

T-UES
1506
A118e
2000
Fj. 2

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



Evaluación Técnica para la Extracción de un Pigmento a partir de la Planta Sacatinta ("Jacobinia spicigera Bailey") para ser Utilizado en la Industria Textil.

PRESENTADO POR

**Mirna Verónica Abarca Escobar
Edwin Antonio Alvarenga Alvarenga
Jaime Ricardo Martínez Calderón**

15/00912

**PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO QUÍMICO**



4745
15100912

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DEL 2000

Recibido el 13 de nov/2000

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTORA : Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL : Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO : Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Eugenia Gamero".



DIRECTORA : Ing. Eugenia Salvadora Gamero Rodríguez

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

Trabajo de Graduación previo a la opción de:

INGENIERO QUÍMICO

Título :
**Evaluación Técnica para la Extracción de un Pigmento a
partir de la Planta Sacatinta (“Jacobinia spicigera Bailey”)
para ser Utilizado en la Industria Textil.**

Presentado por :

**Mirna Verónica Abarca Escobar
Edwin Antonio Alvarenga Alvarenga
Jaime Ricardo Martínez Calderón**

Trabajo de Graduación aprobado por :

Coordinadora : M.Sc. Delmy del Carmen Rico Peña

Asesor : Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

San Salvador, Enero del 2000

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinadora  : **M.Sc. Delmy del Carmen Rico Peña**

Asesor  : **Ing. Fernando Teodoro Ramirez Zelaya**



AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestra gratitud a todas las personas que de una u otra forma nos han brindado su colaboración desinteresada en la elaboración de este proyecto; en forma especial agradecemos a:

M.Sc. Delmy del Carmen Rico Peña

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

Ing. Tania Torres Rivera

Dr. Mynor Gil

Lic. Xochil María Godoy de Villatoro

Lic. Ana Isabel Pereira de Ruíz

Ing. Ana Cecilia de Flamenco

Ing. René Orlando Meza

Sra. Sandra Lorena Recinos

Sr. Juan Rodolfo Mendoza

Sr. Oscar Morán

Sra. Raymunda Luisa Guardado

José Israel Marroquín Reyes

Jair Edgardo Herrera Reyna

René Eduardo Meléndez Gómez

Y a todas aquellas personas que de alguna forma nos apoyaron.

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO por su infinito amor y por brindarme la fuerza y paciencia necesaria para lograr mi meta.

A mis padres, **ALICIA Y RAFAEL**, por su amor, su confianza, su apoyo y sacrificio para mi superación, con eterno agradecimiento.

A mis **HERMANAS y SOBRINOS** por su apoyo, su cariño y por brindarme, con su presencia, el calor de una familia unida.

Y, de forma especial, a mi amado hijo **RODRIGO**, fuente de inspiración e incentivo para todos mis esfuerzos; y a **ELMER**, mi esposo y amigo, por su confianza, apoyo y sobre todo, su amor.

MIRNA VERÓNICA

DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO :** Por haberme iluminado y así alcanzar el triunfo para ponerlo al servicio de la humanidad, con amor, fe y confianza.
- A LA SANTÍSIMA VIRGEN :** Con eterna gratitud, por haber intercedido para alcanzar el éxito.
- A MI MADRE:** María Antonia Irma, por todo el amor, comprensión y apoyo que siempre me ha brindado, por su incansable sacrificio realizado y ser un ejemplo a seguir por mi persona.
- A MI PADRE:** Victor Manuel Alvarenga (De grata recordación).
- A MIS ABUELOS:** Por todo el amor que me brindaron, su confianza y sobre todo por el ánimo que siempre me dieron para conseguir esta meta. (Con eterna gratitud).
- A MIS TIOS:** Por su confianza y afecto.
- A MI HERMANO:** José Elderly, por su amor fraternal.
- A MIS RECORDADOS
MAESTROS Y COMPAÑEROS:** Con cariño y agradecimientos.
- A MIRNA Y JAIME:** Gracias por su amistad sincera, por su confianza y comprensión.
- A MIS AMIGOS:** Gracias por su apoyo y amistad, ya que siempre se mostraron dispuestos a ayudarme.

EDWIN ANTONIO

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO : Por darme fortaleza y sabiduría para afrontar todos los problemas que se me han presentado.

A MI MADRE : Irma Angelina Calderón, por darme tanto amor, apoyo y aliento durante el transcurso de toda mi vida, sin los cuales hubiera sido imposible la culminación de mi carrera.

A MIS ABUELOS : José Luis Calderón (q.e.p.d.), Milagro del Carmen vda. De Calderón, Cecilia Martínez vda. De Flores (q.e.p.d.) por todos los consejos que he recibido de ellos y que me han servido tanto a lo largo de toda mi vida.

A MIS TIOS : René Ezequiel paz y Elia de Paz, por toda la ayuda incondicional que me brindaron en el transcurso de toda mi carrera.

A MIS HERMANOS : Ernesto, Connie, José Armando, Cecilia, Carlos y Nelson.

Y a todas las personas que de una u otra manera me ayudaron a la culminación de mi carrera.

JAIME RICARDO

RESUMEN

Se evaluaron experimentalmente a nivel de laboratorio los parámetros de operación que podrían influir en el proceso de extracción del pigmento de la Sacatinta. Se partió de una evaluación preliminar de los parámetros: Temperatura de extracción (temperatura ambiente y temperatura de ebullición), Tiempo de maceración (24 y 48 horas), Naturaleza de la muestra (hoja y hoja-tallo), Tipo de partícula (machacado y sin machacar), Volumen de solvente (500, 750 y 1000 mL) y Tamaño de muestra (25 y 50 g). De las observaciones cualitativas se determinó continuar con una evaluación del efecto del tiempo de maceración, naturaleza de la muestra, volumen de solvente y tamaño de muestra, en el rendimiento de extracción del pigmento, trabajando a temperatura ambiente y utilizando agua como solvente.

Por no contarse en el mercado con una solución patrón certificada ni estandarizada del pigmento en estudio y desconocerse la naturaleza química del mismo, se preparó en el laboratorio una solución patrón, la cual se utilizó para evaluar el rendimiento relativo de extracción del pigmento por efecto de las variables tiempo de maceración, volumen de solvente, naturaleza de la muestra y tamaño de muestra.

Se determinó que existe diferencia estadística significativa en el Rendimiento Relativo de Extracción del pigmento por efecto de las variables tiempo de maceración, volumen de solvente, naturaleza de la muestra y tamaño de muestra. Observándose que al aumentar el volumen de solvente disminuía la

concentración del pigmento en el extracto y que a mayor tamaño de muestra y más tiempo de maceración se obtuvo mayor concentración de pigmento.

En general, al duplicar el volumen de solvente se redujo a la mitad el rendimiento de extracción y al duplicar el tamaño de muestra se incrementaba el rendimiento de extracción en forma proporcional; por lo que se dedujo que el único parámetro de operación que mostró una influencia real en el rendimiento de extracción fue el tiempo de maceración, realizándose las pruebas de escalamiento teniendo como variable únicamente el tiempo de extracción.

Las pruebas finales se efectuaron a una escala de 500 gramos de muestra (hoja y tallo); 2000 mL de solvente; 12, 15, 18 y 24 horas de maceración y a la temperatura ambiente; resultando que el tiempo de maceración si influye en el rendimiento de extracción, ya que las mayores concentraciones relativas del pigmento en los extractos se obtuvieron para mayores tiempos de maceración.

Dado que no se cuenta con una solución patrón estandarizada y certificada del pigmento, se recomienda realizar un análisis químico al pigmento de la Sacatinta para determinar su estructura química.

Se recomienda realizar un análisis químico a los residuos provenientes del proceso de extracción para determinar su disposición final o reutilización, así como también la realización de pruebas para determinar los posibles usos del pigmento de la Sacatinta en el área textil y en la elaboración de tinta para almohadillas, para papel coloreado y artesanías.

INDICE

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCIÓN.....	1
1.0 ANTECEDENTES HISTORICOS DE USO DE PIGMENTOS	
NATURALES.....	3
1.1 Historia del Uso de Colorantes Naturales en El Salvador.....	7
2.0 PIGMENTOS DE ORIGEN NATURAL.....	10
2.1 Clasificación de los Pigmentos Naturales.....	10
2.1.1 Colorantes del Reino Animal.....	11
2.1.2 Colorantes del Reino Vegetal.....	12
2.1.3 Clasificación de los Pigmentos Vegetales.....	14
2.2 Propiedades de los Pigmentos.....	37
2.3 Naturaleza del Color.....	40
2.4 Usos de los Colorantes Naturales.....	41
2.4.1 Textiles.....	42
2.4.2 Alimentos.....	44
2.4.3 Cosméticos y Productos Medicinales.....	47
2.5 Mercado de Colorantes Naturales.....	49
2.5.1 Importaciones.....	50
2.5.2 Exportaciones.....	58
2.6 Especies Vegetales Salvadoreñas con Posibilidad de Extraer Pigmentación.....	60

CONTENIDO**PAGINA**

3.0 EL SACATINTA (Jacobinia spicigera Bailey).....	81
3.1 Descripción Botánica.....	81
3.2 Datos Agronómicos.....	86
3.3 Usos de la Planta Sacatinta.....	87
4.0 EVALUACION EXPERIMENTAL PARA LA EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA.....	88
4.1 Evaluación Preliminar del Efecto de la Temperatura.....	89
4.1.1 Pruebas de Sondeo para Evaluar el Efecto de la Temperatura sobre el Proceso de Extracción del Pigmento de la Sacatinta.....	90
4.1.2 Evaluación Preliminar para la Concentración de Extracto de Sacatinta.....	93
4.2 Pruebas para Determinar la Concentración del Pigmento de la Sacatinta de los Extractos Obtenidos.....	96
4.2.1 Elaboración de la Solución Patrón no Estandarizada del Colorante de la Sacatinta.....	98
4.2.2 Determinación de la Longitud de Onda Máxima del Colorante.....	98
4.2.3 Construcción de la Curva de Calibración del Pigmento de la Sacatinta.....	99

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
4.3 Pruebas Experimentales para Medir la Concentración Relativa de Los Extractos Provenientes del proceso de Obtención del Pigmento de la Sacatinta.....	105
4.4 Análisis de Varianza de los Valores de Concentraciones Resultantes en los Extractos Procedentes del Modelo Experimental Propuesto.	111
4.5 Aplicación del Análisis de Varianza a los Resultados de Concentraciones Relativas Provenientes del Proceso de Extracción con un Tamaño de Muestra Variable.....	114
5.0 PRUEBAS DE ESCALAMIENTO PARA LA EXTRACCION DEL PIGMENTO DE SACATINTA.....	117
5.1 Pruebas Experimentales para Medir la Concentración Relativa de los Extractos Provenientes del Proceso de Escalamiento del Pigmento Sacatinta.....	118
5.2 Análisis de Varianza de los Resultados de Concentración de Pigmento Sacatinta Provenientes del Escalamiento.....	121
6.0 FORMA FINAL DE PRESENTACIÓN DEL PIGMENTO SACATINTA.....	123
OBSERVACIONES.....	126
CONCLUSIONES.....	129
RECOMENDACIONES.....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA.....	131
ANEXOS.....	136

CONTENIDO

PAGINA

ANEXO A. TABLAS DE COLORANTES NATURALES UTILIZADAS
EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.....137

ANEXO B. DATOS COMPLEMENTARIOS DE PRUEBAS
EXPERIMENTALES PARA LA EXTRACCIÓN
DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA.....142

ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO REALIZADO.....149

ANEXO D. MARCHAS DE ANÁLISIS REALIZADOS EN LA ETAPA
EXPERIMENTAL, MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO.....169

INDICE DE CUADROS

<u>CUADRO</u>	<u>PAGINA</u>
CUADRO 2.1 Longitudes de Onda de Máxima Absorción de Carotenoides comúnmente encontrados en Alimentos.....	29
CUADRO 2.2 Color y Longitud de Onda.....	41
CUADRO 2.3 Importaciones de Colorantes en General (Naturales y sintéticos).....	53
CUADRO 2.4 Importaciones de Colorantes Sintéticos, Excepto el Indigo Artificial	54
CUADRO 2.5 Porcentaje de Volumen de Importaciones de Pigmentos Naturales y Sintéticos excepto el índigo del Mercado Centroamericano.....	55
CUADRO 2.6 Importaciones de Materiales para Teñir y Curtir, Pigmentos, Pinturas, en El Salvador.....	56
CUADRO 2.7 Importaciones de Materiales Colorantes, Pigmentos y Tintas en El Salvador	57
CUADRO 2.8 Exportaciones de Extractos para Teñir de Origen Natural.....	59
CUADRO 2.9 Plantas Tintóreas de la Flora Salvadoreña.....	78
CUADRO 2.10 Especies Vegetales Útiles para Extraer Colorantes.....	80

CUADRO**PAGINA**

CUADRO 3.1	Nombres más Comunes con los que se Conoce la Sacatinta.....	82
CUADRO 3.2	Clasificación Taxonómica de la Sacatinta.....	82
CUADRO 4.1	Resultados de las Pruebas de Sondeo para la Extracción del Pigmento de la Sacatinta a Temperatura Ambiente.....	92
CUADRO 4.2	Resultados de las Pruebas para Concentrar los Extractos a Temperatura Ambiente.....	97
CUADRO 4.3	Resultados de las Pruebas Realizadas para Medir la Cantidad de Pigmento Disuelto en Tinta Concentrada a través del Método de Secado.....	103
CUADRO 4.4	Datos de % de Transmitancia y Absorbancia Vrs Concentración del Pigmento Patrón Relativo del Sacatinta	103
CUADRO 4.5	Datos para la Preparación de Muestras Utilizadas en las Pruebas de Extracción del Pigmento de la Sacatinta.....	107
CUADRO 4.6	Resultados de las Concentraciones Relativas de Pigmento de Sacatinta Determinados por Espectro- Fotometría Visible	110
CUADRO 4.7	Arreglo de los Resultados de Pruebas de Extracción del Pigmento de la Sacatinta Para n = 2 réplicas	112

CUADRO**PAGINA**

CUADRO 4.8	Resultados del Análisis de Varianza aplicado a los Factores que Intervienen en el Proceso de Extracción del Pigmento de la Sacatinta.....	113
CUADRO 4.9	Datos de Concentraciones Relativas Provenientes Del Proceso de Extracción con Tamaño de Muestra Variable	114
CUADRO 4.10	Resultados del Análisis de Varianza Entre los Factores Incluyendo el Error en Repeticiones.....	116
CUADRO 5.1	Resultados de las Concentraciones Obtenidas a Partir de las Pruebas de Escalamiento para la Extracción del Pigmento Sacatinta.....	120
CUADRO 5.2	Datos de Concentraciones Relativas (g/L) que Resultan de las Pruebas de Escalamiento en el Proceso de Extracción del Pigmento Sacatinta.....	121
CUADRO 5.3	Análisis de Varianza de los Datos de Concentraciones Relativas de Pigmento Sacatinta en los Extractos.....	122

INDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PAGINA</u>
FIGURA 2.1 Cation Flavilio de la Estructura Básica de las Antocianinas	15
FIGURA 2.2 Diferencias Estructurales en el anillo β de las Antocianinas	16
FIGURA 2.3 Espectro de Absorción de la Pelargonidina aislada del fruto de Moras. Efecto del pH.....	18
FIGURA 2.4 Efecto del pH en el Espectro de Absorción de una Solución 1.6×10^2 g/L. De Cianidina.....	19
FIGURA 2.5 Efecto del pH en los Cambios Estructurales de las Antocianinas y su Efecto consecuente en el Color del Pigmento.....	20
FIGURA 2.6 Betacianina (Betanina) Pigmento de la Remolacha.....	21
FIGURA 2.7 Estructura de Algunos Carotenoides Comúnmente Encontrados en Alimentos.....	26
FIGURA 2.8 Estructura de las Xantofilas.....	30
FIGURA 2.9 Estructuras de las Clorofilas.....	32
FIGURA 2.10 Estructura de la Feofitina.....	33
FIGURA 2.11 Estructura de la Curcumina.....	34

FIGURA**PAGINA**

FIGURA 2.12	Proceso de Transformación de la p-Benzquinona a Hidroquinona	35
FIGURA 2.13	Estructuras de algunas Quinonas más conocidas.....	34
FIGURA 2.14	Sacatinta, " <i>Jacobinia spicigera</i> Bailey"	61
FIGURA 2.15	Palo de Mora, " <i>Chlorophora tinctoria</i> L. Gaudichaud".....	62
FIGURA 2.16	Mangle, " <i>Rhizophora mangle</i> L".....	64
FIGURA 2.17	Palo Brasil, " <i>Haematoxylon brassileto</i> Karsten"	65
FIGURA 2.18	Flor de Palo de Campeche Haematoxylon campechianum L.....	67
FIGURA 2.19	Achiote, " <i>Bixa orellana</i> L.".....	68
FIGURA 2.20	Jiquilite, " <i>Indigofera suffruticosa</i> Mill".....	69
FIGURA 2.21	Marigold, " <i>Tagetes erecta</i> L."	70
FIGURA 2.22	Aguacate, " <i>Persea americana</i> Mill".....	71
FIGURA 2.23	Irayol, " <i>Genipa americana</i> L."	72
FIGURA 2.24	Nance, " <i>Byrsonima crassifolia</i> L. Kunth"	73
FIGURA 2.25	Marañón, " <i>Anacardium occidentale</i> L.".....	74
FIGURA 2.26	Suelda con suelda, " <i>Anredera vesicaria</i> "	76
FIGURA 2.27	Icaco montés, " <i>Clusia guatemalensis</i> Hemsl."	76
FIGURA 3.1	Sacatinta	81
FIGURA 3.2	" <i>Jacobinia spicigera</i> Bailey (Schlecht.) "	85
FIGURA 4.1	Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción del Pigmento Sacatinta a Temperatura Ambiente	91

FIGURA**PAGINA**

FIGURA 4.2 Diagrama de Flujo del Proceso Aplicado para Concentrar el Extracto Obtenido por Maceración de Sacatinta con Agua.....	95
FIGURA 4.3 Diagrama de Flujo para la Obtención del Colorante en Polvo por Medio Secado.....	100
FIGURA 4.4 Gráfica de Absorbancia vrs Longitud de Onda para Diferentes Diluciones del Colorante Patrón no Estandarizado.....	101
FIGURA 4.5 Gráfica de Absorbancia vrs Longitud de Onda para una Dilución de 1/100 del Colorante Patrón no Estandarizado.....	102
FIGURA 4.6 Curva de Calibración del Polvo de la Sacatinta no Estandarizado.....	104
FIGURA 4.7 Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de las Soluciones Coloreadas	108
FIGURA 5.1 La Transformación Química de los Componentes de Añil....	117
FIGURA 5.2 Proceso de Escalamiento para la Extracción del Pigmento Sacatinta.....	119
FIGURA 6.1 Proceso Seguido para la Obtención de la Forma Final del Pigmento Sacatinta a Temperatura Ambiente.....	123

INTRODUCCION

Actualmente la demanda de los colorantes de origen natural en la industria se ha incrementado debido a los efectos negativos que el uso y la producción de los pigmentos sintéticos provocan sobre el medio ambiente.

La extracción de colorantes naturales, en particular los de origen vegetal, representa una alternativa de aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en los países en vías de desarrollo.

En El Salvador se encuentran muchas especies vegetales nativas e introducidas que contienen en su composición química, taninos y colorantes. Una de ellas es la Sacatinta (*Jacobinia spicigera Bailey*) la cual pertenece a la familia de las Justicias o Jacobinias consideradas como plantas de añil por el pigmento que producen el cual presenta un color azul parecido al añil.

La Sacatinta se ha utilizado principalmente en las zonas rurales de El Salvador a nivel casero como "mascones" para lavar ropa blanca manchada y teñirla a la vez de color celeste; Práctica que tiende a desaparecer debido al uso de productos blanqueadores.

En el desarrollo de esta investigación se pretende incentivar el estudio de otras plantas que como la Sacatinta pueden ser aprovechadas en muchas áreas de la

industria y que representan una alternativa para la disminución del impacto que las industrias químicas tienen sobre el medio ambiente.

Es así como se realiza una evaluación experimental de los factores que podrían influir en el proceso de obtención del pigmento Sacatinta para su posible utilización como sustituto de los colorantes sintéticos que se utilizan en la industria textil.

1.0 ANTECEDENTES HISTORICOS DE USO DE PIGMENTOS NATURALES (Morales, 1995)

Durante miles de años, los seres humanos han transformado los materiales naturales en productos útiles. Entre los primeros productos obtenidos a partir de sustancias naturales se tienen los colorantes, los cuales han existido por siempre en cada una de las culturas antiguas y aún en nuestros días tienen un papel primordial dentro del arte, la medicina, la construcción, el vestir y casi en la totalidad de las actividades humanas.

El teñido es una actividad humana cuyo desarrollo se remonta a tiempos pasados. Así se reporta que hasta a mediados del siglo pasado todos los colorantes eran obtenidos de manera natural.

En Egipto antiguo es conocido a través de las pinturas de sus paredes, éstas en su mayoría fueron coloreadas con lo que hoy se conoce como **Flor de Cardo** y fue usada aproximadamente en el año 2500 a.C., produciendo tonos de rojos a amarillos. Hacia el año de 1450 a.C. los Egipcios hicieron materiales textiles de una estructura sorprendente delicada y fueron capaces de teñirlos en diferentes colores. El **Carthamus tintorius** o **Sofflower** o bien conocida como **Flor de Cardo** es una planta común en Asia, Africa y en los países del Mediterráneo. Las flores contienen principalmente un colorante el cual fue usado por los tintóreos como una fuente rica en color rosa pálido y escarlatas, y como un cosmético cuando se mezclaba con talco.

Los antiguos Fenicios extrajeron un colorante púrpura, conocido como **Púrpura de Tiro**, a partir de una especie de caracol marino (**Murex brandaris**), el cual se encuentra en las costas del Mediterráneo y proporciona una secreción glandular que por irradiación produce dibromo índigo, el principal constituyente de la Púrpura de Tiro.

Menjívar (1993), dice que en la época muy antigua, las mujeres Egipcias usaban la "gena" para colorearse el cabello, el **carmín** para los labios, compuestos de **antimonio** para decolorar de negro los ojos, etc.

Hace cientos de años en la India también se usaba el **Azafrán** para pintarse de amarillo la cara, y el gena para colorearse el cabello; en China, las mujeres usaban extractos de vegetales para pintarse los pies, mejillas, etc. En Asia menor, los hombres y mujeres se pintaban la cara con **tornasol y malvavisco**. Los Romanos usaban color blanco de yeso para su cara, azul y oro para el pelo.

El **Indigo** que era extraído de la planta **Indigofera tinctoria** y el **Alizarin** que se obtenía de la raíz de la planta **madder** fueron usadas en la India desde que se recuerda su historia, ellos se usaban para sus prácticas sociales y religiosas, seda teñida así como brocados de oro ricamente coloreados hacia el año 2500 a.C.

El Indigo y el Alizarín, probablemente fueron exportados a países como Irán (la antigua Persia), y posiblemente desde allá hasta el Medio oriente, pero eran

desconocidos en Europa. A cambio del índigo, en Inglaterra se usaba un tinte azul conocido como **Woad**, que era obtenido de una planta conocida como **Isatis tictoria**, la cual era cultivada en Francia, Alemania, y en Gran Bretaña, la sustancia activa de la planta era **indigotin**, el cual era algún componente del índigo que era preparado en Oriente. Sin embargo tanto el Indigo como el Woad son insolubles en agua, y antes de poder ser usados como pigmentos sobre textiles tienen que ser reducidos, esta reducción se realizaba por medio de una fermentación natural. El Woad, contenía un microorganismo requerido para la fermentación, el conocimiento de esto llevó a adicionar la planta al baño de teñido para obtener las condiciones óptimas de teñido. Cuando el Woad llegó al oriente muchos se manifestaron en favor del índigo ahí preparado, por lo que el Woad solo fue cultivado como un auxiliar para la fermentación del índigo.

Sin embargo los colorantes de origen natural no fueron capaces de actuar por si solos como tintes sobre textiles. La fibra tenía que ser preparada para la recepción del pigmento por impregnación con óxidos metálicos, estos parecidos entre sí como por ejemplo los óxidos de aluminio, hierro y estaño; estas sustancias fueron conocidas como **mordientes**, este nombre deriva de la palabra Francesa "**mordre**" que significa morder, esto se pensaba apropiado ya que se creía que los pedacitos de óxidos agarraban el pigmento sobre la fibra. Uno de los mordientes más usados fue el Alizarin.

El descubrimiento del hemisferio Occidental permitió adquirir para el mercado europeo mordientes naturales frescos, entre éstos está la **madera de Brasil**,

conocida como madera de **melocotón**, el colorante que contenía era soluble en agua y producía coloraciones rojas sobre un mordiente de óxido de aluminio, tonos cafés con un mordiente de óxido de hierro y coloraciones rosas con óxido de estaño.

Los colorantes derivados de animales tales como la **cochinilla** llegaron a Europa desde América (México) estos animalitos pertenecen a la familia de insectos conocida como **Cactus cacti**. Este daba un pigmento con tono carmesí con un mordiente con óxido de hierro, este pigmento daba muy bellas tonalidades por lo que fue ampliamente usado para teñir los uniformes del ejército así como las capas de la realeza británica.

Marmi6n (1979), reporta que hasta mediados del siglo XIX, se obtenían colorantes de origen animal, vegetal y mineral; sin embargo, en 1856, Sir William Perkin descubrió el primer colorante sintético al cual denominó **Mauve** (color malva), con lo cual se inició el descubrimiento de muchos otros, los que se han utilizado con textiles, cosméticos, drogas y alimentos en forma industrial. La utilización más reciente y menos documentada es el empleo de colorantes en drogas y alimentos. Fue en Europa donde primero se utilizaron los colorantes en alimentos y en E.U.A. donde primero se legalizaron.

1.1 HISTORIA DEL USO DE COLORANTES NATURALES EN EL SALVADOR

En El Salvador, entre 1760 y 1792 se cultivaba el Indigo (*Indigófera suffruticosa* Mill), y hubo una gran explotación de éste, el cual llegó en estos años a su máximo apogeo. El auge del añil se debió al fenómeno de la revolución industrial inicialmente en Inglaterra y después en otros países del oeste Europeo. En 1856 el cultivo del añil en El Salvador continuaba y fue en este año que se publicó un método para la fabricación del añil, presentado al Supremo Gobierno del Estado por su autor el General Gerardo Barrios para el uso de los añileros (Alvarado, 1985)

El General Gerardo Barrios, ya como Presidente de El Salvador en 1860, prestó atención al cultivo del café debido a la necesidad de abolir el monocultivo del añil; sin embargo, este no decayó bruscamente. En 1873, el cultivo del añil continuaba siendo el principal para El Salvador. Para el año de 1880, el café ya constituía la principal fuente de riquezas para El Salvador y puede afirmarse que fue ese año el punto de partida de la decadencia del cultivo del añil, debido principalmente a la mayor aceptación en el mercado de los tintes sintéticos aparecidos en Europa. Así, conforme transcurrió el tiempo se fue cultivando menos añil (Alvarado, 1985)

Al iniciarse el siglo XX, puede decirse que el cultivo del añil en Guatemala, Honduras y Nicaragua, pertenecía a la historia, pero en El Salvador se enviaban algunas partidas pequeñas de añil a varios países, y en el año de 1940 se cultivaron 518 hectáreas que produjeron 2003 quintales de añil, de los cuales se exportaron 364

quintales y el resto de la producción quedó en el país para consumo (Alvarado, 1985)

Hoy en día, el añil es un colorante escaso porque es difícil encontrarlo en forma pura y ecológicamente. Actualmente varios grupos de campesinos, apoyados por la Fundación CORDES (Fundación para la Cooperación y Desarrollo Comunal de El Salvador), relanzan la producción de añil en el Norte de El Salvador. En dos comunidades (San Ignacio Ellacuría y Nombre de Jesús, en el depto. de Chalatenango) se han construido obrajes, donde se gana el colorante de la planta **Jiquilite**. Otro obraje se instaló en El Paisnal, Departamento de San Salvador (La Prensa Gráfica, 1999).

En El Salvador, se han realizado diversos estudios en el área de pigmentos naturales, encaminados a determinar la utilidad de éstos en diferentes áreas de aplicación, así se encuentran investigaciones sobre extracciones de pigmentos provenientes de plantas como la de Achiote, Cúrcuma, Marigold, entre otras.

La Bixina, que es la materia colorante de la planta de Achiote quizás representa la especie que más se ha estudiado y más se aprovecha, ya que ésta tiene aplicación en una gran variedad de áreas, entre las cuales se destacan los alimentos, las medicinas, los cosméticos, textiles, industria avícola y otras de menor importancia.

La Curcumina proveniente del Camotillo o cúrcuma también tubo mucha relevancia en El Salvador, especialmente en el área de alimentos y cosméticos. A la vez se ha utilizado pero en menor grado a nivel artesanal ya que fue empleada para colorear de amarillo los hilos que se usan en la elaboración de hamacas.

En El Salvador se ha cultivado la planta Marigold o mejor conocida como Flor de muerto, de la cual se extrae un pigmento de color amarillo rojizo, el cual es útil en la industria avícola y en la industria alimenticia (Meza, 1999).

2.0 PIGMENTOS DE ORIGEN NATURAL

Se denominan pigmentos a los cuerpos capaces de comunicar a otros una coloración determinada, ya sea la que ellos mismos poseen, ya la que pueden producir en ciertas condiciones.

Los pigmentos son polvos insolubles de tamaño, generalmente del orden de 0.01 micras y casi nunca mayores de una micra, son de origen tanto natural como sintéticos, de composición orgánica e inorgánica.

Aunque se denominan como pigmentos a los colores minerales importantes en la fabricación de pinturas, también se les llama pigmentos, a las materias colorantes de las plantas en Química vegetal (Alvarado, 1985).

2.1 CLASIFICACION DE LOS PIGMENTOS NATURALES

La abundancia y variedad de las materias colorantes hace que sea muy difícil clasificarlas, y que las clasificaciones resulten muy diferentes según se funden en la constitución química, la procedencia, las propiedades o las aplicaciones de estas materias. Los pigmentos según su procedencia pueden ser naturales y artificiales, estos últimos por su enorme número y la multiplicidad de sus aplicaciones y propiedades tienen mayor importancia industrial.

Los pigmentos naturales, objetos de este estudio, pueden clasificarse en colorantes del reino animal y colorantes del reino vegetal.

2.1.1 COLORANTES DEL REINO ANIMAL (Enciclopedia Universal, 1991)

En los animales vivos se encuentran diversas materias colorantes y pigmentos, de los cuales, unos, principalmente los que dan color a la piel y sus apéndices, apenas representan en la economía más papel que el de comunicar la coloración que les es propia, mientras que otros desempeñan funciones fisiológicas importantes; entre éstas figura la materia colorante roja de la sangre de los vertebrados, de la cual derivan probablemente otras muchas del cuerpo de estos seres.

De las materias colorantes que en los animales se encuentran, algunas son solubles en el agua, la mayoría lo son en los álcalis, y un corto número lo son también en el alcohol, el éter o el cloroformo; algunas, además, son cristalizables; la mayoría de ellos tienen reacción neutra, y casi todas son destruidas por el cloro; las hay, como los pigmentos biliares, que son muy inestables y pueden sufrir fácilmente grandes cambios de coloración, mientras que otras, como por ejemplo algunos pigmentos y sus apéndices, poseen una estabilidad extraordinaria. Algunos animales tienen la facultad de agregar colorantes que les sirven de defensa; en este sentido son notables algunos moluscos, principalmente muchos cefalópodos que producen en gran cantidad un líquido de color pardo negruzco (la tinta de los calamares) y otros,

como los gasterópodos que producen la púrpura, y otros del género *Aplysia*, que producen en los bordes del manto una secreción roja o violácea.

Entre las materias colorantes utilizadas por el hombre hay pocas de procedencia animal. En la antigüedad clásica se utilizó, para teñir las fibras textiles, la púrpura de caracoles marinos; en tiempos más modernos, principalmente desde el siglo XII de nuestra era, se empleó con el mismo objeto la **grana quermes**, constituida principalmente por hembras del **Coccus ilicis**, que más tarde, después del descubrimiento de América, fue sustituida por la cochinilla, formada también por hembras de un cóccido (el **Coccus cacti**); en la actualidad esta última y el llamado **Lac-dye** (producido por las hembras del **C. Lacca**) son casi las únicas materias colorantes que se aplican a la industria textil, además de servir para preparar lacas para la pintura y para colorear artículos de perfumería, bebidas, etc.

Para pintar se usa también el amarillo indio (**Jaune indien, piuri, purrey**) obtenido en Monghyr (Bengala) de la orina de vacas alimentadas con hojas de mango; o de la misma orina sometida a la fermentación con estas hojas; calentando esta orina se precipita el colorante, que se recoge por filtración y se amasa en forma de bolas.

2.1.2 COLORANTES DEL REINO VEGETAL (Enciclopedia Universal, 1991)

De estos colorantes, unos son producidos directamente por la actividad fisiológica de las plantas, mientras que otros son productos de transformaciones artificiales

de sustancias de procedencia vegetal.

La mayoría de los colorantes vegetales son ácidos débiles; algunos, sin embargo, son cuerpos neutros y los hay que tienen carácter de bases; se conocen, entre ellos, distintos glucósidos, y muchos otros ofrecen grandes analogías con los taninos y sus derivados.

Los que se encuentran ya formados en la naturaleza, que son muy abundantes y presentan los más vivos matices, suelen estar disueltos o formando depósitos granulares, en las células superficiales, más expuestas a la luz, de las plantas; algunos se hallan también en engrosamientos de las membranas celulares. En las capas celulares internas, poco accesibles a la acción de la luz, se encuentran en cambio, sustancias cromógenas, es decir, cuerpos que no son colorantes, pero están estrechamente relacionados con ellos; al parecer, todas las materias colorantes vegetales derivan de los cuerpos cromógenos, y en la práctica muchas de ellas pueden convertirse en ellos, casi siempre por reducción, ó prepararse artificialmente partiendo de los mismos; la conversión de los cromógenos en colorantes se logra frecuentemente mediante la acción del oxígeno y, muchas veces, en presencia de una base energética; los cromógenos deben su existencia a condiciones especiales de organización de las plantas y, en cada caso particular, suelen existir solamente en plantas de géneros y especies determinados. La luz, el aire, el ozono y la mayoría de los agentes oxidantes, especialmente el cloro, ejercen una acción destructora sobre los colorantes vegetales; en cambio, el ácido sulfuroso,

por lo general, no hace más que convertirlos en compuestos incoloros mediante los cuales, por la acción del ácido sulfúrico, el hidrógeno sulfurado ú otros cuerpos, puede regenerarse el colorante. Los ácidos más ó menos enérgicos cambian el color de la mayoría de los colorantes vegetales, convirtiendo los azules en rojos y los rojos en amarillos; los álcalis producen un efecto semejante, haciendo pasar a azul el color de los rojos, a verde el de los azules, a rojo o pardo rojizo el de los amarillos; en todos estos casos, neutralizando enseguida el ácido o álcali correspondientes, se regenera el color primitivo. Uno de los colorantes vegetales, la clorofila, de propiedades algo diferentes de las de los demás, se encuentra en la mayoría de las plantas (en todas las fanerógamas, y en buena parte de las criptógamas) y desempeña un papel importantísimo en la nutrición de las mismas. Algunas bacterias, además, al desarrollarse sobre materias orgánicas producen, por descomposición de los albuminoides, materias colorantes de matices rojos y azules muy vivos.

2.1.3 CLASIFICACION DE LOS PIGMENTOS VEGETALES

Según Alvarado (1985), los pigmentos naturales son capaces de ofrecer una extensa gama de colorantes brillantes, aunque unos pocos de estos tienen importancia en la coloración de alimentos. Dichos pigmentos se pueden clasificar en siete tipos:

2.1.3.1 ANTOCIANINAS.

Son un grupo amplio de sustancias naturales, solubles en agua, bastante complejas, y que se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, son responsables de los colores rojo atractivo, púrpura y azul de muchas flores, frutos y vegetales incluyendo fresas, frambuesas, moras, cerezas, uvas, manzanas, grosellas, repollos rojos rábanos, etc.

a) ESTRUCTURA QUÍMICA

Químicamente las antocianinas derivan su estructura básica del catión *Flavilio* o *Flavilium* (2-fenil-benzopinilo), el cual se muestra en la fig. 2.1. Estas se encuentran unidas por enlaces glucosídicos a carbohidratos. Las estructuras se distinguen por diferentes grupos funcionales unidos al anillo flavilio.

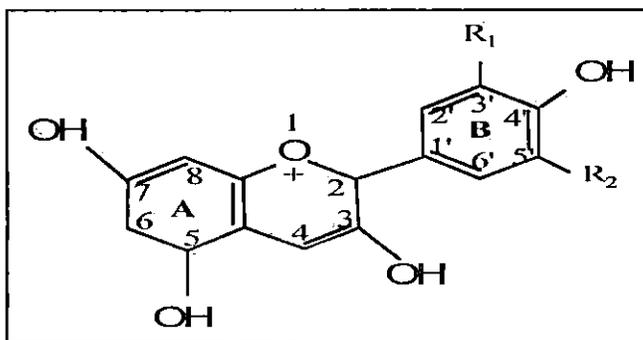


Fig. 2.1 Catión Flavilio de la estructura básica de las antocianinas (Fennema, 1985).

Se conocen más de 100 antocianinas, de las que seis se encuentran comúnmente en las plantas usadas como alimento, cuyos grupos funcionales se muestran en la fig. 2.2. Usualmente cada vegetal tiene de 4 a 6 distintos, pero algunos tienen

prácticamente uno solo (zarzamora, por ejemplo) o hasta 15. No existe una relación directa entre el parentesco fitogenético de dos plantas y sus antocianos.

b) PROPIEDADES FÍSICAS

Las antocianinas deben su solubilidad en agua a su naturaleza glucosídica, la presencia de la molécula de azúcar las hace más soluble. Son también moléculas cargadas (+), lo que incrementa su solubilidad. Sin embargo son más solubles en alcoholes que en agua. Los procesos de extracción en el laboratorio se hacen con etanol o metanol.

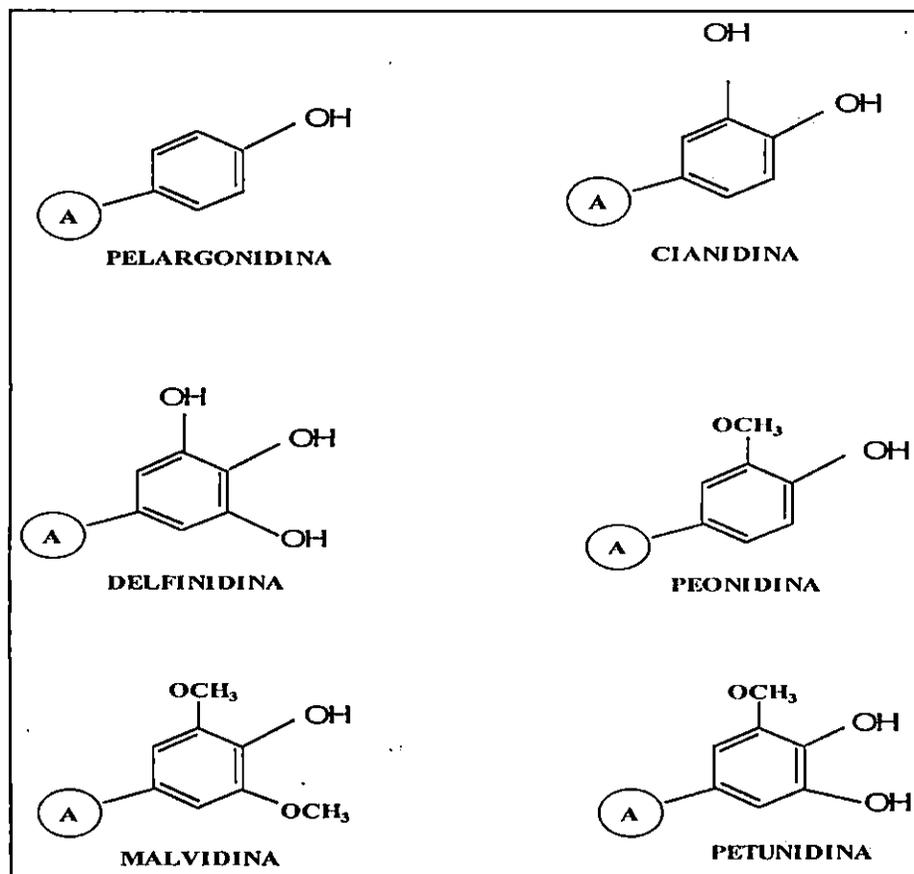


Fig. 2.2 Diferencias estructurales en el anillo B de las Seis Antocianinas encontradas en alimentos (Fennema, 1985).

c) PROPIEDADES QUÍMICAS

Los antocianos son sustancias relativamente inestables, teniendo un comportamiento aceptable únicamente en medio ácido. Se degradan, cambiando el color, durante el almacenamiento, tanto más cuanto más elevada sea la temperatura. También les afecta la luz, la presencia de sulfitos, de ácido ascórbico y el calentamiento a alta temperatura en presencia de oxígeno.

La velocidad de degradación del color depende grandemente del pH y de la temperatura. A pH ácido, las antocianinas son en su mayor parte rojas mientras que en soluciones alcalinas cambian a azul. Por ejemplo, la *pelargonidina* presenta grandes diferencias en los espectros de absorción a pH 1 y 4.5 en el rango de 400 a 600 nm con un máximo en 510 nm (Ver fig. 2.3). A pH 1 las antocianinas existen en el color rojo brillante de la forma flavinio, mientras que a pH 4.5 son predominantemente incoloras. El mismo efecto puede observarse para la *cianidina* en la fig. 2.4.

La fig. 2.5 muestra el efecto del pH en los cambios estructurales de las antocianinas, indicando al mismo tiempo el cambio en coloración de azul a rojo y a incoloro a medida que el pH aumenta, si el pH aumenta arriba de 5 se observa nuevamente coloración azul. Estos efectos son reversibles.

El efecto del sulfito es especialmente importante en el caso de los antocianos naturales de las frutas que se conservan para utilizarlas en la fabricación de

mermeladas. También en la industria de los vinos el tratamiento con sulfitos se utiliza para controlar la fermentación, disminuir la intensidad del color y como agente preservante para controlar el crecimiento microbiano.

Se utilizan relativamente poco, solamente en algunos derivados lácteos, helados, caramelos, productos de pastelería y conservas vegetales (hasta 300 mg/kg.), aunque están también autorizados en conservas de pescado (200 mg/kg), productos cárnicos, licores, sopas y bebidas refrescantes. Como los demás colorantes naturales, en bastantes casos no tienen más limitación legal a su uso que la buena práctica de fabricación, aunque esta situación tiende a cambiar progresivamente.

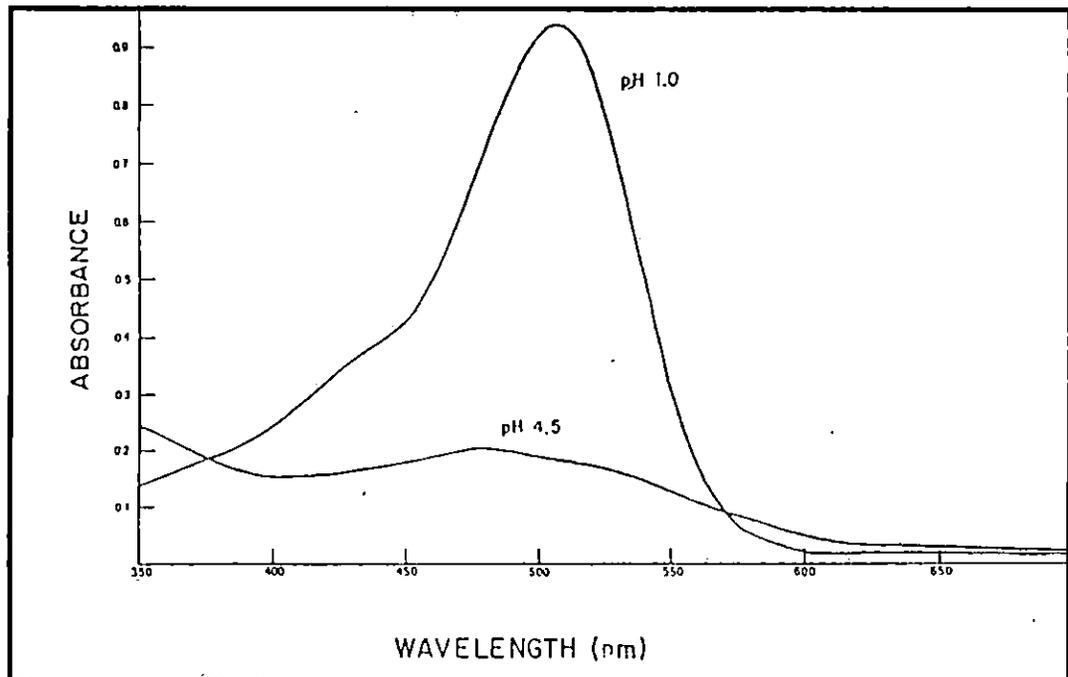


Fig. 2.3 Espectro de Absorción de la pelargonidina aislada del fruto de moras. Efecto del pH (Fennema, 1985).

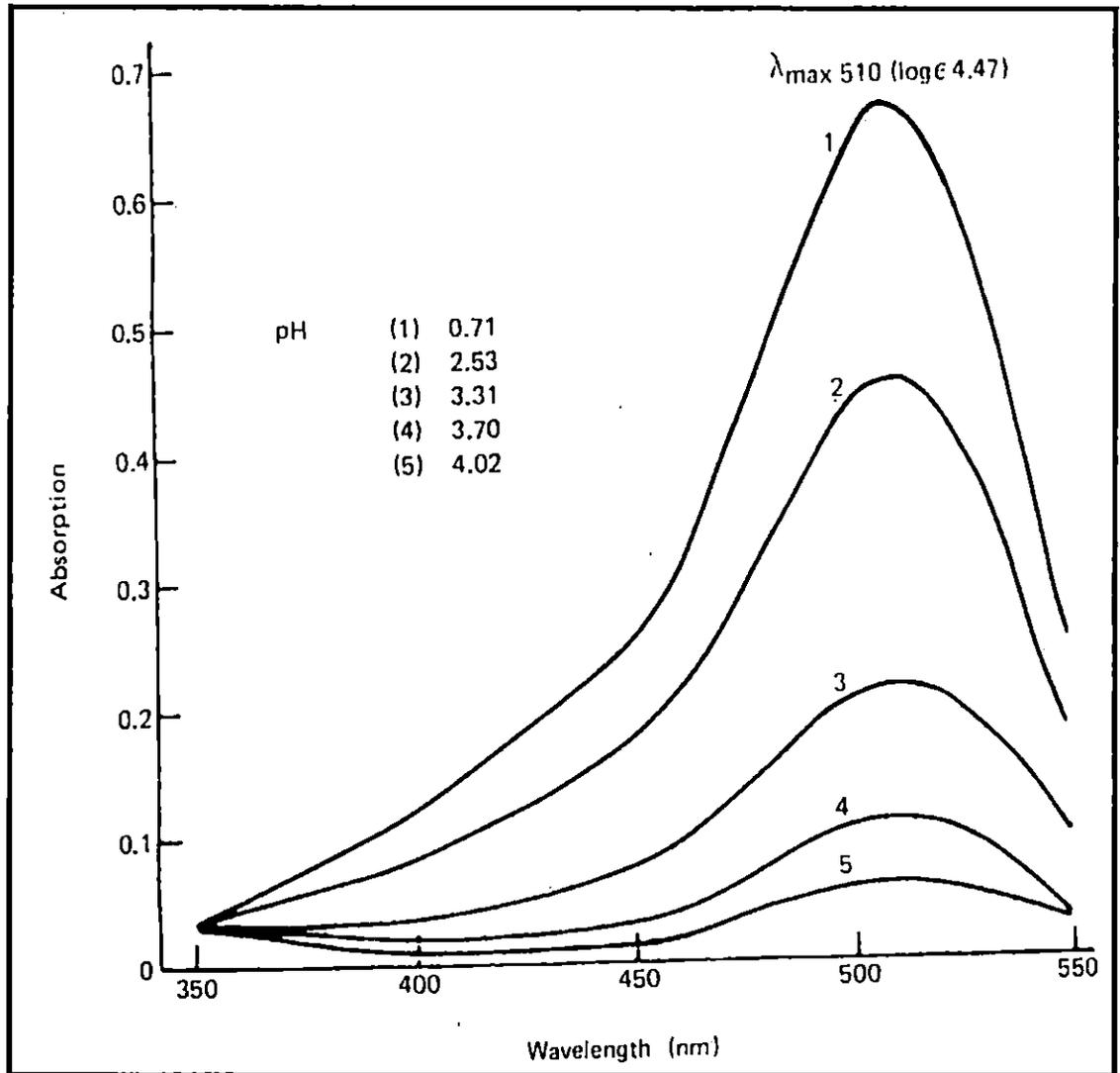


Fig. 2.4 Efecto del pH en el Espectro de Absorción de una solución 1.6×10^2 g/L de Cianidina (Fennema, 1985).

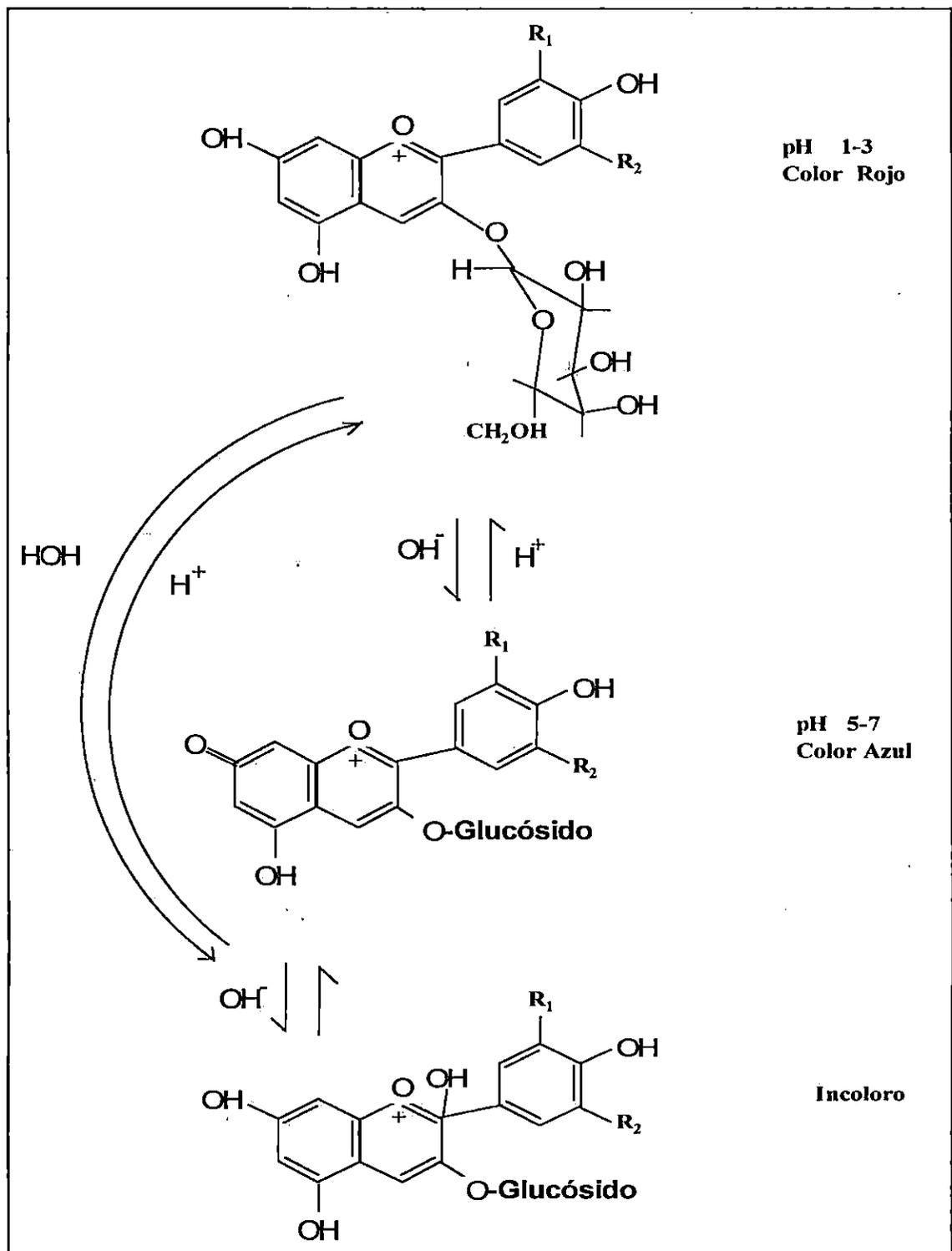


Fig. 2.5 Efecto del pH en los cambios estructurales de las antocianinas y su efecto consecuente en el color del pigmento (Fennema, 1985).

2.1.3.2 BETALAINAS.

Son los pigmentos rojos y amarillos que están presentes en el extracto acuoso de las raíces de remolacha roja (*Beta vulgaris*) y amarillas, "pokeberries", en el fruto del cactus y en algunas flores como la orquídea. El extracto es una mezcla muy compleja de la que aún no se conocen todos sus componentes.

Las Betalainas pueden subdividirse en:

a) BETACIANINAS :

Son las responsables de los colores rojas a violetas de las cuales la betanina es la de mayor importancia comercial. Comprende el 75-90% de las betalainas en las remolachas rojas y es un pigmento soluble en agua que exhibe su máxima estabilidad entre un pH de 4 a 6. Las betacianinas deben el color rojo que presentan a la distribución de 3 dobles enlaces conjugados con el anillo aromático, como se muestra en la fig. 2.6. Presentan su máxima absorción entre 535 y 544 nm.

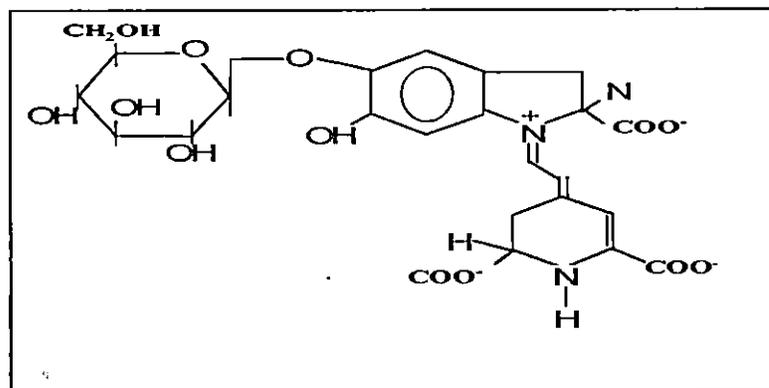


Fig. 2.6 Estructura de la Betacianina (Betanina)
Pigmentode la Remolacha (Fennema,1985).

b) BETAXANTINAS : (amarillo, incluye vulgaxantina)

Tienen una estructura similar a las betacianinas; pero no contienen anillos aromáticos son de color amarillo y se encuentran en las remolachas amarillas. Presentan su máxima absorción a 415 nm.

Aunque estos colorantes resisten bien las condiciones ácidas, se alteran fácilmente con el calentamiento, especialmente en presencia de aire, pasando su color a marrón. El mecanismo de este fenómeno, que es parcialmente reversible, no se conoce con precisión.

Otras de las desventajas que presentan es el de tener un olor desagradable para adicionarlo a cualquier tipo de alimentos, los procesos de esterilización de enlatados los degradan. Su olor característico limita su uso; entre sus aplicaciones se tienen:

La pigmentación de salsas picantes, otras salsas de alto contenido de especias, embutidos y productos cárnicos. Comercialmente se presentan como polvos o como jugos de remolacha.

Ante la preocupación del público por el uso de colorantes artificiales, el rojo de remolacha está ganando aceptación, especialmente en productos de repostería, helados y derivados lácteos dirigidos al público infantil. En España se utiliza en bebidas refrescantes, conservas vegetales y mermeladas (300mg/kg), conservas

de pescado (200mg/kg), en yogures (hasta 18 mg/Kg) y en preparados a base de queso fresco, hasta 250 mg/Kg.

No se conocen efectos nocivos de este colorante y la OMS no ha fijado un límite a la dosis diaria admisible.

2.1.3.3 CAROTENOIDES.

Son probablemente los pigmentos colorantes de mayor abundancia en la naturaleza, pero sorprendentemente, los extractos colorantes de ellos tienen una aplicación comercial limitada, con excepción de los extractos de achiote y paprika.

Los carotenos exhiben colores que van desde el amarillo al rojo en diversas tonalidades y pueden extraerse comercialmente de alfalfa, zanahorias, achiote, frutas cítricas, maíz, paprika, marigold, azafrán y tomates. Son propensos a la oxidación debido a su sistema de doble enlace conjugado, que determina el color de manera que su estabilidad en sistemas acuosos depende gradualmente del nivel de oxígeno disuelto, pero tiene la ventaja de ser sensible a los cambios de pH.

Los carotenoides y las xantofilas son un amplio grupo de pigmentos vegetales y animales, del que forman parte más de 450 sustancias diferentes, descubriéndose otras nuevas con cierta frecuencia. Se ha calculado que la naturaleza fabrica cada año alrededor de 100 millones de toneladas, distribuidas especialmente en las algas

y en las partes verdes de los vegetales superiores. Alrededor del 10% de los diferentes carotenoides conocidos tiene actividad como vitamina A en mayor o menor extensión. Alrededor del 10% de los diferentes carotenoides conocidos tiene mayor o menor actividad como vitamina A.

Los carotenoides utilizados en la fabricación de alimentos se pueden obtener extrayéndolos de los vegetales que los contienen (el aceite de palma, por ejemplo, contiene un 0,1%, que puede recuperarse en el refinado) o, en el caso del beta-caroteno, beta-apo-8'-carotenal y éster etílico al ácido beta-apo-8'-carotenoico, por síntesis química. Los dos últimos no existen en la naturaleza.

Uno de los más abundantes es la *Fucosantina* que se encuentra en diversas variedades de algas. En las hojas verdes abundan la *Luteína*, *Violaxantina* y *Neoxantina*. En menores cantidades, pero ampliamente distribuidos se encuentran la *Zeantina* y β -caroteno, este último es abundante en naranjas, piñas, papa, camote, zanahorias, calabazas, melones, mangos, papaya y en una gran cantidad de frutas tropicales.

La *Bixina* y la *Norbixina* se obtienen de extractos de la planta conocida como bija, roccou o annato (*Bixa orellana*). Son compuestos algo diferentes químicamente entre ellos, siendo la Bixina soluble en las grasas e insoluble en agua y la Norbixina a la inversa. Se han utilizado desde hace muchos años para colorear productos lácteos, y su color amarillo puede aclararse por calentamiento, lo que facilita la

obtención del tono adecuado. La *Capsantina* es el colorante típico del pimiento rojo y del pimentón, siendo España el principal productor mundial. Sus aplicaciones en la fabricación de embutidos son de sobra conocidas. El *Licopeno* es el colorante rojo del tomate y los carotenos están distribuidos muy ampliamente entre los vegetales, especialmente el beta-caroteno, que es también el colorante natural de la mantequilla.

No son muy solubles en las grasas, y, con la excepción de la norbixina, prácticamente nada en agua. Cuando se utilizan para colorear bebidas refrescantes (el *beta-caroteno* especialmente, para las bebidas de naranja), es en forma de suspensiones desarrolladas específicamente con este fin. Tienen la ventaja de no verse afectados, como otros colorantes, por la presencia de ácido ascórbico, el calentamiento y la congelación, así como su gran potencia colorante, que ya resulta sensible a niveles de una parte por millón en el alimento. Sus principales inconvenientes son que son caros y que presentan problemas técnicos durante su utilización industrial, ya que son relativamente difíciles de manejar por su lentitud de disolución y por la facilidad con que se alteran en presencia de oxígeno. Pierden color fácilmente en productos deshidratados, pero en cambio resisten bien el enlatado.

a) ESTRUCTURA QUÍMICA

Los carotenoides incluyen la clase de hidrocarburos denominados carotenos, y sus derivados oxigenados llamados xantofilas.

Los carotenoides consisten de ocho unidades de isoprenoides unidas de tal forma que el arreglo de las unidades isoprenóicas se invierte en el centro de la molécula. Algunos pueden formar estructuras cíclicas en los extremos de la cadena. Las cadenas más comunes presentan un esqueleto de 40 carbonos, pero hay reportes de estructuras formadas por más de 40 carbonos. La cadena carbonada presenta un número alto de insaturaciones. En la figura 2.7, se presentan las estructuras de algunos carotenoides comúnmente encontrados en alimentos.

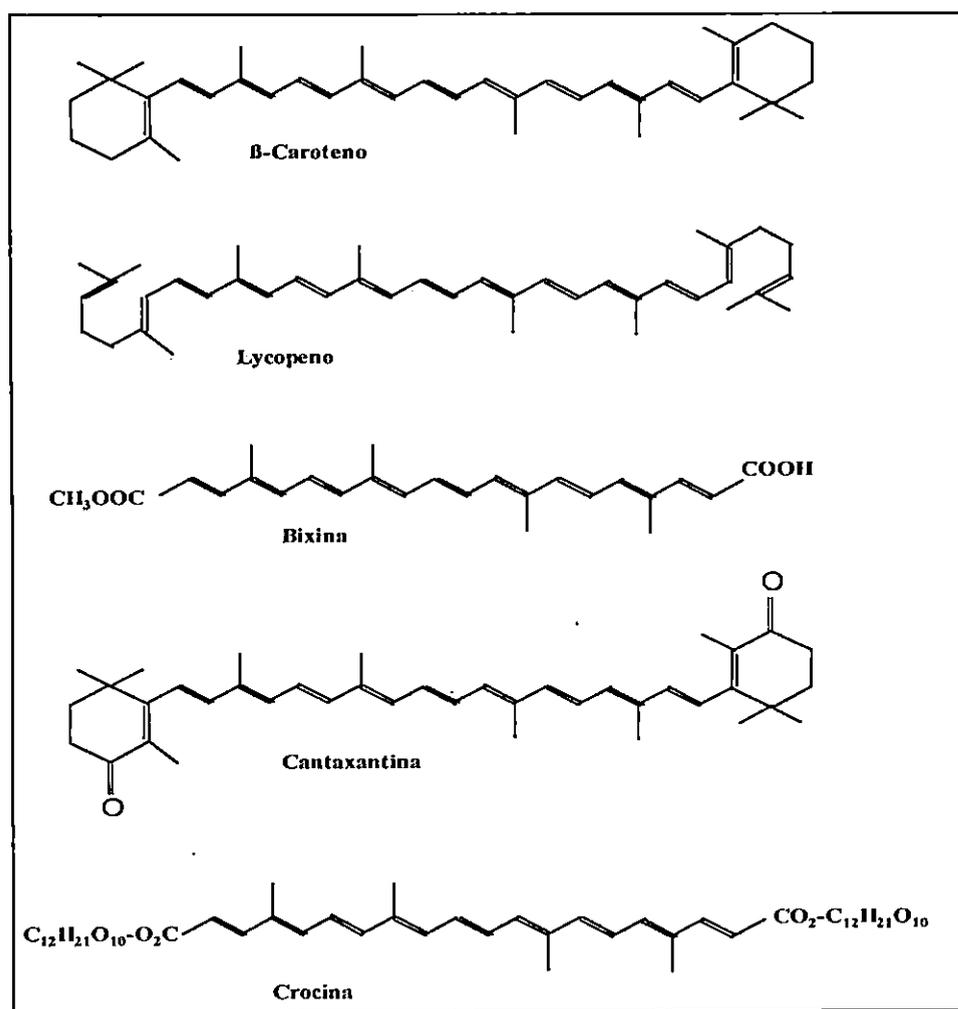


Fig. 2.7 Estructura de algunos carotenoides encontrados comúnmente en alimentos (Fennema, 1985).

b) PROPIEDADES QUÍMICAS

En su forma libre se encuentran como cristales o como sólidos amorfos, también ocurren como esterificados o en combinación con azúcares o con proteínas. Por ejemplo en las hojas de otoño, la *Luteína*, se encuentra asociada con los ácidos palmítico y linolénico. La *Capsantina* se encuentra esterificada al ácido láurico del pimentón.

Los carotenos pueden ser convertidos en *vitamina "A"*. Propiedad que se aprovecha en la preparación de alimentos, porque resultan ser más estables que la vitamina a los procesos aplicados. El β -*Caroteno* produce dos moléculas de vitamina "A" por la ruptura del centro de su molécula.

Los carotenoides son muy susceptibles a la oxidación por oxígeno, debido a la presencia de los dobles enlaces conjugados lo que cambia su color drásticamente.

El color de los carotenoides resulta de la presencia del sistema de dobles enlaces conjugados. Se requiere un mínimo de 7 dobles enlaces conjugados para que el color amarillo sea detectado dentro del espectro visible. A mayor número de dobles enlaces conjugados la intensidad del color aumenta como se puede apreciar en el cuadro 2.1.

La legislación española autoriza el uso del caroteno sin límites para colorear la mantequilla y la margarina, 0,1 g/kg en el yogur, 200 mg/kg en conservas de pescado, 300 mg/kg en los productos derivados de huevos, conservas vegetales y mermeladas, y hasta 600 mg/kg en quesos. En sus aplicaciones en bebidas refrescantes, helados y productos cárnicos no tiene limitaciones.

En Estados Unidos solo se limita el uso del E-160e Beta-apo-8'-carotenal (0,015 g/libra).

Los caroténoides son cada vez más usados en tecnología alimentaria a pesar de los problemas que se han indicado, especialmente ante las presiones ciudadanas contra los colorantes artificiales. Esto es especialmente notable en el caso de las bebidas refrescantes. También se está extendiendo en otros países la utilización del colorante del pimentón y de la propia especia, con ello se estaría evitando un poco la utilización de colorantes artificiales en diferentes áreas que en muchos casos traen efectos al medio ambiente y en especial a la salud humana..

Desde hace algunos años se ha planteada la hipótesis de que el beta-caroteno, o mejor, los alimentos que lo contienen, pueden tener un efecto protector frente a ciertos tipos de cáncer. Los datos epidemiológicos parecen apoyarla, pero la complejidad del problema hace que aún no se puedan indicar unas conclusiones claras, ni mucho menos recomendar la ingestión de dosis farmacológicas de esta sustancia.

CUADRO 2.1 LONGITUDES DE ONDA DE MAXIMA ABSORCIÓN DE CAROTENOIDEOS COMUNMENTE ENCONTRADOS EN ALIMENTOS

CAROTENOIDE	$\lambda_{\text{máx}}$ (en hexano)	Número de dobles enlaces	COLOR
Fitoteno	286	6	Incoloro
Crocina	420	7	Amarillo
Luteína	445	9	Amarillo
β -Citaurina	450	9	Amarillo-Naranja
Bixina	457(Etanol)	9	Amarillo-Naranja
β -Apo-8'-caroteno	459 (Et. Petrol.)	9	Amarillo-Naranja
Fucoxantina	450	10	Amarillo-Naranja
β -Caroteno	450	11	Amarillo-Naranja
α -Caroteno	462	11	Amarillo-Naranja
Cantaxantina	467	13	Naranja-Rojo
Astaxantina	468	13	Naranja-Rojo
Licopeno	473	13	Naranja-Rojo
Astaceno	473	15	Rojo
Rodoxantina	489	14	Rojo

Ref. Fennema (1985)

2.1.3.4 LAS XANTÓFILAS

Las *xantófilas* ($C_{40}H_{56}O_2$), son derivados oxigenados de los carotenoides, usualmente sin ninguna actividad como vitamina A. La *criptoxantina* es una excepción, ya que tiene una actividad como *vitamina "A"* algo superior a la mitad que la del *beta-caroteno*. Abundan en los vegetales, como maíz amarillo, pimiento, papaya y mandarina, siendo responsables de sus coloraciones amarillas y

anaranjadas, cuya estructura de esta se presenta en la figura 2.8.a, aunque muchas veces éstas estén enmascaradas por el color verde de la clorofila.

También se encuentran las xantófilas en el reino animal, como pigmentos de la yema del huevo (*luteína* o β -xantófila, fig. 2.8.b) o de la carne de salmón y concha de crustáceos (*cantaxantina*). Esta última, cuando se encuentra en los crustáceos, tiene a veces colores azulados o verdes al estar unida a una proteína. El calentamiento rompe la unión, lo que explica el cambio de color que experimentan algunos crustáceos al cocerlos. La cantaxantina utilizada como aditivo alimentario se obtiene usualmente por síntesis química.

En España, las xantófilas se utilizan para aplicaciones semejantes a las de los carotenoides (excepto en el queso), con las mismas restricciones.

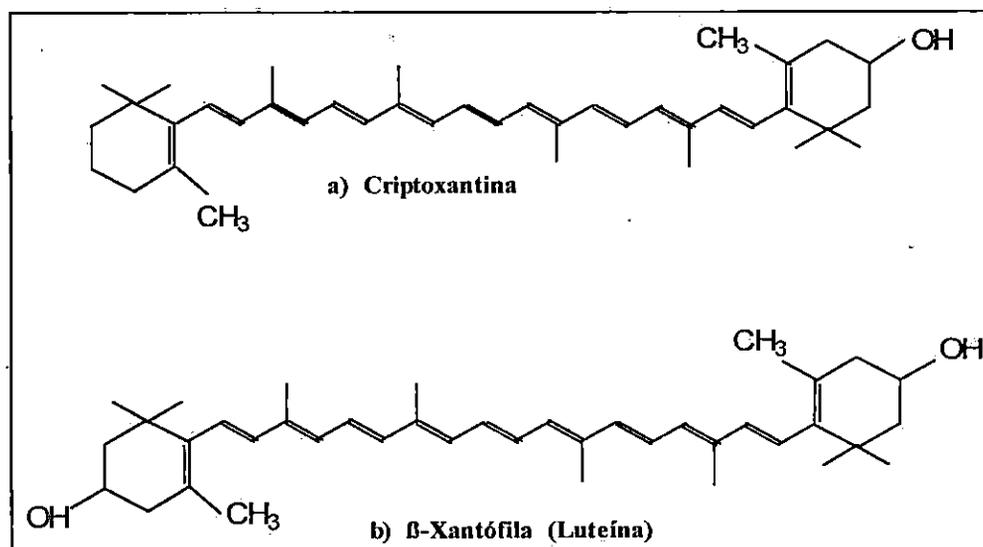


Fig. 2.8 Estructura de las Xantófilas (a) Criptoxantina, (b) Luteína (Fennema, 1985).

2.1.3. 5 CLOROFILAS.

Las Clorofilas son los pigmentos responsables del color verde de las hojas de los vegetales y de los frutos inmaduros. Son piezas claves en la fotosíntesis, proceso que permite transformar la energía solar en energía química, y finalmente a partir de ella producir alimentos para todos los seres vivos y mantener el nivel de oxígeno en la atmósfera. Por esta razón han sido estudiadas muy extensamente. Se ha dicho de ellas que son las sustancias químicas más importantes sobre la superficie de la Tierra.

a) ESTRUCTURA QUÍMICA

Las plantas superiores tienen dos tipos de clorofila muy semejantes entre ellas, denominadas A y B, siendo la primera la mayoritaria y la que se degrada más fácilmente. Son químicamente muy complicadas, y solo en 1940 se pudo averiguar su estructura completa. Incluyen un átomo de magnesio dentro de su molécula.

La estructura de la clorofila A es la de un anillo tetrapirrólico quelatado con magnesio con grupos metil en las posiciones 1,3,5 y 8, un grupo vinil en la posición 2, uno etil en la cuatro, una cetona en la posición 9 y un carboximetoxi en la posición 10. Obsérvese que la diferencia con la clorofila B, es que esta contiene un grupo aldehído en la posición 2 en lugar de un grupo metil. Estas estructuras se presentan en la figura 2.9.

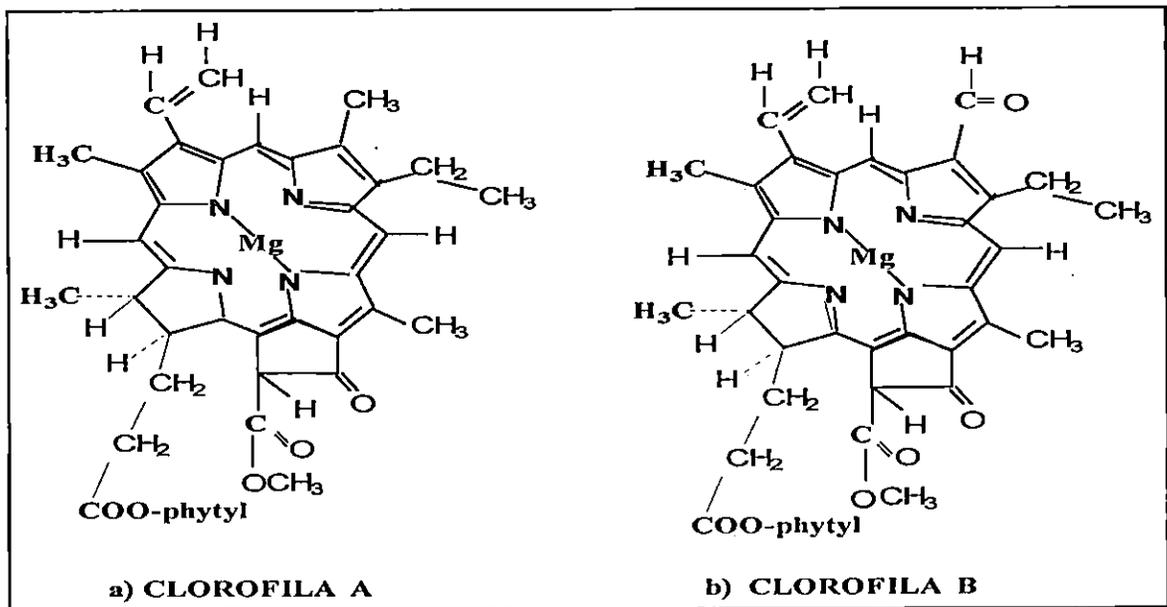


Fig. 2.9 Estructuras de la Clorofila. (a) Clorofila A, (b) Clorofila B (Fennema, 1985).

El interés por la clorofila en tecnología alimentaria no estriba tanto en su uso como aditivo sino en evitar que se degrade durante el procesado y almacenamiento la que está presente en forma natural en los alimentos de origen vegetal.

El calentamiento hace que las clorofilas pierdan el magnesio, transformándose en otras sustancias llamadas *feofitinas* (Fig. 2.10) y cambiando su color verde característico por un color pardo oliváceo mucho menos atractivo. Este efecto puede producirse en el escaldado de las verduras previo a su congelación, en el enlatado, etc. También le afecta el oxígeno, la luz y la acidez, resistiendo mal además los periodos de almacenamiento prolongados.

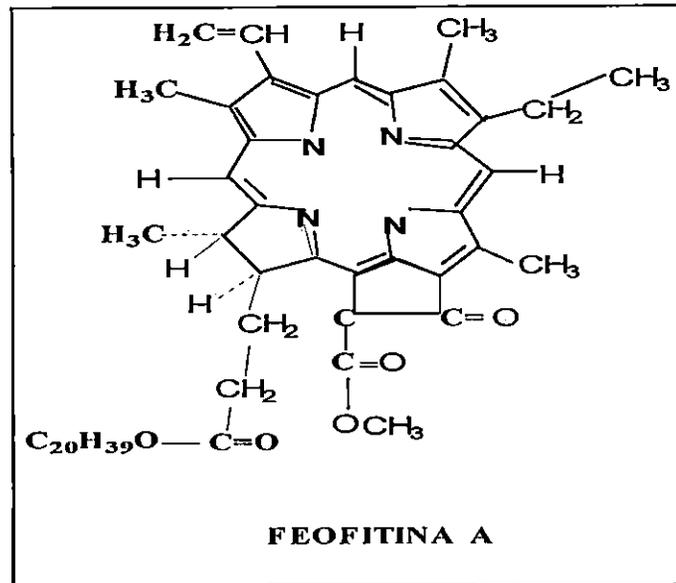


Fig. 2.10 Estructura de la Feofitina
(Fennema, 1985)

Las clorofilas, que en los vegetales se encuentran dentro de ciertos orgánulos, son insolubles en agua pero solubles en éter, benceno, acetona y alcohol, con el que pueden extraerse. Las clorofilinas son derivados algo más sencillos obtenidos por rotura parcial de las clorofilas.

Las clorofilas se utilizan poco como aditivos alimentarios, solo ocasionalmente en aceites, chicle, helados y bebidas refrescantes, en sopas preparadas y en productos lácteos. Su empleo está limitado, en el queso a 600 mg/Kg, y en algunas conservas vegetales y yogures a 100 mg/Kg.

2.1.3.6 CURCUMINA.

Es el principal pigmento encontrado en el Turmeric ("curcuma longa") y se usa ampliamente para darle sabor a algunos productos, polvos de currey y mostazas. Tiene un potencial mayor en la industria alimenticia. El color es sensitivo al pH, fluctúa de amarillo limón a un pH de 3, a anaranjado fuerte en soluciones neutras y a rojo oscuro en álcali.

Cuando se habla del colorante de determinada especie, el término se refiere únicamente a la materia colorante en sí, pero cuando se habla de Oleorresinas, este término se refiere a una mezcla de la materia colorante, aceites esenciales y principios saborizantes de la cual se extrae por medio de un solvente apropiado.

La curcumina tiene la fórmula $C_{21}H_{20}O_6$, esta forma prismas rojo anaranjados. Es un diferuloilmetano y su estructura se representa en la figura 2.11.

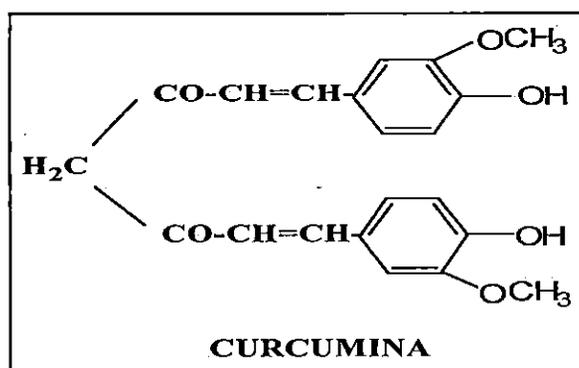


Fig. 2.11. Estructura de la Curcumina (Aguilar, 1950).

En muchos casos parece que participan en ciclos de oxidación reducción que son esenciales para el organismo vivo.

Las quinonas son un grupo grande de pigmentos amarillentos encontrados en la vitalidad de las flores de muchas plantas, hongos, líquenes, bacterias, y algas. Se conocen más de 200 especies, encontrándose tonalidades que van desde un pálido amarillo a casi negro.

Las Naftaquinonas y Antraquinonas son colorantes naturales comunes. *La Juglona* es una antraquinona responsable, en parte, del color de las cáscaras de nuez; la *Lawsona*, de estructura similar, se encuentra en el aldeño y se usa para teñir el pelo de rojo. Una antraquinona típica, el *ácido carmínico*, es el principal pigmento rojo de la cochinilla, constituida por los cuerpos molidos del insecto *Coccus cacti L.* y usada como colorante para teñir de rojo alimentos y cosméticos. La alizarina es otro colorante del grupo de las Antraquinonas.

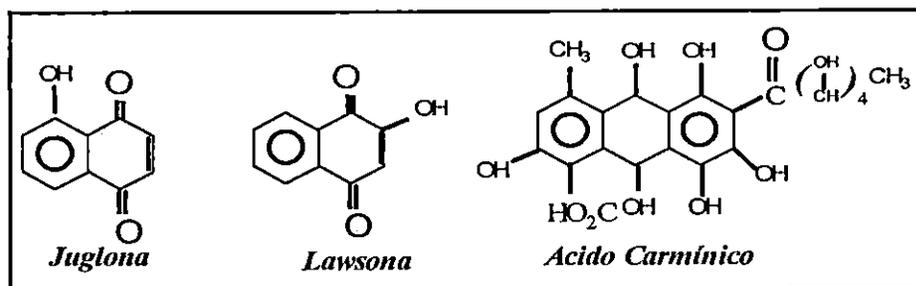


Fig. 2.13 Estructuras de Algunas Quinonas más conocidas. (Fessenden, 1988).

2.2 PROPIEDADES DE LOS PIGMENTOS (Kent, 1984)

Un pigmento ideal debe ser químicamente inerte, libre de sales solubles, insolubles en todos los vehículos usados para preparaciones y no debe ser afectado por las temperaturas normales. Debe dispersarse con facilidad, no ser tóxico y tener características de baja absorción de aceite. Algunas propiedades que deben de poseer los pigmentos se describen del literal *a* al *h* en esta sección:

a) ALTO PODER CUBRIENTE:

El alto poder cubriente denota el color de los pigmentos cuando están dispersos solos en un vehículo. Esto es obviamente una propiedad esencial, donde el primer requerimiento de cualquier pigmento es que este produzca un acabado como el matiz deseado.

b) BAJO PODER COLORANTE:

Es una propiedad de considerable importancia especialmente en pigmentos coloreados y se refiere a los matices obtenidos cuando estos son mezclados con otros pigmentos en grandes cantidades.

c) PODER CUBRIENTE:

Se refiere a la habilidad que tiene un pigmento para formar una capa de espesor uniforme sobre una superficie cuando es incorporado en un vehículo apropiado o

rociado sobre ella. El poder cubriente depende del tamaño de las partículas y de la diferencia entre los índices de refracción del pigmento y del ligante.

d) FORMA DE LAS PARTÍCULAS:

Las partículas de la mayoría de los pigmentos son generalmente amorfas, aunque a veces redondas y rugosas.

e) TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS:

Es otra propiedad sobresaliente, ya que afecta el poder cubriente y el pulido de la capa de la superficie recubierta. Dado que la mayoría de las partículas de los pigmentos son más o menos redondas, su tamaño es usualmente referido en términos del diámetro medio en micrones. Comercialmente el tamaño es 44 micrones. Las partículas de este diámetro pasan a través de un tamiz de 325 mesh.

f) DISPERSIBILIDAD:

La facilidad con la cual un aglomerado de pigmentos puede ser roto por dispersión en los vehículos de los recubrimientos de superficie es llamado **dispersibilidad**.

g) ESTABILIDAD:

Ciertos tipos de pigmentos, tienden a ser afectados por el calor, opacidad, decoloramiento, pérdida de brillo, de poder cubriente y otros cambios

indeseables pueden ocurrir afectando seriamente la apariencia del acabado en el cual ellos son usados. Dentro de las estabilidades que deben de considerarse para la selección de un pigmento tenemos:

g.1 ESTABILIDAD A LA LUZ:

Muchos pigmentos son afectados en mayor o menor grado por la luz. Los efectos causados son los mismos que los debidos al calor.

g.2 ESTABILIDAD A LA HUMEDAD:

Los pigmentos están limitados en su utilidad si son ligeramente solubles en agua; se hidrolizan, se forman manchas por el agua o pueden ser afectados en otra forma por la humedad.

g.3 ESTABILIDAD AL MEDIO AMBIENTE:

Tanto los pigmentos como los vehículos afectan la resistencia al medio ambiente. Ambos deberán tener un alto grado de durabilidad al exterior si el acabado debe tener el mejor brillo posible, así como buena retención al calor, resistencia a quebrarse, descargarse y rayarse.

h) QUÍMICAMENTE ESTABLES:

Los pigmentos para el uso de recubrimientos de superficies deben ser resistentes a los ácidos, álcalis u otros agentes químicos ya que muchos de ellos son destruidos o cambian de color bajo esas condiciones.

2.3 NATURALEZA DEL COLOR

El color ha desempeñado un papel muy significativo en la sociedad humana desde que el hombre aprendió a teñir sus ropas y otros objetos. El color es el resultado de una compleja serie de respuestas fisiológicas y psicológicas a radiaciones de longitud de onda situadas en el intervalo 400-750 nm, cuando estas inciden en la retina del ojo. Cuando todas las radiaciones del intervalo mencionado inciden simultáneamente en la retina, percibimos el color blanco; si, por el contrario, no llega ninguna radiación, recibimos la sensación de negro u oscuridad. Cuando llega a la retina radiación de un estrecho de longitudes de onda, observamos colores solos. En el cuadro 2.2, se encuentran las longitudes de onda del espectro visible con los colores correspondientes y los complementarios.

La percepción del color se produce como consecuencia de una serie de procesos físicos. El método más común de generación de color es la absorción de luz de ciertas longitudes de onda. Los compuestos orgánicos con conjugación extensa absorben ciertas longitudes de onda de luz visible. Nosotros no observamos el color absorbido sino su complemento, que es reflejado. Un color complementario, llamado a veces color sustractivo, es pues el resultado de la sustracción de algunas longitudes de onda específicas del espectro visible global. El pentaceno, por ejemplo, tiene una λ_{\max} de 575nm, en la porción amarilla del espectro visible, por lo cual absorberá intensamente la luz amarilla y reflejará las restantes radiaciones.

Como consecuencia de ello, el pentaceno presenta una coloración azul, que es la complementaria de la amarilla.

CUADRO 2.2 COLOR Y LONGITUD DE ONDA

Longitud de onda de la luz, nm	Color	Color complementario
400-430	violeta	verde-amarillo
430-480	azul	amarillo
480-490	verde-azul	naranja
490-510	azul-verde	rojo
510-530	verde	morado
530-570	amarillo-verde	violeta
570-580	amarillo	azul
580-600	naranja	verde-azul
600-680	rojo	azul-verde
680-750	morado	verde

Ref. Fessenden (1988)

2.4 USOS DE LOS COLORANTES NATURALES

El uso de las materias colorantes ha nacido de la necesidad sentida ya por el hombre prehistórico de adornar o embellecer multitud de objetos de uso corriente, comunicándoles colores más o menos vivos, y representar gráficamente diversos seres, escenas, etc. Para ello ha utilizado un gran número de cuerpos colorantes, procedentes de los 3 reinos de la naturaleza, y a medida que ha ido adelantando en la civilización ha aprovechado más y mejor los colorantes naturales (Enciclopedia Universal, 1991).

Las aplicaciones de las materias colorantes son muy numerosas. Esto hace que sea muy difícil clasificarlas y que estas resulten muy diferentes. Se tratará únicamente el tema de los colorantes naturales y específicamente de los provenientes del reino vegetal. Se clasificarán de acuerdo a los usos de éstos en las diferentes áreas donde han tenido mayor aplicación.

2.4.1 TEXTILES

Una de las mayores aplicaciones de los pigmentos es en el área textil. Debido a las tonalidades que éstos presentan al ser depositados en las prendas, han sido utilizados por diferentes culturas a través de mucho tiempo.

El **Indigo**, pigmento de color azul profundo proveniente de la planta de añil (*Indigofera tinctoria L.*) se utiliza como colorante natural de fibras vegetales, en algodón específicamente.

Por otra parte, se están desarrollando nuevas técnicas de procesamiento para utilizar el añil como tinte industrial, específicamente en la fabricación de lona tipo "Denim", utilizada para la confección de ropa tipo jeans (Alvarado, 1985).

La **Curcumina**, materia colorante que se encuentra en las raíces y brotes de la *Cúrcuma tinctoria* es usada en la India como colorante de lana y seda. En El Salvador, se ha usado a nivel artesanal para teñir mezcal (materia prima para la

elaboración de hamacas), y en el teñido de algunas telas (Alvarado, 1985). La curcumina colorea la lana, la seda y el algodón, sin mordiente, dando tonalidad amarilla, y a pesar de su poco brillo, se emplea en China para colorear seda, papel, madera y alimentos.

El compuesto denominado **hematoxilina**, una sustancia tintórea de amplio uso es obtenido a partir de un árbol leguminoso nativo de América Central conocido como **Palo de Campeche** (*Haematoxylon campechianum L.*). La hematoxilina está contenida bajo la forma de glucósido, que después de cortado el árbol y triturada la madera, se descompone poco a poco bajo la influencia de procesos fermentativos. La hematoxilina que contiene la savia y que al ser cortado el árbol aparece de un color blanco rosado se transforma parcialmente en hemateína, especialmente en la superficie de la madera, tomando un color café rojizo al principio, posteriormente pasa a rojo sangre, y por último, al oxidarse totalmente, se vuelve café violácea.

La hemateína tiene aplicaciones variadas en el teñido de diversos productos industriales, especialmente fibras textiles, cueros, papel y madera (Alvarado, 1985).

Del **Sacatinta** (*Justicia spicigera Bailey*), arbusto perteneciente a la familia de las Acantáceas, originario de la América tropical, se ha extraído una sustancia tintorial azul. En un reporte de Dieserdorff(1940) sobre la flora medicinal de Alta Verapaz, Guatemala, se dice que las hojas de esta planta, puestas en agua hirviente, rinden un colorante muy parecido al índigo o añil. Anteriormente, en El Salvador era

frecuente que las señoras lavanderas usaran "mascones" de sacatinta para imprimirle a la ropa un color azul tenue, o celestino, como lo expresan las amas de casa en las áreas rurales (PANKIA, 1994). El uso más general del sacatinta es en el teñido de ropa blanca interior, da un tinte azulado y se utiliza para teñir diferentes clases de telas, fibra de algodón, mezcra para hacer hamacas, etc. (Guzmán, 1976).

Del pericarpio del fruto de **Marañón** (*Anacardium occidentale L.*), se extrae un tinte negro y corrosivo llamado "cardol"; que debido a las propiedades lechosas y muy adherentes de éste podría utilizarse en la industria textil, pero para esto se deben hacer una serie de pruebas para determinar si es factible o no.

También podría servir como un mordiente para pigmentos provenientes de otras especies las cuales no presentan la firmeza y adherencia total sobre la tela (Cultivo del Marañón, 1996)

2.4.2 ALIMENTOS

Los colorantes naturales siempre han formado parte de la dieta humana y han sido consumidos por un incontable número de generaciones. El deseo de retener el color natural de los alimentos es, así mismo evidente, pero frecuentemente la demanda industrial es tal, que colores adicionales son sugeridos (Empresas-Mundivia, 1999).

Los colorantes naturales son considerados inocuos y consecuentemente las limitaciones específicas en su utilización son menores que las que afectan a los colorantes artificiales.

La **Cúrcuma** se emplea en la cocina y en la fabricación de mostaza económica, en la confección de salmueras y entran en buena proporción en la fabricación de curry.

También se establece que fuera de su aroma y sabor, aporta además su color amarillo, debido a la materia colorante que contiene, la curcumina, al que debe que se le llame "azafrán de las Indias".

Asimismo se usa para colorear margarinas y quesos, como también para colorear productos de confitería. La demanda mundial de los productos derivados de la cúrcuma, se basa en las siguientes utilidades:

- a. Raíces secas. Como especie y como base para la extracción de oleorresina y de aceites esenciales.
- b. Oleorresina. Como aditivo de alimentos en condiciones de colorante saborizante.
- c. Aceite esencial. Por contener un terpeno (curcumeno) el cual es un solvente del colesterol, que también se usa como medicamento; no obstante, su principal uso es también como aditivo de alimentos (Alvarado, 1985).

El **Achiote** (*Bixa Orellana*), planta pequeña que alcanza una altura de 10 a 15 pies, perteneciente a la familia de las Bixáceas y que exhibe un rango de colores que van

desde flores blancas y frutos verdes hasta flores rojas y fruto rojo-oscuro, y cuyas semillas están recubiertas con una membrana pulposa, delgada y resistente, de color que varía de naranja brillante a amarillo rojizo del cual se obtiene el pigmento.

El pigmento del Achiote está compuesto de Bixina y Orellana. La primera es de color rojo, insoluble en agua, pero soluble en alcohol, éter, acetona y cloroformo y es la más importante y de mayor cantidad. La segunda es amarilla y soluble en agua.

La mayor utilización de los extractos de achiote, es en la fabricación de quesos; también se usa como colorante de la mantequilla, principalmente por su contenido de vitamina A.

Los extractos de Achiote son aplicables en diferentes productos de panificación, harinas de repostería, azúcares de repostería, productos lácteos, pescado, bebidas, productos de carnes, snacks y mezclas secas; virtualmente cualquier producto alimenticio de color naranja o amarillo puede ser coloreado; tienen buena estabilidad al calor, son más estables a bajas actividades de agua, como la de los productos horneados. Estos productos tienen un pH neutro, donde los colorantes del Achiote son más estables (Alvarado, 1985).

La semilla del Achiote es principalmente cosechada en muchos países tropicales, incluyendo a Bolivia, Ecuador, Jamaica, República Dominicana, Africa Oriental, India

y las Filipinas, pero son Kenya, Perú y Brasil los principales proveedores (Empresas-Mundivia, 1999).

Las flores de **marigold** han sido usadas para obtener harina de marigold por largo tiempo, y en los últimos tres o cuatro años, las industrias han comenzado a producir oleorresinas, las cuales son adecuadas para obtener un color amarillo para las aves de corral. Este producto es principalmente dirigido a la industria avícola, usado para proveer pigmentos naturales en la comida para gallinas ponedoras y como colorante para pollo asado (Empresas-Mundivia, 1999).

2.4.3 COSMETICOS Y PRODUCTOS MEDICINALES

Los colorantes Bixa y Orellana provenientes de la semilla del **Achiote** se han utilizado en medicina para colorear pomadas y ungüentos, para la fabricación de jarabes, como fuente de vitamina A, remedios para enfermedades de la piel y para sanar quemaduras.

También son empleados en la industria cosmética para la elaboración de lápices labiales y jabones (Serrano, 1983)

La hematoxilina proveniente del **Palo de Campeche** es utilizada en histología y sus principales consumidores parecen ser los laboratorios de patología de los hospitales, universidades y compañías farmacéuticas (Aguilar, 1950).

El "**Cardol**", compuesto proveniente del pericarpio del fruto del marañón, se ha utilizado como remedio casero para curar algunas enfermedades de la piel. Con la tintura hecha con el cardol desaparecen verrugas muy pronto, los callos y las carnes malas (fangosidades) superficiales de la piel (Cultivo del Marañón, 1996).

De los cuerpos secos de la Cochinilla hembra es extraído el ácido carmínico (Carmín), el cual además de su uso como colorante textil y en la industria alimenticia es utilizado también en la industria cosmética (Empresas-Mundivia, 1999).

El cocimiento de las cortezas y/o madera del **Palo Brasil** y **Palo de Campeche** es bebido para combatir la anemia a nivel casero (PANKIA, 1994).

Las raíces de **Añil** (*Indigofera suffruticosa Mill*) poseen cualidades insecticidas y la planta machacada ha sido empleada como ictiotóxica (PANKIA, 1994).

Los pigmentos naturales tienen una aplicación muy variada; se utilizan en: lácteos, bebidas, alimentos, textiles, fármacos, cosméticos, perfumería y panadería.

Al contemplar las alternativas que sustituyen a los pigmentos sintéticos, se hace aparente que hay algunas formas de resolver este problema, que, al considerarlo en conjunto puede proveer una solución:

- Los métodos necesitan ser investigados para reducir las pérdidas de color que ocurren naturalmente, tal como mejorar la recolección y técnicas de procesamiento.
- Las plantas reproductoras deben ser fortalecidas para dar más consideración a los perfiles de color.
- Las técnicas para intensificación de las plantas colorantes deben ser posteriormente investigadas, incluyendo el uso de biorreguladores y de modificación química después de la extracción de pigmentos.
- La adición de pigmentos naturales a aquellos productos con insuficiencia de color, deben investigarse para proveer un grado satisfactorio de identidad del producto.

Los pigmentos naturales deben presentarse tanto en forma de polvos como extractos.

2.5 MERCADO DE COLORANTES NATURALES

La demanda de los pigmentos naturales en general, ha venido en aumento como consecuencia del alto costo de los pigmentos sintéticos, y sobre todo por los efectos nocivos de éstos últimos, comprobados en la salud humana cuando son utilizados en las diferentes áreas industriales.

2.5.1 IMPORTACIONES

Con el objeto de que se tenga una idea clara del mercado de pigmentos, se presentan cuadros de importaciones de estos para Centroamérica, durante el período de 1970 a 1981, (SIECA, 1984), las cuales son descritas en la forma siguiente:

- Importación de pigmentos en general (naturales y sintéticos). Cuadro 2.3
- Importación de pigmentos sintéticos. Cuadro 2.4
- Importación de pigmentos naturales.

Para el siguiente período se muestran tablas del BCR (Banco Central de Reserva) de la siguiente forma:

- Importaciones de Materiales para teñir y curtir, pigmentos y pinturas (Cuadro 2.5)
- Importaciones de Materias colorantes naturales, pigmentos y tintas. (Cuadro 2.6)

Al analizar el cuadro 2.3, se puede observar que las importaciones de pigmentos venían en aumento desde 1970 hasta el año de 1972, luego en 1973 se dio una disminución brusca de éstas debido posiblemente a que en este año tuvo lugar un incremento en el precio del petróleo. Esta situación se siguió manifestando aún en 1974 y, en 1975 se tuvieron nuevamente importaciones altas, aumentando continuamente hasta 1977 para que luego en 1978 disminuyeran bruscamente y se mantuvieran aproximadamente iguales hasta 1981.

Esta disminución coincide con la fecha en la que se comienza a dar una situación conflictiva para Centroamérica.

Para poder hacer un mejor análisis de la demanda de pigmentos naturales, es necesario tomar en cuenta el porcentaje en el consumo de éstos año con año. Para esto se ha construido el Cuadro 2.5

En el período comprendido entre 1970-1973 puede observarse que la demanda de pigmentos naturales disminuye año con año, en cambio la de pigmentos sintéticos aumenta, y en 1973 el consumo de pigmentos naturales fue menor que el consumo de pigmentos sintéticos.

En 1974 se dio un aumento del 51.29% en la demanda de pigmentos naturales, que puede suponerse que es una repercusión del alza del petróleo en 1973. A partir de entonces el porcentaje en la demanda de pigmentos naturales es mayor que la de los años 72 y 73 y nuevamente mayor que la de los sintéticos, aunque ésta no ha presentado un comportamiento fácil de predecir.

De lo anterior puede concluirse, que en la etapa en que se da la crisis del petróleo, la demanda de pigmentos naturales aumenta considerablemente por lo que a medida que esta situación sea mucho más crítica, necesariamente tiene que buscarse una fuente de recursos renovables (como son los vegetales) que abastezca la demanda de pigmentos y colorantes.

Durante el período de 1975 a 1985 el BCR reporta datos acerca de importaciones de materiales para teñir y curtir, pigmentos y pinturas en miles de colones, según se muestra en el Cuadro 2.6; en ésta se puede apreciar un comportamiento similar a los datos del Cuadro 2.3 (SIECA, 1984), con una disminución en 1981 por los motivos antes mencionados, luego desde 1982 hasta 1985 los datos de dichas importaciones han seguido un comportamiento inestable (de altos y bajos), encontrándose en 1983 los valores más altos en ese período.

El Cuadro 2.7, también del BCR, presenta las importaciones de materias colorantes naturales, pigmentos y tintas entre 1986 y 1998, según las cuales en El Salvador, por lo general, ha existido una tendencia al aumento de importaciones de materias colorantes de forma marcada en los últimos años, lo cual se podría deber a una mayor demanda de productos naturales.

Con respecto a los pigmentos y tintas de origen sintético, en el Cuadro 2.7, se observa un comportamiento distinto a las materias colorantes de origen natural, con tendencias más marcadas a la disminución, debido probablemente a que muchos países están prohibiendo su uso por sus efectos sobre el medio ambiente.

CUADRO 2.3 IMPORTACIONES DE COLORANTES EN GENERAL (NATURALES Y SINTETICOS)

IMPORT. POR	MERCADO COMUN CENTROAMERICANO		GUATEMALA		EL SALVADOR		HONDURAS		NICARAGUA		COSTA RICA		
	AÑO	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM
	1970	4,146.869	3,032.381	1,257	1,879.74	1,290.75	679.93	302.43	350.92	630.76	786.98	597.32	351.50
	1971	5,136.96	3,121.10	1,555	9,44.91	2,152.15	579.84	578.39	435.98	711.60	749.71	965.94	410.66
	1972	6,066	3,372	2,199	1,499	1,294	557	390	259	875	748	1307	307
	1973	7	4	3	2	1	1	-	-	2	0	0	1
	1974	22	28	11	4	4	1	-	-	4	4	1	17
	1975	8,128	2,339	3,245	903	1,722	426	513	226	1,091	412	1,503	371
	1976	9,557	2,979	3,978	1,105	2,050	519	341	135	1,454	838	735	382
	1977	16,881	8,553	4,893	3,006	4,119	1,839	1,420	939	2,744	1113	3,703	1,656
	1978	12,358	3,544	4,327	1,226	3,026	586	1,215	578	1,057	565	2,733	588
	1979	11,765	3,037	4,490	1,212	3,261	598	1,120	403	415	185	2,476	638
	1980	12,784	3,819	5,080	1,259	2,227	324	998	445	1,869	1079	2,611	712
	1981	12,217	2,944	5,235	1,368	2,294	367	1,067	343	1,542	301	2,169	566

M\$CA : Miles de pesos centroamericanos (Un Peso Centroamericano \equiv Un Dólar).

TM : Toneladas métricas

FUENTE : SIECA, (1984).

CUADRO 2.4 IMPORTACIONES DE COLORANTES SINTÉTICOS EXCEPTO INDIGO ARTIFICIAL

IMPORT. POR AÑO	MERCADO COMUN CENTROAMERICANO		GUATEMALA		EL SALVADOR		HONDURAS		NICARAGUA		COSTA RICA	
	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM
1970	3,206.84	862.57	1,036.39	259.40	1,166.09	342.98	191.96	86.62	392.99	110.90	419.41	62.68
1971	4,125.85	981.22	1,256.89	301.42	1,194.24	268.95	414.36	164.57	462.64	123.92	797.72	122.31
1972	5,081	1,556	1,866	906	1,172	245	265	127	642	131	1137	147
1973	4	2	3	2	-	-	-	-	1	0	-	-
1974	13	4	11	4	0	0	-	-	0	0	1	0
1975	6,731	920	2,786	408	1,480	173	390	88	849	130	1,226	121
1976	7,339	1,052	3,181	514	1,736	216	143	35	819	141	1,458	146
1977	9,024	1,263	3,050	486	2,383	298	324	87	1,086	127	2,181	265
1978	9,817	1,309	3,653	518	2,668	264	644	180	717	92	2,135	254
1979	9,484	1,309	3,703	456	2,867	331	801	214	244	28	1,869	278
1980	9,603	1,064	4,214	475	1,749	147	684	187	1,075	92	1,881	164
1981	9,651	1,184	4,064	419	1,877	189	773	198	1,304	207	1,632	171

M\$CA : Miles de pesos centroamericanos (Un Peso Centroamericano \equiv Un Dólar).

TM : Toneladas métricas

FUENTE : SIECA, (1984).

**CUADRO 2.5 PORCENTAJE DE VOLUMEN DE IMPORTACIONES DE
PIGMENTOS NATURALES Y SINTETICOS (EXCEPTO EL
INDIGO) DEL MERCADO CENTROAMERICANO.**

AÑO	PIGMENTOS SINTETICOS	PIGMENTOS NATURALES
1970	28.86%	71.14%
1971	31.85%	68.15%
1972	46.87%	53.13%
1973	66.67%	33.33%
1974	15.38%	84.62%
1975	39.88%	60.12%
1976	36.24%	63.76%
1977	14.94%	85.06%
1978	36.98%	63.02%
1979	43.16%	56.84%
1980	27.93%	72.07%
1981	40.37%	59.63%

FUENTE: SIECA, 1984

CUADRO 2.6 IMPORTACIONES DE MATERIALES PARA TEÑIR Y CURTIR, PIGMENTOS, PINTURAS EN EL SALVADOR

AÑO	MATERIALES PARA TEÑIR Y CURTIR	PIGMENTOS Y PINTURAS
	Miles Colones(¢)	Miles Colones(¢)
1975	6,084.00	9,996.00
1976	7,190.00	18,706.00
1977	9,733.00	21,537.00
1978	9,460.00	20,951.00
1979	9,928.00	24,037.00
1980	7,149.00	19,809.00
1981	6,429.00	15,362.00
1982	8,701.00	21,801.00
1983	12,002.00	18,949.00
1984	8,540.00	15,890.00
1985	10,908.00	16,465.00

FUENTE: (B.C.R. 1999)

CUADRO 2.7 IMPORTACIONES DE MATERIAS COLORANTES, PIGMENTOS Y TINTAS EN EL SALVADOR.

AÑO	MATERIAS COLORANTES		PIGMENTOS Y TINTAS	
	Miles Colones(¢)	Miles Kilogramos	Miles Colones(¢)	Miles Kilogramos
1986	22,837.00	651	11,136.00	792
1987	23,562.00	764	12,010.00	803
1988	19,558.00	692	10,831.00	641
1989	31,706.00	744	10,957.00	460
1990	47,994.00	882	17,108.00	587
1991	68,555.00	1,164	41,930.00	2,490
1992	80,243.00	1,159	48,755.00	3,230
1993	100,911.00	1,383	47,380.00	1,409
1994	100,389.00	1,635	44,923.00	2,210
1995	132,248.00	2,516	44,966.00	1,235
1996	112,779.00	1,864	9,319.00	239
1997	123,489.00	2,874	13,444.00	391
1998	101,518.00	2,336	8,374.00	207

FUENTE: (B.C.R., 1999)

2.5.2 EXPORTACIONES

Para las exportaciones de colorantes se tiene que: Para las de origen sintético, el BCR no reporta datos de exportaciones de materias colorantes sintéticas a pesar de que existen en el país industrias que producen este tipo de productos.

Las exportaciones de colorantes naturales en el área Centroamericana, son casi nulas debido a que no existe una industria de pigmentos naturales, sin embargo, en el Cuadro 2.8 (SIECA, 1984), muestra datos de exportaciones de extractos para teñir de origen natural para el período de 1970 hasta 1984, donde se observa que entre 1970 y 1971 hubo una gran disminución hasta desaparecer prácticamente desde 1981. Ni el BCR ni el SIECA reportan datos de exportaciones de colorantes naturales desde 1984 hasta la fecha.

A partir de 1998, en el Departamento de Chalatenango, se inició la reactivación de la producción de añil "orgánico-ecológico" en pequeñas comunidades a través de la Fundación para la Cooperación y Desarrollo de El Salvador (CORDES), pero su producción no fue lo suficientemente grande ya que sólo se obtuvo un rendimiento de 20 kg. por manzana, de 5 manzanas cultivadas. Sin embargo, cada kilogramo de añil fue vendido al exterior a \$50.00 dólares, lo cual representa un alto rendimiento económico debido a la gran demanda de productos ecológicos en Europa y Estados Unidos de América.

CUADRO 2.8 EXPORTACIONES DE EXTRACTOS PARA TEÑIR DE ORIGEN NATURAL

IMPORT. POR	GUATEMALA		EL SALVADOR		HONDURAS		NICARAGUA		COSTA RICA	
	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM	M\$CA	TM
AÑO										
1970	33	33	8,842	4,465	-	-	849	246	18	3
1971	-	-	152	218	-	-	-	-	-	-
1972	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
1973	18	4	3	1	-	-	-	-	-	-
1974	11	4	4	1	-	-	4	2	1	-
1975	0	0	-	-	2	3	-	-	-	-
1976	7	1	3	1	-	-	-	-	-	-
1977	7	8	10	6	0	0	-	-	0	0
1978	23	25	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	22	54	0	0	-	-	-	-	-	-
1980	1	1	6	51	-	-	-	-	-	-
1981	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	8,350	1	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	2,638	.25	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-

M\$CA : Miles de pesos centroamericanos (Un Peso Centroamericano = Un Dólar).

TM : Toneladas métricas

FUENTE : SIECA, (1984).

2.6 ESPECIES VEGETALES SALVADOREÑAS CON POSIBILIDAD DE EXTRAER PIGMENTACION (Guzmán, 1976; PANKIA, 1994)

La utilización sostenible del bosque es una de las alternativas propuestas modernamente para promover el uso racional y la conservación de los recursos naturales.

Del bosque natural se pueden aprovechar una gran cantidad de plantas para diferentes usos; entre éstas, las tintóreas son elegibles para garantizar un aprovechamiento racional de las áreas naturales. Su utilización, ya sea artesanal o a pequeña escala industrial, traería beneficios económicos para la población aledaña al bosque, y se podrían sentar las bases para modificar las conductas depredatorias de la población en comportamientos de respeto y protección del medio natural.

Los materiales tintóreos son extraídos o aislados de distintos órganos de ciertos árboles y de una cantidad relativamente grande de hierbas.

Del literal (a) al (c) de esta sección se listan las principales especies nativas, introducidas y exóticas presentes en la flora salvadoreña que pueden ser aprovechadas para la obtención de colorantes.

a) **EL SACATINTA:** "Jacobinia spicigera Bailey"

Pertenece a la familia de las acantáceas (Ver figura 2.14), cuyas hojas estrujadas en agua caliente dan una solución azul. El color de esta solución vira al rojo con los ácidos. En la sección 3.0 se amplía más sobre esta planta, dado que es el enfoque de estudio de este proyecto.



Fig. 2.14 Sacatinta, "Jacobinia spicigera Bailey"
Kojima, Hideo (1984)

b) **EL MASHASTE o MAJASTE:** "Arrabidaea chica Verlot"

Familia de las Bignoniaceas, Bejuco leñoso nativo cuyas hojas maduras (de color rojo) son puestas en ebullición junto con el Tule (*Cyperus canus* Presl.), empleado en la elaboración de petates, los tiñen proporcionándoles un color rojo bien firme. Esta cualidad ha servido para que los artesanos le pongan ornamentaciones rojas o café rojizas ("achocolatadas") a los petates (esteras) y a los sombreros de palma.

A veces, cuando están cociendo las hojas agregan clavos viejos a la solución para reafirmar el color.

c) PALO MORA, ARBOL DE MORA, MORA: "Chlorophora tinctoria L. Gaudichaud"

Arbusto o árbol de la familia de las Moráceas, originario de América tropical y muy común en muchas partes de El Salvador. De su madera fina y dura, de naturaleza astringente y conocida comercialmente como "fustic", se extrae un tinte amarillo tenue (Ver figura 2.15).



**Fig. 2.15 Palo de Mora, "Chlorophora tinctoria L. Gaudichaud"
Jardín Botánico La Laguna (Marzo, 1999)**

d) SANGRE DE TORO, TIÑECANASTA: "Bocconia arborea Watson".

Arbusto de la familia de las Papaveráceas, es una especie tintórea bien interesante ya que su savia, además de contener una materia colorante amarilla o anaranjada, al ingerirse produce alteraciones en el sistema nervioso central ocasionando luego problemas respiratorios y circulatorios. Es muy común en las montañas, la madera y la corteza de esta planta ha sido utilizada para teñir los canastos, así como también en curtiembres. En la época precolombina, los indios mexicanos utilizaban la savia para colorear plumas. La B. arborea es nativa desde el sur de México hasta la república de Panamá.

e) NACASCOLOTE o TINACO: "Caesalpinia criara Wild".

Este árbol conocido en Venezuela con el nombre de Dividivi, nombre comercial con el que se exportaba su madera como producto de tenería y como producto tintóreo para obtener color negro y azul. Este árbol se emplea todavía en Izalco para preparar la tinta con que se hacen dibujos y adornos en la zona de Izalco.

f) EL MANGLE : "Rhizophora mangle L".

Arbol de la familia de las Rizoforáceas, típico de los esteros, pantanos y bosques salados (Ver figura 2.16), es una de las plantas que localmente se encuentran seriamente presionada debido a que su madera es excelente para construcción de pilotes, estructuras de botes, horcones de ranchos y champas (ramadas) y también como leña, pues arde lentamente, no chispea y proporciona buen carbón. En un pasado no muy lejano, en nuestro país se usaba la corteza en polvo en las

tenerías para curtir cueros. También, de las raíces zancudas, características en esta especie, se obtiene un tinte rojo que se ha ocupado para teñir pisos y muebles.



Fig. 2.16 Mangle, "Rhizophora mangle L"
(La Prensa Gráfica, 1999)

g) BRASIL, PALO BRASIL: "Haematoxylon brassileto Karsten"

Familia de las Leguminosas (Cesalpínáceas), arbusto muy común en las zonas de Comasagua, Coatepeque, Sierra de Apaneca. Este árbol crece en las Indias orientales, América del Sur y Central y África (Ver figura 2.17). El término palo brasil se deriva de la palabra braza, que significa "ardiente como el fuego". De este se extrae un colorante rojo conocido como "**bracilina**". Recién cortada, la madera muestra un color anaranjado vivo; luego, al oxidarse completamente se torna roja.

El cocimiento de la corteza y/o madera es bebido para combatir la anemia. Esta especie se halla fuertemente amenazada de extinción.



**Fig. 2.17 Palo Brasil, "*Haematoxylon brasiletto* Karsten"
Jardín Botánico La Laguna (Marzo, 1999)**

h) El CAMOTILLO: "*Curcuma longa* L."

Familia de la Malpigiaceas, planta muy común, cuyos rizomas contienen un jugo de color amarillo, que ocupan los tejedores artesanales para teñir de amarillo el algodón.

i) NACASCOLO o GUACHIMOL: "Pithecollobium pachyrus Pittier"

Arbol de la familia de las Mimosáceas, conocido solo en El Salvador. Da un tinte azul-negro para teñir piezas de vestir y también para escribir.

j) PALO DE CAMPECHE, BRASIL: "Haematoxylon Campechianum L."

Familia de las Cesalpináceas, crece en la América Central y en las Indias Orientales (Ver figura 2.18). En El Salvador es bastante común en la zona de Zacatecoluca. Su madera roja, que da un tinte firme, cuyo principio activo es la "hematoxilina", una sustancia tintórea de amplio uso, en especial en técnicas de tinción microscópica y en la industria de la lana, es obtenido a partir de este árbol leguminoso nativo de América tropical, al igual que la hemateína.

Al primer corte, la madera presenta una coloración café rojiza, posteriormente pasa a rojo sangre y por último, al oxidarse totalmente, se vuelve café violácea. La savia fresca presenta un color blanco o amarillento. Después de la conquista la madera de este árbol se exportaba como material colorante, y como los mayores embarques se hacían en México, por el puerto de Campeche, este material era comercializado bajo el nombre de Palo de Campeche.

Medicinalmente, se ha utilizado en nuestro país de la misma manera que el H. Brassiletto. Ambas plantas, están seriamente amenazadas de extinción.

anteriormente el principal cultivo de exportación del resto de repúblicas centroamericanas y del estado mexicano de Yucatán. Las raíces poseen cualidades insecticidas y la planta machacada ha sido empleada como ictiotóxica.



Fig. 2.20 Jiquilite, "*Indigofera suffruticosa* Mill"
Kojima, Hideo (1984)

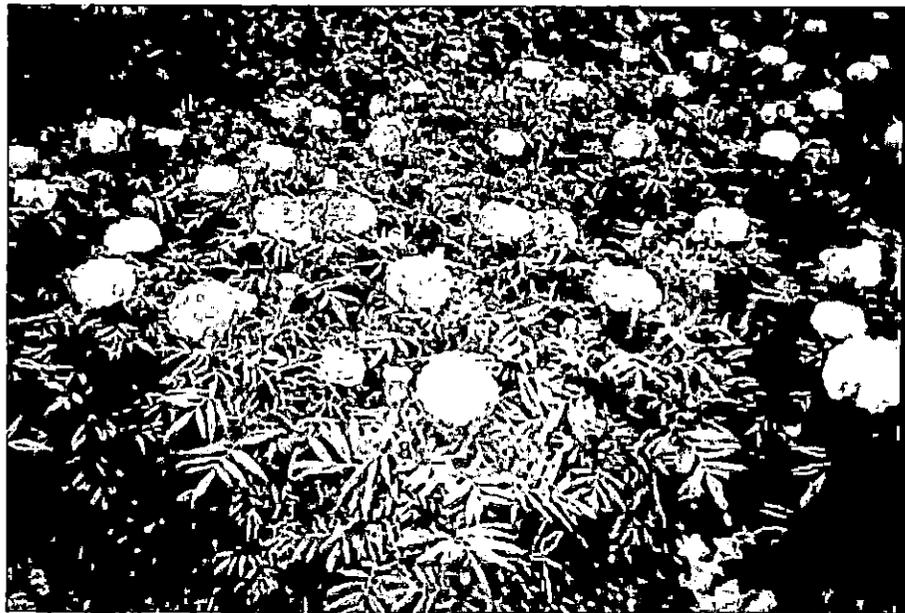
o) OJO DE VENADO: "*Mucuna andreana* Micheli"

Bejuco de la familia de las Fabaceas, cuyas semillas grandes producen siempre un negro vegetal firme, y unido al majaste un color verde firme.

p) EI TROMPILLO: "*Nectandia Simata* Mez"

Arbol de la familia de las Lauráceas, de su madera y cáscara se puede extraer un tinte amarillo.

q) **MARIGOLD, FLOR DE MUERTO:** "Tagetes erecta L.". El marigold es una hierba anual compuesta originaria de México que es extensamente cultivada por sus propiedades tintóreas. Las flores rinden un tinte amarillo empleado para darle color a productos alimenticios (Ver figura 2.21). En nuestro país existen algunos cultivos de esta planta, los cuales son exclusivamente para exportación. En el departamento de Sonsonate hay un plantel industrial dedicado al procesamiento de la flor. En la India se ha utilizado para teñir ropas.



**Fig. 2.21 Marigold, "Tagetes erecta L."
Jardín Botánico La Laguna (Marzo, 1999)**

r) **AGUACATE :** "Persea americana Mill".

El aguacate es un árbol de una altura media oriundo de México y Centroamérica cuyos frutos comestibles (Ver figura 2.22), de pulpa altamente energética presentan una almendra relativamente grande. Esta última rinde un tinte café -

amarillento aparentemente indeleble en ropa, por lo que ha sido empleado caseramente para marcar pañuelos y otras prendas.

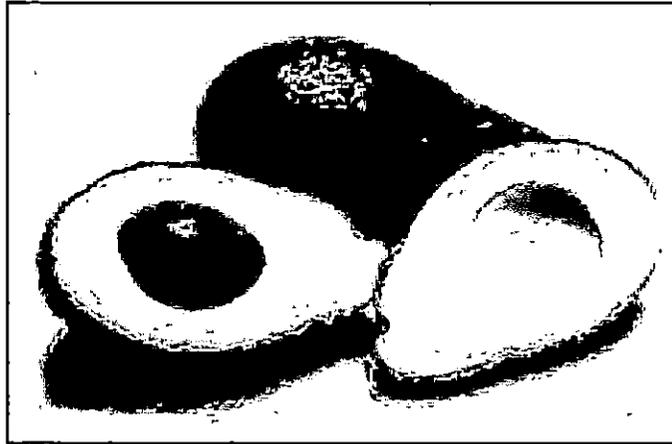


Fig. 2.22 Aguacate "Persea americana Mill
<http://WWW.elromeral.com>

s) IRAYOL, TIÑEDIENTES: "Genipa americana L."

Los frutos del irayol, además de tener una pulpa dulzona comestible, producen un tinte negro que mancha la ropa y que de acuerdo con la literatura ha sido usado por los aborígenes brasileños para hacerse tatuajes. El extracto o jugo de los frutos ha sido ocupado también por los indios Cunas de Panamá para ahuyentar al pez-gato, un parásito que los ataca. Este pequeño árbol se halla distribuido de Guatemala a Perú y Brasil, incluyendo las Antillas (Ver figura 2.23). La pulpa de los frutos contiene niveles significativamente altos de hierro y riovflavina, lo mismo que de taninos (estos últimos, en mayor cantidad en la corteza).



Fig. 2.23 Irayol, "*Genipa americana* L."
Jardín Botánico La Laguna (Marzo, 1999)

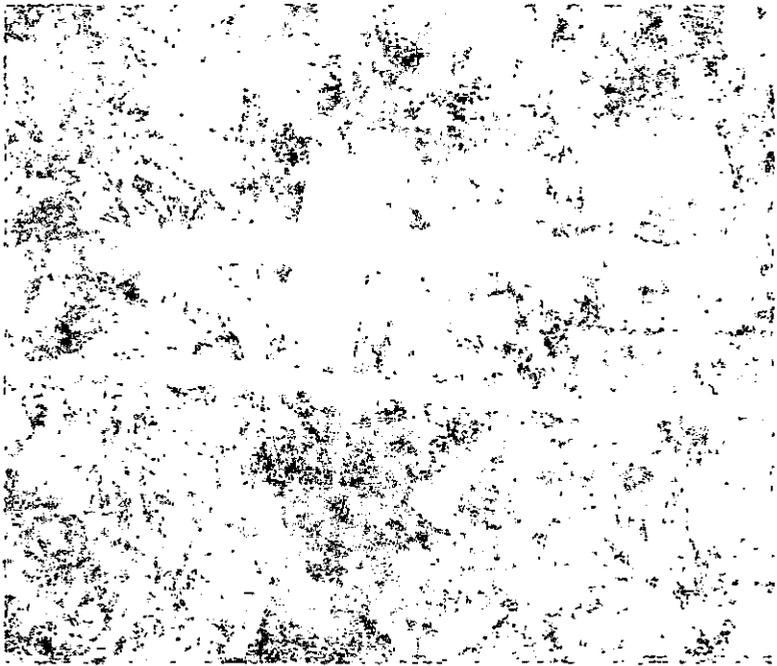
t) NANCE: "*Byrsonima crassifolia* L. Kunth"

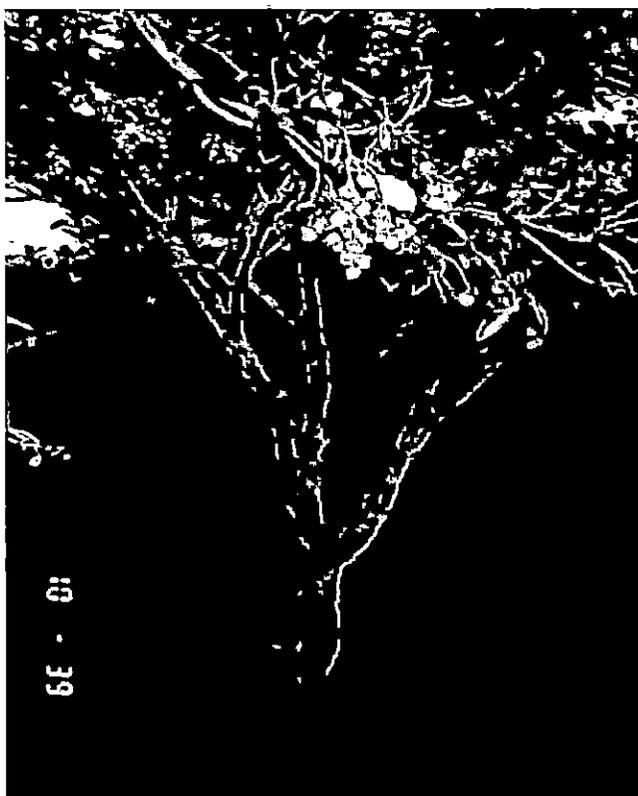
Arbol pequeño perteneciente a la familia de las malpigiáceas y oriundo de América tropical (incluyendo las Antillas), cuya corteza es rica en taninos (más del 28%), razón por la cual es muy utilizada en curtiembre de pieles. También los pellejos de los frutos comestibles se han empleado para teñir algodón (Ver figura 2.24).

1870.

The first part of the report is a general
 description of the country and its
 resources. It is followed by a
 detailed account of the various
 industries and occupations of the
 people. The report concludes with
 a summary of the principal
 facts and a list of the principal
 places mentioned.

The second part of the report is a
 detailed account of the various
 industries and occupations of the
 people.





**Fig. 2.24 Nance, "*Byrsonima crassifolia* L. Kunth"
Finca Los Jocotes, Chalatenango (Julio, 1999)**

u) OTRAS TINTOREAS ENCONTRADAS EN EL SALVADOR

Muchas otras plantas, entre nativas, introducidas, han sido empleadas con propósitos tintoriales. Por ejemplo, el mango (*Mangifera indica* L.), un árbol anacardiáceo de frutos comestibles, originario del Sudeste de Asia y bien naturalizado en nuestro país. Aquí en El Salvador, algunos niños han usado la almendra de la semilla fresca para pintar paredes produciendo manchas inicialmente indelebles que tardan bastante en desvanecerse. En la literatura se ha reportado que la orina de las vacas alimentadas con hojas de mango se obtiene un tinte amarillo denominado **Indian yellow** (amarillo indio), **Jaune indien** y **Monghyr Piuri**. Resistente a la luz y se usa en pintura, óleo y acuarela.

Otra planta no nativa de interés es el **marañón** (*Anacardium occidentale* L.), una anacardiácea brasileña muy abundante en El Salvador, ya que el jugo de sus "frutos" (tálamos o pedúnculos del fruto) maduros contienen un principio astringente, probablemente de naturaleza tanífera (Ver figura 2.25). Dicho jugo ocasiona manchas oscuras indelebiles sobre la ropa, algo que ocurre entre los niños escolares que con frecuencia "chorrean" sus prendas de vestir con todo tipo de alimento.

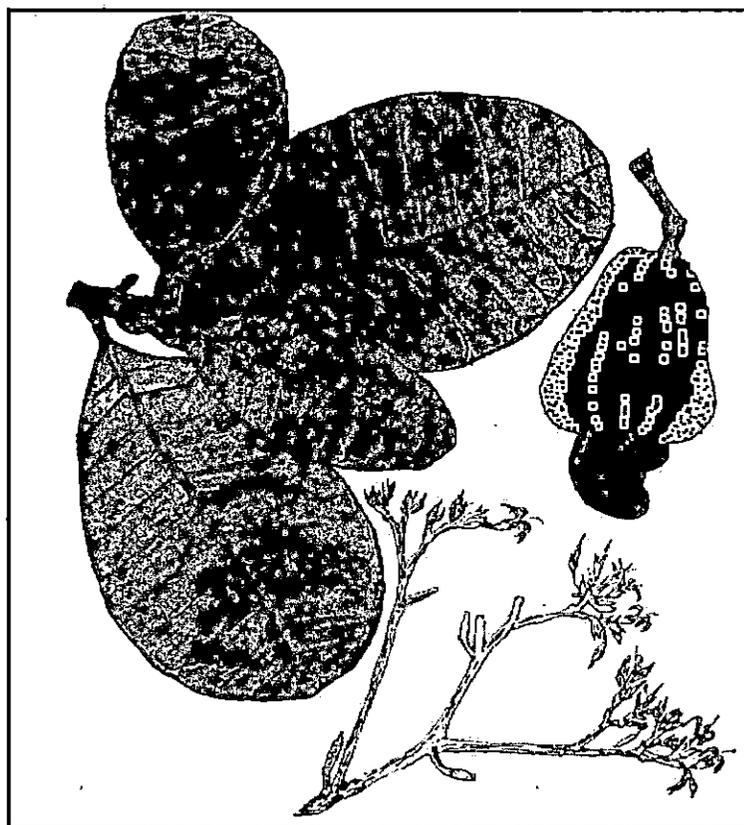


Fig. 2.25 Marañón, "*Anacardium occidentale* L."
El Cultivo del Marañón (1996).

En El Salvador existen algunas plantas que poseen, o se sospecha que tienen, algún principio tintorial que sería excelente investigar, por ejemplo: La corteza y pulpa del fruto de la anona colorada o silvestre (*Annona reticulata*), corteza y frutos.

del conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), corteza y fruto del icaco montés o mangle de teishcal (*Clusia guatemalensis*) (Ver figura 2.26), flores del choncho (*Centrosema pubescens*), pulpa arilar de la semilla del marañón o talpajocote (*Melicocca bijugatus*), frutos y corteza del iril o irire (*Coccoloba floribunda*), frutos y corteza del papaturro (*Coccoloba caracasana*), frutos de la pitajaya o pitaya (*Acanthocereus pentagonus*), la madera del guachipilin (*Diphysa robinoides*), el follaje de la reseda o resedo (*Lawsonia inermis*), pencas de la sábila (*Aloe barbadensis*), flores de la hierba de santa lucía (*Commelina erecta*), corteza de sapote (*Pouteria mammosa*), toda la planta de la suelda con suelda (*Anredera vesicaria*) (ver figura 2.27), corteza y madera del taray (*Eysenhardtia adenostylis*), las hojas del tamarindo (*Tamarindus indica*) y las flores de la violeta (*Viola odorata*).

Existen muchas especies de las cuales puede extraerse pigmentos o colorantes para usos diferentes. Guzmán (1976), presenta un listado de plantas tintóreas en su libro "Especies Útiles de la Flora Salvadoreña", que se presenta en el cuadro 2.9 .

Es importante hacer notar que el libro del cual se ha tomado el cuadro 2.9 fue escrito en 1918, y algunas de estas especies pudieron haberse extinguido, como fue el caso del Campeche. Pank (1984), dice que es de dudar que el campeche haya existido en el país, pues es fácil confundirlo con el Palo de Brasil, ya que pertenecen a la misma familia.



Fig. 2.26 Suelda con suelda,
"Anredera vesicaria" (Pankia, 1994)



Fig. 2.27 Icaco montés,
"Clusia guatemalensis Hemsl." (Pankia, 1994)

En el cuadro 2.9, se presenta un listado de las especies vegetales que producen pigmentos o colorantes, construido a partir de la información obtenida.

Muchas especies de la flora salvadoreña nos originan una serie de pigmentaciones o coloraciones, las que pueden ser utilizadas para diferentes industrias (Textileras, Alimenticia, farmacéuticas, etc.); el enfoque que a continuación se presenta va encaminado a la obtención de pigmentos naturales que puedan ser útiles en la Industria textil, concentrando este estudio en una especie en particular utilizada unas décadas atrás en las zonas rurales de El Salvador, dicha especie es conocida como Sacatinta ("Jacobinia spicigera Bailey").



CUADRO 2.9 PLANTAS TINTOREAS DE LA FLORA SALVADOREÑA

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	COLORANTE	PARTE DE LA PLANTA	COLOR
Achiote	Bixa Orellana	Orellana, Bixina	Semilla	Amarillo, Rojo-ocre
Aromo	Acacia farnesiana L.	-	Flores	Amarillo
Azafrán	Crocus sativus L.	Crocina	Flores	Amarillo-rojizo, Pardo-rojizo
Carnotillo	Curcuma Longa	Curcumina	Tubérculo y flores	Amarillo
Limoncillo	Pectis elongata	-	Madera	Amarillo
Palo de Mora	Chiorophora tinctoria	Morina	Madera	Amarillo
Reseda	Lawsonia inermis	Teolina	Hojas	Anaranjado-rosa
Ruibardo Caribe	Jatropha podagrica Hook	-	Raíces	Amarillo-rojizo
Sasafras	Sassafras officinalis	-	Raíces	Amarillo
Taray	Eysenhardtia adenopstylis	-	Madera	Amarillo-moreno
Campeche	Haematoxylon campechianum	Hematoxilina	Madera	Rojo-vivo
Copaibero	Copaifera Officialis L.	-	Corteza	Encarnado
Ebano	Diospyros Ebenaster Retz	-	Madera, Tronco	Rojo-ocre, morado, negro
Jalapa, Bella de Noche	Ipomoea jalapa L.	-	Flores	Púrpura firme
Mangle Colorado	Rhizophora mangle	-	Corteza	Rojo-ocre
Nance	Byrsonima crassifolia	-	Corteza	Encarnado
Palo Brasil	Haematoxylon brasiletto	Bracilina	Corteza y Madera	Rojo-ocre
Papalón	Coccoloba uvifera	-	Madera	Rojo-vivo
Pitahaya	Acanthocereus pentagonus	-	Fruto	Carmín
Suelda c/suelda	Anredera vesicaria	-	Fruto	Rojo
Zapote Montés	Pouteria mammosa	-	Corteza	Rojo
Anagalide Azul	-	-	Flores	Azul
Hierba de Pollo	Commelina palida	-	Hojas y Tallos	Azul
Jiquilite	Indigofera Suffruticosa	Indigotina	Hojas y Tallos	Azul-irizado

CUADRO 2.10 ESPECIES VEGETALES UTILES PARA EXTRAER COLORANTES

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	COLORANTE	PARTE DE LA PLANTA	COLOR
Azafrán	<i>Crocus sativus</i> L.	Crocina		Amarillo-rojizo, Pardo-rojizo
Clavo de Olor	<i>Cartophilus aromaticus</i>	-	Flores	Pardo-rojizo
Paprika	<i>Capsicum annum</i>	Capsantina	Fruto	Café-rojo
Orchilla	<i>Roccella tintoria</i>	-		Violeta
Cártamo	<i>Carthamus tintorius</i>	-		Rojo
Alkanet	<i>Anchusa tintoria</i>	Alkannin		Azul
Remolacha roja	<i>Beta vulgaris</i>	Betanina	Toda la planta	Rojo oscuro
Quercitrón	<i>Quercus tintoria</i>	Quercetina		Café
Marigold	<i>Tagetes erecta</i>	Zeasantina	Flores	Amarillo
Margarita	<i>Antheris tintoria</i>	-		Amarillo oscuro
	<i>Coreopsis tintoria</i>	-		Rojo
Eucalipto	<i>Eucaliptus cinerea</i>	-		Amarillo
Baya de laurel	<i>Myrica pensilvanica</i>	-		Gris-verde
Pimienta de jamaica (allspice)	<i>Pimenta officinalis</i>	-		-

Nota: En este cuadro no se incluyen las especies citadas por Guzmán en el cuadro 2.9



Fig. 2.18 Flor de Palo de Campeche
***Haematoxylon campechianum* L.**
Kojima, Hideo (1984)

k) PALO DE DRAGO o DRAGONERO: "*Slickingia salvadorensis* Standl"

Arbol de la familia de las Rubiáceas, designado impropriadamente en vocablo vernáculo, con los nombres de Brasil y Campeche; de este árbol se extrae un tinte rosa.

l) El ACHIOTE: "*Bixa orellana* L.". Arbusto pequeño o arbusto mediano o grande, originario de América tropical y perteneciente a la familia de las Bixaceae, es cultivado en los trópicos tanto del Nuevo como del Viejo Continente como planta tintórea y condimentaria. Sus propiedades tintoriales residen en la pulpa arilar que recubre las semillas (Ver figura 2.19), la cual es fuente de un pigmento amarillo que se usa para dar color y sabor a la mantequilla, queso, pomadas y gran

cantidad de recetas gastronómicas. En la antigüedad, los indígenas guerrerros lo usaban para ornamentar su cuerpo. También hay reportes locales que indican su utilización como repelente de insectos.



**Fig. 2.19 Achiote, "Bixa orellana L."
(Pankia, 1994)**

m) El PITO: "Erythrina rubrinervia H.B.K."

Familia de las Malpigiaceas, del cual se extrae un tinte amarillo-ocre.

n) El JIQUILITE: "Indigofera suffruticosa Mill o Indigofera guatemalensis Mociño y Sessé" planta de aporte sub-arbustivo, familia de las Fabáceas, es originaria de América tropical, del cual se extrae el pigmento vegetal del nombre "Indigo o añil" (Ver figura 2.20), de color azul universalmente conocido de cuyo comercio dependía la economía de El Salvador antes que el café. También fue

3.0 EL SACATINTA (*Jacobinia spicigera* Bailey)



Fig. 3.1 SACATINTA (Pankia, 1994)

3.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

En el cuadro 3.1 se presentan los nombres más comunes con los que es conocida la planta Sacatinta "*Jacobinia spicigera* Bailey" y en el cuadro 3.2 se muestra la clasificación taxonómica de la planta:

**CUADRO 3.1 NOMBRES MÁS COMUNES CON LOS QUE SE
CONOCE LA SACATINTA**

Nombre Común	Sacatinta
Nombre Científico	Jacobinia spicigera
Otros nombres	Sacatinta de Lavar, Sacatinte, Tinte

FUENTE: Stanley, (1966)

CUADRO 3.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA SACATINTA

CLASIFICACION	NOMBRE
Reino	Vegetal
División	Espermatófito
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Tubiflora
Familia	Acantáceas
Genero	Jacobinia
Especies	Spicigera, Macrantha, Ecbolium, Mohintli, Scarlatina, tinctoria
Otros nombres	Justicia, Sericographis
Nombres más conocidos en Centroamérica y el Caribe	Charaitzucua, Hierba de añil, Hierba de Santísima Trinidad, Jiquilite, Micle, Mirto del Cerro, Mointli, Mozote, Muicle, Tinta, Sacatinta, Sacatinte, Trompetilla, Yichi-Kaan.

a) JUSTICIA ECBOLIUM

Planta herbácea de 1 y 1/2 vara de altura, ramosa, que forma en los jardines matas frondosas, de hojas alargadas, angostas, aguzadas; flores en espigas terminales, rojo-amarillentas.

Cáliz de 4 ó 5 sépalos; corola más uniforme, de dos labios desiguales, dos estambres, fruto capsular comprimido.

b) JACOBINIA MACRANTHA

Planta de la misma familia que Justicia Ecbolium, ya descrita; tiene los mismos caracteres que ésta.

El género tiene corola de tubo largo con limbo irregular, de labios poco largos, rara vez cortos; antera trifida. Dos estambres, flores amarillo-anaranjadas, formando inflorescencias tirsiformes, muy ornamentales para jardín.

c) JUSTICIA SPICIGERA SCHLECHT. ó JACOBINIA SPICIGERA BAILEY

Esta planta es muy conocida como colorante y a la vez como medicina y, por consiguiente posee varios nombres populares que se presentan en el cuadro 3.2.

Se cultivan por todas partes, que abarcan de la tierra baja de la costa hasta las regiones altas de 1,800m sobre el nivel del mar. Esta planta sin embargo nunca tuvo el papel relevante en la historia económica de Centroamérica como en el caso de *Indigofera*, cuyo extracto ha sido uno de los más importantes artículos de exportación. En cambio ha sido más bien utilizado localmente para dar azulete a las telas blancas. En las tierras bajas de Guatemala, se cultivan en casi todas las casas y también se venden en los mercados de altiplano las ramas frescas en grandes manojos para satisfacer las demandas de los hogares tradicionales del país. También se utilizaba mucho para suministrar el

fermento que acelera el proceso de fermentación del añil y a la vez era muy popular como medicina para curar casi todas las enfermedades, así como diarrea, cólico, disentería, indigestión, estreñimiento, debilidad, tos, gripe, picadura, inflamación de la piel, quemaduras, sudor, blenorragia, pielitis, flujo, dismenorrea, etc.

En China y Japón, desde épocas muy antiguas, también se utilizaba como medicina o remedio para evitar el mal de los insectos dañinos. En un libro antiguo de la dinastía Han (25-220 d.C.) de China, se le menciona como el remedio excelente para "contrarrestar el efecto venenoso de diversos insectos o culebras ponzoñosos". Y los campesinos del Japón se ponían los trajes teñidos en el campo para ahuyentar víboras, sanguijuelas e insectos venenosos, en Awa de la provincia Tokusima (tierras de añil en Japón), se acostumbraba dar una pizca de barro de añil a los niños enfermos de gripe, diarrea o cólico. En todo el mundo se conocen casos en que se usa el añil como medicina. En fin, es de destacar el hecho que los hombres encontraban los mismos efectos curativos en el añil no sólo en Europa y Asia, sino hasta en el nuevo continente.

El método más primitivo de teñir con hojas frescas de añil, podría haber sido inventado cuando los hombres se dieron cuenta de que se pintaban de azul las manos y dedos al cortar o restregar las hojas de añil con el fin de obtener el remedio y que el color se volvía aún más fuerte al lavarse con agua o al echarle la ceniza. Y al mismo tiempo que empezaban a teñir las telas o hilos por este

método, comenzarían también a teñirse el cabello que, por ser de fibra animal, debería haber sido fácilmente teñido.

Es un arbusto que por lo usual es densamente ramificado, crece verticalmente de 1 a 1.5 metros de alto, sus hojas son pequeñas de forma ovaladas u oblongas-lanceoladas de 5 a 18 cm de largo y de 2 a 6 cm de ancho, agudas y redondeadas en su base, a menudo ennegrecidas cuando están secas. Sus flores son usualmente de color naranja pero a veces palidecen a rojo o escarlata. Con pétalos de 1.5 cm de largo aproximadamente. La mayoría de las especies de Sacatinta, tienen hojas muy pequeñas y finas (Stanley, 1966).



**Figura 3.2 "Jacobinia spicigera Bailey (Schlecht.) "
Jardín Botánico La Laguna (Marzo, 1999)**

d) JUSTICIA TINCTORIA (HENMSL) D. GIBSON

Esta planta era conocida antes con el nombre científico de *Jacobinia tinctoria*. Los nombres populares de esta planta en zonas de Centroamérica y el Caribe son Azul, Azul de mata, Cuajatinta, Panciga, Pata de Gallo, Punciga, Sacatinta, Tebi-ka y Tinta.

Se cultiva igual que *Justicia spicigera* en Escuintla, Jalapa y posiblemente en otros departamentos más de Guatemala. Aunque se confunde a menudo con *J. Spicigera*, ésta tiene flor y corona fusiforme. Así mismo, se utiliza para dar el azulete a las telas blancas en un baño de agua tibia (menos de 60 grados centígrados).

3.2 DATOS AGRONOMICOS

Crece en bosques húmedos o secos, cerca de 1800 metros sobre el nivel del mar. Originario de la América tropical, su cultivo se encuentra en casi todas las partes habitadas de Guatemala: Alta Verapaz; Chimaltenango, Guatemala, Huehuetenango, Petén, Quezaltenango, Sololá; desde el sur de México, Belice a Honduras y El Salvador, y hacia el sur de Costa Rica (Stanley, 1966)

Esta planta, al igual que el Camotillo ó Cúrcuma, se cultiva en climas tropicales y subtropicales. Requiere de lluvias abundantes y buena humedad en el suelo y el ambiente, así como de una elevación desde el nivel del mar hasta 800 metros. Se da principalmente a orillas de los ríos, en lugares frescos y húmedos (Guzmán, 1976).

Para su desarrollo requiere suelos arenosos, humíferos y no muy profundos, sin embargo, se puede desarrollar en otros tipos de suelos.

3.3 USOS DE LA PLANTA SACATINTA

Estas plantas son de importancia económica considerable en algunas partes de Centroamérica, principalmente en Guatemala y se usan más comúnmente en línea de lavandería a manera de "mascones" para el teñido de ropa interior blanca debido a su colorante que imprime a la ropa un color azul tenue. Dicho colorante puede ser extraído de sus hojas y tallos puestos en agua hirviente, obteniéndose un pigmento de color azul muy parecido al índigo o añil.

Muchos hogares a elevaciones medias y bajas tienen una o más matas de la planta desarrollándose para su uso. En Guatemala, los fardos grandes de ramas frescas se llevan frecuentemente hasta las zonas altas para su venta donde es empleada para la tintura azul de lana del Guatemalteco de las zonas altas.

El tinte azul se utiliza para teñir diferentes telas, fibras de algodón, mezclas para hamacas y otros tipos de artesanías. Concentrado, podría tener más aplicación en la tintorería. Se cree que la planta era usada por los Mayas antiguamente para pintar paredes y otras superficies.

Es también empleada en la medicina doméstica, especialmente para tratar problemas de disentería y para las picaduras de insectos, también se le atribuyen propiedades pectorales (Guzmán, 1976).

4.0 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL PARA LA EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA (*Jacobinia spicigera* Bailey).

Las primeras pruebas experimentales o preliminares de laboratorio, se realizan con el objetivo de seleccionar los parámetros que podrían influir en el proceso de extracción. Una vez seleccionados los parámetros y un proceso donde se apliquen éstos, se obtienen extractos con el contenido de pigmento a determinar utilizando la técnica de espectrofotometría de luz visible.

Debido a que no se cuenta con una sustancia patrón certificada y estandarizada, es necesario determinar la longitud de onda donde la absorbancia del pigmento sea máxima, luego se crea un patrón no estandarizado con el pigmento llevado a polvo utilizando la técnica de sólidos totales para medir la cantidad de pigmento disuelto en el extracto.

Con la sustancia utilizada como patrón se preparan soluciones para construir la curva de calibración del pigmento y de esa manera obtener valores de concentraciones relativas al patrón, expresadas en gramos por litro. Los valores de concentraciones relativas permiten determinar los factores que influyen en la cantidad de pigmento extraído, utilizando un análisis estadístico.

4.1 EVALUACION PRELIMINAR DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO.

Las muestras utilizadas como materia prima en las pruebas consisten en hojas y tallos de Sacatinta ya que dichas partes de esta planta contienen el pigmento a extraer. Estas muestras se recolectan en una plantación de Sacatinta ubicada en el caserío las Cañas a 3 kilómetros del municipio de Chalatenango, en el departamento de Chalatenango, en la zona norte de El Salvador.

El proceso a seguir consta básicamente de una maceración para extraer el pigmento de la planta utilizando como solvente el agua de chorro, el cual resulta efectivo para obtener el pigmento, además de ser accesible, económico y no contaminante para el medio ambiente. Posterior a la maceración se procede a separar los extractos de los desechos sólidos en un proceso de colado simple.

Los parámetros a evaluar para seleccionar los que podrían influir en el proceso de extracción son:

- a) Temperatura de extracción
- b) Tiempo de maceración
- c) Naturaleza de la muestra (Hoja o Tallo)
- d) Tamaño de partícula
- e) Volumen de solvente
- f) Tamaño de la muestra

4.1.1 PRUEBAS DE SONDEO PARA EVALUAR EL EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA.

Para evaluar el efecto de la temperatura se realizan pruebas con dos temperaturas como base, una alta (punto de ebullición) que requiere un gasto energético, y una un poco más baja (temperatura ambiente).

a) PRUEBAS A TEMPERATURA AMBIENTE

Para estas pruebas se fija el volumen de solvente en 200 mL y el tiempo de maceración (5 días) en un proceso donde variarán la naturaleza, el tamaño y el tipo de preparación de muestra, éste último parámetro se toma como una forma de variar el tamaño de partícula.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso seguido para extraer el colorante a temperatura ambiente y en el cuadro 4.1 se presentan los resultados de las cuatro pruebas realizadas a igual número de muestras preparadas de forma distinta de las cuales se obtienen distintos extractos algunos de éstos presentan una separación en dos fases líquidas: una superior espesa y de color azul violeta intenso que sugiere un alto contenido del colorante y otra, amarillenta (si proviene de tallo) o café-verdusca (si proviene de hojas), "lejfas" o desperdicios.

De estas pruebas se concluye que la extracción del pigmento es factible a temperatura ambiente mediante una maceración y que tanto hojas como tallos contienen pigmento, pero la naturaleza de la muestra hoja, Tallo o una

combinación de ambos incide en el contenido de tinta, esto último determinado cualitativamente en términos de los espesores de las capas de tinta; siendo menor el contenido de pigmento al utilizar solo tallo. Además, se puede deducir que en la preparación de la muestra sin o con estrujamiento siempre permite la extracción de la materia colorante en el solvente.

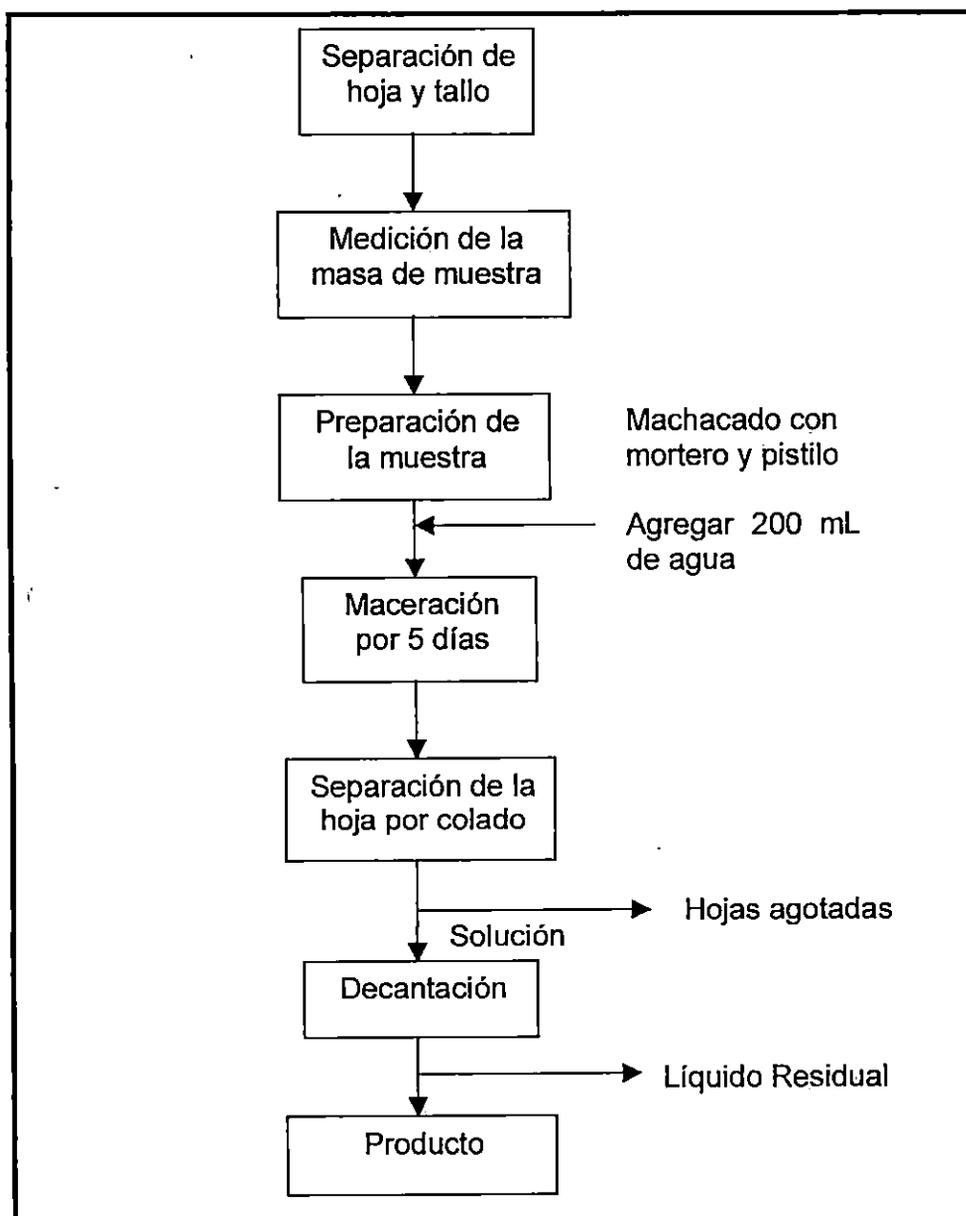


Fig. 4.1 Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción del Pigmento de la sacatinta a Temperatura Ambiente.

CUADRO 4.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE SONDEO PARA LA EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA A TEMPERATURA AMBIENTE. VOLUMEN DE EXTRACCIÓN: 200 mls

Número de Prueba	Naturaleza de la muestra	Tamaño de Muestra (g)	Preparación de la Muestra	Tiempo de Maceración (Días)	RESULTADOS
1	Hojas	15	Sin Machacar	5	La solución presenta olor desagradable al cabo de 3 días. Se observa separación de fases líquidas alrededor de un 30% de capa, coloración azul-violeta.
2	Hojas	15	Poco Machacado	5	Se observa separación de capas de un 20%, para la capa de tinta azul. La solución presenta mal olor al cabo de 3 días de reposo.
3	Hojas	15	Bien Machacado	5	Presenta separación perfecta de capas, la capa superior coloreada es aproximadamente de un 10%, presentó un olor desagradable.
4	Tallos	21.4	Bien Machacado	5	La solución es de olor desagradable, la separación de capas se ve claramente un 5% del volumen total es de tinta.

b) PRUEBAS A TEMPERATURA DE EBULLICIÓN

Se prepara una muestra con 25 gramos de hojas en un litro de agua de chorro, con su respectivo duplicado. Ambas muestras se estrujan ligeramente con la mano para luego calentar las mezclas hasta la temperatura de ebullición durante 30 minutos con agitación constante.

Al enfriarse las mezclas, se procede a separar las hojas del líquido utilizando un colador y papel toalla a manera de filtro para las partículas más finas. La solución obtenida se deja reposar durante 3 días para esperar la separación de capas la cual no se observa al cabo de ese tiempo.

Al comparar los resultados de esta prueba con las soluciones obtenidas a temperatura ambiente se observa que éstas últimas presentan una coloración azul más intenso en menor tiempo que las obtenidas por calentamiento, por lo que la extracción a temperatura ambiente podría resultar, además de económica, más eficiente que al aplicar el proceso a temperatura de ebullición.

4.1.2 EVALUACION PRELIMINAR PARA LA CONCENTRACION DE EXTRACTO DE SACATINTA.

Debido a que no todas las soluciones se separan en capas de extracto coloreado y lejías, se realizaron pruebas para concentrar el extracto utilizando los métodos comunes de separación física tales como: Decantación y evaporación. Para estas pruebas se evaluó la variación de dos parámetros: Volumen de solvente y tiempo

de maceración, manteniendo constante el tamaño de muestra, la naturaleza de la muestra y la temperatura de extracción (Temperatura ambiente).

Se prepararon seis muestras con sus respectivos duplicados utilizando 50 gramos de hojas y luego se aplica el proceso mostrado en la figura 4.2.

El proceso consiste nuevamente en una maceración con un estrujado suave previo a ésta para ayudar al desprendimiento del colorante en el solvente. Transcurrido el tiempo de maceración se realiza un colado para separar los residuos sólidos de la planta.

Debido al color azul muy intenso de todos los extractos obtenidos, no se pudo observar la separación de fases esperada, aún después de dejar reposar todas las soluciones durante cuatro días más, por lo que se optó por concentrar la muestra M11a mediante calentamiento a temperatura de ebullición, evaporando el agua hasta obtener un líquido de color azul violeta muy intenso y de consistencia espesa.

Las soluciones que mostraban un poco de separación de capas apenas perceptible, se separan decantando en embudos de separación hasta el punto donde el líquido saliente se observa más espeso y de color violeta intenso (Ver Cuadro 4.2).

Las soluciones de muestras preparadas con un volumen mayor de agua se concentran utilizando una combinación de los dos métodos mencionados.

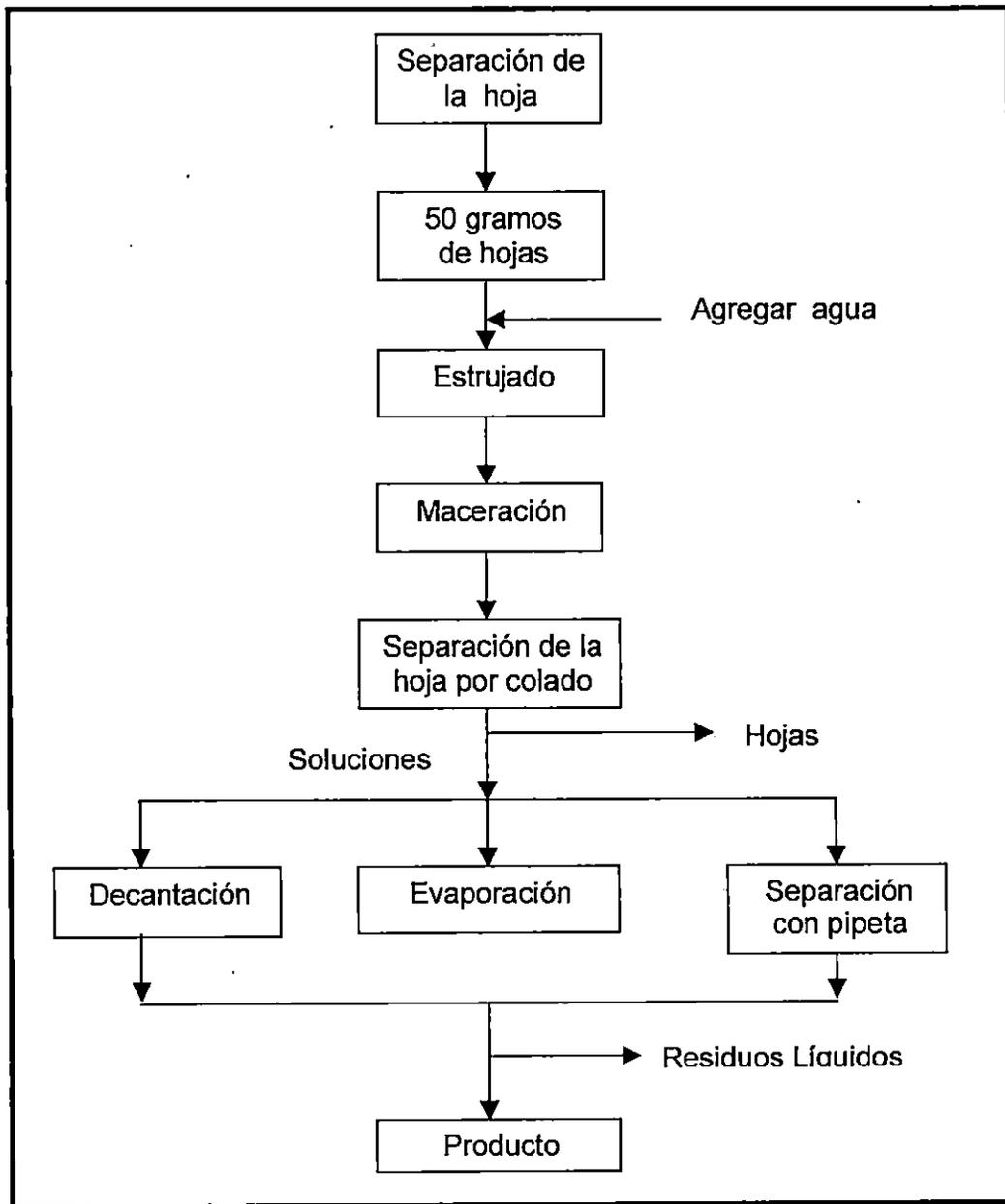


Fig. 4.2. Diagrama de Flujo del Proceso Aplicado para Concentrar el Extracto Obtenido por Maceración de Sacatinta con Agua.

La solución proveniente de la muestra M23a presentó claramente la separación de las capas por lo que se pudo tomar la tinta sobrenadante en la superficie de la solución con la ayuda de una pipeta de 5 mililitros.

El producto de estas pruebas (Ver cuadro 4.2) muestra lo complejo que resulta obtener el pigmento de la Sacatinta de forma pura por métodos simples de separación sin requerir de un elevado gasto energético.

4.2 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA DE LOS EXTRACTOS OBTENIDOS.

Debido a que no se cuenta con una solución patrón certificada y estandarizada del colorante, ni la composición química de esta, se crea una concentrando el extracto hasta llevarlo a polvo utilizando un método de evaporación por Secado; para luego aplicar la técnica de espectrofotometría de luz visible y así obtener resultados relativos de concentración de pigmento con respecto al patrón creado.

Con el pigmento en polvo se prepararon soluciones para obtener la longitud de onda donde la absorbancia del colorante sea máxima y poder construir su curva de calibración. La curva de calibración y la Ley de Beer permiten conocer la CONCENTRACIÓN RELATIVA al patrón creado, del pigmento en una solución proveniente del proceso de extracción.

CUADRO 4.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PARA CONCENTRAR LOS EXTRACTOS A TEMPERATURA AMBIENTE. TAMAÑO DE MUESTRA = 50 GRAMOS DE HOJAS

Prueba	Volumen de agua para la extracción (mL)	Tiempo de maceración (hrs)	Observaciones Después de la maceración	Método de separación Del colorante	Volumen de colorante separado (ml)
M11a	400	24	La solución presentó un color azul violeta, no hubo separación de capas.	Concentración por Evaporación.	87
M11b	400	24		Decantación	41
M12a	600	24	No hubo separación de fases y el color de la solución era igual que las muestras M11a y M11b pero más intenso.	Decantación	13.6
M12b	600	24		Decantación	13.4
M13a	800	24	La solución presentó un color azul violeta intenso y las capas no se separaron.	Decantación y Evaporación	15
M13b	800	24		Decantación y Evaporación	85
M21a	400	48	No hubo separación de capas y el color es el mismo que las soluciones de 24 hrs pero más intenso.	Concentración por Evaporación	140
M21b	400	48		Decantación y Evaporación	140
M22a	600	48	Soluciones de color azul-violeta muy intenso sin separar capas.	Concentración por Evaporación	80
M22b	600	48		Concentración por Evaporación	85
M23a	800	48	Su color es parecido al de las soluciones M13a y M13b pero más intenso y son más espesas. Estos al cabo de 4 días de reposo presentaron separación de capas.	Se tomó la capa de tinta con una pipeta de 5 ml	60
M23b	800	48		Decantación	152

4.2.1 ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN PATRÓN NO ESTANDARIZADA DE COLORANTE DE LA SACATINTA.

Para elaborar la solución patrón se obtiene primero el pigmento en polvo concentrando los extractos por medio de una evaporación de Secado.

De los extractos concentrados en la sección 4.2 se toman tres muestras de 20 mililitros y se sigue el proceso de Secado mostrado en el diagrama de flujo en la figura 4.3.

Los resultados de estas pruebas se presentan en el cuadro 4.3 con los cuáles se obtiene una concentración promedio de las muestras sometidas al proceso de 40.5 gramos de polvo pigmentado por litro de solución

4.2.2 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA MÁXIMA DEL COLORANTE.

Para determinar la longitud de onda que permite la absorbancia máxima del colorante, se escoge un intervalo espectral entre 400 y 630 nm, ya que dentro de este rango se encuentran las longitudes de onda máxima para los colores azul y violeta visibles y también para sus colores complementarios (ver cuadro 2.2).

Se preparan diferentes soluciones del colorante y se miden en un Spectronic 20 los datos de absorbancia para cada dilución en intervalos de 10 nm dentro del rango escogido del espectro visible.

Los valores de absorbancia se presentan graficados en la figura 4.4 donde se puede apreciar un incremento en la absorbancia de la muestra desde los 450 nm hasta un máximo cerca de los 585 nm. Dicha tendencia se observa para todas las diluciones realizadas, en especial y de forma más acentuada en la dilución de uno en cien (1/100) (Ver figuras 4.4 y 4.5).

4.2.3 CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA.

Con el pigmento en polvo obtenido se prepara una nueva solución de concentración conocida utilizando un gramo del colorante en polvo en 100 mililitros de agua de chorro para luego diluirla a diferentes concentraciones.

Por medio de un espectrofotómetro (Spectronic 20) se obtienen valores de absorbancia a 585 nm para cada una de las soluciones preparadas (Ver cuadro 4.4).

La curva de calibración se construye graficando Absorbancia vrs Concentración (en g/L) para cada una de las soluciones. Dicha curva se muestra en la figura 4.6 y será útil para medir la concentración relativa al patrón creado, de cualquier extracto proveniente del proceso de extracción propuesto.

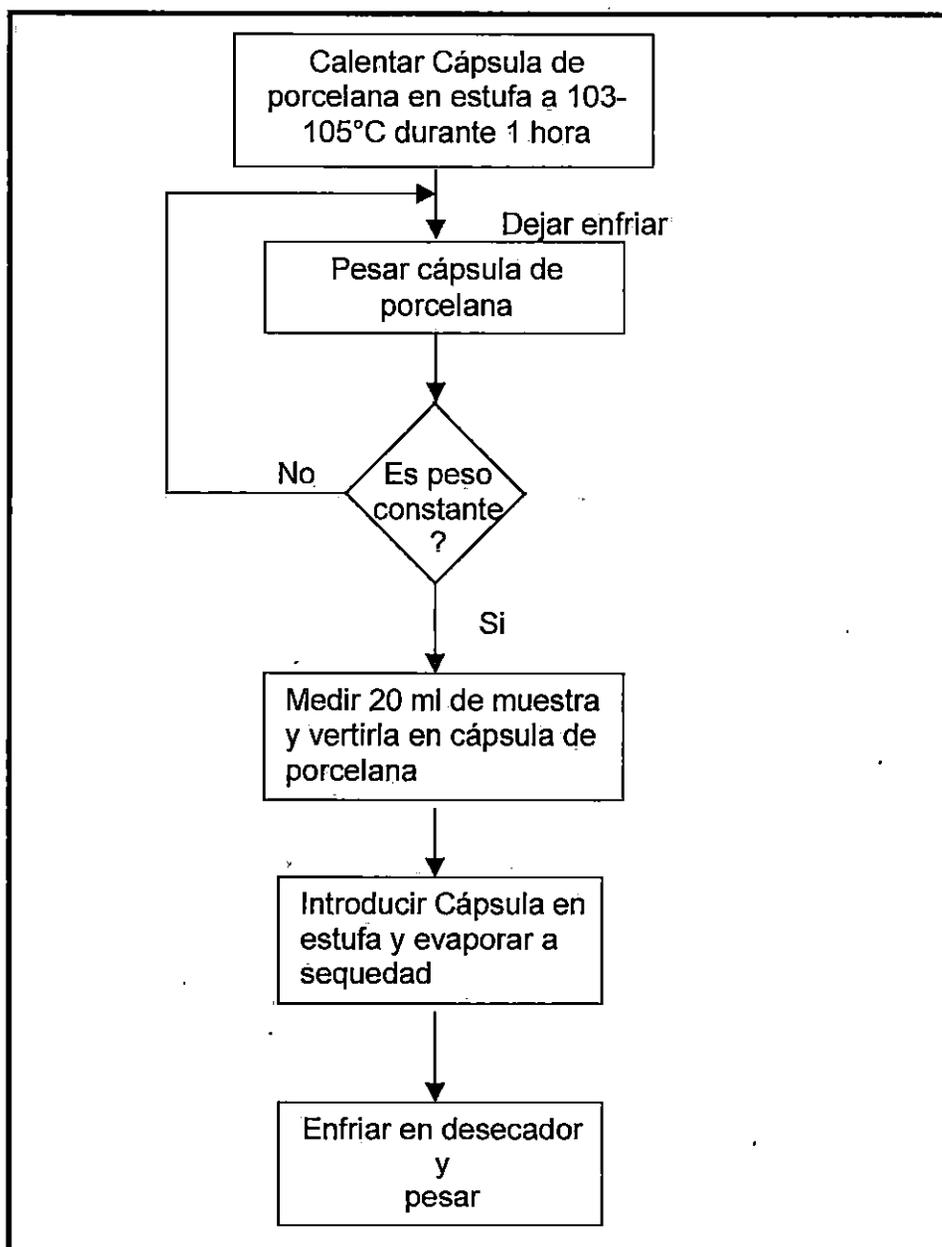


Fig. 4.3 Diagrama de Flujo para la Obtención del Colorante en Polvo por Medio de Secado.

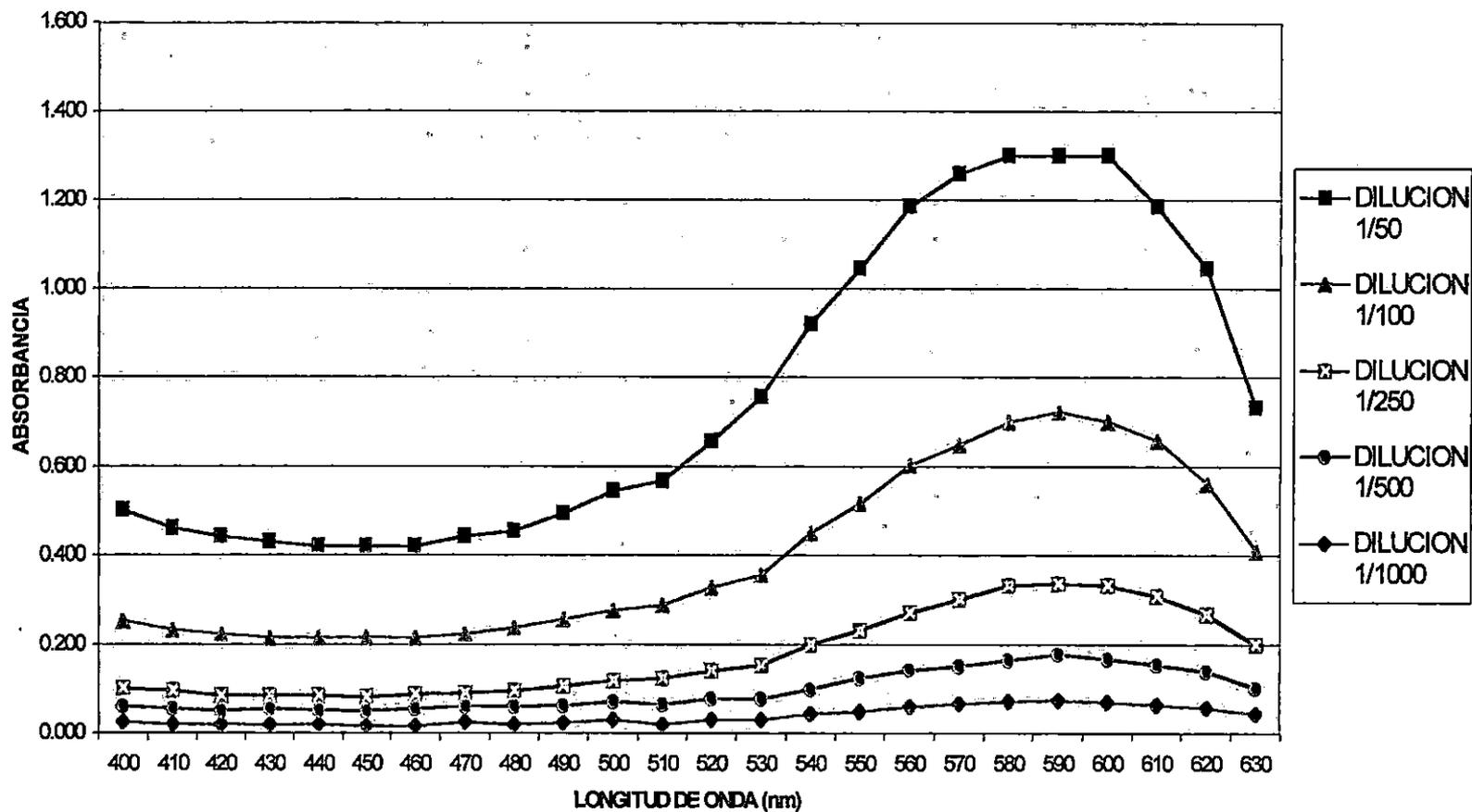


Fig. 4.4 Gráfica de Absorbancia vrs Longitud de Onda para Diferentes Diluciones del Colorante Patrón no Estandarizado.

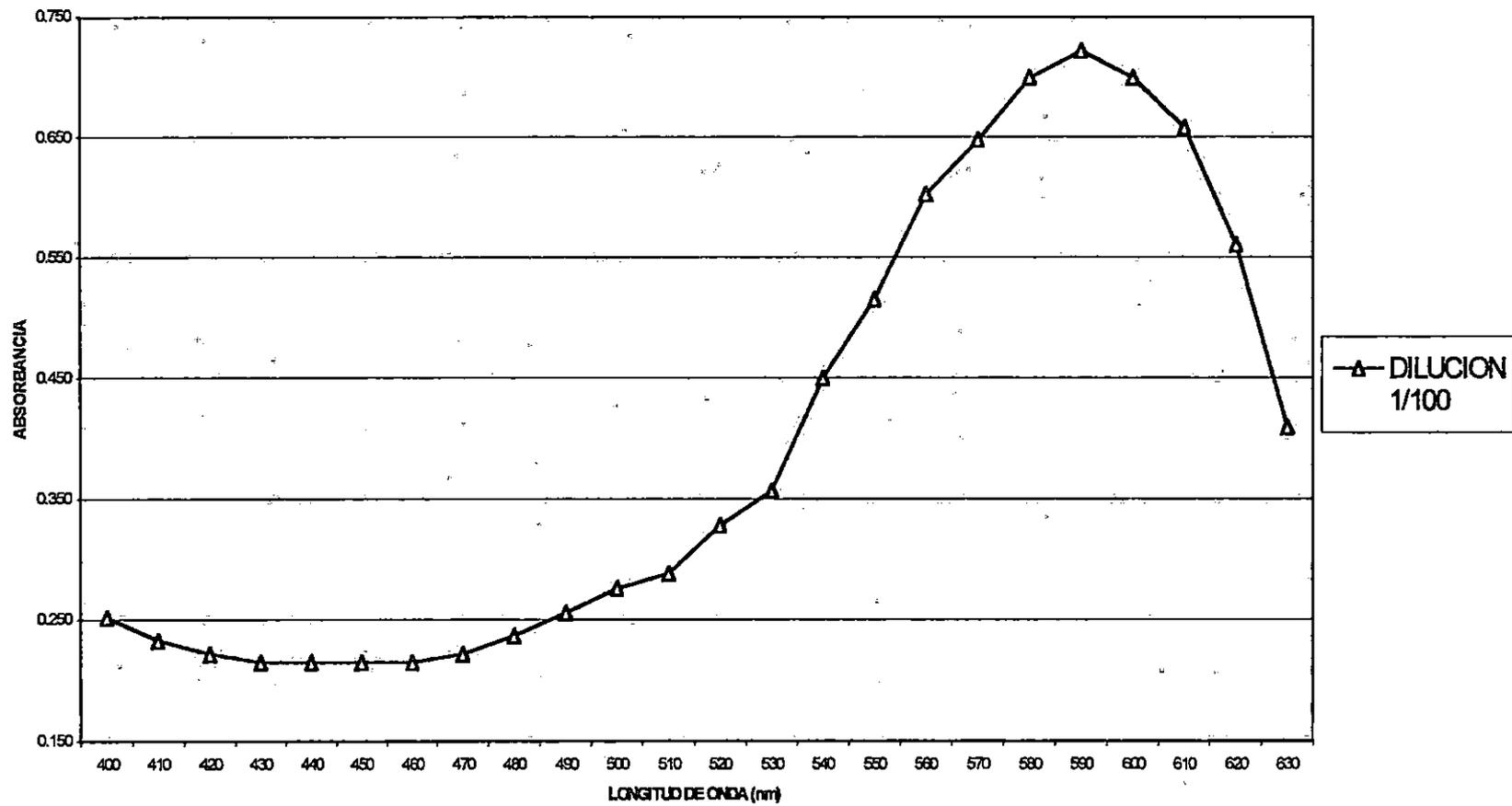


Fig. 4.5 Gráfica de Absorbancia vs Longitud de Onda para una Dilución de 1/100 del Colorante Patrón no Estandarizado.

**CUADRO 4.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS PARA
MEDIR LA CANTIDAD DE PIGMENTO DISUELTO EN TINTA
CONCENTRADA A TRAVÉS DEL METODO DE SECADO.**

MUESTRA	VOLUMEN DE TINTA (ml)	MASA DEL PIGMENTO EN POLVO (g)	CONCENTRACION DE LA MUESTRA (g/L)
1	20	0.79	39.50
2	20	0.83	41.50
3	20	0.81	40.50
Promedio	20	0.81	40.50

**CUADRO 4.4 DATOS DE % DE TRANSMITANCIA Y ABSORBANCIA VRS
CONCENTRACIÓN DEL PIGMENTO PATRÓN RELATIVO DEL
SACATINTA.**

CONCENTRACIÓN G/L	585 nm	
	% TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA
0.005	95.0	0.022
0.010	89.0	0.051
0.020	77.3	0.112
0.040	63.8	0.196
0.100	32.0	0.495
0.200	11.0	0.959

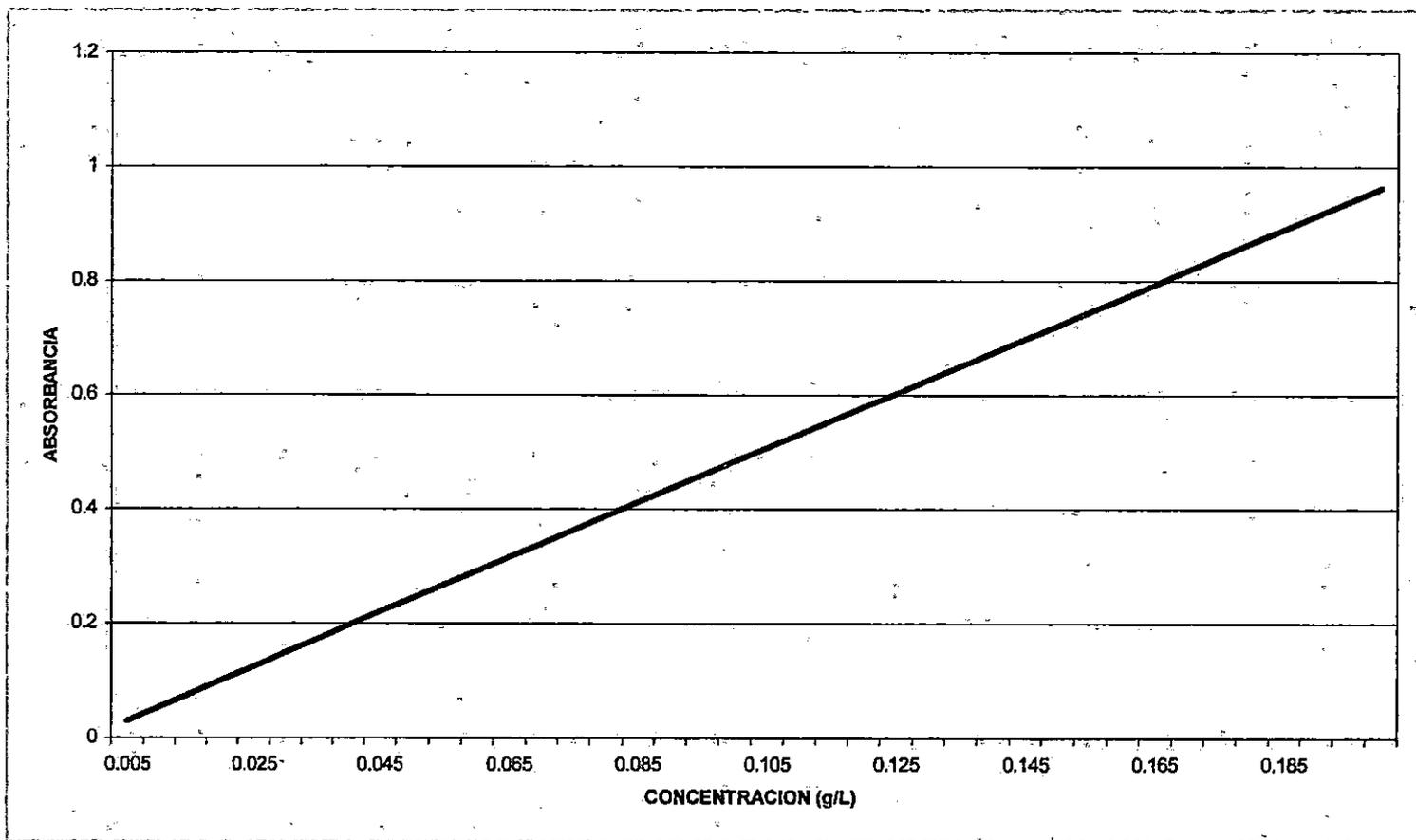


Fig. 4.6 CURVA DE CALIBRACIÓN DEL POLVO DE LA SACATINTA NO ESTANDARIZADO
 $r^2 = 0.999541327$ $y = 0.0066775599 + 4.7864924 x$

4.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA MEDIR LA CONCENTRACIÓN RELATIVA DE LOS EXTRACTOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA.

De las pruebas de sondeo preliminares se tiene que las variables que podrían influir en el rendimiento de extracción del pigmento son:

- a) Tipo de muestra; Hoja - Hoja Tallo
- b) Tiempo de maceración
- c) Volumen de solvente de extracción.

Los parámetros que podrían no incidir en el rendimiento de extracción son la temperatura de extracción y el tamaño de muestra.

Por lo anterior se aplicará un diseño estadístico experimental del tipo Multifactorial para determinar el efecto que las variables tienen sobre los resultados de concentración.

La variable respuesta será el RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN, el cual se evaluará en términos de una CONCENTRACIÓN RELATIVA de la Sacatinta en el extracto, tomando como base la solución patrón no estandarizada según se describe en la sección 4.2.1

Nomenclatura utilizada para la identificación de las muestras en el proceso de extracción del colorante.

Tipo de Muestra	Volumen de Solvente	Tiempo de Maceración
H : Hoja	01 : 011 500 mL	24 Horas
T : Hoja-Tallo	02 : 022 750 ML	48 Horas
	03 : 033 1000 mL	

El procedimiento utilizado para obtener las soluciones se presenta en la figura 4.7, el cual se realiza a temperatura ambiente y sin ningún procedimiento para concentrar los extractos.

Las soluciones o extractos producto del proceso de extracción son demasiado coloreadas como para leer su porcentaje de transmitancia a 585 nm de longitud de onda, por tanto se deben hacer diluciones de uno en cien (1/100) tomando una alícuota de cada uno de los extractos.

Las lecturas de % de transmitancia hechas en el Espectrofotómetro (Spectronic 20) para cada muestra se presentan en los cuadros B -3 a B - 6 (Ver anexo B).

**CUADRO 4.5 DATOS PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS
UTILIZADAS EN LAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN
DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA. TAMAÑO DE
MUESTRA = 25 GRAMOS.**

MUESTRA	NATURALEZA DE LA MUESTRA	VOLUMEN DE AGUA (mL)	TIEMPO DE MACERACION (Hr)
H01-24	Hojas	500	24
H011-24	Hojas	500	24
H02-24	Hojas	750	24
H022-24	Hojas	750	24
H03-24	Hojas	1000	24
H033-24	Hojas	1000	24
T01-24	Hojas y Tallos	500	24
T011-24	Hojas y Tallos	500	24
T02-24	Hojas y Tallos	750	24
T022-24	Hojas y Tallos	750	24
T03-24	Hojas y Tallos	1000	24
T033-24	Hojas y Tallos	1000	24
H01-48	Hojas	500	48
H011-48	Hojas	500	48
H02-48	Hojas	750	48
H022-48	Hojas	750	48
H03-48	Hojas	1000	48
H033-48	Hojas	1000	48
T01-48	Hojas y Tallos	500	48
T011-48	Hojas y Tallos	500	48
T02-48	Hojas y Tallos	750	48
T022-48	Hojas y Tallos	750	48
T03-48	Hojas y Tallos	1000	48
T033-48	Hojas y Tallos	1000	48

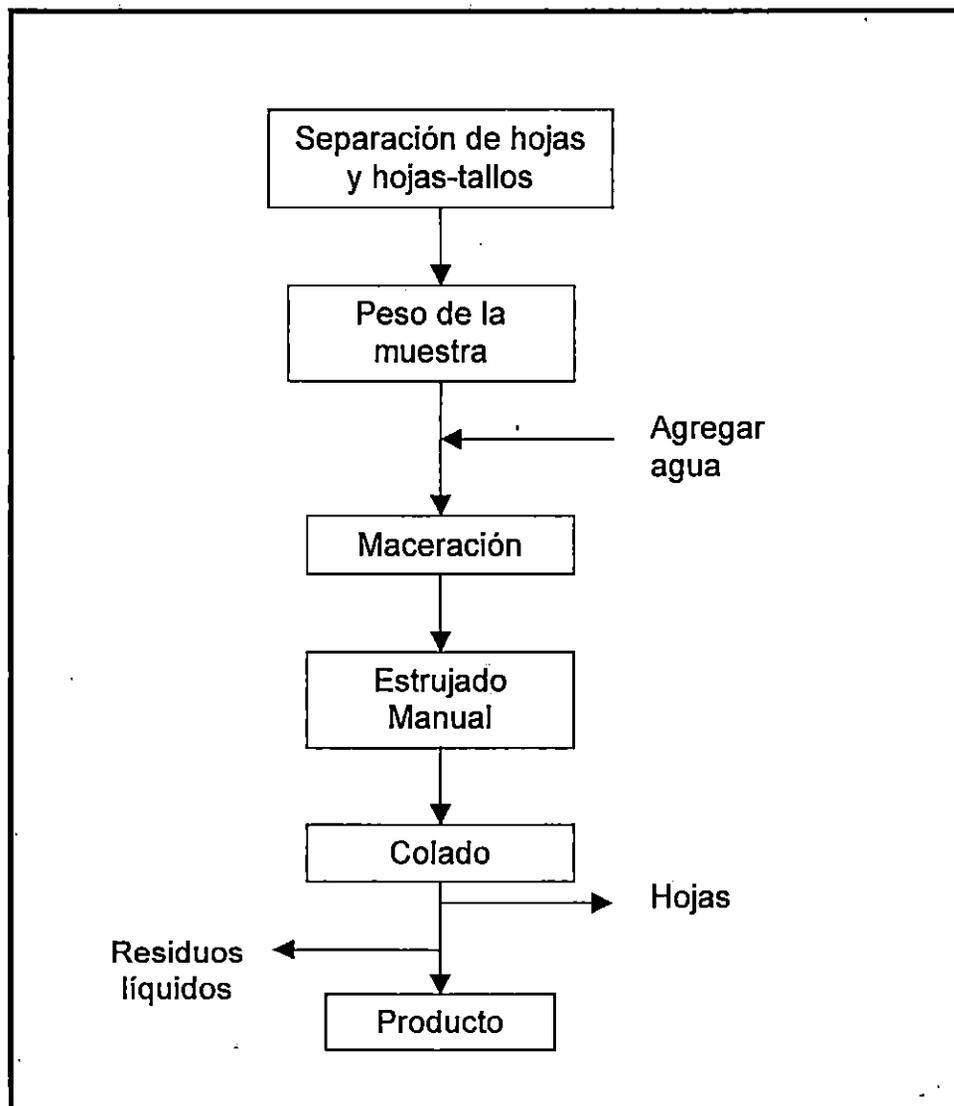


Fig. 4.7. Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de las Soluciones Coloreadas.

Las absorbancias de cada muestra se calculan utilizando la ecuación:

$$A = - \text{Log } T \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Las concentraciones de los extractos se obtienen al aplicar la ecuación de regresión lineal para la curva de calibración de la solución patrón fabricada.

Ecuación de Regresión:

$$A = 0.0066775599 + 4.7864924 C \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Con una correlación de:

$$r^2 = 0.999541327$$

Donde:

A: Absorbancia de la muestra

C: Concentración (g/L)

La ecuación (4.2) es la que más se aproxima a la "**Ley de Beer**" la cual establece una relación lineal entre la absorbancia y la concentración. La correlación lineal obtenida por medio de la curva de calibración graficada por un software (TBLCURVE) nos reafirma la validez del modelo.

Los valores de absorbancia y los resultados de sus correspondientes concentraciones para cada extracto se presentan en el cuadro 4.6.

CUADRO 4.6 RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES RELATIVAS DE PIGMENTO DE SACATINTA DETERMINADOS POR ESPECTROFOTOMETRIA VISIBLE. TAMAÑO DE MUESTRA = 25 GRAMOS

MUESTRA	ABSORBANCIA	C_{dilución 1/100} (g/L)	C_{solución relativa} (g/L)
H01-24	0.102	0.020	2.00
H011-24	0.089	0.017	1.70
H02-24	0.085	0.016	1.60
H022-24	0.060	0.011	1.10
H03-24	0.053	0.010	1.00
H033-24	0.032	0.005	0.50
T01-24	0.038	0.007	0.70
T011-24	0.040	0.007	0.70
T02-24	0.037	0.006	0.60
T022-24	0.035	0.006	0.60
T03-24	0.024	0.004	0.40
T033-24	0.027	0.004	0.40
H01-48	0.085	0.016	1.60
H011-48	0.116	0.023	2.30
H02-48	0.058	0.011	1.10
H022-48	0.047	0.008	0.80
H03-48	0.030	0.005	0.50
H033-48	0.032	0.005	0.50
T01-48	0.106	0.021	2.10
T011-48	0.133	0.026	2.60
T02-48	0.073	0.014	1.40
T022-48	0.084	0.016	1.60
T03-48	0.049	0.009	0.90
T033-48	0.035	0.006	0.60

4.4 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES DE CONCENTRACIONES RESULTANTES EN LOS EXTRACTOS PROCEDENTES DEL MODELO EXPERIMENTAL PROPUESTO.

El análisis de varianza se aplica a los valores de concentración obtenidos con relación a la solución utilizada como patrón no estandarizada (Ver cuadro 4.7). El diseño experimental aplicado es del tipo *Factorial Múltiple*, dado que en el experimento intervienen varios factores de interés que varían a distintos niveles:

Factor	No. de Niveles
Volumen de Solvente (A)	3 (a)
Tiempo de Maceración (B)	2 (b)
Tipo de Muestra (C)	2 (c)

El diseño factorial evalúa el efecto de cada factor y de todas las combinaciones posibles de los niveles de cada factor.

La hipótesis planteada para el análisis de varianza es: *"La concentración de pigmento extraído está afectada por la variación en el volumen de solvente, el tiempo de maceración, el tipo de muestra y por los efectos interactivos entre ellas"*.

Los resultados del análisis estadístico se presentan en el cuadro 4.8 y el análisis de varianza aplicado se encuentra en el anexo C.

CUADRO 4.7 ARREGLO DE LOS RESULTADOS DE PRUEBAS DE EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA PARA N = 2 RÉPLICAS.

VOLUMEN DE SOLVENTE (A)	Tiempo de Maceración (B)							
	24 Horas				48 Horas			
	Tipo de Muestra (C)				Tipo de Muestra (c)			
	Hoja		Hoja-Tallo		Hoja		Hoja-Tallo	
500 ml	2.0	1.7	0.7	0.7	1.6	2.3	2.1	2.6
750 ml	1.6	1.1	0.6	0.6	1.1	0.8	1.4	1.6
1000 ml	1.0	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9	0.6

Comparando los resultados de F_o calculados con F_o de cuadros, se observa que para un nivel de confianza del 95% el F_o (de tablas) es menor que el F_o calculado para los factores principales:

- (A) Volumen de Solvente y
- (B) Tiempo de Maceración.

Así como para las interacciones:

- (AB) Volumen de Solvente - Tiempo de Maceración y
- (BC) Tiempo de Maceración - Tipo de Muestra.

Por lo tanto existe diferencia estadística significativa entre estos parámetros e interacciones lo que indica que se tiene un efecto significativo en la concentración del pigmento en los extractos obtenidos.

CUADRO 4.8 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F_o Calculado	F_o de Tablas*
Volumen de Solvente (A)	4.9675	2	2.4838	38.4489	3.89
Tiempo de Maceración (B)	0.9204	1	0.9204	14.2467	4.75
Tipo de Muestra (C)	0.1837	1	0.1837	2.8437	4.75
AB	0.7408	2	0.3704	5.7303	3.89
AC	0.1225	2	0.0613	0.9489	3.89
BC	1.9838	1	1.9838	30.7090	4.75
ABC	0.2425	2	0.1213	1.8777	3.89
ERROR	0.7750	12	0.0646		
TOTAL	9.9362.	23			

* (Ver Anexo C)

Del cuadro 4.7 se observa que los valores mayores de concentraciones relativas de pigmento se obtienen combinando 500 mL de solvente, un tiempo de maceración de 48 horas y una muestra formada por hojas y tallos.

Contrario a lo que se esperaba, los valores de concentración del extracto no presentan una relación proporcional con la cantidad de solvente utilizada obteniéndose concentraciones mayores a volúmenes de solvente menores. Por lo tanto, el volumen óptimo a utilizar estará representado por el volumen mínimo de solvente necesario para cubrir la muestra por completo.

4.5 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA A LOS RESULTADOS DE CONCENTRACIONES RELATIVAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN CON UN TAMAÑO DE MUESTRA VARIABLE.

Utilizando niveles bajos de solvente (500 y 750 mL de agua) y el mismo tratamiento empleado en la sección 4.2.4, se prepararon muestras de 50 gramos para obtener nuevos valores de concentraciones relativas del pigmento en los extractos, los cuales se presentan en el cuadro 4.9 junto con las concentraciones para 25 gramos obtenidos anteriormente.

CUADRO 4.9 DATOS DE CONCENTRACIONES RELATIVAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN CON TAMAÑO DE MUESTRA VARIABLE.

VOLUMEN DE SOLVENTE (A)	TAMAÑO DE MUESTRA (D)							
	25 Gramos				50 Gramos			
	TIEMPO DE MACERACIÓN (B)							
	24 Horas		48 Horas		24 Horas		48 Horas	
	TIPO DE MUESTRA (C)				TIPO DE MUESTRA (C)			
Hoja	Hoja-Tallo	Hoja	Hoja-Tallo	Hoja	Hoja-Tallo	Hoja	Hoja-Tallo	
500 mL	2.0	0.7	1.6	2.1	8.76	4.06	7.95	4.81
	1.7	0.7	2.3	2.6	8.76	4.06	7.95	4.81
750 mL	1.6	0.6	1.1	1.4	3.04	1.64	4.81	2.10
	1.1	0.6	0.8	1.6	3.77	1.62	5.29	2.12

A los datos de concentraciones relativas se les aplica un diseño experimental del tipo multifactorial para evaluar el efecto de cada factor y de todas las combinaciones posibles entre factores:

FACTOR

Volumen de Solvente	(A)
Tiempo de Maceración	(B)
Tipo de Muestra	(C)
Tamaño de Muestra	(D)

La evaluación de todos los factores se realizó para dos niveles con dos repeticiones por cada uno de ellos.

La hipótesis que se plantea para el análisis de varianza es: **"La concentración de pigmento extraído se ve afectado por la variación en el volumen de solvente, el tiempo de maceración, el tipo de muestra y el tamaño de muestra y por los efectos interactivos entre ellas"**.

Al comparar los valores de F_o calculados con F_o de cuadros (Ver cuadro 4.10) se observa que para un nivel del 95% de confianza existe un efecto significativo de los 4 factores principales sobre la concentración, así como, de la mayoría de las interacciones entre éstos, a excepción de las interacciones: Volumen de solvente - tiempo de maceración (AB) y tiempo de maceración - tamaño de muestra (BD) las cuales no tiene ningún efecto significativo sobre las concentraciones relativas del pigmento en los extractos.

CUADRO 4.10 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE LOS FACTORES INCLUYENDO EL ERROR EN REPETICIONES

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media Cuadrática	F _o Calculado	F _o Tablas
					0.05
Volumen de Solvente (A)	1	31.3444	31.3444	547.9615	4.54
Tiempo de Maceración (B)	1	2.3274	2.3274	40.6888	4.54
Tipo de Muestra (C)	1	22.7981	22.7981	398.5682*	4.54
Tamaño de Muestra (D)	1	87.9470	87.9470	1537.5350	4.54
AB	1	0.1093	0.1093	1.9108	4.54
AC	1	1.6882	1.6882	29.5248	4.54
AD	1	14.9468	14.9468	261.3077	4.54
BC	1	1.3163	1.3163	23.0122	4.54
BD	1	0.0036	0.0036	0.0629	4.54
CD	1	16.8345	16.8345	294.3094	4.54
ABC	1	1.1063	1.1063	19.3409	4.54
ABD	1	1.4749	1.4749	25.7850	4.54
ACD	1	0.8288	0.8288	14.4895	4.54
BCD	1	0.7534	0.7534	13.1713	4.54
ABCD	1	0.7657	0.7657	13.3864	4.54
ERROR	16	0.9157	0.0572		
TOTAL	31	185.2314			

* Existe una diferencia significativa alta de los 4 factores principales

5.0 PRUEBAS DE ESCALAMIENTO PARA LA EXTRACCION DEL PIGMENTO DE SACATINTA.

Se realizaron pruebas de escalamiento para simular el proceso que se lleva a cabo en los obrajes donde se obtiene el añil, siguiendo la sugerencia (Gil, 1999) de un experto salvadoreño en tintes naturales para textiles, ya que se conocí que la sacatinta es una planta que pertenece a la especie de las justicias (o Jacobinias) las cuales son consideradas también como plantas de añil (Kojima, 1984).

Este proceso, al igual que en los obrajes de añil, consta de dos etapas: una maceración y un proceso de agitación; este último se adiciona al proceso de maceración utilizado originalmente para facilitar la reacción del Indican (pigmento presente en la planta) a indigo, el cual es la sustancia insoluble que absorbe la tela o hilo. En el proceso de teñido se agrega también un **álcali** a fin de transformar el indican al índigo como se aprecia en la figura 5.1

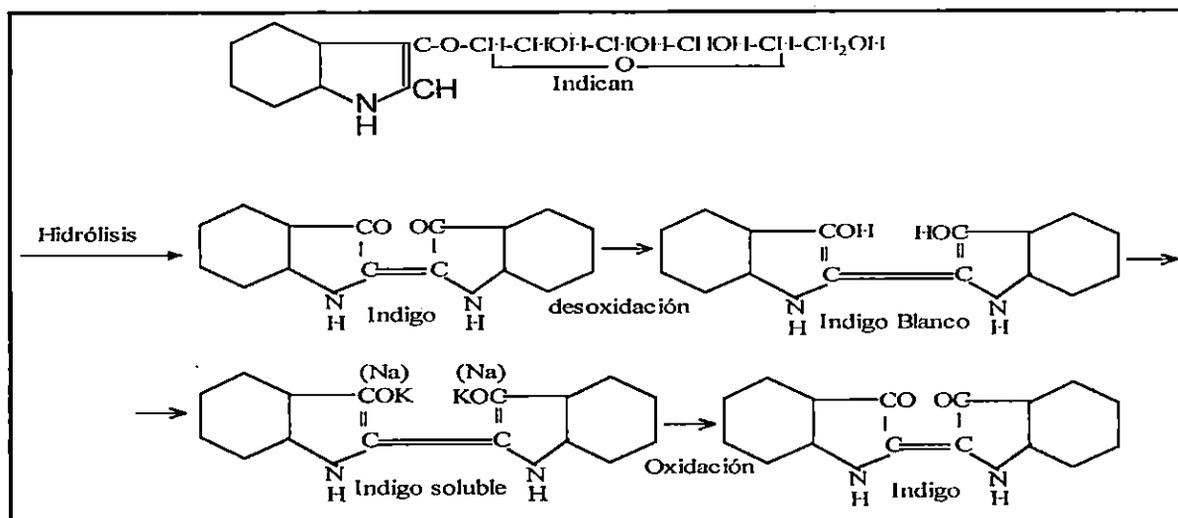


Fig. 5.1 La Transformación Química de los Componentes de Añil (Kojima, 1984)

5.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA MEDIR LA CONCENTRACIÓN RELATIVA DE LOS EXTRACTOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE ESCALAMIENTO DEL PIGMENTO SACATINTA.

Las pruebas de sondeo a nivel de laboratorio determinaron el efecto que el tamaño y tipo de muestra, el volumen de solvente y el tiempo de maceración tienen sobre las concentraciones relativas de los extractos producto del proceso de extracción del pigmento. Para estas pruebas se prepararon muestras por triplicado de 500 gramos de planta con una proporción de 70% de hojas y 30% de tallos. Esta proporción se determinó previamente pesando una cantidad de plantas y luego separando las hojas de los tallos para medir la masa de cada una de las partes y compararlas con el total.

El volumen de solvente utilizado es de dos litros el cual constituye el volumen mínimo necesario para cubrir de agua completamente las muestras. El proceso a seguir para el escalamiento se presenta en la figura 5.2. En este proceso se utilizaron tiempos de 12, 15, 18 y 24 horas en la maceración para establecer el tiempo en el cual se obtiene la mayor concentración de pigmento en los extractos.

Luego de la maceración todas las soluciones presentaban un pH entre 7 y 8 y una temperatura de 23° C, durante el colado las soluciones de 12, 15 y 18 horas fueron de color negro y la de 24 horas de color café oscuro muy intenso. El proceso de agitación se llevó a cabo durante hora y media, observándose la

formación de espuma y en todas las soluciones una coloración azul a medida que se daba la oxidación del pigmento. La formación de espuma se incrementaba al aumentar el tiempo de agitación.

Al terminar la agitación se prepararon diluciones 1 en 100 de cada extracto y sus réplicas para luego medir la absorbancia en el Espectrofotómetro (Espectronic 20) y obtener las concentraciones relativas al patrón creado de la misma forma que en la sección 4.2.4. Estos valores de concentración se muestran en el cuadro 5.1.

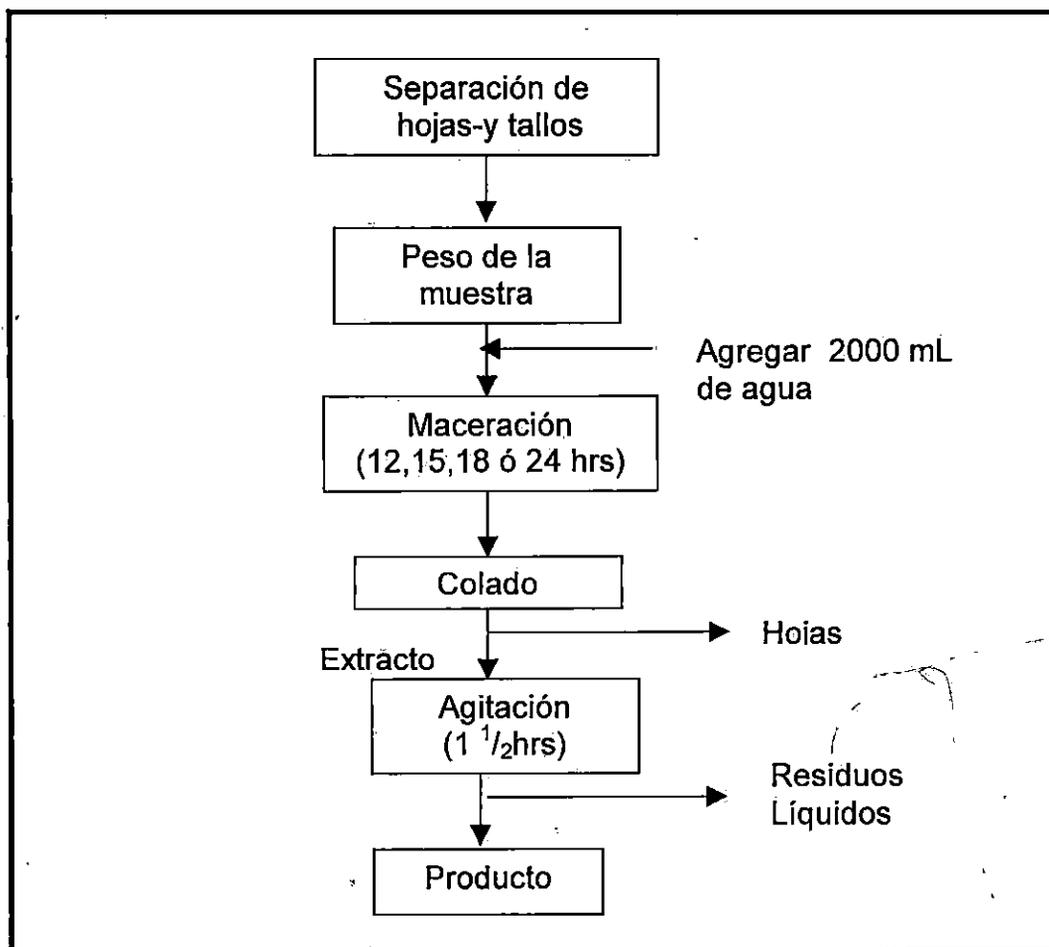


Fig. 5.2 Proceso de Escalamiento para la Extracción del Pigmento Sacatinta.

CUADRO 5.1 RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES OBTENIDAS A PARTIR DE LAS PRUEBAS DE ESCALAMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO SACATINTA

MUESTRA	%TRANSMITANCIA	ABSORBANCIA	C_{dilución 1/100} (g/L)	C_{solución} (g/L)
12-1	96.167	0.017	0.002	0.215
12-2	98.333	0.007	0.00013	0.013
12-3	98.000	0.009	0.00044	0.044
15-1	89.167	0.050	0.00901	0.901
15-2	91.000	0.041	0.00716	0.716
15-3	91.000	0.041	0.00716	0.716
18-1	88.500	0.053	0.00969	0.969
18-2	85.167	0.070	0.01317	1.317
18-3	86.500	0.063	0.01176	1.176
24-1	60.667	0.217	0.04395	4.395
24-2	61.667	0.210	0.04247	4.247
24-3	63.000	0.201	0.04053	4.053
VOLUMEN DE SOLVENTE MASA DE LA MUESTRA TEMPERATURA <p align="center">pH</p>			2000 mL 500 g Ambiente(≈23°C) 7-8	

5.2 ANALISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO SACATINTA PROVENIENTES DEL ESCALAMIENTO.

Se aplica un diseño experimental del tipo **Unifactorial** a los valores de concentraciones relativas obtenidos del proceso de escalamiento (Ver cuadro 5.2).

En este diseño, el factor a evaluar es el tiempo de maceración el cual tiene cuatro niveles o tratamientos y cada tratamiento tiene tres réplicas.

La Hipótesis planteada es: " **El Tiempo de Maceración Afecta el Grado de Rendimiento en la Extracción del Pigmento Sacatinta Expresado en Términos de Concentraciones Relativas**".

CUADRO 5.2. DATOS DE CONCENTRACIONES RELATIVAS QUE RESULTAN DE LAS PRUEBAS DE ESCALAMIENTO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO SACATINTA.

TIEMPO DE MACERACIÓN	REPLICAS			TOTALES
	1	2	3	
12	0.215	0.013	0.044	0.272
15	0.901	0.716	0.716	2.333
18	0.969	1.317	1.176	3.462
24	4.395	4.247	4.053	12.695
				18.762

CUADRO 5.3 ANALISIS DE VARIANZA DE LOS DATOS DE CONCENTRACIONES RELATIVAS DE PIGMENTO SACATINTA EN LOS EXTRACTOS.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE CUADRADOS	F _o
TIEMPO DE MACERACIÓN	3	57.9916	19.3305	929.35
ERROR	8	0.1666	0.0208	
TOTAL	11	58.1582		

De tablas de distribución F (anexo C-7) se tiene:

$$f_{0.01,3,8} = 7.59 \quad f_{0.10,3,8} = 2.92 \quad f_{0.05,3,8} = 4.07$$

Puesto que el F_o de tablas al 90%, 95% y 99% de confianza es mayor que el F_o calculado (Ver análisis de varianza del cuadro 5.3), la hipótesis planteada se acepta y se concluye que el tiempo de maceración si afecta de manera significativa la concentración del pigmento en los extractos.

6.0 FORMA FINAL DE PRESENTACIÓN DEL PIGMENTO SACATINTA

Utilizando los extractos que se obtuvieron en la etapa experimental provenientes de muestras preparadas con dos kilogramos de planta aproximadamente, se obtuvieron 3.563 gramos de pigmento en polvo siguiendo el procedimiento de la figura 6.1.

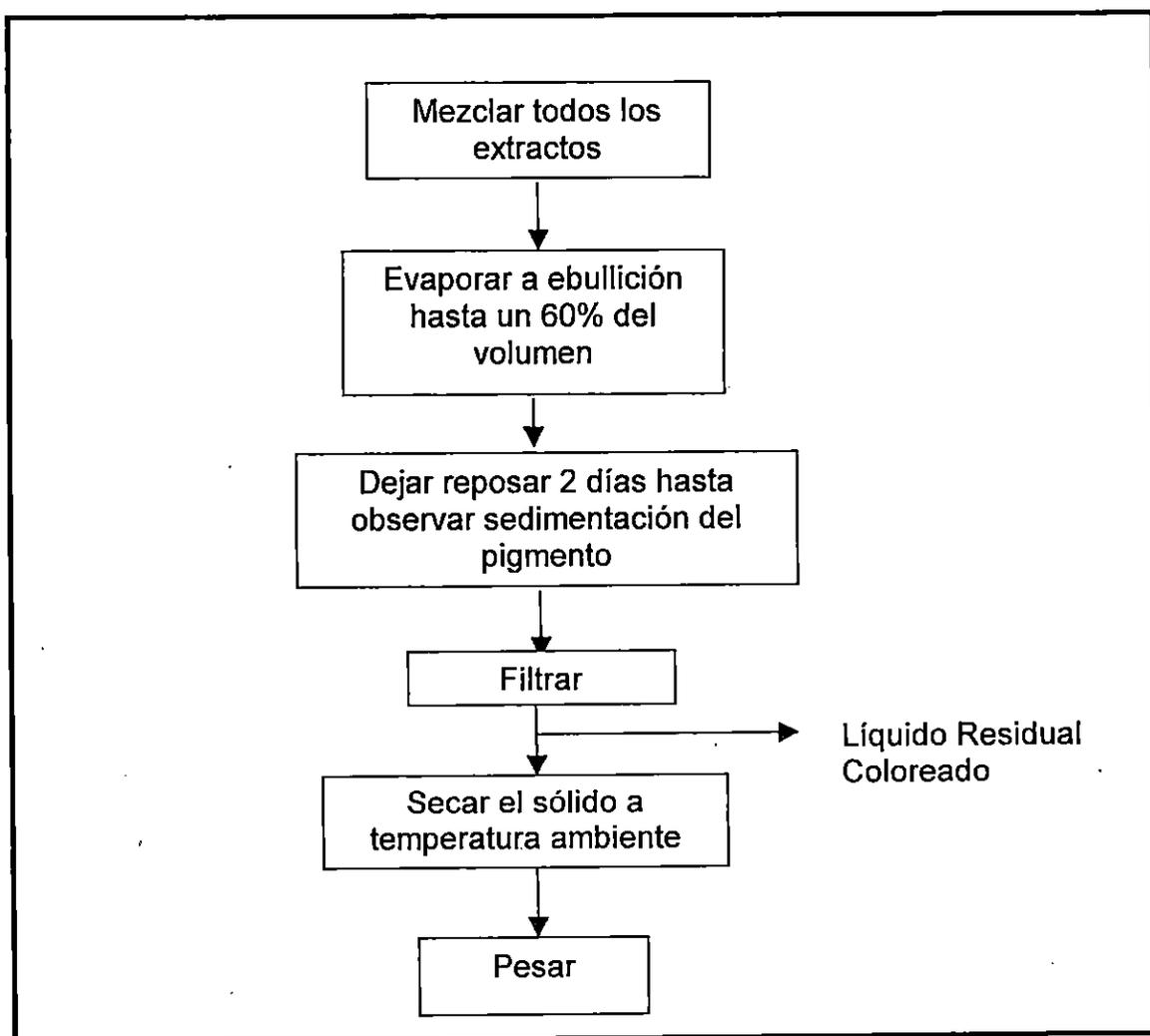


FIG. 6.1 Proceso Seguido para la Obtención de la Forma Final del Pigmento Sacatinta a Temperatura Ambiente.

Cuando el colorante líquido se encuentra muy concentrado, el pigmento sólido sedimenta, lo cual permite su separación utilizando un medio filtrante adecuado. Este método no separa el solvente de una sola vez pero si proporciona una pasta de color azul intenso la cual al secarse a temperatura ambiente se obtiene un polvo fino de color azul negro.

El pigmento sólido se puede obtener también llevando el extracto a sequedad por evaporación en estufa en un rango de temperatura entre 103-105 °C, pero el sólido que resulta es de aspecto pastoso, es decir, la humedad que aún presenta es evidente, además tiene la tendencia a ser higroscópico, por lo que es difícil terminar de secar a la temperatura ambiente.

De la cantidad de pigmento en polvo obtenida, se tomó un gramo para pruebas de teñido. El pigmento se disolvió en 200 mL de agua con un poco de dificultad ya que el colorante (Indigo) extraído de la planta es poco soluble en agua (Ver sección 5) por lo que se necesita bastante agitación para lograr la solución de color azul violeta muy intenso.

Se usaron cuatro muestras de tela de algodón de color blanco. Dos de las muestras se sumergieron en la solución que contenía solo el pigmento; para teñir las restantes, se agregó aproximadamente 25 mililitros de una solución alcalina (0.033N de Hidróxido de Sodio) a la solución de pigmento para simular el método de fijación estándar de teñir de añil conocido como procedimiento de tina (Ver anexo D-2).

Todas las muestras teñidas presentaron un color azul que al lavarlas con una solución salina mostraron poca decoloración manteniendo el tono observado inicialmente.

Las pruebas realizadas para la fijación del pigmento Sacatinta en telas no fueron de carácter formal, puesto que no se pudo profundizar sobre un método adecuado de teñido debido que esto requiere un estudio completo sobre las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del pigmento, además de un fijador y un tipo de tela apropiado al pigmento.

OBSERVACIONES

1. La Sacatinta es un arbusto perenne que tiene su mayor contenido de pigmento antes de su floración, ésta época corresponde a los meses de Agosto a Octubre, es decir, que en este período se puede obtener el rendimiento máximo de extracción de pigmento a partir de esta especie (Gil, 1999).
2. Dado que en El Salvador no existe un estudio de Investigación Científica que sirva de base para la elección de los parámetros que podrían influir en el proceso de extracción del pigmento sacatinta, se evaluaron en las pruebas preliminares las variables: Tamaño de muestra, naturaleza de la muestra, tiempo de maceración, volumen de solvente, temperatura de extracción y tamaño de partícula. De las observaciones del comportamiento de estas variables se optó por evaluar el efecto de el tiempo de maceración, la naturaleza de la muestra, el volumen de solvente y el tamaño de la muestra en el rendimiento de extracción.
3. Como una aplicación de tecnologías más limpias se ha utilizado agua como solvente para la extracción del pigmento de la Sacatinta, tomando en cuenta que en la disposición de los desechos provenientes de la extracción no producen el daño a la salud y al medio ambiente como el que producirían el uso de otros solventes orgánicos. Sin embargo este proceso de extracción genera residuos orgánicos (sólidos y líquidos) que requieren tratamiento previo antes de su disposición final.

4. En las pruebas de sondeo se observó cualitativamente, luego de la separación de fases, que los extractos provenientes de muestras preparadas sólo con hojas presentaron alrededor de un 25 % más en volumen de capa de tinta que la muestra preparada sólo con tallos.
5. La separación de fases en los extractos no se puede tomar de base como una forma de separar el colorante por decantación ya que no sigue un mismo comportamiento en todos los extractos, es decir, la separación de fase no se observó en todas las muestras en un mismo tiempo de maceración.
6. Por sugerencia de Gil (1999), el proceso de extracción fue modificado en las pruebas de escalamiento, adicionándole una etapa de agitación mecánica durante una a dos horas. Ya que la sacatinta se considera una planta de añil por lo que su pigmento necesita una oxidación para producir su precipitación, lo cual se logra al aplicar agitación, permitiendo un mejor contacto del extracto con el oxígeno.
7. Algunos extractos provenientes tanto de pruebas de sondeo como de escalamiento; con el tiempo se tornaban de color café o amarillento, pero al agitarlos o someterlos a calentamiento los extractos volvieron a su color azul intenso. Esto representa una característica de las plantas de añil (Kojima, 1984).

8. En las pruebas de escalamiento, la escala de trabajo utilizada no permitió la recuperación del pigmento por precipitación después de la agitación, por lo que fue necesario concentrar los extractos para obtener el pigmento sólido y determinar rendimientos.

9. El pigmento sólido obtenido por evaporación de los extractos, presenta mejor apariencia física y consistencia cuando se obtiene evaporando a temperatura ambiente, que el obtenido calentando los extractos, además estos últimos presentaban mayor contenido de humedad.

CONCLUSIONES

1. De las pruebas de laboratorio se pudo determinar que el proceso de extracción del pigmento sacatinta es posible llevarlo a cabo a temperatura ambiente ofreciendo mejores resultados que los obtenidos a temperatura de ebullición.
2. El análisis de varianza aplicado a los resultados de las pruebas de escalamiento comprueba que el tiempo de maceración si afecta el proceso de extracción (ver cuadro 5.3) y que los demás parámetros se pueden establecer en un solo nivel dentro de las pruebas.
3. En la obtención del pigmento sólido, por concentración de los extractos resultantes de las pruebas de sondeo se estimó el rendimiento de la Sacatinta en aproximadamente un gramo de pigmento por libra de planta utilizada.
4. Los análisis de varianza realizados a las concentraciones obtenidas en las pruebas de laboratorio demuestran que todos los factores específicos principales y la mayoría de sus interacciones, influyen en el proceso de extracción, a excepción de las interacciones volumen de solvente-tiempo de maceración, tiempo de maceración–tamaño de partícula (ver cuadro 4.10).

RECOMENDACIONES

1. Para los desechos sólidos y las lejías provenientes de la extracción se recomienda un análisis químico para determinar su reutilización o disposición final. Los residuos sólidos podrían utilizarse en la elaboración de abono orgánico por ser biodegradables.
2. Para determinar los posibles usos del pigmento de la sacatinta se recomienda realizar pruebas de su utilización en la elaboración de tinta para almohadillas de sellos; en la fabricación de papel coloreado o estampado, adicionándolo a la pulpa; en la elaboración de artesanías fabricadas con fibras de henequén (hamacas, lazos, pitas, etc.), en general en el área textil.
3. Para un escalamiento a nivel artesanal se recomienda el uso de hojas y tallos como materia prima para aprovechar al máximo el contenido de pigmento en la planta, ya que se comprobó la presencia de esta en ambas partes de la sacatinta, siendo el contenido de pigmento en las hojas aproximadamente en un 25% mayor que el contenido en el tallo.
4. Se recomienda realizar una investigación sobre las diferentes especies vegetales que pueden ser de utilidad para la extracción del pigmento de uso en la industria textil, en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética, etc. Ya que la flora de El Salvador ha sido poco investigada para su aprovechamiento en este campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aguilar, S. A., (1950), "La Química de las Materias Colorantes Naturales", Ediciones Madrid, España.
2. Alvarado de Funes, S. (1985), "Evaluación de Alternativas para el Desarrollo de la Industria de de Colorantes en El Salvador y Diseño del Proceso de Extracción Seleccionado". Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. San Salvador, El Salvador.
3. B.C.R., (1999), "Boletines Económicos (1979-1998)". Banco Central de Reserva de El Salvador, El Salvador.
4. Choussy, F. (1975), "Flora Salvadoreña". Editorial Universitaria, Segunda Edición, El Salvador.
5. "Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo - Americana", (1991). Espasa - Calpe, S. A. Vol. 14. Madrid, Barcelona, España.
6. "El Cultivo del Marañón",(1996). Trabajo de Investigación de la Cátedra de Cultivos Perennes de la Carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador

7. Empresas-Mundivia, (1999). "<http://empresas.mundivia.es/metarom>. Mayo, 4.
8. Fennema, O. R. (1985). "Food Chemistry", Marcell Dekker, Inc., New York, U.S.A.
9. Fessenden R. J., J. S. Fessenden (1988). "Química Orgánica", Grupo Editorial Iberoamérica, México.
10. García R. F. A. (1996). "Estudios sobre Agronomía del Jiquilite Indigofera sp. Y Procesamiento del Añil en Chalatenango". IICA Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. ADEL Chalatenango.
11. Gil, M (1999). "Entrevista Personal". Presidente de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros Químicos y Químicos Industriales ASINQUI, Experto en Textiles, 1º de Septiembre.
12. Guzman, D. J. (1976), "Especies Útiles de la Flora Salvadoreña". Imprenta Nacional, Segunda edición, El Salvador.
13. Internet (1999), <http://www.Elromeral.com>, Mayo 4.
14. Kent, A. J. (1984). "Manual de Riegel de Química Industrial". Editorial Continental S.A. de C.V. Décima Edición, México.

15. Kojima, H. (1984). "Guatemala no Senshoku (Teñidos y Tejidos de Guatemala)", KyotoShoin, Kyoto.
16. Lagos, J. A. (1973). "Compendio de Botánica sistemática". Ministerio de Educación, Dirección de Publicaciones. Segunda Edición, El Salvador.
17. La Prensa Gráfica (1999). "Reactivación de la Producción de Añil en el Departamento de Chalatenango", Edición del 12 de Abril, Fundación para la Cooperación y Desarrollo Comunal de El Salvador CORDES, El Salvador.
18. Marmión, D. M., (1979). "Handbook of Colorants for Food, Drugs and Cosmetics". Willey - Interscience Publication, New York.
19. Mena G., M. (1994). "Obtención y Aprovechamiento de Extractos Vegetales de la Flora Salvadoreña". Editorial Universitaria, Segunda Edición, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
20. Menjívar M., N. A. (1983). "Colorantes Naturales. Usos". Trabajo de Bioquímica, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador.
21. Meza, R. O. (1999). "Entrevista Personal", Ingeniero Químico, ADOC, S. A. Octubre, 6.

22. Miller, D. (1984). "From Seed to Dye", Craeston-Bennett, Cuarta Impresión, Santa Cruz, CA. E.U.A.
23. Montgomery, D., G. C. Runger. "Diseño de Experimentos y Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería". McGraw Hill, Primera Edición, México.
24. Morales, G., (1995). "Obtención y Aplicación de Colorantes Textiles", Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Químico, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
25. Morrison, R. T., R. N. Boyd. (1990). "Química Orgánica", Quinta edición, Editorial Addison – Wesley Iberoamericana, S.A., E.U.A.
26. PANKIA, (1994). "Boletines Informativos", Jardín Botánico Nacional, Instituto Salvadoreño de Turismo, El Salvador.
27. Serrano, J. E., (1983). "Alternativas para el Procesamiento en el Desarrollo Agroindustrial en El Salvador", Trabajo de Graduación, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.
28. SIECA, (1984). "Secretaría Permanente del Tratado General de Integración Económica Centroamericana", El Salvador.

29. Stanley, P. C; L. O, Williams, (1966). "Flora de Guatemala", Volumen 24, Publicado por Chicago History Museum, U.S.A.
30. Torres R, J. H. (1983), "Contribución al Conocimiento de las Plantas Tintóreas Registradas en Colombia", Universidad Nacional de Colombia, Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales Francisco José de Caldas, COLLIENCIAS, Bogotá.
31. Walpole, R. E, R. H. Myers (1991). "Probabilidad y Estadística para Ingenieros", Tercera Edición, Editorial McGraw Hill Interamericana, México.

A N E X O S

ANEXO A

TABLAS DE COLORANTES NATURALES

UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

CUADRO A1 COLORANTES NATURALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

COLORANTES NATURALES						
Num. CEE	COLOR	MATERIA COLORANTE	REFERENCIA	FORMA	OBSERVACIONES	
E-100		CURCUMINA (Amarillo)	AM 00181	LIQUIDO	1,5% CURCUMINA	
			PE 05050	LIQUIDO	7,5% CURCUMINA	
			PE 04857	POLVO		
E-101-a		RIBOFLAVINA (Amarillo)	AM 00760	LIQUIDO	1,5% RIBOFLAVINA	
			18032	POLVO	100% RIBOFLAVINA	
			26115	LACA-POLVO	55% A.C.	
E-120		CARMIN COCHINILLA (Rojo-Rosa-Violeta)	26089	POLVO ATOMIZADO	50% A.C.	
			AM 00906	LIQUIDO AMONIACAL	2% A.C.	
			AM 00756	LIQUIDO AMONIACAL	4% A.C.	
			AM 01091	POLVO	5% A.C.	
			AM 01190	POLVO	10% A.C.	
			AM 01229	POLVO	21% A.C.	
E-140		CLOROFILINAS (Verde)	AM 00798	LIQUIDO		
				POLVO		
			AM 00799	ATOMIZADO		

Pasa...

CUADRO A1 COLORANTES NATURALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

COLORANTES NATURALES(CONTINUACION)					
E-141		CLOROFILA CUPRICA (Verde)	PE 11348	<i>LIQUIDO</i>	
E-150 a		COLORANTE CAMELO (Sin catalizador) (Marrón)	PE 11347	<i>POLVO ATOMIZADO</i>	
			41090	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	10.000 EBC
E-150 b E-150 c		COLORANTE CAMELO Catalizador: sulfito de sodio (Marrón) COLORANTE CAMELO (Catalizador: Amoníaco) (Marrón)	42005	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	20.000 EBC
			42012	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	15.000 EBC
			42030	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	40.000 EBC
			42031	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	28.000 EBC
			42036	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	28.000 EBC

CUADRO A1 COLORANTES NATURALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

COLORANTES NATURALES (CONTINUACION)					
			42039	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	33.000 EBC
			42073	<i>POLVO ATOMIZADO</i>	50.000 EBC
E- 150 d		COLORANTE CAMELO Catalizador: Sulfito de amonio (Marrón)	42090	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	50.000 EBC
			42010	<i>LIQUIDO PASTOSO</i>	20.000 EBC
E-153		CARBON VEGETAL (Negro - gris)	AM 00806	<i>POLVO</i>	Granulometria <15 µ
			AM 05049	<i>POLVO</i>	Granulometria de un 60%<40
			17112	<i>LIQUIDO HIDROSOLUBLE</i>	1.5% Norbixina
E-160 b		ANATO (Anaranjado)	17017	<i>LIQUIDO LIPOSOLUBLE</i>	1% Norbixina
			17060	<i>POLVO</i>	

Pasa...

CUADRO A1 COLORANTES NATURALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

COLORANTES NATURALES (CONTINUACION)					
E-160. C		EXTRACTO PIMENTON (Capsantina) (Rojo)	AM 00370	LIQUIDO LIPOSOLUBLE 33.000 U.I.	
			PE 009991	LIQUIDO HIDROSOLUBLE 50.000 U.I.	
E-162		ROJO REMOLACHA (Betanina) (Rojo)	AM 05022	LIQUIDO	0,91% Betanina
			AM 01228	POLVO	
E-163		ANTOCIANOS (Enocianina) (Rojo-Violeta)	29010	LIQUIDO	
			AM 00759	LIQUIDO	15% Enocianina
			AM 05051	POLVO	100% Enocianina

<http://empresas.mundivia.es/metarom>

ANEXO B

DATOS COMPLEMENTARIOS DE PRUEBAS
EXPERIMENTALES PARA LA EXTRACCIÓN DEL
PIGMENTO DE LA SACATINTA.

CUADRO B-1 DATOS DE PORCENTAJE DE TRANSMITANCIA vs LONGITUD DE ONDA OBTENIDAS A PARTIR DE LA TINTA CONCENTRADA DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA.

DILUCION λ (nm)	(1/25)	(1/50)	(1/100)	(1/250)	(1/500)	(1/1000)
400	10.00	31.50	56.00	79.00	87.00	94.00
410	12.00	34.50	58.50	80.00	88.00	95.00
420	12.00	36.00	60.00	82.00	89.00	95.00
430	13.50	37.00	61.00	82.00	88.00	95.50
440	14.00	38.00	61.00	82.00	88.50	95.00
450	14.50	38.00	61.00	82.50	89.00	96.00
460	14.50	38.00	61.00	81.50	88.00	96.00
470	13.50	36.00	60.00	81.00	87.00	94.00
480	11.50	35.00	58.00	80.00	87.00	95.00
490	9.50	32.00	55.50	78.00	86.50	94.50
500	8.00	28.50	53.00	76.00	85.00	93.00
510	6.00	27.00	51.50	75.00	86.00	95.00
520	5.50	22.00	47.00	72.00	83.50	93.00
530	3.00	17.50	44.00	70.00	83.50	93.00
540	2.00	12.00	35.50	63.00	79.50	90.00
550	2.00	9.00	30.50	58.50	75.00	89.00
560	1.50	6.50	25.00	53.50	72.00	87.00
570	1.00	5.50	22.50	50.00	70.50	85.50
580	1.50	5.00	20.00	46.50	68.50	84.50
590	1.50	5.00	19.00	46.00	66.50	84.00
600	1.50	5.00	20.00	46.50	68.00	85.00
610	1.50	6.50	22.00	49.00	70.00	86.00
620	2.00	9.00	27.50	54.00	72.50	87.50
630	6.00	18.50	39.00	63.00	79.00	90.00

**CUADRO B-2 DATOS DE ABSORBANCIA vrs LONGITUD DE ONDA
OBTENIDOS A PARTIR DE LA TINTA CONCENTRADA DE LA
SACATINTA.**

DILUCION λ (nm)	(1/25)	(1/50)	(1/100)	(1/250)	(1/500)	(1/1000)
400	1.000	0.502	0.252	0.102	0.060	0.027
410	0.921	0.462	0.233	0.097	0.056	0.022
420	0.921	0.444	0.222	0.086	0.051	0.022
430	0.870	0.432	0.215	0.086	0.056	0.020
440	0.854	0.420	0.215	0.086	0.053	0.022
450	0.839	0.420	0.215	0.084	0.051	0.018
460	0.839	0.420	0.215	0.089	0.056	0.018
470	0.870	0.444	0.222	0.092	0.060	0.027
480	0.939	0.456	0.237	0.097	0.060	0.022
490	1.022	0.495	0.256	0.108	0.063	0.025
500	1.097	0.545	0.276	0.119	0.071	0.032
510	1.222	0.569	0.288	0.125	0.066	0.022
520	1.260	0.658	0.328	0.143	0.078	0.032
530	1.523	0.757	0.357	0.155	0.078	0.032
540	1.699	0.921	0.450	0.201	0.100	0.046
550	1.699	1.046	0.516	0.233	0.125	0.051
560	1.824	1.187	0.602	0.272	0.143	0.060
570	2.000	1.260	0.648	0.301	0.152	0.068
580	1.824	1.301	0.699	0.333	0.164	0.073
590	1.824	1.301	0.721	0.337	0.177	0.076
600	1.824	1.301	0.699	0.333	0.167	0.071
610	1.824	1.187	0.658	0.310	0.155	0.066
620	1.699	1.046	0.561	0.268	0.140	0.058
630	1.222	0.733	0.409	0.201	0.102	0.046

**CUADRO B - 3a DATOS DE % DE TRANSMITANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	H01-24	H011-24	H02-24	H022-24	H03-24	H033-24
585	79.00	81.50	82.00	87.00	88.50	93.00
	79.00	81.50	82.00	87.00	88.50	93.00
	79.00	81.50	82.50	87.00	88.50	93.00

**CUADRO B - 3b DATOS DE ABSORBANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	H01-24	H011-24	H02-24	H022-24	H03-24	H033-24
585	0.102	0.089	0.086	0.060	0.053	0.032
	0.102	0.089	0.086	0.060	0.053	0.032
	0.102	0.089	0.084	0.060	0.053	0.032
PROMEDIO	0.102	0.089	0.085	0.060	0.053	0.032

TAMAÑO DE MUESTRA : 25 GRAMOS

TIEMPO DE MACERACIÓN: 24 HORAS

TIPO DE MUESTRA : HOJA

VOLUMEN DE SOLVENTE: 500, 750, 1000 mL

DILUCIÓN : 1/100

**CUADRO B - 4a DATOS DE % DE TRANSMITANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	T01-24	T011-24	T02-24	T022-24	T03-24	T033-24
585	91.50	90.50	91.50	92.00	94.00	94.00
	92.00	91.00	92.00	92.00	95.00	94.00
	91.50	92.00	92.00	92.50	95.00	94.00

**CUADRO B - 4b DATOS DE ABSORBANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	H01-24	H011-24	H02-24	H022-24	H03-24	H033-24
585	0.102	0.089	0.086	0.060	0.053	0.032
	0.102	0.089	0.086	0.060	0.053	0.032
	0.102	0.089	0.084	0.060	0.053	0.032
PROMEDIO	0.102	0.089	0.085	0.060	0.053	0.032

TAMAÑO DE MUESTRA : 25 GRAMOS
 TIEMPO DE MACERACIÓN: 24 HORAS
 TIPO DE MUESTRA : HOJA
 VOLUMEN DE SOLVENTE: 500, 750, 1000 mL
 DILUCIÓN : 1/100

**CUADRO B - 5a DATOS DE % DE TRANSMITANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	H01-48	H02-48	H022-48	H03-48	H033-48	H01-48
585	82.00	76.00	87.50	89.50	92.50	92.50
	81.50	77.00	87.00	89.50	93.00	93.00
	83.00	77.00	88.00	90.00	94.50	93.50

**CUADRO B - 5b DATOS DE ABSORBANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	H01-48	H02-48	H022-48	H03-48	H033-48	H01-48
585	0.086	0.119	0.058	0.048	0.034	0.034
	0.089	0.114	0.060	0.048	0.032	0.032
	0.081	0.114	0.056	0.046	0.025	0.029
PROMEDIO	0.085	0.115	0.058	0.047	0.030	0.032

TAMAÑO DE MUESTRA : 25 GRAMOS

TIEMPO DE MACERACIÓN: 48 HORAS

TIPO DE MUESTRA : HOJA

VOLUMEN DE SOLVENTE: 500, 750, 1000 mL

DILUCIÓN : 1/100

**CUADRO B - 6a DATOS DE % DE TRANSMITANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	T01-48	T02-48	T022-48	T03-48	T033-48	T01-48
585	78.00	73.00	84.50	82.00	90.00	92.00
	78.50	74.00	84.50	82.50	89.00	92.50
	78.50	74.00	84.50	83.00	89.00	92.50

**CUADRO B - 6b DATOS DE ABSORBANCIA DE LAS SOLUCIONES
COLOREADAS**

LONGITUD DE ONDA	T01-48	T02-48	T022-48	T03-48	T033-48	T01-48
585	0.108	0.137	0.073	0.086	0.046	0.036
	0.105	0.131	0.073	0.084	0.051	0.034
	0.105	0.131	0.073	0.081	0.051	0.034
PROMEDIO	0.106	0.133	0.073	0.084	0.049	0.035

TAMAÑO DE MUESTRA : 25 GRAMOS

TIEMPO DE MACERACIÓN: 48 HORAS

TIPO DE MUESTRA : HOJA

VOLUMEN DE SOLVENTE: 500, 750, 1000 mL

DILUCIÓN : 1/100

ANEXO C

ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO AL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE LA SACATINTA

**C-a ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PIGMENTO SACATINTA
EN LAS SOLUCIONES PROCEDENTES DE LA EXTRACCIÓN.**

El procedimiento a seguir para la comprobación de la hipótesis expuesta en el apartado 4.4 se plantea en el cuadro C-1.

**CUADRO C-1. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL MODELO
TRIFACTORIAL DE EFECTOS FIJOS.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	F ₀
A	SS _A	a-1	MS _A	MS _A / MS _E
B	SS _B	b-1	MS _B	MS _B / MS _E
C	SS _C	c-1	MS _C	MS _C / MS _E
AB	SS _{AB}	(a-1) (b-1)	MS _{AB}	MS _{AB} / MS _E
AC	SS _{AC}	(a-1) (c-1)	MS _{AC}	MS _{AC} / MS _E
BC	SS _{BC}	(b-1) (c-1)	MS _{BC}	MS _{BC} / MS _E
ABC	SS _{ABC}	(a-1) (b-1) (c-1)	MS _{ABC}	MS _{ABC} / MS _E
ERROR	SS _E	Abc (n-1)	MS _E	
TOTAL	SS _T	Abcn-1		

FUENTE: Montgomery, 1991

CUADRO C-2 a. DATOS CODIFICADOS PARA LOS RESULTADOS

VOLUMEN DE SOLVENTE (A)	TIEMPO DE MACERACION (B)				
	24 HORAS		48 HORAS		
	TIPO DE MUESTRA (C)		TIPO DE MUESTRA (C)		
	HOJA	HOJA-TALLO	HOJA	HOJA-TALLO	yi...
500 mls	2.0	0.7	1.6	2.1	13.7
	1.7	0.7	2.3	2.6	
	3.7	1.4	3.9	4.7	
750 mls.	1.6	0.6	1.1	1.4	8.8
	1.1	0.6	0.8	1.6	
	2.7	1.2	1.9	3.0	
1000 mls	1.0	0.4	0.5	0.9	4.8
	0.5	0.4	0.5	0.6	
	1.5	0.8	1.0	1.5	
Totales BxC y.jk.	7.9	3.4	6.8	9.2	27.3

TOTALES A x B

yi j..

B

A	24Hrs	48Hrs
500	5.1	8.6
750	3.9	4.9
1000	2.3	2.5
y.j..	11.3	16

CUADRO C-2 b

TOTALES A x C

Yi. k.

C

A	Hoja	Hoja-Tallo
500	7.6	6.1
750	4.6	4.2
1000	2.5	2.3
y. . k.	14.7	12.6

CUADRO C-2 c

La suma total de cuadrados se determina usando la ecuación:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{n=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2}{abcn} \quad \text{Ecuación (1)}$$

La suma de cuadrados de los efectos principales se calculan con las ecuaciones:

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i...}^2}{bcn} - \frac{y^2}{abcn} \quad \text{Ecuación(2)}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_{.j..}^2}{acn} - \frac{y^2}{abcn} \quad \text{Ecuación(3)}$$

$$SS_C = \sum_{k=1}^c \frac{y_{..k.}^2}{abn} - \frac{y^2}{abcn} \quad \text{Ecuación(4)}$$

Para calcular las sumas de cuadrados de las interacciones de dos factores se requieren los totales de las celdas AxB, AxC, BxC. Con frecuencia, resulta útil desglosar los cuadros de los datos originales en tres cuadros de dos sentidos (ver cuadro C-3), con el fin de calcular estas cantidades. Las sumas de cuadrados se encuentra mediante:

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij..}^2}{cn} - \frac{y^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AB} = SS_{\text{subtotales (AB)}} - SS_A - SS_B \quad \text{Ecuación(5)}$$

$$SS_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{y_{i.k.}^2}{bn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{AC} = SS_{\text{subtotales}(AC)} - SS_A - SS_C \quad \text{Ecuación(6)}$$

$$SS_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{.jk.}^2}{an} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$SS_{BC} = SS_{\text{subtotales}(BC)} - SS_B - SS_C \quad \text{Ecuación(7)}$$

La suma de cuadrados de la interacción de los tres factores se determina usando los totales de las celdas en tres sentidos $\{y_{ijk}\}$ y aplicando la ecuación:

$$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{ijk}^2}{n} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{BC} - SS_{AC}$$

$$SS_{ABC} = SS_{\text{subtotales}(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{BC} - SS_{AC} \quad \text{Ecuación(8)}$$

La suma de cuadrados del error se calcula restando la suma de cuadrados de cada efecto principal e interacción a la suma total de cuadrados, o mediante:

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{subtotales}(ABC)} \quad \text{Ecuación(9)}$$

Cada suma de cuadrados dividida entre sus grados de libertad produce una media de cuadrados.

Para el análisis de varianza de las concentraciones de pigmento se tiene:

a = 3 (número de niveles del volumen de solvente)

b = 2 (número de niveles del tiempo de maceración)

c = 2 (número de niveles del tipo de muestra)

n = 2 (número de repeticiones realizadas)

De la ecuación (1) se tiene:

$$SST = (2.0)^2 + (1.7)^2 + (0.7)^2 + (0.7)^2 + (1.6)^2 + (2.3)^2 + (2.1)^2 + (2.6)^2 + (1.1)^2 + (0.6)^2 + (0.6)^2 + (1.1)^2 + (0.8)^2 + (1.4)^2 + (1.6)^2 + (1.0)^2 + (0.5)^2 + (0.4)^2 + (0.4)^2 + (0.5)^2 + (0.5)^2 + (0.9)^2 + (0.6)^2 - \frac{(27.3)^2}{3 * 2 * 2 * 2}$$

$$SS_T = 40.9900 - 31.0538$$

$$SS_T = 9.9362$$

De las ecuaciones (2), (3) y (4) se tienen:

$$SS_A = \frac{(13.7)^2 + (8.8)^2 + (4.8)^2}{2 * 2 * 2} - 31.0538$$

$$SSA = 36.0213 - 31.0538$$

$$SSA = 4.9675$$

$$SS_B = \frac{(11.3)^2 + (16.0)^2}{3 * 2 * 2} - 31.0538$$

$$SS_B = 31.9742 - 31.0538$$

$$SS_B = 0.9204$$

$$SS_C = \frac{(14.7)^2 + (12.6)^2}{3 * 2 * 2} - 31.0538$$

$$SS_C = 31.2375 - 31.0538$$

$$SS_C = 0.1837$$

De las ecuaciones (5), (6) y (7) se tienen:

$$SS_{AB} = \frac{(5.1)^2 + (8.6)^2 + (3.9)^2 + (4.9)^2 + (2.3)^2 + (2.5)^2}{2 * 2} - 31.0538 - 4.9675 - 0.9204$$

$$SS_{AB} = 37.6825 - 31.0538 - 4.9675 - 0.9204$$

$$SS_{AB} = 0.7408$$

$$SS_{AC} = \frac{(7.6)^2 + (6.1)^2 + (4.6)^2 + (4.2)^2 + (2.5)^2 + (2.3)^2}{2 * 2} - 31.0538 - 4.9675 - 0.1837$$

$$SS_{AC} = 36.3275 - 31.0538 - 4.9675 - 0.1837$$

$$SS_{AC} = 0.1225$$

$$SS_{BC} = \frac{(7.9)^2 + (3.4)^2 + (6.8)^2 + (9.2)^2}{3 * 2} - 31.0538 - 0.9204 - 0.1837$$

$$SS_{BC} = 37.6825 - 31.0538 - 0.9204 - 0.1837$$

$$SS_{BC} = 1.9838$$

De la ecuación (8) se tiene:

$$SS_{ABC} = \frac{(3.7)^2 + (1.4)^2 + (3.9)^2 + (4.7)^2 + (2.7)^2 + (1.2)^2 + (1.9)^2 + (3.0)^2 + (1.5)^2 + (0.8)^2 + (1.0)^2 + (1.5)^2}{2} - 31.0538 - 4.9675 - 0.9204 - 0.1837 - 0.7408 - 0.1225 - 1.9838$$

$$SS_{ABC} = 40.2150 - 31.0538 - 4.9675 - 0.9204 - 0.1837 - 0.7408 - 0.1225 - 1.9838$$

$$SS_{ABC} = 0.2425$$

De la ecuación (9) se tiene:

$$SS_E = SS_T - SS_{subtotales (ABC)}$$

$$SS_E = 9.9362 - (40.2150 - 31.0538)$$

$$SS_E = 9.9362 - 9.1612$$

$$SS_E = 0.7750$$

**CUADRO C-3. CÁLCULO Y RESULTADOS DE LOS GRADOS DE LIBERTAD,
MEDIAS CUADRÁTICAS PARA CADA EFECTO PRINCIPAL Y
LAS INTERACCIONES.**

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Media de Cuadrados
A	$a - 1 = 3 - 1 = 2$	$MS_A = \frac{SS_A}{2} = \frac{4.9675}{2} = 2.4838$
B	$b - 1 = 2 - 1 = 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{1} = \frac{0.9204}{1} = 0.9204$
C	$c - 1 = 2 - 1 = 1$	$MS_C = \frac{SS_C}{1} = \frac{0.1837}{1} = 0.1837$
AB	$(a-1)(b-1) = (3-1)(2-1) = 2$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{2} = \frac{0.7408}{2} = 0.3704$
AC	$(a-1)(c-1) = (3-1)(2-1) = 2$	$MS_{AC} = \frac{SS_{AC}}{2} = \frac{0.1225}{2} = 0.0613$
BC	$(b-1)(c-1) = (2-1)(2-1) = 1$	$MS_{BC} = \frac{SS_{BC}}{1} = \frac{1.9838}{1} = 1.9838$
ABC	$(a-1)(b-1)(c-1) = (3-1)(2-1)(2-1) = 2$	$MS_{ABC} = \frac{SS_{ABC}}{2} = \frac{0.2425}{2} = 0.1213$
ERROR	$abc(n-1) = 3*2*2(2-1) = 12$	$MS_E = \frac{SS_E}{12} = \frac{0.7750}{12} = 0.0646$
TOTAL	$abcn - 1 = 3*2*2*2 - 1 = 23$	

Cálculo de F_o con los resultados del cuadro C-4 :

$$F_o = \frac{MS_A}{MS_E} = \frac{2.4838}{0.0646} = 38.4489 \quad \text{Para (A)}$$

$$F_o = \frac{MS_B}{MS_E} = \frac{0.9206}{0.0646} = 14.2467 \quad \text{Para (B)}$$

$$F_o = \frac{MS_C}{MS_E} = \frac{0.1837}{0.0646} = 2.8437 \quad \text{Para (C)}$$

$$F_o = \frac{MS_{AB}}{MS_E} = \frac{0.3704}{0.0646} = 5.7307 \quad \text{Para (AB)}$$

$$F_o = \frac{MS_{AC}}{MS_E} = \frac{0.0613}{0.0646} = 0.9489 \quad \text{Para (AC)}$$

$$F_o = \frac{MS_{BC}}{MS_E} = \frac{1.9838}{0.0646} = 30.7090 \quad \text{Para (BC)}$$

$$F_o = \frac{MS_{ABC}}{MS_E} = \frac{0.1213}{0.0646} = 1.8777 \quad \text{Para (ABC)}$$

Para la determinación de la suma de cuadrados a partir de un diseño multifactorial se realizó por medio de la **técnica de Yates** ya que esta facilita la obtención de las sumas de cuadrados de cada uno de los factores principales, así como también de las interacciones entre cada factor. Esta técnica se presenta en el cuadro C-5.

CUADRO C-4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE LOS FACTORES INCLUYENDO EL ERROR EN REPETICIONES

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F _o Calculado	F _o de Tablas		
					0.10	0.05	0.01
Volumen de Solvente (A)	4.9675	2	2.4838	38.4489**	2.81	3.89	6.93
Tiempo de Maceración (B)	0.9204	1	0.9204	14.2467**	3.18	4.75	9.33
Tipo de Muestra (C)	0.1837	1	0.1837	2.8437	3.18	4.75	9.33
AB	0.7408	2	0.3704	5.7303*	2.81	3.89	6.93
AC	0.1225	2	0.0613	0.9489	2.81	3.89	6.93
BC	1.9838	1	1.9838	30.7090**	3.18	4.75	9.33
ABC	0.2425	2	0.1213	1.8777	2.81	3.89	6.93
ERROR	0.7750	12	0.0646				
TOTAL	9.9362	23					

* Hay una diferencia significativa al 95% de confianza.

** Hay una diferencia significativa al 95% y al 99% de confianza

CUADRO C-5 TECNICA DE YATES PARA UN EXPERIMENTO FACTORIAL 2⁴

Combinación de tratamientos	(1)	(2)	(3)	(4)	Identificación
(1)	(1)+a	(1)+a+b+ab	(1)+a+b+ab+c+ac+bc+abc	(1)+a+b+ab+c+ac+bc+abc+a-(1)+ab-b+ac-c+abc-bc	Total
a	b+ab	c+ac+bc+abc	a-(1)+ab-b+ac-c+abc-bc	b+ab-(1)-a+bc+abc-c-ac+ab-b+(1)+abc-bc-ac+c	Contraste A
b	c+ac	a-(1)+ab-b	b+ab-(1)-a+bc+abc-c-ac	c+ac+bc+abc-(1)-a-b-ab+ ac-c+abc-bc-a+(1)-ab+b	Contraste B
ab	bc+abc	ac-c+abc-bc	ab-b-a+(1)+abc-bc-ac+c	bc+abc-c-ac-b-ab+(1)+a+ abc-bc-ac+c-ab+b+a-(1)	Contraste AB
c	a-(1)	b+ab-(1)-a	c+ac+bc+abc-(1)-a-b-ab	a-(1)+ab-b+ac-c+abc-bc-(1)-a-b-ab-c-ac-bc-abc	Contraste C
ac	ab-b	bc+abc-c-ac	ac-c+abc-bc-a+(1)-ab+b	ab-b-a+(1)+abc-bc-ac+c-b-ab+(1)+a-bc-abc+c+ac	Contraste AC
bc	ac-c	ab-b-a+(1)	bc+abc-c-ac-b-ab+(1)+a	ac-c+abc-bc-a+(1)-ab+b-c-ac-bc-abc+(1)+a+b+ab	Contraste BC
abc	abc-bc	abc-bc-ac+c	abc-bc-ac+c-ab+b+a-(1)	abc-bc-ac+c-ab+b+a-(1)-bc-abc+c+ac+b+ab-(1)-a	Contraste ABC
d	d+ad	d+ad+bd+abd	d+ad+bd+abd+cd+acd+bcd+abcd	d+ad+bd+abd+cd+acd+bcd+abcd+ad-d+abd-bd+acd-cd+abcd-bcd	Contraste D
ad	bd+abd	cd+acd+bcd+abcd	ad-d+abd-bd+acd-cd+abcd-bcd	bd+abd-d-ad+bcd+abcd-cd-acd+abd-bd+d+abcd-bcd-acd+cd	Contraste AD
bd	cd+acd	ad-d+abd-bd	bd+abd-d-ad+bcd+abcd-cd-acd	cd+acd+bcd+abcd-d-ad-bd-abd+acd-cd+abcd-bcd-ad+d-abd+bd	Contraste BD
abd	bcd+abcd	acd-cd+abcd-bcd	abd-bd-ad+d+abcd-bcd-acd+cd	bcd+abcd-cd-acd-bd-abd+d+ad+abcd-bcd-acd+cd-abd+bd+ad-d	Contraste ABD
cd	ad-d	bd+abd-d-ad	cd+acd+bcd+abcd-d-ad-bd-abd	ad-d+abd-bd+acd-cd+abcd-bcd-d-ad-bd-abd-cd-acd-bcd-abcd	Contraste CD
acd	abd-bd	bcd+abcd-cd-acd	acd-cd+abcd-bcd-ad+d-abd+bd	abd-bd-ad+d+abcd-bcd-acd+cd-bd-abd+d+ad-bcd-abcd+cd+acd	Contraste ACD
bcd	acd-cd	abd-bd-ad+d	bcd+abcd-cd-acd-bd-abd+d+ad	acd-cd+abcd-bcd-ad+d-abd+bd-cd-acd-bcd-abcd+d+ad+bd+abd	Contraste BCD
abcd	abcd-bcd	abcd-bcd-acd+cd	abcd-bcd-acd+cd-abd+bd+ad-d	abcd-bcd-acd+cd-abd+bd+ad-d-bcd-abcd+cd+acd+bd+abd-d-ad	Contraste ABCD

**C-b ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS PRUEBAS DE SONDEO
REALIZADAS VARIANDO EL TAMAÑO DE MUESTRA**

El diseño experimental aplicado es del tipo factorial múltiple, dado que en el experimento hay varios factores de interés que varían a distintos niveles:

Factor	No. de Niveles
Volumen de Solvente (A)	2 (a)
Tiempo de Maceración (B)	2 (b)
Tipo de Muestra (C)	2 (c)
Tamaño de Muestra (D)	2 (d)

El diseño factorial evalúa el efecto de cada factor y de todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. El arreglo de las concentraciones que resultaron de las pruebas de extracción del pigmento se hizo de la siguiente manera:

CUADRO C-5 DATOS DE CONCENTRACIONES RELATIVAS

VOLUMEN DE SOLVENTE (A)	TAMAÑO DE MUESTRA (D)							
	25 Gramos				50 Gramos			
	TIEMPO DE MACERACION (B)							
	24 Horas		48 Horas		24 Horas		48 Horas	
	TIPO DE MUESTRA (C)				TIPO DE MUESTRA (C)			
Hoja	Hoja-Tallo	Hoja	Hoja-Tallo	Hoja	Hoja-Tallo	Hoja	Hoja-Tallo	
500 ml	2.0	0.7	1.6	2.1	8.76	4.06	7.95	4.81
	1.7	0.7	2.3	2.6	8.76	4.06	7.95	4.81
750 ml	1.6	0.6	1.1	1.4	3.04	1.64	4.81	2.10
	1.1	0.6	0.8	1.6	3.77	1.62	5.29	2.12

En la figura C-1 se presentan los datos del arreglo factorial 2^4 representada por medio de dos cubos lo cual facilita la interpretación de este tipo de diseños.

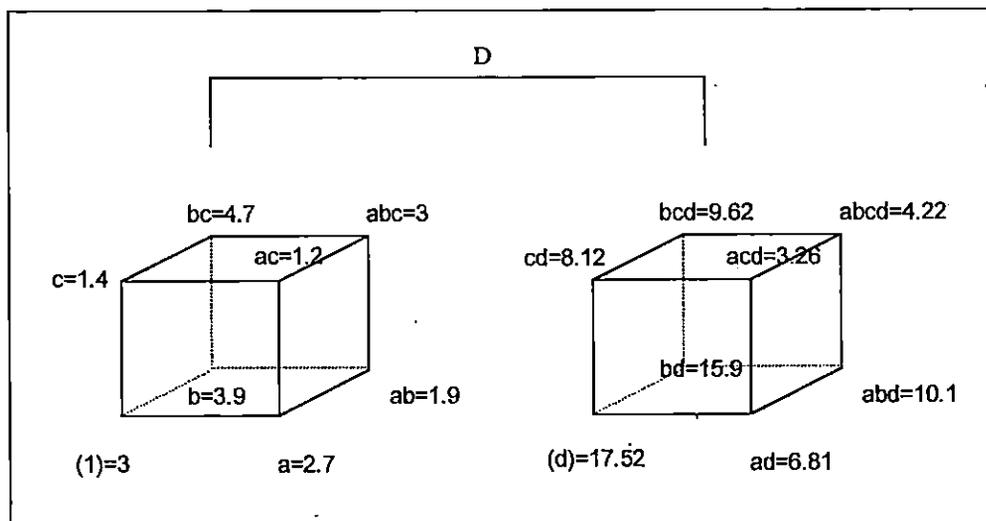


Fig. 6.1 Modelo Factorial 2^4 de Pruebas de Sondeo Variando Tamaño de Muestra

La suma total de cuadrados se determina usando la ecuación:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{n=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2}{abcdn} \quad \text{Ecuación(10)}$$

$$SS_{Tr} = \frac{1}{2} [(T1)^2 + (T2)^2 + \dots + (Tn)^2] - C \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$C = \frac{(Total \text{ Réplicas})^2}{n * T} \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$SS_R = \frac{1}{16} [(TR1)^2 + (TR2)^2] - C \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{T_r} - SS_R \quad \text{Ecuación (14)}$$

Para el análisis de varianza de las concentraciones de pigmento se tiene:

a = 2 (número de niveles del volumen de solvente)

b = 2 (número de niveles del tiempo de maceración)

c = 2 (número de niveles del tipo de muestra)

d = 2 (número de niveles del tamaño de muestra)

n = 2 (número de repeticiones realizadas)

De la ecuación (10) se tiene:

$$SS_T = (2.0)^2 + (1.7)^2 + (1.6)^2 + (1.1)^2 + (0.7)^2 + (0.7)^2 + (0.6)^2 + (0.6)^2 + (1.6)^2 + (2.3)^2 + (1.1)^2 + (0.8)^2 + (2.1)^2 + (2.6)^2 + (1.4)^2 + (1.6)^2 + (8.76)^2 + (8.76)^2 + (3.04)^2 + (3.77)^2 + (4.06)^2 + (4.06)^2 + (1.64)^2 + (1.62)^2 + (7.95)^2 + (7.95)^2 + (4.81)^2 + (5.29)^2 + (4.81)^2 + (4.81)^2 + (2.10)^2 + (2.12)^2 - \frac{(98.05)^2}{32}$$

$$SS_T = 485.6627 - 300.4313$$

$$SS_T = 185.2314$$

De las ecuaciones (11), (13) y (14) se tienen:

$$SS_{Tr} = \frac{1}{2} \left[\begin{array}{l} (3.7)^2 + (1.4)^2 + (3.9)^2 + (4.7)^2 + (2.7)^2 + (1.2)^2 + (1.9)^2 + (3.0)^2 + (17.52)^2 + \\ (8.12)^2 + (15.9)^2 + (9.62)^2 + (6.81)^2 + (3.26)^2 + (101)^2 + (4.22)^2 \end{array} \right] - 300.4313$$

$$SS_{Tr} = 484.6757300.4313$$

$$SS_{Tr} = 184.2444$$

$$SS_R = \frac{1}{16} \left[(48.27)^2 + (49.78)^2 \right] - 300.4313$$

$$SS_R = 300.5026 - 300.4313$$

$$SS_R = 0.0713$$

$$SS_E = 185.2314 - 184.2444 - 0.0713$$

$$SS_E = 0.9157$$

**C-c ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DE LAS
PRUEBAS DE ESCALAMIENTO**

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media Cuadrática	F _o Calculado
Tratamiento	a-1	SS _{TRATAMIENTOS}	MS _{TRATAMIENTOS}	$\frac{MS_{TRATAMIENTOS}}{MS_E}$
Error	a(n-1)	SS _E	MS _E	
Total	an-1	SS _T		

La suma total de cuadrados se determina usando la ecuación:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{n=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$SS_{TRATAMIENTO} = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i.}^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{N} \quad \text{Ecuación (16)}$$

La suma de cuadrados del error se obtiene por sustracción y es:

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} \quad \text{Ecuación (17)}$$

Con n = Número de réplicas

N = Número de datos totales = 12 y los datos del cuadro 5.2:

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum_{i=1}^4 \sum_{n=1}^3 y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \\ SS_T &= (0.215)^2 + (0.013)^2 + (0.044)^2 + (0.901)^2 + (0.716)^2 + (0.716)^2 + (0.969)^2 + \\ &\quad (1.317)^2 + (1.176)^2 + (4.395)^2 + (4.247)^2 + (4.053)^2 - \frac{18.762}{12} \\ SS_T &= 59.7217 - 1.5635 = 58.1582 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_{TRATAMIENTO} &= \sum_{i=1}^4 \frac{y_{i.}^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{N} \\ SS_{TRATAMIENTO} &= \frac{(0.272)^2 + (2.333)^2 + (3.462)^2 + (12.695)^2}{3} - 15635 \\ SS_{TRATAMIENTO} &= 59.5551 - 1.5635 = 57.9916 \end{aligned}$$

$$SS_{ERROR} = 58.182 - 57.9916$$

$$SS_{ERROR} = 0.1666$$

CUADRO C- 6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE LOS FACTORES INCLUYENDO EL ERROR EN REPETICIONES

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media Cuadrática	F _o Calculado	F _o de Tablas		
					0.10	0.05	0.01
Volumen de Solvente (A)	1	31.3444	31.3444	547.9615*	3.07	4.54	8.68
Tiempo de Maceración (B)	1	2.3274	2.3274	40.6888*	3.07	4.54	8.68
Tipo de Muestra (C)	1	22.7981	22.7981	398.5682*	3.07	4.54	8.68
Tamaño de Muestra (D)	1	87.9470	87.9470	1537.5350*	3.07	4.54	8.68
AB	1	0.1093	0.1093	1.9108	3.07	4.54	8.68
AC	1	1.6882	1.6882	29.5248	3.07	4.54	8.68
AD	1	14.9468	14.9468	261.3077	3.07	4.54	8.68
BC	1	1.3163	1.3163	23.0122	3.07	4.54	8.68
BD	1	0.0036	0.0036	0.0629	3.07	4.54	8.68
CD	1	16.8345	16.8345	294.3094	3.07	4.54	8.68
ABC	1	1.1063	1.1063	19.3409	3.07	4.54	8.68
ABD	1	1.4749	1.4749	25.7850	3.07	4.54	8.68
ACD	1	0.8288	0.8288	14.4895	3.07	4.54	8.68
BCD	1	0.7534	0.7534	13.1713	3.07	4.54	8.68
ABCD	1	0.7657	0.7657	13.3864	3.07	4.54	8.68
ERROR	16	0.9157	0.0572				
TOTAL	31	185.2314					

* Existe una diferencia significativa alta de los 4 factores principales

CUADRO C-5 PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCIÓN F ($F_{0.01, v_1, v_2}$)

$v_2 \backslash v_1$	Grados de libertad para el numerador (v_1)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	4052	4999.5	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366	
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50	
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.00	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13	
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46	
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02	
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88	
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65	
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86	
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31	
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91	
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60	
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36	
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17	
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00	
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87	
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75	
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65	
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57	
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49	
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42	
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36	
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31	
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26	
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21	
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17	
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13	
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10	
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06	
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03	
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01	
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80	
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60	
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38	
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00	

CUADRO C-6 PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCIÓN F ($F_{0.10, v_1, v_2}$)

$v_1 \backslash v_2$	Grados de libertad para el numerador (v_1)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞					
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33					
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49					
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13					
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76					
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10					
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72					
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47					
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29					
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16					
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06					
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97					
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90					
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85					
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80					
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76					
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72					
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69					
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66					
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63					
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61					
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59					
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57					
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55					
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53					
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52					
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50					
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49					
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.95	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48					
29	2.88	2.50	2.28	2.15	2.05	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47					
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.03	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46					
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.38					
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29					
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.19					
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.17	1.00					

CUADRO C-7 PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCIÓN F ($F_{0.05, v_1, v_2}$)

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

ANEXO D

MARCHAS DE ANÁLISIS REALIZADOS EN LA
ETAPA EXPERIMENTAL Y MATERIAL Y EQUIPO
UTILIZADO.

D-1 METODO DE EVAPORACION POR SECADO

MATERIAL Y EQUIPO

- Cápsula de porcelana
- Probeta graduada de 25 ml
- Estufa
- Desecador
- Balanza semianalítica

REACTIVO

Muestra de Tinta en extracto concentrada.

PROCEDIMIENTO

1. Calcínese la cápsula de porcelana durante 1 hora, luego enfríese en desecador.
2. Pesar la cápsula de porcelana
3. Repetir el ciclo de secado, enfriado y pesado hasta peso constante.
4. Medir 20 ml de muestra en una probeta graduada y verterla en la cápsula.
5. Introducir la cápsula en la estufa a 103-105°C y evaporar a sequedad.
6. Enfriar en desecador y pesar.

Nota: Realizar muestras por triplicado.

D-2 METODO ESTANDAR DE TEÑIR DE AÑIL (PROCEDIMIENTO DE TINA)

El algodón o lino se tiñe restregando las hojas frescas de añil, se le agrega ceniza (álcali) para lograr mejor resultado. Después de terminado el trabajo de teñidura, el residuo es dejado en el recipiente de agua, con el fin de que se forme al día siguiente una capa delgada (indigo) de color añil. Al remover este líquido con el dedo, éste se colorea amarillo-pardo que retorna al azul al oxidarse en el aire.

El líquido debe ser reducido a pH 10 - 11.5 con la ceniza. Alimentar los fermentos contenidos en la fibra vegetal para su mejor propagación, ya que contribuyen a mantener el líquido en alcalino. La temperatura debe mantenerse entre 20 y 30 grados centígrados para facilitar la proliferación de los fermentos.

D-3 METODO PRIMITIVO DE OBTENCIÓN DE AÑIL

El jiquilite se corta por el tallo de la planta a unos doce cms. del suelo, y luego se coloca en pilas u obrajes. Los obrajes son pilas de aproximadamente 35 m³, con capacidad de tratar 125 quintales de jiquilite, contruidos de piedra, cal y arena o cemento.

Se agrega agua en las pilas, que ya contienen el jiquilite, y comienza entonces la maceración. Mediante esta operación, llamada también fermentación, se disuelve el Indicán, realizándose al mismo tiempo un vivo desprendimiento de anhídrido carbónico

(CO₂). El desdoblamiento del glucósido en sus componentes se verifica probablemente gracias a una enzima contenida en las hojas. Esta etapa no posee ningún tipo de agitación y su duración es de 12 a 17 horas. Al cabo de este tiempo, el aspecto del líquido es de una coloración verde y en su superficie da un tinte tornasol; este es el momento en que el líquido debe vaciarse en una segunda pila, quedando en el fondo de la primera pila el jiquilite sin colorante, el cual puede enterrarse y utilizarse como abono orgánico.

Si el líquido se vacía antes o después del momento en que éste se encuentra en su punto, se obtendrán bajos rendimientos y el añil obtenido será de un color oscuro y de muy poco valor. El líquido que se encuentra en la segunda pila, debe agitarse con el objeto de provocar la oxidación de la masa.

Se ha sugerido que a la segunda pila se le agregue lechada de cal, además de la agitación, para mejorar la precipitación del pigmento, con la desventaja de que sedimentan muchas impurezas y por eso daña la calidad del producto. En esta etapa el líquido pasa de color verde a azul. Este cambio de color indica la oxidación del pigmento; al mismo tiempo se forman grumos de índigo azul, los cuales se depositan en el fondo en forma de sedimento.

Aproximadamente esta etapa dura de dos a tres horas, luego el líquido se deja en reposo para que la materia colorante precipite. El tinte precipitado forma en el fondo de la pila una capa muy delgada, luego se destapan unos agujeros practicados en la pared a diferentes alturas para dar salida a las lejías. La tinta junto con las lejías restantes, se depositan en recipientes para hervirlos el tiempo que sea necesario para que la tinta esté cocida, luego se coloca en filtros para quitarle el agua y para obtener un polvo completamente seco se coloca al sol en sacos de cuero.

Las aguas que salen de la pila de batir podrían desecharse en un río, pero por provenir de un proceso a partir de materia orgánica, sería recomendable darles un tratamiento, antes de desecharlas o tirarlas a las aguas negras.

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

D-4 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO EN LA ETAPA PRELIMINAR

1 Espectrofotómetro (Spectronic 20)	2 Frascos volumétricos de 200 ml
1 Balanza granataria	4 Frascos volumétricos de 100 ml
1 Termómetro	2 Frascos volumétricos de 50 ml
2 Agitadores de vidrio	4 Beakers de 1000 ml
4 Embudos de separación de 250ml	2 Beakers de 500 ml
2 Embudos de separación de 60 ml	2 Beakers de 600 ml
4 Agitadores magnéticos	3 Beakers de 50 ml
1 Espátula	1 Probeta de 1000 ml
3 Vidrios de reloj	1 Probeta de 500 ml
1 Frasco lavador	1 Probeta de 100 ml
4 Erlenmeyer de 1000 ml	1 Probeta de 25 ml
3 Erlenmeyer de 500 ml	1 Probeta de 10 ml
4 Erlenmeyer de 60 ml	1 Desecador
4 Hot plate	Balanza semianalítica
1 Estufa	3 Cápsulas de porcelana
8 Cubetas para espectrofotómetro	1 Gradilla
1 Pipeta de 5 ml	1 Colador
1 Pipeta de 1 ml	Papel toalla
1 Pipeta volumétrica de 1 ml	Papel Aluminio
1 Pipeta de 0.5 ml	Agua destilada
1 Mortero con pistilo	Agua de la red de ANDA

D-5 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO EN LAS PRUEBAS DE ESCALAMIENTO

1 Espectrofotómetro (Spectronic 20)	1 Probeta de 1 L
4 Cubetas para espectrofotómetro	4 Agitadores Magnéticos
3 Volumétricos de 100 mL	12 Recipientes Plásticos
1 Beaker de 1 L	4 Hotplate
1 Beaker de 500 mL	1 Balanza granataria
1 Termómetro	Papel Toalla
1 Frasco Lavador	Agua Destilada
2 Pipetas volumétricas de 1 ml	Agua de Anda
1 Gradilla	Papel pH
Colador	1 Embudo