- caja inicial

Inversión total (IT) = (ICF)+(CT)

TABLA N°12  
COSTO DE EQUIPO ADQUIRIDO(\*)

Equipo de Proceso	Características	Costo Actual (US\$)
Secador spray (1)	35 pie <sup>2</sup>	8300
Filtro rotatorio (2)	1 pie <sup>2</sup>	7600
Tanque de extracción (3)	50 L	600
Prensa	1.5 pie <sup>2</sup>	600
Tanque de alimentación a secador (3)	10 gln	400
Tanque calentamiento y vaporización	75 L	850
Tanque de agua tratada	50 gln	1450
Tuberías de acero inoxidable	3 x 9.90 mt: 1" sch 40	1000
Calentador de inmersión	4 Kw	100
Válvulas y uniones	de compuerta, universales, etc	500
Bomba de vacío	0.5 hp	400
Cubierta del filtro rotatorio	1/4 "	70
Bombas centrífugas con accesorios de acero inoxidable	2: 0.5 hp c/u	240
Máquina de pelado y corte	Mecánica	400

- (\*) Todos los equipos son de acero inoxidable  
 (1) incluye unidad de compresión de aire  
 (2) incluye unidad de vacío  
 (3) incluye agitador con motor

Equipo de Almacén	Características	Costo Actual (US\$)
Balanzas	2:- de 50 kg - de 2 Kg	300
Refrigeración	Refrigerador industrial	900

Equipo de Seguridad y Transporte	Características	Costo Actual (US\$)
Vehículo	Camioneta S-W 1985	6500
Contra incendio	Extintidor y grifo	200
Servicio Auxiliar	Grupo Electrónico 8 Hp	1000

Equipo de Laboratorio y Oficina	Características	Costo Actual (US\$)
Control de Calidad	Instrumentación y Material de vidrio pyrex	3000
Oficina	Muebles, enseres y máquinas de escribir	600

TABLA N°13  
INVERSION TOTAL DE CAPITAL

	Valor (US\$)	%
Costos Directos (CD)		
a) Equipos, instalación, etc		
1) Equipo adquirido	35000	
2) Instalación	12250	
3) Instrumentación y controles	1750	
4) Instalaciones eléctricas	3500	
Total	52500	52.5
b) Obras Civiles	8750	8.7
c) Instalaciones de servicios	7170	7.2
d) Terreno	750	0.8
Total (CD)	69170	69.2
Costos Indirectos (CI)		
a) Ingeniería y supervisión	6920	6.9
b) Gastos de organización, construcción y puesta en marcha	6920	6.9
c) Eventualidades	7170	7.2
Total (CI)	21010	21.0
Inversión de Capital Fijo (ICF)	90180	90.2
Capital de Trabajo (CT)	9820	9.8
Inversión Total (IT)	100000	100.0

2. Costo Total del Producto

Costo de Fabricación (CF)

a. Costos Directos (CD)

1. Materias primas(\*) :
  - Betarraga en atados : 100 Kg (0.15 US\$/kg)
  - Agua tratada : 50 L (0.10 US\$/L)
  - Acido cítrico USP : 0.05 Kg (5 US\$/kg)
  - Almidón o pectina : 4 Kg (1.5 US\$/kg)
2. Mano de obra :
  - Sueldo de c/obrero incluyendo seguro social vacaciones y beneficios (120 US\$/mes)
  - Nº obreros: 5
3. Supervisión directa :
  - Sueldo de c/supervisor (250 US\$/mes)
  - Nº supervisores: 2
4. Servicios auxiliares:
  - Electricidad(\*) : 10 Kw-hr
  - Agua de servicio(\*) : 35 mt cúbicos
5. Mantenimiento :
  - Nº paradas de planta: 2 x año
  - 10% de (ea)
6. Suministro para la operación :
  - Planos y diagramas
  - 15% del costo de mantenimiento
    - Lubricantes y combustibles
    - Reactivos de análisis:
      - Glicerina
      - Soda
      - Fosfato ácido disódico
      - Agua oxigenada
      - Agua destilada
      - Buffer pH 7

(\*) Por día operativo: 300 días x año

7. Gastos de Laboratorio : -Costo por análisis y control de calidad  
( sin incluir reactivos )  
8 % del costo de mano de obra

b. Gastos Fijos (GF)

1. Depreciación : -Método de la línea recta
2. Impuestos locales : -Impuestos locales:  
3% del (ICF) - al patrimonio empresarial  
- al valor de la propiedad predial
3. Seguros : 1.0% del (ICF)

- c. Gastos generales de planta : -Iluminación  
50% del costo de mano de obra, mantenimiento y supervisión -Limpieza  
-Protección de planta  
-Teléfono y varios

Gastos Generales (GG)

- a. Gastos de administración : Salarios (incluye vacaciones y beneficios)  
-Administrador (250 US\$/mes)  
- Gerente (300 US\$/mes)  
- Suministros para oficina y varios
- b. Gastos de distribución : 2% del (CTP)
- c. Gastos de investigación y desarrollo : 2% del (CTP)

Costo Total del Producto (CTP) =(CF)+(GG)

TABLA N°14  
COSTO TOTAL DEL PRODUCTO

	Valor (US\$)	%
Costos de Fabricación (CF)		
a) Costos directos de fabricación (CD)		
1) Materia prima y otros materiales	8325	14.1
2) Mano de Obra	7200	12.2
3) Supervisión directa	6000	10.2
4) Servicios auxiliares	2400	4.0
5) Mantenimiento	3500	5.9
6) Suministros para la operación	525	0.9
7) Gastos de laboratorio	575	1.0
Total (CD)	28525	48.3
b) Gastos fijos (GF)		
1) Depreciación (lineal)	9020	15.3
2) Impuestos locales	2705	4.5
3) Seguros	900	1.6
Total (GF)	12625	21.4
Gastos generales de planta (GP)	8350	14.1
(CD)+(GF)+(GP)= Total (CF)	49500	83.8
Gastos Generales (GG)		
a) Gastos administrativos	7200	12.2
b) Gastos de distribución	1180	2.0
c) Gastos de investigación y desarrollo	1180	2.0
Total (GG)	9560	16.2
Costo Total de producto (CTP)	59060	100.0

### 3. Rentabilidad

La rentabilidad del proyecto estará en función a los tres siguientes resultados, los cuales guardan relación directa entre sí y son condiciones necesarias a la vez para aceptar el proyecto:

- Valor Actual Neto (VAN) > 0
- Tasa Interna de Retorno (TIR) > k
- Relación Beneficio-Costo (B/C) > 1

La tabla N° 15 presenta el estado de pérdidas y ganancias para determinar los flujos de fondos y la rentabilidad durante la vida útil del proyecto estimada en 10 años, al cabo del cual se recupera el capital de trabajo.

Se ha considerado la financiación del proyecto con recursos propios, encontrándose que el proyecto es rentable bajo esas condiciones, por lo que podría ser factible de ser financiado por otras fuentes a una tasa adecuada.

TABLA N°15  
FLUJO DE FONDOS (en US\$)

Concepto	Año			
	0	1	2-9	10
<b>A. Flujo de beneficios</b>				
1. Ventas	0	81000	81000	81000
2. Recuperación de Capital de Trabajo	0	0	0	9820
<b>Total Beneficios</b>	<b>0</b>	<b>81000</b>	<b>81000</b>	<b>90820</b>
<b>B. Flujo de Costos</b>				
1. Inversión Fija	90180	0	0	0
2. Inversión de Capital de Trabajo	9820	0	0	0
3. Costo de Fabricación	0	49500	49500	49500
<b>Total Costos</b>	<b>100000</b>	<b>49500</b>	<b>49500</b>	<b>49500</b>
<b>C. Utilidad Bruta (A-B)</b>	<b>(100000)</b>	<b>31500</b>	<b>31500</b>	<b>41320</b>
<b>D. Gastos Generales</b>	<b>0</b>	<b>9560</b>	<b>9560</b>	<b>9560</b>
<b>E. Utilidad Operativa (C-D)</b>	<b>(100000)</b>	<b>21940</b>	<b>21940</b>	<b>31760</b>
<b>F. Depreciación</b>	<b>0</b>	<b>9020</b>	<b>9020</b>	<b>9020</b>
<b>G. Renta Neta (E-F)</b>	<b>(100000)</b>	<b>12920</b>	<b>12920</b>	<b>22740</b>
<b>H. Impuestos</b>				
1. A la Renta (20%)	0	2584	2584	4548
2. Itintec (2%)	0	258	258	455
<b>Total Impuestos</b>	<b>0</b>	<b>2842</b>	<b>2842</b>	<b>5003</b>
<b>I. Utilidad Neta (G-H)</b>				
1. Reserva Legal	0	1008	1008	1714
2. Utilidad Retenida	0	101	101	177
3. Dividendos	0	8969	8969	15786
<b>Total Utilidad Neta</b>	<b>0</b>	<b>10078</b>	<b>10078</b>	<b>17737</b>
<b>J. Flujo de Fondos</b>	<b>(100000)</b>	<b>19098</b>	<b>19098</b>	<b>26757</b>

**RENTABILIDAD**

Tasa de descuento (%) = 12.5  
 Valor Actual Neto (en US\$) = 1527.81  
 Tasa Interna de Retorno (%) = 14.42  
 Relación Beneficio-Costo = 1.03

## APENDICE

### Equipos de laboratorio utilizados

Los equipos más importantes utilizados durante las pruebas experimentales, se encuentran en los Laboratorios N°23 y 23-A de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Se indican las etapas donde fueron usados.

### Tratamiento Térmico

Se utilizó un baño de agua constituido por un recipiente de acero inoxidable, mostrado en la figura N°23, con las siguientes especificaciones:

- Marca: Yamato, modelo BM-42
- Rango de operación: Temperatura ambiente +5°C hasta temperatura de ebullición.
- Exactitud: +- 2°C
- Tiempo necesario para alcanzar la máxima temperatura (100°C) Aproximadamente 40 min desde la temperatura ambiente.
- Potencia del calentador: 500 w
- Termoregulador: Sistema regulador bimetálico y control electrónico.
- Dimensiones del baño: 20 cm DI x 12 cm de profundidad.
- Capacidad: 3.6 L
- Material del baño: Acero inoxidable SUS 304 .
- Energía: 115 v, 60 Hz, 5A o 220 v, 60 Hz, 3A
- Peso: 1.5 Kg
- Accesorios: Termómetro de -10 a 110°C

### **Prensado**

Se utilizó un licuoextractor, para simular esta operación, de las siguientes características:

Marca: National

Modelo: MJ-130N

Energía: 220/230 v, 60 Hz, 850 w

Velocidades del motor: 6500, 7500 y 9300 rpm

### **Extracción**

Se empleó el mismo equipo indicado en la operación anterior, adaptando la parte correspondiente a la operación de licuado.

### **Filtración**

Se ha utilizado el sistema de filtración convencional consistente de:

-Embudo buchner

-Kitasato

-Erlenmeyer

-Papel de filtro Whatman N°1

-Bomba de vacío y tanque pulmón (hasta 760 mmHg de vacío)

### **Concentración**

Se usó un evaporador rotatorio al vacío para concentrar la solución a temperatura reducida, que se muestra en la figura N° 24

Sus especificaciones son:

Marca: Yamato

Modelo: RE-46

Velocidades del motor:30 a 180 rpm

Energía:115 v,50/60 Hz, 1 A

Dimensiones del motor:5.1"x9.4"x5.1"

Peso neto:9 kg

Accesorios importantes:

-Balón de evaporación ( 1 L )

-Condensador

-Frasco receptor de condensado ( 1 L )

-Tubos de destilación

-Sellos de vacío (fluorelastómeros)

-Ductos de vapor

-Soportes

-Baño de agua(indicado en la operación de **Tratamiento Térmico**)

-Bomba de vacío(indicada en la operación de **Filtración**)

Durante su funcionamiento el motor hace girar a velocidades variables el balón que contiene la solución a concentrar,produciendo una película delgada de solución expuesta a una gran área superficial.El balón está sumergido en un baño de agua,el mismo que fue mencionado anteriormente para la operación de tratamiento térmico.Así la evaporación es controlada térmicamente y el vacío proviene de la unidad usada en la filtración .

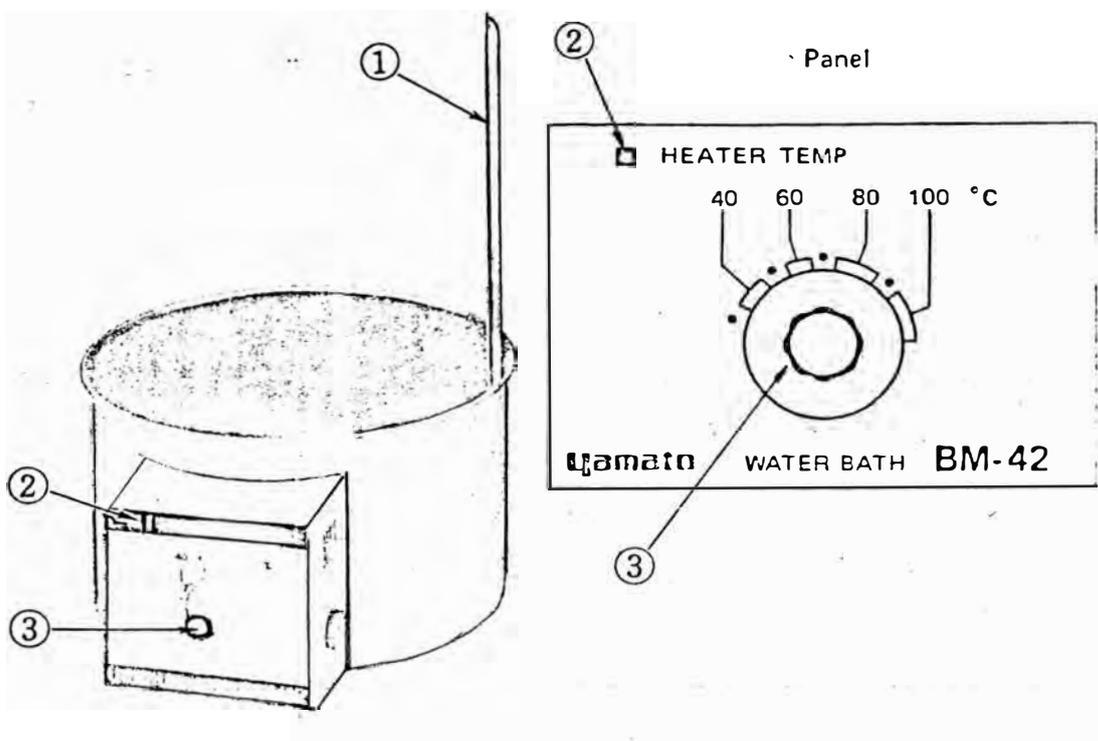
El vacío es aplicado a través del tubo de vapor,uno de cuyos extremos está ajustado con un sello de seguridad.El vapor proveniente de la solución pasa a través del tubo de vapor al condensador y el condensado es colectado en un frasco adaptado al



La lluvia de gotas entra en contacto con una corriente de aire caliente, el que encuentra una gran área de contacto por lo que es capaz de transferir el calor necesario para la evaporación del agua contenida en las gotas en pocos segundos, sin producir deterioro del producto. Mientras las partículas atomizadas caen por gravedad hacia el fondo de la cámara son secadas por el aire caliente, de donde pasan al ciclón separador del aire ya húmedo y del producto final que es recolectado en forma de polvo seco.

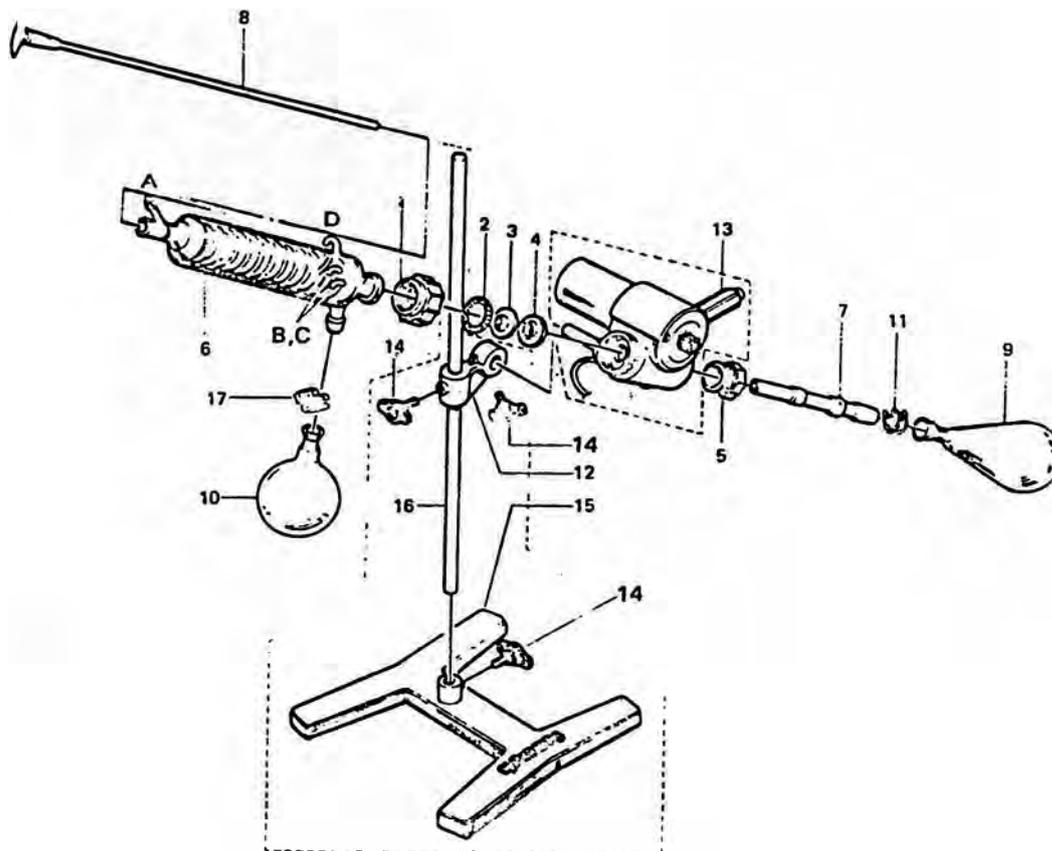
El patrón de flujo del equipo es mixto (flujos en paralelo y contracorriente) con ingreso del aire precalentado con un ventilador a través de un cono con paletas orientadas en ángulo ( $60^\circ$ ) con fuerte circulación de aire alrededor de la cámara.

FIGURA N°23  
BAÑO DE VAPOR



1. Termómetro
2. Luz de encendido
3. Perilla de ajuste de temperatura

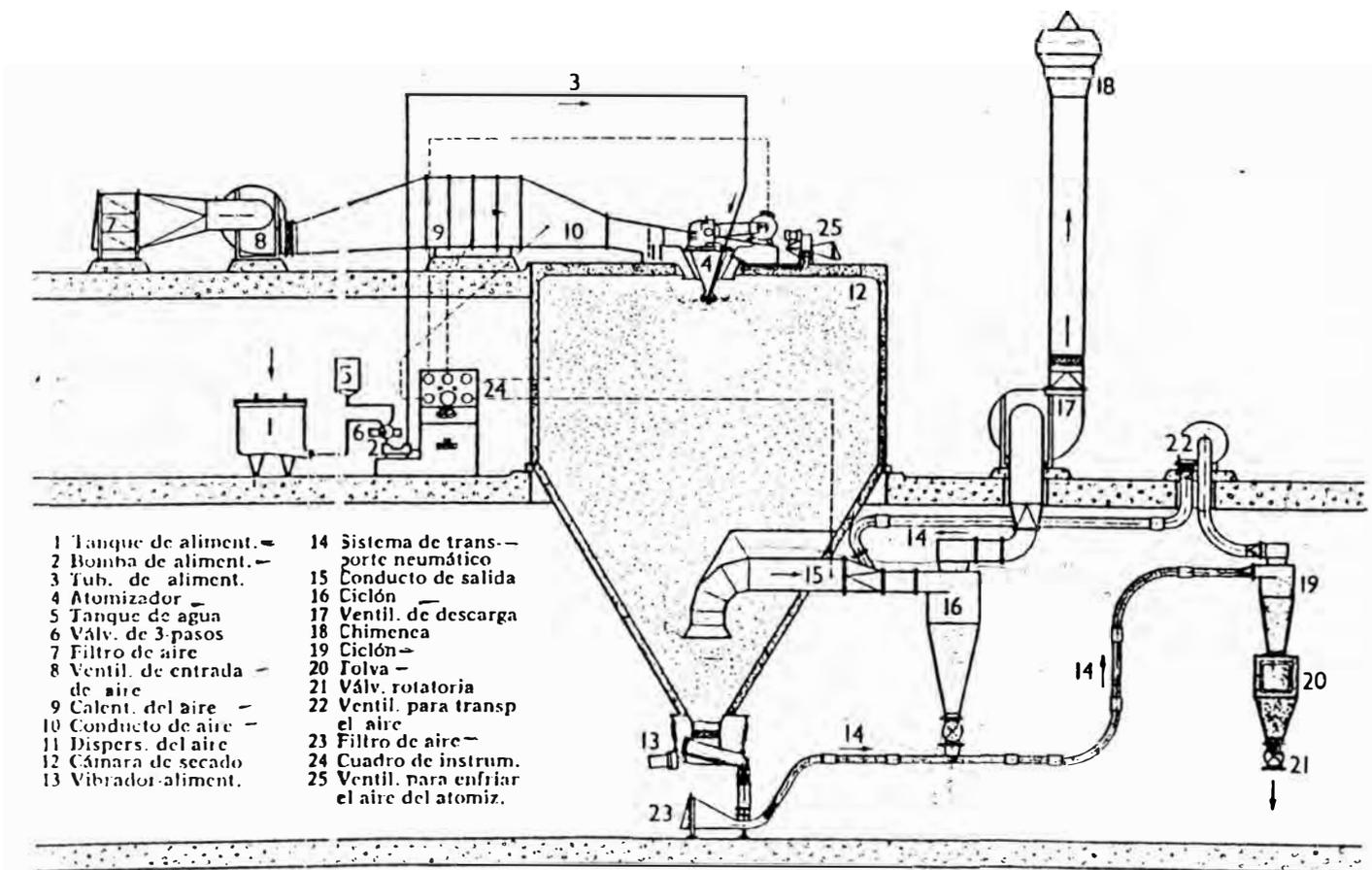
FIGURA N°24  
EVAPORADOR ROTATORIO



1. Tapa de condensador
2. Anillo de enfriamiento
3. Empaquetadura selladora delgada
4. Empaquetadura selladora gruesa
5. Tapa de extractor
6. Condensador
7. Tubo de vapor
8. Tubo de alimentación
9. Frasco de muestra
10. Frasco colector

11. Grapa de frasco de muestra
  12. Soporte de motor
  13. Perilla de ajuste de motor
  14. Perilla de grapa
  15. Base
  16. Soporte
  17. Grapa de frasco colector
- A. Tubo de unión a alimentación  
B y C. Tubos de unión al agua de enfriamiento  
D. Tubo de unión a vacío

FIGURA N° 25  
SECADOR POR ATOMIZACION



Sistema típico de secadero atomizador  
(por cortesía de Niro Atomizer Ltd., Dinamarca).

## COLOR INDEX (C.I.)

Color Index es una publicación periódica hecha por la "Society of Dyers and Colourists" de Inglaterra con conocimiento y confirmación de The American Association of Textile Chemists and Colorists de Norteamérica.

El contenido del Color Index es el siguiente:

- Los Tomos I al III presentan la clasificación de los colorantes de acuerdo al uso e importancia técnica, de acuerdo al nombre genérico.
- El Tomo IV clasifica los colorantes de acuerdo a su constitución química de acuerdo al llamado número de constitución química.
- El Tomo V da el código en letras para el fabricante.

Así, se ha adoptado una forma de numeración y nomenclatura universal para cada colorante, basándose en 2 criterios: la composición química y el uso que se le da.

Las características más importantes que son tomadas en una clasificación genérica, por uso del colorante son:

- El nombre genérico del colorante en orden alfabético (colorantes ácidos, azoicos, básicos, etc.)
- La clase química a la que corresponde.
- El número de constitución química.
- El matiz del colorante: A la luz del día o artificial. Por ejemplo existe el naranja ácido N° 1, 2, 3, etc. para todos los matices.

Los números de constitución química van desde el 10000 al 77999 y para el caso de los colorantes naturales está en el rango de 75000 al 75999 .

## NORMAS LEGALES PARA ADITIVOS ALIMENTARIOS

Dadas por la Organización Mundial de la Salud, de la cual nuestro país es signatario y por tanto se rige a dichas normas:

Artículo 1°. -Considérese alimento, la sustancia a ser ingerida por el hombre para proveer los elementos necesarios a su desarrollo.

Artículo 2°. -Se considera aditivo a un alimento, la sustancia intencionalmente añadida al mismo, con la finalidad de conservar, intensificar, modificar sus propiedades, siempre que no perjudique su valor nutritivo.

Artículo 3°. -Se considera aditivo incidental, la sustancia residual presente en el alimento, como residuo de la fase de producción, mejoramiento, acondicionamiento, almacenamiento y transporte del alimento ó de las materias primas empleadas.

Artículo 4°. -Los aditivos comprenden:

-Colorantes: La sustancia que confiere e intensifica el color de los alimentos.

-Flavorizantes: La sustancia que confiere ó intensifica el sabor y el aroma de los alimentos.

-Conservador

-Antioxidante

-Estabilizante: La sustancia que sirve para que las propiedades físicas del alimento se conserven.

-Espumífero y antiespumante: Modifican la tensión superficial de los alimentos.

-Espesante: Capaces de aumentar la viscosidad de soluciones, emul-

siones y suspensiones.

-Edulcorante: Sustancia orgánica natural ó artificial no glicida capaz de dar dulce.

-Humectante y Antihumectante.

-Acidificante: Sustancia capaz de conservar e intensificar el grupo ácido.

Artículo 5º.-Será tolerado un aditivo siempre que:

-Sea necesario a la adecuada tecnología de fabricación.

-Sea empleado en la cantidad estrictamente necesaria para la obtención del efecto deseado.

Artículo 6º.-El empleo de nuevos aditivos dependerá de la solicitud previa y deberá ser apoyada por:

-Finalidad de uso.

-Relación de alimentos a los que se desea incorporarlos.

-Naturaleza química.

-Documentación científica.

-Especificaciones de las medidas del fabricante para el control de aditivos en los alimentos.

-Nombre del responsable.

Artículo 7º.-Queda prohibido el uso de aditivos en alimentos cuando:

-Exista evidencia o sospecha que el mismo posee toxicidad actual o potencial.

-Interfiera en el valor nutritivo del alimento.

-Sirva para encubrir fallas en el procedimiento de fabricación.

-Encubra alteraciones en la materia prima.

-Induzca a error al consumidor.

Artículo 8°.-Los alimentos que contengan aditivos deberán traer en el rótulo la indicación de los aditivos utilizados.

Artículo 9°.-Los colorantes tolerados comprenden naturales, artificiales y caramelo, descritos como:

-Colorante natural: Pigmento inocuo extraído de sustancias vegetales o animales.

-Colorante artificial: Sustancia de composición química definida obtenida por síntesis.

-Caramelo: Producto obtenido por calentamiento a temperaturas por encima de la de fusión de los azúcares.

Artículo 10°.-En los alimentos coloreados artificialmente es necesario colocar: "Coloreado artificialmente"

Artículo 11°.-Será tolerada la venta de mezclas de hasta dos colorantes como máximo.

Artículo 12°.-La dosis de antioxidantes permisible en alimentos es 0.02 g por 100 g de alimento.

Artículo 13°.-Los flavorizante y aromatizantes tolerados comprenden: esencias naturales, esencias artificiales y extractos vegetales.

BIBLIOGRAFIA

1. Bilyk, A., J. Food Sci., 44, 1249-1251, (1979) .
2. Brenann, J., "Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos", 2° Ed., 257-263, Edit. Acribia, España, 1980 .
3. Christensen, G., "Algunas aplicaciones de secado por atomización en la industria de alimentos", Niro Atomizer Ltd, Copenhagen, 1976
4. Dorr-Oliver Inc., "Oliver Vacum Lab. Filter Handbook" , Stanford Connecticut, USA, 1958 .
5. Estadística Agraria, Ministerio de Agricultura. Oficina Sectorial de Estadística (OSE), Lima, Años 1985-1988 .
6. Food and Drug Administration (FDA), "Food and Drugs", Título 21, Cap. I, USA, 1977 .
7. Gates, L. E., Chem. Eng., 83(10), 1976 .
8. Instituto de Comercio Exterior (ICE), "Beet red", en "Catalog of food colors", Vol I, Lima, 1987 .
9. Instituto Tecnológico Industrial y de Normas Técnicas (ITIN-TEC), Banco de datos: "Betanina", Lima, 1989
10. " La República ", Revista "Saber", 90:6 , Lima 1990 .
11. Lazo Anaya, R., "Manual de Proyectos Agroindustriales", Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), Lima, 1988 .
12. Lock de Ugaz, Compendio del Curso de Actualización: "Colorantes Naturales", Fac. de Ciencias, Pontificia Universidad Católica (PUCP), Lima 1989 .
13. Lock de Ugaz, O. y Ubillas R., Boletín de la Sociedad Química del Perú, Vol III, N°1, Fac. de Ciencias, PUCP, Lima, 1989 .
14. Mabry, T. "Betalains", en "Secondary plant pigments", Bell-Charlwood, Springer-Uerling, New York, 1980 .

15. Mayer, F., The Chemistry of Natural Coloring Matters, Reinhold Publishing Corporation, USA, 1965 .
16. McCabe, W.L. y J.C. Smith, "Operaciones básicas en Ingeniería Química", 2ª Ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1967 .
17. Organización Mundial de la Salud, 22º Informe del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios, Ginebra, 1978 .
18. Pasch, J.H. y Von Elbe J.H., J. Food Sci., 40, 219-220, (1975) .
19. Perry, J.H y Chilton C.H., "Manual del Ingeniero Químico", 5ª Ed. McGraw Hill Book Company, New York, 1973 .
20. Peters, M.S. y Timmerhaus, K.D., "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", 3ª Ed., McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1980.
21. Pharmacia Fine Chemical Co. "Gel filtration: theory and practice, Suecia 1980 .
22. Piatelli, M., "Betalains", en "Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments", T.W. Goodwin, Academic Press, London, 1976 .
23. Riboh, M., Food Eng., 49, 66, (1979)
24. Schwartz, S.J., et al., Food Chem. Toxicol., 5, 531, (1983) .
25. Sequin-Frey, M., J. Chem. Ed., 55, 301-305, (1981)
26. Society of Dyers and Colourists, Manual del Color Index (CI) 3ª Ed., Vol I al III, Inglaterra, 1975
27. Wilwey, R.C., Lee, Y.N., J. Food Sci., 43, 1056-1058, (1978) .
28. Woot-Tsuen Wuleung , Tabla de Composición de alimentos para uso en América Latina, INCAP-ICNND, Guatemala, 1961 .