



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN Y CAPACIDAD DE TINCIÓN DEL  
COLORANTE NATURAL OBTENIDO DE LAS HOJAS DEL AÑIL (*INDIGÓFERA  
GUATEMALENSIS*) A PARTIR DE CUATRO PROCEDENCIAS Y MEDIANTE PRUEBAS  
FISICOQUÍMICAS EN FIBRAS DE LANA Y ALGODÓN A NIVEL LABORATORIO**

**Joan Alejandra López López**

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN Y CAPACIDAD DE TINCIÓN DEL  
COLORANTE NATURAL OBTENIDO DE LAS HOJAS DEL AÑIL (*INDIGÓFERA  
GUATEMALENSIS*) A PARTIR DE CUATRO PROCEDENCIAS Y MEDIANTE PRUEBAS  
FISICOQUÍMICAS EN FIBRAS DE LANA Y ALGODÓN A NIVEL LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOAN ALEJANDRA LÓPEZ LÓPEZ**

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Victor Herbert de León Morales
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza Gonzalez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

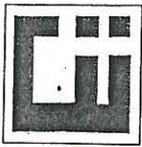
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN Y CAPACIDAD DE TINCIÓN DEL COLORANTE NATURAL OBTENIDO DE LAS HOJAS DEL AÑIL (INDIGÓFERA GUATEMALENSIS) A PARTIR DE CUATRO PROCEDENCIAS Y MEDIANTE PRUEBAS FISICOQUÍMICAS EN FIBRAS DE LANA Y ALGODÓN A NIVEL LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 7 de noviembre de 2011.



**Joan Alejandra López López**



Guatemala, 02 de Noviembre de 2012

Ingeniero  
Victor Manuel Monzón Valdez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al informe final del trabajo de graduación **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN Y CAPACIDAD DE TINCIÓN DEL COLORANTE NATURAL OBTENIDO DE LAS HOJAS DEL AÑIL (*Indigófera guatemalensis*) A PARTIR DE CUATRO PROCEDENCIAS Y MEDIANTE PRUEBAS FISICOQUÍMICAS EN FIBRAS DE LANA Y ALGODÓN A NIVEL LABORATORIO"**, de la estudiante de Ingeniería Química Joan Alejandra López López quien se identifica con el carné número 2003-20429.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

  
Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
Coordinador

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-  
Sección Química Industrial CII / USAC  
Asesor



  
Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Asesora



Guatemala, 01 de abril de 2013  
 Ref. EI.Q.TG-IF.021.2013

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
 DIRECTOR  
 Escuela Ingeniería Química  
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-115-2010-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Joan Alejandra López López**

Identificada con número de carné: **2003-20429**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN Y CAPACIDAD DE TINCIÓN DEL COLORANTE NATURAL OBTENIDO DE LAS HOJAS DEL AÑIL (*Indigófera guatemalensis*) A PARTIR DE CUATRO PROCEDENCIAS Y MEDIANTE PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS EN FIBRAS DE LANA Y ALGODÓN A NIVEL LABORATORIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales** y **Mario José Mérida Meré**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

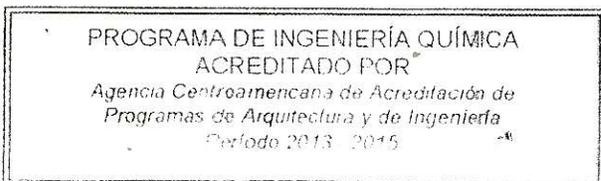
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Jaime Domingo Carranza González  
 COORDINADOR DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **JOAN ALEJANDRA LÓPEZ LÓPEZ** titulado: **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN Y CAPACIDAD DE TINCIÓN DEL COLORANTE NATURAL OBTENIDO DE LAS HOJAS DEL AÑIL (INDIGÓFERA GUATEMALENSIS) A PARTIR DE CUATRO PROCEDENCIAS Y MEDIANTE PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS EN FIBRAS DE LANA Y ALGODÓN A NIVEL LABORATORIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, agosto 2013

Cc: Archivo  
VMMV/ale



DTG. 538.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN Y CAPACIDAD DE TINCIÓN DEL COLORANTE NATURAL OBTENIDO DE LAS HOJAS DEL AÑIL (*INDIGÓFERA GUATEMALENSIS*) A PARTIR DE CUATRO PROCEDENCIAS Y MEDIANTE PRUEBAS FISICOQUÍMICAS EN FIBRAS DE LANA Y ALGODÓN A NIVEL LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria: **Joan Alejandra López López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 2 de agosto de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por iluminarme cada día de mi vida, guiar mi camino hacia el bien y ayudarme en los momentos más difíciles para no desfallecer.
<b>Mis padres</b>	Herbert López y Marisol de López, por su amor, comprensión, apoyo incondicional y ejemplo a seguir.
<b>Mis abuelos</b>	Quienes siempre me aconsejaron. Llevo vivo sus recuerdos inolvidables en el corazón.
<b>Mi familia</b>	Por su apoyo e impulso que me ayudó a salir adelante.
<b>Mi novio</b>	David Rosales, quien con su apoyo y entusiasmo me impulsó a salir adelante.
<b>Mi amiga</b>	Annaly Castañeda, quien con su apoyo me motivó a lograr mis metas.
<b>Mis amigos</b>	Maria José Ortiz, Paola Estrada, Claudia Montenegro, Juan Pablo García, Juan José Molina, Mynor Fernandez por su apoyo y compañía a lo largo de la carrera

**Mis compañeros de trabajo**

Quienes con su apoyo me impulsaron a continuar y finalizar mis metas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme educación y preparación para enfrentar los retos del futuro.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser la facultad que abrió sus puertas y me brindó conocimiento.
<b>Mis asesores</b>	Inga. Telma Maricela Cano Morales e Ing. Mario José Mérida Meré por su apoyo y motivación para finalizar las metas propuestas.



2.5.1.	Clasificación de fibras utilizadas en la industria textil.....	21
2.5.1.1.	Clasificación según origen natural.....	21
2.5.1.1.1.	Origen animal.....	21
2.5.1.1.2.	Origen vegetal.....	22
2.5.1.1.3.	Minerales.....	22
2.5.1.2.	Origen artificial .....	22
2.5.1.3.	Origen sintético .....	23
2.5.1.4.	Según su composición química.....	23
2.5.2.	Descripción de fibras.....	23
2.5.2.1.	Algodón .....	24
2.5.2.2.	Especies algodonerías.....	24
2.5.2.3.	Teñido y estampado.....	24
2.5.2.4.	Lana .....	25
2.5.2.5.	Lavado de la lana.....	25
2.5.2.6.	Características .....	26
2.5.2.7.	Propiedades físicas de la lana.....	26
2.5.2.8.	Propiedades químicas de la lana .....	28
2.5.2.9.	Propiedades biológicas de la lana.....	28
2.6.	Añil.....	29
2.6.1.	Generalidades .....	29
2.6.2.	Historia del añil.....	29
2.6.3.	Los usos del añil.....	32
2.6.4.	La economía colonial del añil .....	32
2.6.5.	La ruta del añil.....	34
2.6.6.	Composición química .....	36
2.6.7.	Aspectos botánicos y de cultivo del xiquilite ( <i>Indigófera tinctoria</i> ) .....	37
2.6.8.	Extracción del añil .....	38

2.6.9.	Métodos para el proceso de tinción con fibras de lana y algodón .....	38
2.6.9.1.	Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) carbonato de sodio .....	39
2.6.9.2.	Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) soda cáustica...	39
2.6.9.3.	Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) ceniza de encino (Lejía) .....	40
2.6.9.4.	Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) cal en terrón o cal hidratada (hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).....	40
2.6.10.	Métodos para caracterización de las fibras teñidas .....	41
2.6.10.1.	Solidez a la luz.....	41
2.6.10.2.	Solidez al lavado.....	42
2.6.10.3.	Solidez al hipoclorito enérgico .....	42
2.6.10.4.	Solidez al cloro .....	42
3	DISEÑO METODOLÓGICO .....	45
3.1.	Variables.....	45
3.1.1.	Variables independientes .....	45
3.1.2.	Variables dependientes .....	45
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	49
3.2.1.	Localización .....	49
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	49
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	49

3.4.1.	Materia prima .....	50
3.4.2.	Equipo .....	50
3.4.3.	Cristalería .....	53
3.4.4.	Reactivos.....	54
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	54
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	55
3.6.1.	Tratamientos .....	55
3.6.2.	Diseño del experimento.....	55
3.6.3.	Manejo del experimento .....	56
3.6.3.1.	Obtención de las fibras.....	56
3.6.3.2.	Condiciones de teñido.....	56
3.6.3.3.	Lavado en fibras de lana y algodón.....	56
3.6.3.4.	Tamizaje.....	57
3.6.3.5.	Temperatura del agua .....	58
3.6.3.6.	Alcalinidad en la solución .....	58
3.6.3.7.	Hidrosulfito de sodio .....	58
3.6.3.8.	Método de tinción utilizando cal hidratada (hidróxido de calcio Ca(OH) <sub>2</sub> ) .....	60
3.6.3.9.	Fijación de los tintes en las fibras.....	61
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	61
3.8.	Análisis estadístico.....	62
3.8.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	62
3.8.1.1.	Análisis de varianza .....	63
3.8.1.2.	Cuadro de Andeva .....	63
3.8.1.3.	Criterio de Tukey .....	66
3.8.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	67

3.9.	Diagrama de flujo del proceso de tinción.....	68
3.10.	Análisis de precios de materias primas .....	68
4.	RESULTADOS.....	71
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	79
	CONCLUSIONES .....	83
	RECOMENDACIONES.....	85
	BIBLIOGRAFÍA.....	87
	APÉNDICES .....	91
	ANEXOS.....	127



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Añil ( <i>Indigófera guatemalensis</i> ).....	30
2.	Índigo .....	36
3.	Indigotina.....	37
4.	Planchas de calentamiento .....	50
5.	Balanza analítica digital <i>Adventurer Ohaus</i> .....	51
6.	Potenciómetro marca <i>Orión Research</i> .....	52
7.	Marmita .....	52
8.	Horno.....	53
9.	Bloques completos al azar con 6 repeticiones .....	55
10.	Lavado de fibras de lana y algodón .....	57
11.	Tamices.....	57
12.	Tinción de las fibras de lana y algodón .....	59
13.	Preparación de cal en terrón o cal hidratada (hidróxido de calcio).....	60
14.	Gráfica de la prueba estadística de F (Fisher) .....	65
15.	Comparación de medias marginales estimadas de luz para cuatro procedencias en fibras de lana y algodón .....	67
16.	Diagrama de flujo del proceso de tinción .....	69

### TABLAS

I.	Efectos obtenidos al utilizar mordientes.....	19
II.	Características de la lana.....	27
III.	Variables en el método para tinción de lana y algodón .....	46

IV.	Solidez a la luz.....	47
V.	Solidez al lavado.....	47
VI.	Solidez al hipoclorito energético. ....	48
VII.	Solidez al cloro.....	48
VIII.	Criterios de evaluación de las diferentes solideces. ....	54
IX.	Diseño para la recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de lana.....	62
X.	Diseño para la recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de algodón .....	62
XI.	Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez a la luz en fibra de algodón. ....	64
XII.	Tabla de decisión para la selección de la procedencia con mejores resultados para solidez a la luz en fibras de algodón. ....	66
XIII.	Precios de materias primas. ....	70
XIV.	Resultados obtenidos para fibras de lana.....	71
XV.	Resultados obtenidos para fibras de algodón.....	72
XVI.	Resultado cuadro de Andeva solidez a la luz. ....	73
XVII.	Resultados prueba de Tukey para procedencias de solidez a la luz ...	73
XVIII.	Resultado cuadro de Andeva solidez al Hipoclorito energético. ....	73
XIX.	Resultados prueba de Tukey para procedencias solidez al hipoclorito energético.....	74
XX.	Resultado cuadro de Andeva solidez al cloro. ....	74
XXI.	Resultados prueba de Tukey para procedencias solidez al cloro. ....	74
XXII.	Resultado cuadro de Andeva solidez al lavado. ....	75
XXIII.	Resultados prueba de Tukey para procedencias solidez al lavado. ....	75
XXIV.	Resultados prueba de Tukey para temperaturas en solidez al lavado ...	75

XXV.	Porcentajes de rendimiento de la tinción con extracto natural añil con cuatro procedencias. ....	76
XXVI.	Porcentaje de indigotina.....	76
XXVII.	Calidad de fibras de lana.....	77
XXVIII.	Calidad de fibras de lana solidez al lavado. ....	77
XXIX.	Calidad de fibras de algodón.....	78
XXX.	Calidad de fibras de algodón solidez al lavado. ....	78



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>g</b>	Gramos
<b>Hi</b>	Hipótesis alterna
<b>Ho</b>	Hipótesis nula
<b>h</b>	Horas
<b>Hz</b>	Hertz en $S^{-1}$
<b>L</b>	Litros
<b>μ</b>	Micrómetros
<b>mL</b>	Mililitros
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>v/v</b>	Relación volumen sobre volumen
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>α</b>	Significancia
<b>°C</b>	Temperatura en grados Celcius
<b>F</b>	Valor de Fisher calculado
<b>V</b>	Voltio



## GLOSARIO

<b>AATCC</b>	American Association of Textile Chemists and Colorist.
<b>Añil</b>	Es un arbusto de 1 a 2 metros de altura, de tallo erguido con hojas simples óvalo-oblongas que mide 2.5 a 4 centímetros de color verde oscuro, sus flores son rosadas o amarillentas; planta nativa de Oaxaca, prolifera en climas templados, cálidos y suelos pobres de materia orgánica. Cuenta con 3 especies: <i>Indigófera Tinctórea</i> , <i>Indigofera suffruticosa</i> Mill. ( <i>Indigofera anil</i> L. o <i>Indigofera guatimal</i> Lunan), e <i>Indigofera guatemalensis</i> Monc.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>Cromóforos</b>	Moléculas responsables del color y de sus respectivas características de utilización y reactividad frente a factores físicos o químicos ambientales, o partes específicas de ellas.

**Fibra textil**

Conjunto de filamentos susceptibles de ser usados para formar hilos o telas, bien sea mediante hilado, tejido o mediante otros procesos físicos o químicos. Así, la fibra es la estructura básica de los materiales textiles. Se considera fibra textil cualquier material cuya longitud sea muy superior a su diámetro y que pueda ser hilado.

**Índigo**

Colorante natural más utilizado en todos los tiempos, incluso actualmente, debido a su solidez; resiste bien a la luz, al lavado, a los álcalis y ácidos. Se utiliza en tintura textil como colorante a la tina. El índigo es el colorante de los jeans y prendas vaqueras azules. Es la denominación tradicional de las variedades muy oscuras y profundas del color azul; antiguamente se decía también glasto, Añil o índigo son asimismo los colores que se perciben ante la foto recepción de una luz cuya longitud de onda dominante mide entre 420 y 450 nm.<sup>2</sup>

**Material tintóreo**

Tinte, colorante o pigmento obtenido de una fuente natural sea planta o animal capaz de teñir las fibras vegetales y animales.

<b>Mordiente</b>	Sustancia empleada en tintorería que sirve para fijar los colores en los productos textiles. La función del mordiente es favorecer la fijación del colorante en las fibras. Este término es usado principalmente en la industria textil para designar a aquellas sales metálicas (de aluminio, hierro, plomo), ácidos (el ácido tánico, usado para fijar colores básicos), sustancias orgánicas (caseína, albúmina), etcétera, que sirven para fijar los colores de estampados en los textiles.
<b>Normas AATCC</b>	(American Association of Textile Chemists and Colorist) son documentos relacionados con las pruebas que se le hacen a las fibras, ya sea la decoloración, encogimiento, acidez u otros. En ellas se describe el procedimiento de cada prueba de solidez y como se determinan y evalúan las propiedades fisicoquímicas del tinte en las fibras teñidas.
<b>Tamiz</b>	Cedazo de malla tupida, usado para separar las partes menudas de las gruesas de una masa pulverulenta.
<b>Tinte</b>	Materias colorantes usadas en los textiles.



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación a nivel laboratorio del proceso de aplicación y capacidad de tinción del tinte natural obtenido de las hojas del añil (*Indigofera guatemalensis*) de cuatro procedencias, se aplicó el tinte a fibras de lana y algodón y luego se determinaron las propiedades fisicoquímicas de dichas fibras teñidas.

Para la tinción se utilizó la metodología proveniente de tintoreros de San Juan La Laguna, Sololá y Momostenango, Totonicapán. Dicha metodología fue evaluada a partir de la caracterización de los cuatro distintos extractos colorantes de añil y también se evaluó el proceso de tinción a nivel laboratorio; se realizaron pruebas fisicoquímicas de solidez a las fibras teñidas bajo estándares tales como: AATCC (American association of textile chemists and colorist); con los resultados obtenidos se generó información técnica que permitió determinar la calidad de las fibras teñidas del proceso de tinción del añil, así como también se establecieron parámetros para la aplicación del proceso de tinción del tinte.

El diseño experimental fue una prueba unifactorial completamente al azar; para el procedimiento de tinción se utilizó extracto clorano de añil, se obtuvo 4 procedencias con 6 repeticiones cada una, debido a que son 2 tipos de fibras se tiene un total de 48 tratamientos y para las pruebas de solidez se tuvo 288 resultados experimentales.



## OBJETIVOS

### General

Evaluar el proceso de aplicación y capacidad de tinción del tinte obtenido de las hojas del añil (*Indigofera guatemalensis*) a partir de cuatro procedencias y mediante pruebas fisicoquímicas en fibras de lana y algodón a nivel laboratorio.

### Específicos

1. Caracterización fisicoquímica de los extractos tintóreos de añil obtenidos de cuatro procedencias.
2. Realizar una evaluación a nivel laboratorio del proceso de tinción en fibras naturales de lana y algodón aplicando el extracto tintóreo de la especie vegetal añil obtenido de cuatro procedencias, utilizando la metodología de tintoreros de Momostenango, Totonicapán y de San Juan la Laguna, Sololá.
3. Determinar la calidad de las fibras teñidas mediante pruebas fisicoquímicas de solidez, según normativas internacional AATCC (solidez a la luz AATCC 16E, solidez al lavado AATCC 61, solidez al Hipoclorito energético AATCC 172, solidez al cloro AATCC 188)
3. Establecer parámetros para la aplicación en la metodología del proceso de tinción en fibras de lana y algodón.

## HIPÓTESIS

### Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)

- No existe diferencia significativa en la capacidad de tinción del extracto tintóreo de cuatro procedencias en fibras de lana y algodón a partir de las pruebas fisicoquímicas de solidez.

### Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>)

- Si existe diferencia significativa en la capacidad de tinción del extracto tintóreo de cuatro procedencias en fibras de lana y algodón a partir de las pruebas fisicoquímicas de solidez.

## INTRODUCCIÓN

Todo tinte obtenido de una fuente natural sea planta o animal es un material tintóreo natural. En esta investigación el tinte natural se obtuvo de las hojas del añil (*Indigofera guatemalensis*) de cuatro procedencias.

Guatemala fue un país exportador del tinte de añil en el siglo pasado por lo que se reconoce la importancia del cultivo, obtención y aplicación del tinte. En cuanto al cultivo se refiere, Guatemala está en proceso de tecnificación, pero la metodología de tinción y la evaluación de las propiedades fisicoquímicas a partir de las pruebas de solidez deberán ser mejoradas.

En la actualidad existe una tendencia de volver al uso de tintes naturales en procesos de industria alimenticia, farmacéutica y textil, debido a que los colorantes sintéticos causan efectos negativos al medio ambiente y problemas de salud al ser humano, por lo que se realizan investigaciones para reactivar la producción y uso de tintes naturales.

En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación a nivel laboratorio del proceso de aplicación y capacidad de tinción del tinte obtenido de las hojas del añil; el extracto tintóreo que se obtuvo de las cuatro distintas procedencias se aplicó a las fibras de lana y algodón; luego se realizó, a cada fibra teñida, pruebas fisicoquímicas de solidez las que determinaron la calidad de estas y si existía diferencia significativa en dichas propiedades al variar la procedencia.

Los resultados de las pruebas de solidez fueron tratados con base en criterios de evaluación establecidos de las diferentes solideces basadas en normas AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorist), estadísticamente por medio del análisis de Varianza, basado en la prueba de la media de Tukey y el método de análisis de media.

## 1. ANTECEDENTES

El añil es una planta de origen mesoamericano, los mayas tenían conocimiento acerca de sus usos medicinales y el tono azul en fibras. Cuando llegaron los españoles a América tuvieron contacto con los conocimientos de los mayas con relación al Xiquilite como también es llamado. En las Reales Cédulas de 1,538 y 1,539 se hace una relación de manera oficial de las propiedades de la planta y su producción. En 1538 el rey Carlos I, le da un valor al Xiquilite como producto que tiene gran importancia comercial por lo que en las colonias podían proporcionar a Europa este tinte de color azul. Existe también una ordenanza donde se relata sobre la reglamentación del cultivo y beneficio del añil en el Reino de Guatemala.

En el campo de investigación del añil en la actualidad se han realizado estudios previos en los que se encuentran las investigaciones en el 2003 en San Salvador sobre alternativas técnico-prácticas para reducir el tiempo de extracción de pigmentos sólidos del añil (*indigóferasp.*), realizada por el doctor José Luis Colocho y los ingenieros agrónomos Margarita Hurtarte y Francisco García, quienes hicieron un estudio con tiempos de fermentación de 2, 4 y 6 horas y luego se compararon períodos de 6, 12 y 18 horas.

Con lo anterior se logró determinar que no existe diferencia significativa en cuanto a rendimiento entre 6, 12 y 18 horas; pero si existe diferencia significativa con respecto al porcentaje de indigotina. Llegaron a la conclusión de que el tiempo requerido para lograr la máxima concentración de indigotina es de 12 horas. La indigotina es el parámetro que indica pureza y que da color índigo o azul.

También se han realizado estudios de tintes naturales; en el 2006 el proyecto: Evaluación de la capacidad de tinción de los tintes obtenidos de dos especies forestales guatemaltecas, en el proceso de teñido de fibras naturales, lana y maguey, realizado en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE- sección de Química Industrial en la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala. En dicho proyecto se evaluó el potencial de tinción del tinte obtenido de dos especies forestales guatemaltecas: Encino negro (*Quercus Brachystachys Benth*) y Aliso común (*Alnus Jorulensis HBK*).

El extracto se obtuvo a través de tres tipos de solventes, agua, etanol al 35% etanol al 70%, este proyecto tiene la posibilidad del uso de los extractos vegetales, aprovechando la gran biodiversidad del país y el potencial económico, así como también oportunidades de desarrollo y beneficio económico a comunidades. En el proyecto participaron instituciones privadas y públicas como Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán y Funcedescr de San Lucas Sacatepéquez.

Para obtener la extracción del tinte se trabajó en dos niveles, laboratorio y planta piloto y en ambos casos se utilizó el mismo diseño. Se caracterizaron los tintes naturales de las dos especies, el rendimiento en el extracto colorante obtenido es muy diferente al comparar las dos especies ya que en el Aliso se obtuvo un rendimiento de 11.17% y para el encino un rendimiento de 14.85%; en cuanto al solvente el etanol produce mayor rendimiento que el agua y el índice de refracción para el encino es mayor que para el Aliso.

Los resultados obtenidos ayudarán a establecer parámetros necesarios para desarrollar a nivel industrial, la extracción de las dos especies forestales estudiadas, así como de otras especies vegetales afines a su aplicación.

En el 2009 se ejecutó el proyecto 6-51, PUIDI-DIGI, denominado: Evaluación de la capacidad tintórea de los tintes naturales obtenidos de los desechos agroindustriales del coco y del aguacate en el proceso de tinción de fibras naturales utilizadas en la elaboración de artesanías, realizado en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE- sección de Química Industrial en la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala. Se evaluó la capacidad tintórea de los extractos colorantes de los desechos agroindustriales del coco y del aguacate, en el proceso de tinción de fibras naturales, lana y maguey.

En el proyecto la semilla fresca de aguacate se redujo de tamaño y se extrajo el colorante por medio de tres tipos de solvente, agua, alcohol etílico al 30% y al 70% para que luego se evaporara el solvente y se obtuviera el colorante sólido a nivel piloto, para que luego se aplicara el colorante a las fibras de lana y maguey.

Con los resultados obtenidos se generó información técnica que permitió la prospección del proceso en extracción y tinción de la fibra de coco (*Cocos nucifera*) y de la semilla de aguacate (*Persea americana Mill*) comercializados en Guatemala. Estos resultados y la validación de las metodologías de extracción y tinción fueron útiles para asesorar a artesanos del oriente y del altiplano del país, que usan lana y maguey para la elaboración de sus productos.

El uso de desechos naturales de coco y del aguacate, provocó impacto en la conservación y recuperación del medio ambiente, generó desarrollo sostenible y formas de producción limpia en las comunidades, por medio de la optimización del proceso de extracción de tintes naturales a partir de los desechos agroindustriales. El interés de este proyecto radica en que se

podieron establecer parámetros para desarrollar a nivel industrial no solo estos colorantes naturales sino también otros colorantes vegetales.

Se pudieron estandarizar procesos, asesorar y tecnificar a los tintoreros y realizar el control de calidad de fibras teñidas, también la caracterización fisicoquímica de las fibras teñidas, tomar decisiones respecto a qué tipo de solvente utilizar para obtener el tipo de extracto tintóreo que permitiera obtener fibras de alta calidad que pudieran ser utilizadas en la industria textil y para la elaboración de artesanías.

En el proyecto 6-46, PUIDI-DIGI, ejecutado en el 2007 denominado: Estudio tecnológico sobre los tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, para teñir fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas en el mercado, realizado en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE– sección de Química Industrial en la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala, donde se evaluó la calidad de los extractos tintóreos obtenidos a nivel de laboratorio realizando la caracterización fisicoquímica para comprobar la presencia de pigmentos colorantes por medio de pruebas colorimétricas y cromatográficas.

Se evaluó la calidad de las fibras teñidas con los extractos tintóreos obtenidos de la corteza de las tres especies forestales guatemaltecas mediante la aplicación de pruebas fisicoquímicas de solidez. Se realizó la extracción y caracterización de tintes naturales de 3 especies forestales guatemaltecas, obteniendo los siguientes resultados: La especie que presenta mayor valor de rendimiento es el Aliso, que es 25.91% utilizado como solvente etanol al 35%.

El menor valor de rendimiento obtenido es de 8.55% para la especie quebracho utilizando agua como solvente. Cada uno de los solventes tiene diferente poder extractivo en función de la especie y existe diferencia significativa entre la interacción entre especies y solventes. En cuanto al solvente, con el etanol se produce también un mayor rendimiento como con el agua. Utilizando como solvente alcohol etílico al 70% se obtienen los valores más altos, de índice de refracción, se obtienen valores intermedios con alcohol etílico al 35% y los valores más bajos se obtienen con agua.

En el extracto colorante de la corteza de Aliso común (*Alnusarguta*) están presentes los Flavonoides denominados Flavonas Y Flavonoides, en el extracto colorante de la corteza de chaperno están presentes los ácidos fenólicos, independiente del tipo de solvente utilizado y en el extracto colorante de la corteza de quebracho no fue identificado con esta prueba ningún grupo fenol.

El extracto colorante de Aliso común (*Alnusarguta*), posee rutina, independiente del solvente utilizado, mientras que el extracto colorante de chaperno posee ácido cafeico. El extracto colorante de Aliso común (*Alnusarguta*), están presentes los Flavonoides denominados Flavonas y Flavonoles, mientras que en el extracto colorante de la corteza de chaperno están presentes los ácidos fenólicos. El tipo de tanino en el extracto colorante de quebracho es catecol y para los extractos colorantes de chaperno y quebracho es piragalol.

En los años 2007-2008 se ejecutó el proyecto: Extracción y caracterización fisicoquímica del tinte natural obtenido del exocarpo del coco (*Cocusnucifera L.*), como aprovechamiento del desecho de fuentes comerciales, realizado por el Ing. Mario José Mérida Meré, en el Laboratorio de Investigación

de Extractos Vegetales –LIEXVE– sección de Química Industrial en la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.

El propósito fue extraer y caracterizar fisicoquímicamente el extracto tintóreo obtenido del exocarpo del coco para evaluar la factibilidad de uso como materia prima en la industria textil. La extracción y caracterización de los extractos tintóreos del exocarpo del coco se realizaron con tres tipos de solventes, agua, etanol al 50% (v/v) y etanol al 95% (v/v). Este proyecto tiene importancia ya que se necesitaba retomar el proceso de extracción como aplicación de colorantes naturales en los procesos de teñir fibras, ropa, dar color a alimentos, artesanías, ya que los colorantes artificiales pueden causar enfermedades al ser humano. En los resultados el mayor valor de rendimiento fue de 18.63% utilizando como solvente etanol 95% y el menor valor de rendimiento fue de 7.63% utilizando como solvente agua.

En esta investigación participó la organización no gubernamental, Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán, ya que se tenía como misión la búsqueda de alternativas en la temática de colorantes naturales y la industria textil, así como otros temas relacionados con la agroindustrialización para mejorar el nivel de vida de los mismos. Los resultados de esta tesis ayudaron a establecer los parámetros necesarios para desarrollar a nivel industrial, la extracción no solamente de tintes naturales de la especie forestal sino también de otras especies vegetales afines

## **2. MARCO TEÓRICO**

Los términos colorantes naturales y tintes naturales hacen referencia a derivados de plantas, invertebrados o minerales. La mayor parte de los colorantes naturales son colorantes vegetales provenientes de plantas, raíces, bayas, cortezas, hojas, madera y otras fuentes orgánicas como por ejemplo los hongos y los líquenes.

### **2.1. Materiales tintóreos**

Se entiende como material tintóreo natural todo tinte, colorante o pigmento obtenido de una fuente natural sea planta o animal capaz de teñir las fibras vegetales y animales.

Para que un colorante sea útil, debe ser capaz de unirse fuertemente a la fibra y por lavado no debe perder su color. Debe ser relativamente estable químicamente y soportar bien la acción de la luz.

Las moléculas colorantes responsables del color y de sus respectivas características de utilización y reactividad frente a factores físicos o químicos ambientales, o partes específicas de ellas se denominan cromóforos.

Los términos tinte, colorante y pigmento se usan indistintamente, pero desde el punto de vista de su uso, se relaciona el término tinte a las materias colorantes usadas en los textiles, el término colorante a las usadas en alimentos y bebidas y pigmentos a los empleados en la fabricación de tintas, pinturas y cosméticos.

Los tintes son solubles en agua y pierden su estructura cristalina durante su aplicación, sea por disolución o por vaporización, mientras que los pigmentos no son solubles en agua y retienen su estructura cristalina.

Todas las partes de una planta producen colorantes o tintes, la misma especie vegetal puede dar distintos colores e intensidades, en diferentes órganos o tejidos y según la edad, la localidad y épocas del año. Una especie de planta puede contener varios tintes.

## **2.2. Historia de los colorantes**

Desde las primeras civilizaciones el hombre usó materias colorantes naturales. Los pigmentos o sustancias coloreadas se extraían de plantas, animales y minerales, estas materias eran empleadas para teñir ropas, pintar las pieles y fabricar objetos religiosos y recreativos.

Las sustancias vegetales más empleadas eran: palo de campeche, cúrcuma, índigo natural, de animales se empleaba la cochinilla.

El primer colorante obtenido fue el ácido pírico, preparado por Woulfe en 1771, mediante la acción del ácido nítrico sobre el índigo natural.

En 1855 se encontró la forma técnica de preparar la Aurina a partir del alquitrán de hulla, fabricado por Friedlich Ferdinand Runge, en 1834.

La importancia de estos colorantes naturales disminuyó cuando en 1856 el inglés Willian Henry Perkin, en su intento de sintetizar quinina, óxido sulfato de anilina con dicromato potásico, produjo el primer colorante sintético: la

mauveína, de color púrpura; de esta forma empezaron a surgir los colorantes sintéticos y éstos desplazaron a los naturales.

Afortunadamente, en la actualidad está resurgiendo el interés por los colorantes naturales debido a la preocupación generalizada por el medio ambiente. Durante la segunda mitad del siglo XIX el cultivo decayó, la industria europea, que recién estaba viviendo la revolución industrial, una de cuyas grandes innovaciones fue, junto con la máquina de vapor, la producción de tintes sintéticos en 1856, comenzó a exportar tintes a México. Hubo falta de control, sumada al descubrimiento del primer *colorante* artificial en 1856, produjo desconfianza en la gente ya que las anilinas (como se llamó a los *colorantes*) se derivaban de la brea, por lo que la idea de impureza permaneció durante muchos años.

### **2.3. Clasificación de colorantes según su procedencia**

Los colorantes naturales se clasifican según su procedencia en: vegetales, animales y minerales.

#### **2.3.1. Colorantes naturales de origen animal**

Por lo que se refiere a los colorantes animales, algunos que tuvieron tanta importancia, como la cochinilla, han desaparecido de la tintura textil, dado que su naturaleza orgánica presenta muchos problemas de solidez; esa naturaleza orgánica, precisamente, es la que ha reclamado de nuevo para ellos, la importancia de su aplicación en otras industrias (por ejemplo la alimentaria), donde los colorantes artificiales resultan más dañinos que los naturales, que no producen perjuicio alguno.

El colorante de la cochinilla, que procede del insecto del mismo nombre, se conoció en el mundo occidental después de la llegada de los españoles al territorio del actual México, ya que los aztecas la utilizaban abundantemente; fue a través de España que el uso de este colorante pasó al resto del mundo.

El colorante de la púrpura procede de una secreción del molusco marino que lleva este nombre; aunque hay otros que segregan una sustancia similar al púrpura. Son abundantes los vestigios de su utilización en tiempos anteriores a la era cristiana, la utilización de este colorante no es sencilla, llegando a desconocerse durante largo tiempo después de la caída del Imperio Romano. A finales del siglo XVII se volvió a utilizar.

Ciertamente el color púrpura tiene mucho de especial, y no sólo por sus connotaciones casi míticas. Es por ello que con el nacimiento de la química de laboratorio, a principios del siglo XX se aisló la sustancia colorante de la púrpura, encontrando que su composición química es  $C_{16}H_8O_2N_2Br_2$ , que se corresponde con el dibromaíndigo. Hoy día, la púrpura es un colorante artificial sintético que se obtiene a partir del nitrobromobenzaldehído por tratamiento con sosa, acetona y alcohol etílico.

### **2.3.2. Colorantes naturales de origen vegetal**

El índigo es el colorante natural más utilizado en todos los tiempos, incluso actualmente, debido a su solidez; resiste bien a la luz, al lavado, a los álcalis y ácidos. Se utiliza en tintura textil como colorante a la tina. El índigo es el colorante de los jeans y prendas vaqueras azules. Esta sustancia se extrae de plantas del género indigófera (que se dan en el Asia Suroriental, cultivadas y empleado como tal sobre todo en la India, para el algodón), que los contienen en forma de glucósido; éste se hidroliza por ácido o por fermentos en glucosa e

indoxilo, se oxida de forma natural por el oxígeno del aire y se transforma en colorante índigo o añil. Una vez se consiguió aislar esta sustancia, su producción química ha hecho que el índigo como colorante artificial sea más barato y abundante que el natural.

El palo Campeche es un árbol leguminoso (*haemotoxyloncampechianum*) midiendo entre 10 a 15 cm, de la familia de las papilionáceas, de madera muy dura y negra, algo aromático, de tronco rojo y ramas espinosas, cuya especie más importante se da en México y otras regiones de América Central. La seda, el algodón, la lana y el cuero tintados con Campeche según la técnica antigua toman un color negro de gran calidad estética y técnica; por este motivo fue un excelente competidor con el índigo a lo largo del siglo XVIII, lo que provocó grandes rivalidades comerciales entre España e Inglaterra, que en la práctica monopolizaba el comercio del índigo.

De la parte central del tronco de este árbol se extrae la sustancia colorante hematoxylina o hemateína, de color típicamente encarnado, que se llama comúnmente Campeche o palo Campeche. Este colorante fue identificado por el químico francés Chevreul en 1810. Usado en estado natural, el colorante del Campeche da un tono azul violeta, más o menos intenso según su grado pH. La Compagnie Française des Extraits es uno de los importantes comercializadores de la tintura del palo Campeche. Según marca y fabricantes, este colorante lleva hasta un 40% de tanino.

Indudablemente, los colorantes naturales (los vegetales, sobre todo) vuelven a tener una importancia considerable. Ello viene ayudado en gran parte por el reclamo de moda que sugieren las recientes ideas ecologistas.

Otros dos factores inciden aunque no tanto, en la demanda de colorantes naturales. Por un lado, el conocimiento y la comercialización de las artesanías locales se internacionaliza muy deprisa, por el turismo internacional y por la facilidad de los transportes desde y hasta cualquier parte del mundo; los más remotos artesanos de países en desarrollo o desarrollados no sólo muestran sus producciones a todo el mundo sino que también las venden en los países ricos. Y definitivamente, las nuevas tecnologías en tintura, confección y acabado de las telas hacen posible la tintura con colorantes naturales en condiciones de solidez y versatilidad que antes no eran posibles.

### **2.3.3. Colorantes minerales**

De los colorantes naturales, los minerales siguen utilizándose, pero no de la forma natural como se hizo en la antigüedad sino aprovechando sus propiedades químicas que la ciencia ha ido descubriendo e incorporándolos así a las industrias como colorantes artificiales. Tal es el caso del blanco de plomo, el azul cobalto, el ocre del cinabrio, etc.

## **2.4. Clasificación de colorantes utilizados en el teñido de fibras**

Los colorantes se clasifican en el teñido de fibras en: colorantes directos, colorantes sustantivos, mordientes, colorantes a la tina.

### **2.4.1. Colorantes directos**

Se absorbe directamente por las fibras en soluciones acuosas. Hay colorantes ácidos y básicos de este tipo. Los colorantes ácidos son sales de los ácidos sulfúricos o carboxílicos que se precipitan sobre la fibra. Los colorantes básicos son sales amónicas o complejos formados por cloruro de zinc o aminas.

Estos dos tipos de colorantes se emplean especialmente en el teñido de lanas y en poliamidas sintéticas.

Algunos colorantes básicos, de elevado peso molecular, son absorbidos por el algodón y el rayón.

#### **2.4.2. Colorantes sustantivos**

Son colorantes que pueden teñir directamente las fibras de algodón.

#### **2.4.3. Mordientes**

La palabra mordiente viene del latín morder, basada en la creencia de que algunas sustancias mordían la fibra para hacerla recibir mejor el tinte. El mordiente es un producto que se adiciona a la fibra y es absorbido por ella, pudiendo consecutivamente atraer el colorante. Son sales minerales o metálicas, solubles en agua, que cuando se añaden al baño de tintura enlazan, intensifican o cambian el color del baño de tintura y hacen que el color sea más fuerte a la luz, al lavado y al roce. Entre las comunidades indígenas andinas, fueron trabajados los mordientes naturales, utilizaron el término “enjebar” que era la acción de aplicar el mordiente a los hilos y tejidos, antes de recibir el baño de tintura.

Los mordientes y los tintes naturales han estado estrechamente unidos; con el descubrimiento de las sales de alumbre en las plantas, es el caso de los líquenes y los musgos, de las sales de hierro encontradas en barros y en las raíces como en la lengua de vaca Rumex, el hombre preparó sus hilos. A medida que se fueron usando estas plantas como tintes, se encontró que tenían propiedades que hacían permanente el color y se fueron añadiendo a otros

tintes por sus buenas cualidades. Todo esto se hacía sin conocer las propiedades químicas, sales de alumbre o de hierro que contenían algunas plantas.

Los tejidos naturales se pueden mordentar antes del tinte, directamente con el tinte o después del tinte, según el caso particular.

Para fijar y mejorar el color y agilizar el proceso de tinte es necesario preparar la lana (u otro tejido natural) con un mordiente. Salvo en aquellas plantas que contienen taninos y carotenos (dos pigmentos naturales), para fijar los colores, variarlos y hacerlos más estables a la luz, se necesita conocer un mínimo de los siguientes mordientes:

- Alumbre (sulfato de aluminio): el alumbre de potasio es un sulfato alumínico-potásico que cristaliza en octaedros incoloros y solubles en agua. No es tóxico, ofrece buenos resultados en la mordedura antes de teñir, no altera los colores, quizás es el mordiente que sirve para reproducir más fielmente los colores naturales.
- Bicromato de potasio (sulfato de cromo): es una sal oxidante, curtiente, tóxica, es necesario tener cuidado con ella, sus vapores son venenosos. Polvo de color anaranjado que se utiliza del mismo modo que el alumbre antes de teñir, pero puede aplicarse también después del teñido, tiende a cambiar el color de los tintes de las maderas.
- Sulfato de cobre o vitriolo azul: cristales azules del sistema triclinico, fácilmente soluble en agua, tóxico, mejora y fija los verdes. Se usa al final del teñido, tiene buena resistencia a la luz y al agua.

- Sulfato ferroso: es el llamado vitriolo o caparrosa.
- Cremor tártaro (tartrato ácido de potasio): Es un polvo blanco que cristaliza al almacenar el vino en barriles. Es generalmente utilizado antes del teñido y en muchos casos en combinación con el alumbre. Se utiliza para lana de oveja, alpaca, llama, en la seda y otras fibras animales. No se recomienda en fibras vegetales.
- Vinagre: el ácido acético es el vinagre común que se emplea en la cocina. Fija los colores y los deja más brillantes, es indispensable en los rosas y rojos, se utiliza el vinagre común de uva o el que se produce de la fermentación del plátano, manzana, etc.
- Limón: contiene ácido cítrico, el jugo de limón tiende a avivar y a aclarar los colores.
- Ácidos tánicos: el ácido tánico se puede conseguir por procedimiento artificial o por extracción de plantas ricas en taninos, son sustancias vegetales solubles en agua. Se usan en tintorería, medicina y curtición, cuando se tiñe con maderas, cortezas y hojas se suele omitir el mordiente antes del tinte, el tanino funciona mejor con fibras vegetales (algodón, yute, etc.) y se aplica en un segundo baño de mordiente después del alumbre, produce colores profundos y resistentes a la luz solar. Está contenido en varios frutos y cortezas como el coco, el orejón, la tara, el té, el café, el roble, algarrobo y otros.
- Tara (*caesalpinia tinctoria*): sus vainas, hojas y corteza contienen tanino, utilizando sulfato u óxido de hierro en el teñido da un color gris oscuro y

negro. Las vainas maduras dan un tinte marrón, la tara se utiliza como un excelente mordiente para colores oscuros, marrones, grises y negros.

- Amoniaco: es un gas compuesto por nitrógeno e hidrógeno, de olor penetrante, que se forma en la putrefacción de las sustancias orgánicas. En solución acuosa es el amoniaco líquido, lejía activa y detergente, sirve básicamente para extraer el color de las plantas. Se añade al agua en que hemos dejado en remojo hojas, raíces y líquenes.
- Orín fermentado: contiene amoniaco, se utiliza la orina fresca o añeja. En algunos casos se menciona la orina de niños varones como la mejor para mordentar, la orina fermentada ha sido empleada como mordiente desde la antigüedad y es mencionada en numerosos trabajos.
- Cloruro de hierro: masa cristalina de color rojo oscuro o amarillento. Mordiente empleado en tintorería.
- Cloruro de estaño: óptimo mordiente para la lana, se puede usar antes del tinte o durante el baño de color, pero con discreción porque endurece las fibras. Tóxico.
- Ácido oxáltico: cristaliza en columnas monoclinicas. Tóxico, se emplea para reforzar los efectos mordientes, se puede obtener de plantas del género oxalis u otras plantas como el ruibardo.
- Cloruro sódico o sal de Glauber: es un componente de muchas aguas minerales, se emplea en tintorería, en la fabricación de celulosa y como purgante, no es tóxico, sirve para unificar los colores bastando añadir

una cucharada de sulfato sódico cada vez que se tiñe; el color resulta más sólido.

- **Ácido nítrico:** líquido claro, fumante y de olor picante. Tóxico, es un ácido tan fuerte que puede disolver hasta los metales, hay que usarlo con extremo cuidado y con guantes de goma.
- **Ácido sulfúrico:** líquido incoloro e inodoro, de aspecto aceitoso y que carboniza las sustancias orgánicas despojándolas del agua; verter siempre poco a poco el ácido en el agua, nunca el agua en el ácido.
- **Sosa cáustica o hidróxido sódico:** escamas blancas, cristalinas, inodoras, soluble en el agua con desprendimiento de calor. Tóxico, se usa en tintorería pero es muy riesgoso para el tintorero y para su uso.
- **Hidrosulfito o hiposulfito de sodio:** es un quitamanchas, sirve para blanquear las fibras y los tejidos.
- **Sal de mesa (cloruro de sodio):** la sal puede utilizarse en la solución del tinte en el momento del teñido. Sirve para reforzar el efecto del mordiente agregándola durante el tinturado y así fijar el color, haciéndolo más parejo.
- **Salitre:** cualquier sustancia salina especialmente la que aflora en tierras y paredes.
- **Ceniza o lejía de plantas:** cenizas de diferentes maderas, la ceniza del molle tiene un fuerte efecto sobre el color final, pero casi todas las cenizas y lejías influyen en el color final. Se utilizan durante o al final del

proceso sumergiendo la lana en abundante ceniza, dejarla por unas horas y lavarla.

- Lengua de vaca (*RumexCrispis*): se usaba en el antiguo Perú como planta tintórea y como mordiente. Se emplea en el teñido de colores oscuros.
- Arcillas: contiene una serie de minerales.

#### **2.4.3.1. Ácidos y alcalinos en los mordientes**

La acidez o alcalinidad de un baño de tinte afecta de manera determinante el resultado del teñido e incide en su éxito final, por ello es muy importante controlar el PH que permite clasificar el líquido como ácido, neutral o alcalino. Es importante utilizar una escala del 1 al 14 en el cual del 1 al 6 indica un ácido, el 7 es neutral y del 8 al 14 son alcalinos.

- Alcalinos: entre los alcalinos más requeridos se encuentran el alumbre, el hierro, el amoníaco, cenizas y lejías (de banano, cáscaras de granos, etc.), otros alcalinos son el carbonato de sodio y el bicarbonato de sodio. Los álcalis fuertes incluyen las lejías. Un álcali se considera fuerte cuando supera a 10 dentro de la escala del pH del 1 al 14, el añil es el único tinte que requiere un álcali superior a 10. Las fibras de animales son especialmente susceptibles de ser dañadas por los álcalis.
- Ácidos: entre los ácidos, el más común es el crémor tártaro, otros ácidos menos fuertes son el limón y el vinagre, los taninos son también ácidos. Hay otras fuentes de ácidos menos conocidas como el ácido fórmico de las hormigas rojas y el ácido oxálico de las hojas de ruibarbo, los ácidos

se emplean en fibras animales. Fibras como el algodón y otras de origen vegetal pueden ser dañadas por los ácidos. Todos los entonadores y fijadores tienen una característica común, modificar el PH del colorante.

### 2.4.3.2. Los mordientes y su efecto en el color

Además de ayudar a que los colores sean más firmes y resistentes a la luz solar, los mordientes pueden modificar los colores, en algunos casos dándoles más brillo o viveza, en otros oscureciéndolos, y en otros transformando el color original en uno nuevo:

Tabla I. **Efectos obtenidos al utilizar mordientes**

Combinación	Color obtenido
Nogal con alumbre	Café amarillento
Nogal sin alumbre	Café oscuro
Cochinilla con cremor tártaro	Rojo anaranjado
Cochinilla con alumbre	Fucsia
Cochinilla con limón (ácido acético)	Rojo sandía
Raíz de chapichapi (madder) con alumbre	Rojo rosado
Raíz de chapichapi (madder) con cremor tártaro	Naranja
Amarillo con hierro	Verde
Café claro con hierro	Negro
Rojo con hierro	Morado
Anaranjado con hierro	Anaranjado más claro

Fuente: elaboración propia.

El alumbre, el amoníaco y el crémor tártaro dan más brillo y logran colores más vivos. El hierro tiende a oscurecer los colores. Los taninos dan un tono más profundo a colores como el gris y el café.

Con el uso de los mordientes se pretende lograr que los hermosos colores que se obtienen con diversas plantas, con la cochinilla o el añil no sean colores efímeros sino resistentes y perdurables en el tiempo. Asimismo, es importante analizar seriamente cuales mordientes son aptos para utilizarse en un proyecto de teñido con tintes naturales sin que sean nocivos tanto para el medio ambiente como para los propios tintoreros.

Por otro lado existe una serie de factores además de los estrictamente visibles y mensurables que con seguridad determinan el éxito o fracaso de un teñido. Consideramos que el uso de estaño, la soda cáustica y otros resultan aun más dañinos que un tinte químico común. Encuentros de esta naturaleza nos permiten intercambiar conocimientos y enriquecer los saberes de nuestras artes tradicionales y de nuestro propio camino personal en el arte de la tintorería con tintes naturales.

#### **2.4.4. Colorantes a la tina**

Son sustancias insolubles que se pueden reducir a materiales alquilsolubles. El colorante se aplica en su forma reducida y se oxida en presencia de la fibra.

## **2.5. Fibras utilizadas en la industria textil**

Se denomina fibra textil a los materiales compuestos de filamentos y susceptibles de ser usados para formar hilos o telas, bien sea mediante tejido o mediante otros procesos físicos o químicos. En general las fibras están compuestas por polímeros de alto peso molecular, en que la forma de la molécula es alargada.

### **2.5.1. Clasificación de fibras utilizadas en la industria textil**

La clasificación concreta de las fibras textiles se dividen en tres áreas:

- Las de origen natural (entre estas la vegetal, animal y mineral)
- Las semisintéticas (por ejemplo la viscosa)
- Las sintéticas (poliésteres (PES))

#### **2.5.1.1. Clasificación según su origen natural**

La clasificación de fibras según su origen natural es: origen animal, origen vegetal y minerales.

##### **2.5.1.1.1. Origen animal**

Generalmente proteicas, se diferencian principalmente de las fibras vegetales porque su sustancia fundamental y característica es la albúmina, de modo parecido a como la celulosa lo es de las fibras vegetales. Arden con la llama viva desprendiendo un olor característico a cuerno quemado y dejando cenizas oscuras.

- Lana
- Pelos:Cabra, Camélidos, Angora
- Seda:Bombyxmori'(gusano de seda), Tussah

#### **2.5.1.1.2. Origen vegetal**

Generalmente celulósicas. Son monocelulares (como el algodón), o se componen de haces de células (como el lino, cáñamo, yute, etc.). Arden con llama luminosa despidiendo un olor característico a papel quemado y dejando cenizas blanquecinas en pequeña cantidad.

- Fruto:algodón, coco, kapoc
- Tallo:lino, yute, cáñamo, ramio
- Hoja:henequén o sisal, formio, abacá, esparto
- Raíz:agave tequilana

#### **2.5.1.1.3. Minerales**

Generalmente inorgánicasAmianto, Asbesto, fibra de vidrio, fibra cerámica. El uso del Amianto se ha prohibido debido al reciente descubrimiento que demuestra que su manipulación provoca leucemias y cánceres.

#### **2.5.1.2. Origen artificial**

Utilizan para su creación un componente natural. Son artificiales (celulosa).

- Proteicas:caseína, lanital.

- Celulósicas: rayón viscosa y tencel, rayón acetato, rayón cuproamonio, rayón nitrocelulosa, rayón triacetato.
- Minerales: fibra de vidrio, hilo metálico.

### **2.5.1.3. Origen sintético**

No utilizan componentes naturales, son enteramente químicos.

- Monocomponentes: poliamida, fibras poliéster, poliacrílico, fibras modacrílicas, fibras olefínicas, fibras spandex, fibras aramídicas.
- Bicomponentes: fibras poliéster, fibras acrílicas, fibras olefínicas, fibras poliamídica.
- Microfibras: fibras poliamidicas, fibras poliéster, fibras acrílicas.

### **2.5.1.4. Según su composición química**

- Inorgánicas: asbesto, fibra de vidrio, hilos metálicos.
- Orgánicas
- Celulósicas: algodón, lino, viscosa.
- Protéicas: lana, seda, rayón.
- Parafínicas: nylon, poliéster, polipropileno.

## **2.5.2. Descripción de fibras**

La descripción de las fibras es la siguiente:

### **2.5.2.1. Algodón**

Es una fibra vegetal natural de gran importancia económica como materia prima para la fabricación de tejidos y prendas de vestir. La generalización de su uso se debe sobre todo a la facilidad con que la fibra se puede trenzar en hilos. La resistencia, la absorbencia y la facilidad con que se lava y se tiñe también contribuyen a que el algodón se preste a la elaboración de géneros textiles muy variados.

### **2.5.2.2. Especies algodoneras**

Producen el algodón una serie de árboles y arbustos pequeños de un género encuadrado en la familia de las Malváceas, a la que pertenecen también las plantas Hibiscus. El capullo se transforma al desarrollarse en una bola oval que, cuando madura, se abre y descubre gran número de semillas de color café o negras cubiertas de una masa de pelos blancos. Cuando maduran por completo y se secan, cada uno de estos pelos es una célula, aplanada, con un acusado retorcimiento en espiral y unida a una semilla, la longitud de las fibras individuales oscila entre 1,3 y 6 cm. De las semillas nacen además otras fibras más cortas.

### **2.5.2.3. Teñido y estampado**

El teñido del algodón puede ser de distintas formas: las telas pueden colorearse una vez tejidas (tinte en la pieza), pueden teñirse las fibras sueltas en una cuba (tinte en bruto) y, por último, puede teñirse el hilo o filamento antes de tejerlo (tinte en el hilo).

El principal método para estampar dibujos en algodón es el huecograbado mediante rodillos; en este proceso el dibujo se graba en rodillos de cobre (un rodillo para cada color) y se llenan las depresiones de los rodillos con pasta de estampado; a continuación se pasa la tela por los rodillos.

#### **2.5.2.4. Lana**

La lana es una fibra natural que se obtiene de las ovejas y de otros animales como llamas, alpacas, vicuñas, cabras o conejos, mediante un proceso denominado esquila. Se utiliza en la industria textil para confeccionar productos tales como sacos, cobijas, ruanas, guantes, calcetines, suéteres.

Los productos de lana son utilizados en su mayoría en zonas frías porque con su uso se mantiene el calor corporal; esto es debido a la naturaleza de la fibra del material.

La lana era ampliamente usada hasta que se descubrió el algodón, que era más barato de producir y se implantó debido a los avances técnicos de la revolución industrial, como por ejemplo la máquina tejedora que desplazó en gran parte la confección rústica.

#### **2.5.2.5. Lavado de la lana**

La lana recién esquilada suele presentarse muy sucia por lo que, antes de proseguir con su elaboración, es preciso limpiarla convenientemente. A fin de ahorrar el costo del flete de las impurezas, se les suele someter a un lavado previo, en los lavaderos industriales, antes del lavado, la lana se afofa suficientemente, pues, a consecuencia del embalado y del transporte, se presenta todavía en apretados fajos y es muy importante para el buen éxito de

la operación que los pelos de la lana dejen paso a los agentes del lavado. Al mismo tiempo hay que eliminar también previamente el polvo, arena y demás impurezas.

Es muy importante que el agua empleada no sea dura ni contenga sales de hierro. De las lejías sucias de la máquina de lavado pueden recuperarse las sales que constituyen la suarda y la llamada grasa de la lana. De las primeras se obtiene potasa, por destilación y calcinación; purificando la segunda, de color pardo, sucia y maloliente, se extrae la lanolina que constituye una materia prima de gran valor para la preparación de productos farmacéuticos y cosméticos.

#### **2.5.2.6. Características**

El gran número de razas de ovejas y la influencia variable de las condiciones de vida del animal actúan sobre las características de la lana. La clasificación de la lana se hace teniendo en cuenta una serie de características, de las cuales las más importantes son las siguientes: finura, longitud, regularidad en el grado de ensortijado y finura, uniformidad, resistencia y alargamiento, elasticidad, flexibilidad, color, brillo y rendimiento (véase tabla II).

#### **2.5.2.7. Propiedades físicas de la lana**

- Resistencia: es la propiedad que le permite a la lana estirarse en gran proporción, antes de romperse. Esto es muy importante, desde el punto de vista textil, dados que procesos de industrialización tales como cardado, peinado e hilado, someten a considerables tensiones a las fibras de lana, que deben poseer extensibilidad suficiente para conservarse íntegras a través de los mencionados procesos.

Tabla II. **Características de la lana**

Raza	Grosor	Rendimiento	Uso
Merino	Fina	75% al 85%	Tejidos muy finos
Corriedale	Cruza fina	50% al 60%	Tejidos finos
RomneyMarsh	Cruza media	55% al 70%	Mantas y paños
Lincoln	Cruza gruesa	60% al 75%	Diversos: alfombras, felpudos, etc.
Criolla	Es más gruesa		Alfombras

Fuente: MARTINEZ, Laura. Teñido con colorante naturales sobre lana. (Disponible en Web: [www.inti.gov.ar/prodiseno/imag\\_blog/art\\_tenido.pdf](http://www.inti.gov.ar/prodiseno/imag_blog/art_tenido.pdf)). Consulta: 31 de julio de 2011.

- **Elasticidad:** esta propiedad, íntimamente relacionada con el interior, se refiere al hecho que la lana regresa a su largo natural, luego de estirarse, dentro de ciertos límites, ya que llega un momento en que, al romperse los enlaces químicos, la lana que no vuelve a su largo original. La elasticidad de la lana es debida a la estructura helicoidal de sus moléculas. Gracias a esta propiedad de recobramiento de la extensión, la lana tiene la habilidad de retener la forma de las vestimentas, y mantener la elasticidad de las alfombras.
- **Higroscopicidad:** todas las fibras naturales absorben la humedad de la atmósfera y, entre ellas, la lana es la que lo realiza en mayor proporción; la lana es higroscópica, es decir que absorbe vapor de agua en una atmósfera húmeda y lo pierde en una seca. La fibra de lana es capaz de absorber hasta un 50% de su peso en escurrimiento.
- **Flexibilidad:** es la propiedad de las fibras de lana, por lo cual se pueden doblar con facilidad, sin quebrarse o romperse. Esta propiedad es de

gran importancia para la industria, tanto en hilandería como en tejeduría, para lograr tejidos resistentes.

#### **2.5.2.8. Propiedades químicas de la lana**

- Efecto de los álcalis: la proteína de la lana, que recibe el nombre de queratina, es particularmente susceptible al daño de álcalis, por ejemplo, soluciones de hidróxido de sodio al 5%, a temperatura ambiente, disuelven la fibra de lana.
- Efecto de los ácidos: la lana es resistente a la acción de los ácidos suaves o diluidos, pero en cambio los ácidos minerales concentrados, como por ejemplo, el sulfúrico y el nítrico provocan desdoblamiento y descomposición de la fibra. Sin embargo, soluciones diluidas de ácido sulfúrico son usados durante el proceso industrial de la lana, para carbonizar la materia vegetal adherida a las fibras.
- Efecto de los solventes orgánicos: la mayoría de los solventes orgánicos usados comúnmente para limpiar y quitar manchas de los tejidos de lana, son seguros, en el sentido que no dañan las fibras de lana.

#### **2.5.2.9. Propiedades biológicas de la lana**

- Insectos: la lana es fuente de alimento para distintos tipos de insectos. Las larvas de la polilla de la ropa y del escarabajo de las alfombras son los predadores más comunes de la lana; se estima que estos insectos dañan varios millones de kilos de tejido de lana cada año.

- Microorganismos: la lana presenta cierta resistencia a las bacterias y los hongos; sin embargo, estos microorganismos pueden atacar las manchas que aparecen en la lana. Si la lana es almacenada en una atmósfera húmeda, aparecen hongos, que incluso pueden llegar a destruir la fibra. Por otra parte, las bacterias que producen podredumbres pueden destruir la fibra, si la lana permanece mucho tiempo en humedad y polvo.

## **2.6. Añil**

El añil flora o azul índigo es considerado como el rey de los colorantes, se ha usado casi en todo el mundo y no se puede separar de los textiles antiguos. Cuenta con 3 especies: *Indigófera Tinctoria*, *Indigofera suffruticosa* Mill. (*Indigofera anil* L. o *Indigofera guatimalensis* Lunan), e *Indigofera guatemalensis* Monc.

### **2.6.1. Generalidades**

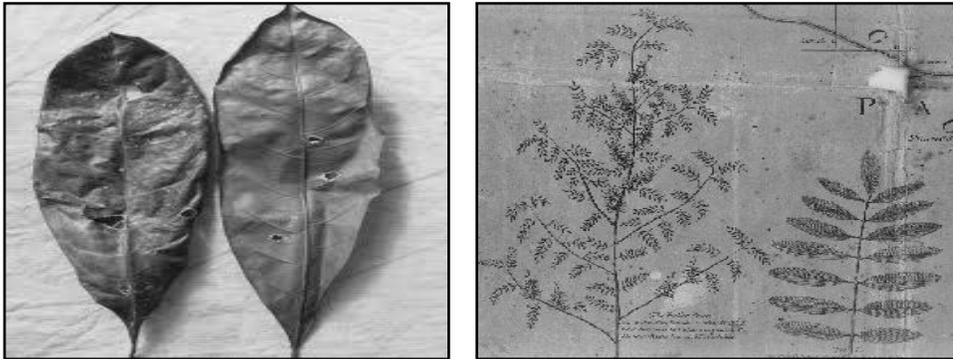
Es un arbusto de 1 a 2 metros de altura, de tallo erguido con hojas simples ovalo-oblongas que mide 2.5 a 4 centímetros de color verde oscuro, sus flores son rosadas o amarillentas; planta nativa de Oaxaca, prolifera en climas templados, cálidos y suelos pobres de materia orgánica.

### **2.6.2. Historia del añil**

El añil es una planta de origen mesoamericano, los mayas ya conocían sus usos y lo llamaban “choch”. La palabra añil tiene origen árabe y significa color celeste, en cambio, la palabra jiquilite oxiqulite proviene del Nahuatl, algunas personas le dieron nombres como Alonso de Molina, la emplea como *xiquilitl*, traduciéndola como *pastel para teñir*; también aplica *xiutil* que significa,

*año, cometa, turquesa e yerba*, y agrega que el nombre del colorante azul es *textutli*. En Guatemala de acuerdo con Ximénez, a mediados del siglo XVIII ya era conocida como *xiquilete*, indicando esto que el nombre Nahuatl se popularizó por toda la región.

Figura 1. **Añil (*Indigófera guatemalensis*)**



Fuente: BERNAT, Gabriel. La economía colonial del añil. (Disponible en Web: [www.gabrielbernat.es/colonia/anil/index.html](http://www.gabrielbernat.es/colonia/anil/index.html)). Consulta: 10 de julio de 2010.

Se ha especulado sobre la procedencia del añil, atribuyéndole algunos un origen asiático y otros al área centroamericana, ya que las grandes culturas ancestrales (india, egipcia, romana y mesoamericana), hicieron gran uso del índigo o indigotina, el tinte que se obtiene a partir del procesamiento de alguna especie de *Indigofera*. En realidad, la especie hace la diferencia, *Indigoferatinctoreaes* nativa del sur de India, en tanto que *Indigoferasuffruticosa* Mill. (*Indigoferaani* L. o *Indigoferaguatima* Lunan), e *Indigoferaguatemalensis* Monc, son las plantas que corresponden a América (Ref. No. X Standley y Steyemark 1946:270-272).

Se pensaba anteriormente que los europeos habían traído consigo una especie de añil, pero sin embargo se encontró evidencia arqueológica

prehispánica y etnológica ya que en Chiapas, en la cueva de Garrafa, se encontró un huipil de niña, una manta, una camisa y lienzos fechados en el siglo XV e inicios del siglo XVI que corresponden al tono del índigo y apoya el uso prehispánico.

El dato más temprano entre los cronistas se debió a Hernando Colón, hijo del almirante, quien llegó a América en 1502 y 1509, describió el añil como una planta propia de La Española. Posteriormente, Sahagún y Hernández dan buena cuenta de que las culturas prehispánicas del centro de México ya lo procesaban. Hernández denominó al xiquilite, xihquilitl pitzahoac e indicó que de esta planta se producía un colorante azul llamado en lenguas prehispánicas tlacehoili o mohuitli que tiñe el cabello de negro. Gran conocedor como fue de muchas hierbas de España, no la comparó en ningún momento con el añil conocido en el Viejo Mundo, lo que acostumbraba a hacer cuando encontraba semejanzas con plantas nativas de Europa o que estaban incluidas en Plinio.

Es más, la describió como “una hierba que dura dos años verde y lozana, que nacía en lugares cálidos, campestres y montuosos, recomendando llevarla a España y sembrarla en tierras semejantes, como las de Andalucía o en regiones bañadas por el mar, así como criar almácigos para cultivarla”. Esto último permite pensar que estaba informando al rey sobre una planta cuyo valor económico le interesaba.

Dos siglos después y en pleno apogeo de la producción del colorante, Humboldt llegó a América; durante su estancia en México, recopiló valiosa información sobre todos los aspectos naturales, entre los que asegura que le informaron que la planta se usó para pintar códices y que los españoles, aún 30 años después de su llegada, la empleaban como tinta, pues no encontraron los ingredientes adecuados para hacer la que ellos acostumbraban.

### **2.6.3. Los usos del añil**

El añil fue colorante, pero también fue medicamento. Como colorante se empleaba para teñir la ropa, telas, plumas, fibras y el cabello negro. En cuanto a sus usos medicinales, muchos son de tradición prehispánica, conservándose hasta la actualidad. El polvo era bueno para enfermedades capitales, es decir de la cabeza; además curaba úlceras antiguas.

En referencias más modernas, como son las de Máximo Martínez en *Las plantas medicinales de México*, y Standley y Steyemark en *Flora de Guatemala*, se menciona que el jiquilite sirve para curar picaduras de abeja y otros insectos, y reducir el dolor de la inflamación, aunque su efectividad es a veces dudosa. Tomado, cura los empachos, tradicionalmente se empleaban las hojas en emplastos o cocimientos aplicados para calmar el dolor y excesivo calor de la cabeza de los niños; el polvo de las semillas sirve para curar las úlceras y junto con el de la raíz, para matar piojos, también se emplea como antiespasmódico, sobre todo en la epilepsia y como purgante, en otras partes se usa como tratamiento de cólicos intestinales.

### **2.6.4. La economía colonial del añil**

En el siglo XVIII la economía colonial de Guatemala, El Salvador y Nicaragua dependía de la tinta añil. Su uso era habitual entre los indígenas del territorio, tanto por sus propiedades, como por los usos medicinales y cosméticos. Se hablaba oficialmente de él y de su interés industrial a través de cédulas reales de 1538 y 1539.

Más tarde, en 1558, el rey Carlos I, mediante la Cédula Real expuso poderosas razones económicas que justificaban la producción del añil. Esto dio

el impulso al desarrollo de esta industria en América. La economía del siglo XVIII, no se podría comprender con sus antecedentes y consecuentes sino por medio de los mecanismos de circulación del añil y las mercancías importadas al reino de Guatemala desde España. Se afirma q la mejor época de la producción añilera se sitúa en la segunda mitad del siglo XVIII.

Se comercializaba con los países textiles, Holanda, Inglaterra, Francia, Alemania, entre otros, por medio del comercio desde España y alguna cantidad se enviaba Nueva España (México) y al Perú.

En el trabajo de tesis doctoral, el historiador y geógrafo Víctor H. Acuña, “Capital Comercial y Comercio Exterior en América Central, durante el siglo XVIII”, se dice que el precio del añil se determinaba en las ferias, sobre todo en las que se realizaban en la provincia de El Salvador.

Se hace referencia a los añileros del Reyno de Guatemala, en una carta al Rey de 1785, sobre la producción del añil; se plantea la necesidad de mano de obra del indígena para los obrajes de añil en Los Apuntamientos de Agricultura y Comercio que Fray Antonio de Larrazabal presenta en las cortes de Cádiz de 1812.

En las regulaciones de 1703 se prohibía llevar indígenas a los obrajes de añil, por ser peligroso para la salud de los tributarios; podían trabajar mulatos y negros así como algunos mestizos. Se multaba de 12 a 15 pesos por trabajador indígena que extrajera tinta por lo insalubre del trabajo. En 1784 cambia la ley y se autoriza el repartimiento de indios para el añil. Se habían establecido varios métodos de exterminio de las moscas en los obrajes de añil, desde 1798. El mayor enemigo del xiquilite era la langosta, esta plaga arrasó

plantaciones en 1723, 1732, de 1772 a 1775 y entre 1799 y 1805, también hubo grandes pérdidas de las cosechas del tinte.

Desde el siglo XVII existían escritos sobre el beneficiado del añil en El Puntero Apuntado y El Tratado del xiquilite de José Mariano Moziño. El cultivo cobra importancia de nuevo después de la independencia, en Jutiapa, en las cercanías de Mita y de la Laguna de Guija, la producción de añil obtenía dos cosechas anuales debido a que las condiciones del suelo arenoso y clima cálido permitían un crecimiento rápido del xiquilite. Se calcula que de 25 libras se obtenía 30 gramos de índigo.

Mónica Toussanint (1988) relata que se usaba un procedimiento para clasificar la calidad del xiquilite, por medio de la humedad en el periodo de la fructificación: el xiquilite que daba una vaina curvada “platanito curro” era de menor calidad y el “platanito derecho” era de mejor calidad debido a la cantidad de fruto que proveía.

Las calidades de la tinta se daban por número: No. 4, No.5, No. 7, No. 8 y No. 9; en pequeñas tintorerías se trabajaba con los números 4 y 5, de dura y baja calidad y los número 8 y 9 de naturaleza blanda eran de excelente calidad; el mejor se fragmentaba más fácilmente “El Soplillo” se deshacía con los dedos.

#### **2.6.5. La ruta del añil**

El tinte de añil era producido en los distintos obrajes de El Salvador, Guatemala y Nicaragua, pero la salida natural por mar a través del golfo de Honduras se evitaba sistemáticamente debido, a la habitual presencia de embarcaciones piratas (ingleses y holandeses) que aguardaban en esa zona.

Lo más seguro y por tanto lo que se hacía, era emprender ruta por tierra hasta Granada (Nicaragua). Llegados a Granada, en su puerto del Gran Lago Nicaragua se embarcaba el añil en fragatas que navegaban por el lago hasta alcanzar el lugar de acceso del río San Juan.

Las fragatas una vez descendido, no sin dificultades, el río San Juan, alcanzaban el Caribe en un punto en el cual no solían apostarse las naves piratas, y desde allí emprendían camino hacia Cartagena de Indias, donde llegado el momento se embarcaría el colorante en la Flota de Galeones junto al resto de mercancías coloniales, rumbo a España.

Lo más peligroso era el descenso del río San Juan, este gran río centroamericano, que comunica el gran lago Nicaragua con el Caribe, está salpicado de obstáculos, en especial de frecuentes saltos de agua que hacían muy arriesgado el tránsito en esos puntos. Al alcanzar una caída de agua importante, se desembarcaba a los pasajeros y a las mercancías. Mientras la fragata hacía frente al obstáculo del río, el añil y los pasajeros seguían recorrido a pie y a mula por la orilla. Estaba ya previsto estas incidencias en el recorrido, de modo que en los puntos pertinentes ya esperaban recuas de mulas.

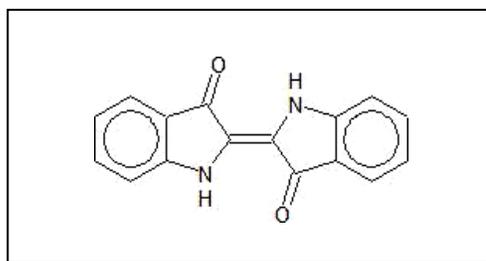
El producto tras su transitorio transporte por tierra, se almacenaba en silos hasta que llegaba la fragata, tras superar el obstáculo. Allí se reembarcaba el contingente y se continuaba la navegación fluvial hasta el siguiente obstáculo de río, situación en la que se repetía la misma operación de desembarque y transporte terrestre, para volver a reembarcar posteriormente. Solían ser frecuentes estas interrupciones y hacían pesadísimo el tránsito hasta el mar.

### 2.6.6. Composición química

La planta de añil contiene un glucósido natural incoloro conocido como indicán. Por maceración con agua se hidroliza el glucósido. La hidrólisis enzimática elimina la glucosa y libera el indoxilo. Al teñir y reducirse ante la presencia de álcali, produce un leuco (compuesto anódico, análogo a un fenol) da una solución incolora, este leuco índigo es absorbido por enlaces de hidrógeno y al exponerse al aire se oxida y se vuelve insoluble produciendo una tinta sólida de color azul.

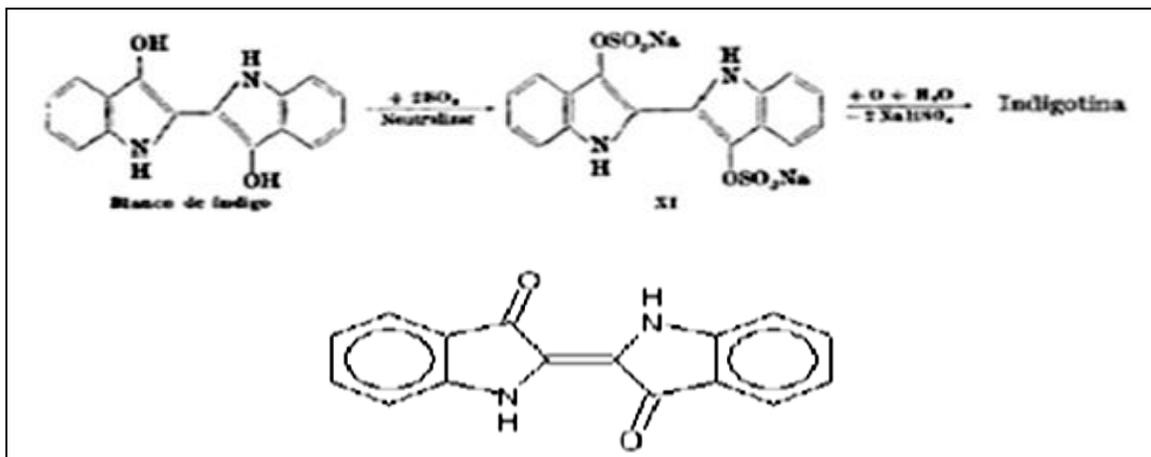
El añil contiene indirrubina o rojo de índigo, indihumina o pardo de índigo, sustancia gelatinas, materiales nitrogenados y sales minerales como arena, silicato, calcio, potasio, manganeso, hierro, etc. El de buena calidad, no debe producir más de 70% de ceniza ligera, flota sobre el agua y es de color azul oscuro con reflejos cobrizos metálicos adherente a los labios. Se disuelve en piridina, ácido acético glacial, nitro-bezol, ácido sulfúrico concentrado formando según las condiciones en que se opera, ácido mono, di, tri, o tetrasulfoindigótico. Su composición química es  $C_{16}H_{10}O_2N_2$ .

Figura 2. **Índigo**



Fuente: COLOCHO ORTEGA, Jose Luis; HURTARTE Margarita; GARCIA Francisco, (M.Ed.).  
Alternativas técnico-prácticas para reducir el tiempo de extracción de pigmentos sólidos del añil  
(IndigóferaSp.). p. 38.

Figura 3. Indigotina



Fuente: COLOCHO ORTEGA, José Luis; HURTARTE, Margarita; GARCÍA, Francisco, (M.Ed.).  
Alternativas técnico-prácticas para reducir el tiempo de extracción de pigmentos sólidos del añil  
(*Indigófera* Sp.). p. 38.

### 2.6.7. Aspectos botánicos y de cultivo del xiquilite (*Indigófera tinctoria*)

El xiquilite en estado silvestre se encuentra en las sabanas tropicales y a lo orilla de los ríos. Al principio las plantaciones se hicieron en este tipo de suelo. Por lo general las semillas se diseminaban en suelos recién quemados. La mejor época para sembrarlos era después de las lluvias (en abril o mayo). Cuando la planta alcanzaba los 30 cms. de altura, se deshiebaba cuidadosamente, después ya no eran necesarios más cuidados. El xiquilite se empezaba a cortar cuando la planta tenía seis meses aunque eran mejores resultados si se espera dos o tres años. El tinte se encuentra concentrado en las hojas pero la ambición llevó a los productores a cortar también los retoños, los tallos y las ramas.

### **2.6.8. Extracción del añil**

Se unta la masa de hojas frescas sobre la tela, si se le agrega cenizas a una solución del tinte, el color azul es más intenso y firme. Para obtener el añil flora existen dos procedimientos principales: con hojas secadas al sol, almacenadas y fermentadas a temperatura ambiente, o bien sumergiendo las hojas frescas en un tanque de agua para recoger por sedimentación el producto de la fermentación.

El índigo azul, se encuentra en las hojas que contienen una sustancia llamada indicán, que por un proceso especial se convierte en un índigo que no es soluble y tiene la capacidad de teñir. El añil índigo no es soluble en agua y para teñir se necesita mezclar en una solución alcalina.

### **2.6.9. Métodos para el proceso de tinción con fibras de lana y algodón**

Los tintoreros momostecos (provenientes del municipio de Momostenango, departamento de Totonicapán, Guatemala) utilizan cuatro métodos para el proceso de tinción en fibras de lana y algodón con extracto colorante de añil; para cada método de tinción se utiliza el reactivo correspondiente que hace la función de mordiente ya que el extracto de añil no es soluble en agua y éste lo disuelve: son los siguientes: tinción utilizando carbonato de sodio, tinción con soda cáustica, tinción con lejía (ceniza de encino), tinción con cal en terrón o cal hidratada (hidróxido de calcio  $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ).

#### **2.6.9.1. Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) carbonato de sodio**

Se prepara agua en un recipiente para tinción (balde) a temperatura de 40°C, se agrega la cantidad de carbonato de sodio necesario para elevar el pH de la solución a 11, se introduce el 5% de extracto colorante según sea la cantidad de fibra para teñir y se agita durante 5 minutos, se determina con un potenciómetro que el pH de la solución sea de 11; posteriormente se espera hasta que el añil esté disuelto y se agrega el 2.5% de hidrosulfito de sodio para la cantidad de fibra teñida y se deja reposar la solución durante 30 minutos hasta que en la superficie de la solución se forme una fase espesa de color azul y debajo de ésta se forme una segunda fase acuosa de color verde, luego se introduce la fibra y se deja reposar durante 1 hora.

#### **2.6.9.2. Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) soda cáustica**

Se prepara un recipiente (balde) con agua necesaria para cubrir la cantidad de fibra a teñir a temperatura de 40°C, se agregan la cantidad de soda cáustica necesaria para elevar el pH a 11 lo cual debe ser verificado con un potenciómetro y se agrega el 5% extracto de añil según la fibra a teñir, se agita por 5 minutos y luego se agregan 2.5% de hidrosulfito de sodio para la cantidad de fibra teñida, se deja reposar la solución durante 30 minutos hasta que en la superficie de la solución se forme una fase espesa de color azul y debajo de ésta se forme una segunda fase acuosa de color verde, luego se introduce la fibra y se deja reposar durante una hora.

### **2.6.9.3. Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) ceniza de encino (Lejía)**

Para este método de tinción es necesario preparar un día antes la ceniza de encino, se agrega agua a una temperatura de 50°C en un recipiente (balde) con la ceniza de encino y se deja reposar hasta que se obtenga un color amarillento, luego al tener ya preparada la ceniza esta es pasada por un colador y se obtiene el agua de ceniza.

Se prepara un segundo recipiente para tinción (balde) con agua a temperatura de 40°C según sea la cantidad de fibra a teñir, se agrega el agua de ceniza preparada con anterioridad y luego se verifica con un potenciómetro que el pH sea de 11 y se agrega el 5% de extracto de añil, se agita por 5 minutos y luego se agregan 2.5% de hidrosulfito de sodio según sea la cantidad de fibra a teñir, se deja reposar la solución durante 30 minutos hasta que en la superficie de la solución se forme una fase espesa de color azul y debajo de ésta se forme una segunda fase acuosa de color verde, luego se introduce la fibra y se deja reposar durante 1 hora.

### **2.6.9.4. Tinción utilizando como base de disolución (mordiente) cal en terrón o cal hidratada (hidróxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>)**

Para este método de tinción se utiliza cal en terrón (hidróxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>), para el cual es necesario preparar un día antes; se disuelven 113.35 gramo de hidróxido de calcio en agua caliente a temperatura de 40°C y se deja reposar.

Se prepara un segundo recipiente (balde) con agua a temperatura de 40°C según sea la cantidad de fibra para tinción, se agrega la solución de cal en terrón preparada con anterioridad y luego se verifica con un potenciómetro que el pH sea de 11 y se agrega el 5% de extracto de añil, se agita por 5 minutos y luego se agregan 2.5% de hidrosulfito de sodio según sea la cantidad de fibra para la tinción, se deja reposar la solución durante 30 minutos hasta que en la superficie de la solución se forme una fase espesa de color azul y debajo de ésta se forme una segunda fase acuosa de color verde, luego se introduce la fibra y se deja reposar durante una hora.

#### **2.6.10. Métodos para caracterización de las fibras teñidas**

Las Normas AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorist) son documentos relacionados con las pruebas que se le hacen a las fibras, ya sea la decoloración, encogimiento, acidez u otros, en ellas se describe el procedimiento de cada prueba de solidez y como se determinan y evalúan las propiedades fisicoquímicas del tinte en las fibras teñidas.

##### **2.6.10.1. Solidez a la luz**

Prueba que determina el grado de resistencia a la degradación por la luz de un colorante determinado sobre el tejido, hilo o fibra, refiriendo el resultado de las pruebas a una escala con patrones conocidos. Existe una escala de 1 a 8 en el que 1 representa el grado más bajo y el 8 el más alto. Para realizar la prueba se expone una porción de la muestra de fibra a la luz solar directa mientras que la otra porción se mantiene cubierta, esto durante un periodo de 24 horas. La prueba se realiza bajo la norma AATCC 16 E.

### **2.6.10.2. Solidez al lavado**

Prueba determinativa de la resistencia presentada por el género teñido a la operación de lavado en sus distintas condiciones prácticas:

- Test 1/40°C: 5g/L jabón, 30 minutos a 40 °C, relación de baño: 50:1
- Test 2/60°C: 5g/L jabón, 2g/L carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), 30 minutos a 60 °C, relación de baño: 50:1
- Test 3/95°C: 5g/L jabón, 2g/L carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), 30 minutos a 95 °C, relación de baño: 50:1
- La prueba se realiza bajo la norma AATCC 6

### **2.6.10.3. Solidez al hipoclorito energético**

Propiedad de resistencia del colorante sobre la fibra frente a la acción de hipoclorito en el siguiente ensayo:

La tela o hilo es tratada por 60 minutos a 20°C en una solución de Hipoclorito de sodio conteniendo 2.0 g/L cloro activo, pH 11, relación de baño 50:1, luego se trata con una solución de peróxido de hidrógeno por 10 minutos. La prueba se realiza bajo la norma AATCC 172.

### **2.6.10.4. Solidez al cloro**

Propiedad de resistencia del colorante sobre la fibra frente a la acción del cloro con el siguiente ensayo:

Solución de hipoclorito de sodio con 20 mg/L activo de cloro, pH 8.5, 4 horas a temperatura ambiente. Relación de baño 100:1, la prueba se realiza bajo la Norma AATCC 188.



### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

En el diseño metodológico se realizó el estudio según la influencia que asignaron unas variables sobre otras.

#### **3.1. Variables**

Las variables que se manejaron fueron las siguientes: variables independientes y variables dependientes.

##### **3.1.1. Variables independientes**

Las variables independientes cuyo valor no depende del valor de la otra variable son las siguientes:

- Procedencia de extracto de añil: El Salvador,
- Procedencia de extracto de añil: Jocotán, Chiquimula,
- Procedencia de extracto de añil: Alemania,
- Procedencia de extracto de añil: Santa Cruz Barillas, Huehuetenango

##### **3.1.2. Variables dependientes**

Las variables dependientes cuyos valores dependen de los que tomen otra son los siguientes:

- Prueba de solidez a la luz (AATCC 16 E)
- Prueba de solidez al lavado (AATCC 6)

- Prueba de solidez al hipoclorito enérgico (AATCC 172)
- Prueba de solidez al Cloro (AATCC 188)

Tabla III. **Variables en el método para tinción de lana y algodón**

Parámetro	Constante	Variable	Controlable	Independiente
Extracto colorante de cuatro procedencias		X	X	X
Temperatura control	X		X	
Tiempo control	X		X	
Concentración del extracto tintóreo		X	X	
pH de la solución	X		X	
Concentración de hidrosulfito de Sodio		X	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Solidez a la luz**

Parámetro	Constante	Variable	Controlable	Independiente
Extracto colorante de cuatro procedencias		X	X	X
Exposición a la luz	X		X	
Tiempo	X		X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Solidez al lavado**

Parámetro	Constante	Variable	Controlable	Independiente
Extracto colorante de cuatro procedencias		X	X	X
Temperatura		X	X	
Concentración de jabón	X		X	
Tiempo	X		X	
Concentración Carbonato de Sodio	X		X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Solidez al hipoclorito enérgico**

Parámetro	Constante	Variable	Controlable	Independiente
Extracto colorante de cuatro procedencias		X	X	X
Tiempo	X		X	
Temperatura	X		X	
Concentración de hipoclorito de sodio	X		X	
pH	X		X	
Concentración de peróxido de hidrógeno	X		X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Solidez al cloro**

Parámetro	Constante	Variable	Controlable	Independiente
Extracto colorante de cuatro procedencias		X	X	X
Concentración de Hipoclorito de sodio	X		X	
Ph	X		X	
Tiempo	X		X	
Temperatura	X		X	

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

Las instalaciones en las que se trabajó para obtener los resultados de la investigación se describen a continuación:

#### **3.2.1. Localización**

La parte experimental se llevó a cabo en las siguientes instalaciones:

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIECVE-, Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, edificio T-5, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala; para la tinción con extracto de añil de cuatro procedencias a fibras de lana y algodón.
- Laboratorio ESEBESA S.A. De CV, San Salvador, San Salvador; para análisis de caracterización de extractos de añil.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Persona que realiza el estudio: Joan Alejandra López López.
- Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales (Colegiada No.433).
- Co-Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré (Colegiado No. 1411).

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Los recursos materiales que se utilizaron para llevar a cabo la parte experimental de la investigación se describen a continuación:

### 3.4.1. Materia Prima

- Extracto del tinte natural del añil obtenido de cuatro procedencias (El Salvador, Jocotán (municipio del departamento de Chiquimula), Añil alemán, Santa Cruz Barillas (municipio del departamento de Huehuetenango)).
- Fibras de lana
- Fibras de algodón

### 3.4.2. Equipo

A continuación se describen los equipos que se utilizaron para llevar a cabo la parte experimental de la investigación:

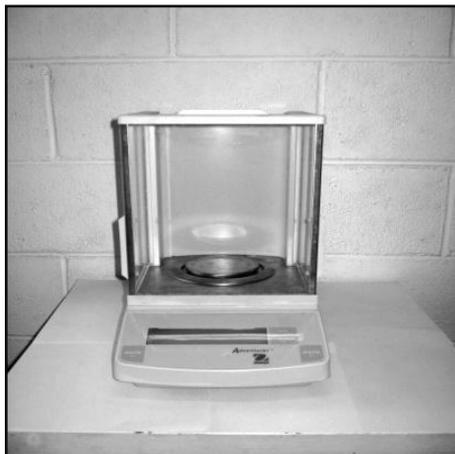
Figura 4. **Planchas de calentamiento**



Fuente: Laboratorio de investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

- Marca: VWR
- Rango de temperatura: 0/500 °C, Rpm: 1600

Figura 5. **Balanza analítica digital *AdventurerOhaus***



Fuente: Laboratorio de investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

- Balanza analítica digital *AdventurerOhaus*
- Marca: *AdventurerOhaus*
- Número de serie: G1551202020548
- Máxima capacidad: 210g
- Rango de medición: 0.0001 – 210 g
- Voltaje: 8 – 14.5 V
- Frecuencia: 50 - 60 Hz

Figura 6. **Potenciómetro marca *OrionResearch***



Fuente: Laboratorio de investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

Figura 7. **Marmita**



Fuente: Laboratorio de investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

Figura 8. **Horno**



Fuente: Laboratorio de investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

### **3.4.3. Cristalería**

La cristalería que se utilizó para llevar a cabo la parte experimental de la investigación se describe a continuación:

- Termómetro
- Recipientes de plástico de 20 litros
- Agitadores (varillas de vidrio)
- Pipetas graduadas de 10, 20 ml
- Beakers de 50, 100, 300 y 500 ml
- Erlenmeyer de 1000 ml

### 3.4.4. Reactivos

Los reactivos que se utilizaron para llevar a cabo la parte experimental de la investigación son los siguientes:

- Jabón neutro
- Detergente (5g/L)
- Carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (2g/L)
- Hipoclorito de sodio (2.0 g/L de cloro active, 20 mg/L de cloro activo)
- Peróxido de hidrógeno
- Hidrosulfito de sodio
- Hidróxido de sodio (soda cáustica)
- Hidróxido de calcio (cal en terrón)

### 3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

A las fibras teñidas con los extractos obtenidos de las cuatro procedencias se les realizarán pruebas fisicoquímicas de solidez las cuales se analizarán de forma cualitativa bajo los criterios de evaluación de las diferentes solideces.

Tabla VIII. **Criterios de evaluación de las diferentes solideces**

Para la solidez a la luz	Para los demás caracteres de solidez
1 = Escasa	1 = Escasa
3 = Regular	2 = Regular
5 = buena	3 = Buena
7 = Muy buena	4 = Muy buena
8 = Excelente	5 = Excelente

Fuente: formulario de proyectos de investigación.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La información fue recolectada y ordenada en las siguientes etapas:

#### 3.6.1. Tratamientos

Se realizaron cuatro tratamientos:

- Procedencia de extracto de añil de El salvador
- Procedencia de extracto de añil de Jocotán, Chiquimula
- Procedencia de extracto de añil alemán
- Procedencia de extracto de añil de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango

#### 3.6.2. Diseño del experimento

Para esto se realizó un cuadro de bloques:

Figura 9. Bloques completos al azar con 6 repeticiones

Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.4	Rep.5	Rep.6
A	B	D	D	A	C
C	A	A	C	D	B
B	C	B	A	B	D
D	D	C	B	C	A

Fuente: elaboración propia.

**Nota:** El cuadro anterior de bloques es conocido como aleatorización del experimento, el cual sirve para eliminar los errores sistemáticos. Se realizaron 6 sorteos independientes.

### **3.6.3. Manejo del experimento**

El experimento fue realizado en las siguientes etapas:

#### **3.6.3.1. Obtención de las fibras**

Las fibras para la tinción se obtienen en Salcajá, Quetzaltenango en madejas. Las lanas más valiosas son las que proceden de ovejas de tres a seis años. Una oveja produce al año de 1 a 3 kilos de lana fina o de 2 a 6 kilos de lana gruesa, según se trate de una raza u otra. Las partes aisladas del vellón muestran grandes diferencias en cuanto a finura y estado de limpieza, según la parte del cuerpo de que procedan.

#### **3.6.3.2. Condiciones de teñido**

Las variables que interfieren en el proceso de tinción son: Lavado en las fibras de lana y algodón, tamizaje, temperatura del agua, alcalinidad de la solución y cantidad de hidrosulfito de sodio.

#### **3.6.3.3. Lavado en fibras de lana y algodón**

Para el método de tinción utilizado en la investigación es necesario preparar las madejas de lana y algodón. El lavado a nivel laboratorio se realiza manualmente y a temperatura ambiente ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ), las fibras de lana y algodón se sumergen en un balde de agua y detergente.

Figura 10. **Lavado de las fibras de lana y algodón**



Fuente: Laboratorio de Investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

#### **3.6.3.4. Tamizaje**

En la realización de pruebas preliminares se confirmó el número de tamiz utilizado el cual fue de 60 con el objetivo de obtener un extracto con mayor facilidad para la disolución con partículas de 0.250 mm según ASTM E11 (Ref No. 7), ya que si aparecen grumos la tinción no es uniforme.

Figura 11. **Tamices**



Fuente: Laboratorio de Investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

### **3.6.3.5. Temperatura del agua**

Las hojas de añil contienen un glucósido natural incoloro conocido como indicán. Es necesario maceración con agua para hidrolizar el glucósido, la hidrólisis elimina la glucosa y libera el indoxilo. En la investigación se utiliza agua a 40°C para la maceración debido a que a mayor temperatura el glucósido se descompone.

### **3.6.3.6. Alcalinidad en la solución**

En el proceso de tinción se debe trabajar con una solución (agua, extracto de añil y reactivo mordiente ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )) que contenga un pH de 11 que es el ideal para la tinción.

Para el proceso de tinción se utiliza 5% del extracto tintóreo según sea la cantidad de fibra para teñir y la cantidad de agua necesaria para que cubra las fibras tomando en cuenta que el hidróxido de calcio presenta un pH de 12.5 a 12.8, al momento de ser agregado la cantidad de extracto tintóreo necesaria se obtiene el pH indicado, de esta manera al teñir y reducirse ante la presencia del álcali se produce un leuco (compuesto anódico, análogo a un fenol) que da una solución incolora. Este leuco índigo es absorbido por enlaces de hidrógeno y al exponerse al aire se oxida y se vuelve insoluble produciendo una tinta sólida y de color azul.

### **3.6.3.7. Hidrosulfito de sodio**

En la metodología de tinción se utiliza hidrosulfito de sodio, este es un polvo blanco cristalino con un olor a azufre, que se descompone en agua

caliente. Se debe agregar en 2.5% de las fibras a teñir según pruebas preliminares.

Puede obtenerse por la siguiente reacción:



Este compuesto es soluble en agua y es usado como un agente reductor en soluciones acuosas. Se utiliza como tal en algunos procesos industriales, donde un tinte de otra manera insoluble en agua, puede reducirse en una entidad soluble en agua salada, alcalina-metálica.

Debido a las características de reducción del Hidrosulfito de sodio, este elimina el exceso de tinte, óxido-residual, y los pigmentos no deseados, mejorando así la calidad del color en general. También puede utilizarse como una lejía, por ejemplo en: pasta de papel, algodón, lana, caolín y arcilla.

Figura 12. **Tinción de las fibras de lana y algodón**



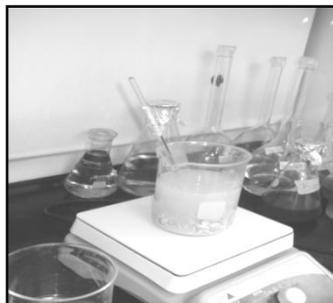
Fuente: Laboratorio de Investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

### **3.6.3.8. Método de tinción utilizando cal hidratada (hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )**

Se utiliza cal hidratada (hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), la cual debe ser preparada un día antes; se disuelve una cantidad suficiente en agua caliente a temperatura de  $40^\circ\text{C}$  y se deja reposar, luego se prepara un recipiente de agua a temperatura de  $40^\circ\text{C}$  y se le agrega la cantidad necesaria de la solución de cal en terrón preparada con anterioridad y se verifica con un potenciómetro que el pH sea de 11, luego se agregan 5% de extracto de añil, la solución se debe agitar suavemente hasta que el extracto de añil se disuelva totalmente.

Luego se le agrega 2.5% de hidrosulfito de sodio, se deja reposar la solución durante 30 minutos y por último se agregan las madejas de cada fibra a teñir y se deja reposar durante una hora, posteriormente se realizan lavados a las fibras hasta que ya no se obtenga más agua con colorante y por último se realiza un lavado con jabón neutro, después las fibras son expuestas al aire para que se oxigenen y tomen el color característico.

Figura 13. **Preparación de cal en terrón o cal hidratada (hidróxido de calcio)**



Fuente: Laboratorio de Investigación de extractos vegetales LIEXVE durante el proceso de experimentación.

### **3.6.3.9. Fijación de los tintes en las fibras**

Los pigmentos y los tintes dan color, pero con los pigmentos (utilizados para tintas, pinturas, cosméticos) el color queda en la superficie. Los pigmentos se adhieren a las superficies para darles color, pero los tintes (utilizados para textiles) se unen químicamente a las moléculas que colorean por una reacción química que forme un enlace covalente entre la molécula del tinte y de la fibra. El colorante se convierte en una parte de la fibra y es así mucho menos probable ser quitado lavándose que los colorantes que adhieren por la adsorción. En contraste con los pigmentos, la mayor parte de los tintes son solubles y la mayoría son compuestos orgánicos aromáticos. Muchos de los tintes orgánicos que se dan en la naturaleza, en plantas o animales.

La mayor parte de los tintes naturales se adhieren al tejido con la ayuda de un mordiente, mencionado con anterioridad, compuesto metálico que se une al tejido bajo condiciones alcalinas, pasándolos luego a las moléculas del tinte. Por ejemplo si un mordiente tiene hierro(III), la tela a teñir se tinte de marrón, si el metal es estaño(II), el color será rosa.

La característica más importante de tintes es la formación de enlaces covalentes con el substrato que se coloreará, por ejemplo: el tinte forma un vínculo químico con la celulosa, que es el componente principal de las fibras del algodón.

## **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

A continuación se presentan las tablas que proporcionan los resultados de la presente investigación.

Tabla IX. **Diseño para la recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de lana**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	7	7	7	5	5	7
Jocotán	7	5	3	5	3	6
Alemania	7	7	7	5	8	7
Barillas	7	7	5	7	3	7

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Diseño para la recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de algodón**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	8	7	7	7	7	7
Jocotán	5	7	7	5	7	7
Alemania	5	7	7	7	7	7
Barillas	8	8	7	8	7	8

Fuente: elaboración propia.

### **3.8. Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de los resultados se realizará el siguiente proceso.

#### **3.8.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

Los métodos utilizados son los siguientes.

### 3.8.1.1. Análisis de varianza

Se realizará un análisis de varianza para un experimento en bloques al azar, con cuatro tratamientos y seis repeticiones, mediante el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i= 1,2,\dots,t \\ j= 1,2,\dots,t \end{array} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

$Y_{ij}$  : variable de respuesta, que es el resultado de la prueba de solidez del  $i$ -ésimo resultado en la  $j$ -ésima.

$\mu$  : efecto de la media general.

$B_i$  : efecto del  $i$ -ésimo bloque o repetición.

$\alpha_j$  : efecto de procedencia.

$\varepsilon_{ij}$  : efecto del error experimental o variabilidad no controlada asociada a la  $ij$ -ésima unidad experimental.

### 3.8.1.2. Cuadro de Andeva

El análisis de varianza realizado, permitió determinar si el error sistemático en los datos de cada variable, pueden atribuirse a factores reales y comprobables, o pueden considerarse errores aleatorios, al relacionarlas entre sí.

**Nota:** Cada variable dependiente: solidez a la luz, solidez al hipoclorito energético, solidez al cloro y solidez al lavado, respectivo para cada fibra de lana y algodón poseen cuadro de Andeva específico para su análisis, los cuales se encuentran en la sección de resultados.

Tabla XI. **Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez a la luz en fibra de algodón**

Fuentes de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	6.125	3	2.042	3.356	.047
Repetición	1.708	5	0.342	0.562	.728
Error	9.125	15	0.608		
Total	16.958	23			

Fuente: elaboración propia.

Regla de decisión: rechazar  $H_0$  si  $(Pr > F) \leq \alpha$

Por lo tanto en base a los datos de la tabla XIII se puede tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula  $H_0$ , en base a dos criterios en función de la siguiente ecuación:

$$F = \frac{CM_{\theta, \alpha}}{CM_{\epsilon}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$CM_{\theta, \alpha}$  : cuadrados medios para las cuatro procedencias mediante pruebas fisicoquímicas de solides.

$CM_{\epsilon}$  : cuadrados medios para el error.

F : F de Fisher.

Por lo cual los dos criterios son:

- $H_0$  es verdadera si  $F$  tiende a cero
- Si  $F$  es numéricamente grande, la suma de cuadrados para las cuatro procedencias mediante pruebas fisicoquímicas de sólidos es grande en comparación con la suma de cuadrados del error. Lo que significa que las medias obtenidas del rendimiento en base a las cuatro procedencias mediante pruebas fisicoquímicas de solidez son muy diferentes, por lo cual se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .

Figura 14. **Gráfica de la prueba estadística de F (Fisher)**



Fuente: WALPOLE Ronald E. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. P.125.

Si la probabilidad es grande ( $P > 0.05$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula, pero si la probabilidad es pequeña ( $P \leq 0.05$ ), entonces se rechaza  $H_0$ .

Para la solidez a la luz en fibra de algodón

$$P(F \geq 3.356) = 0.047 \leq 0.05 = \alpha$$

De acuerdo a los criterios establecidos anteriormente se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , lo que indica que existe diferencia significativa en la

procedencia de Jocotán, El Salvador, Alemania y Barillas, en cuanto a la solidez a la luz en fibras de algodón.

### 3.8.1.3. Criterio de Tukey

De acuerdo a los valores de la tabla VII. Puede decirse que estadísticamente Santa Cruz Barillas obtiene mayor solidez a la luz en fibras de algodón que Alemania, El Salvador y Jocotán, a su vez Alemania demuestra mayor solidez que El Salvador y El Salvador mayor solidez que Jocotán.

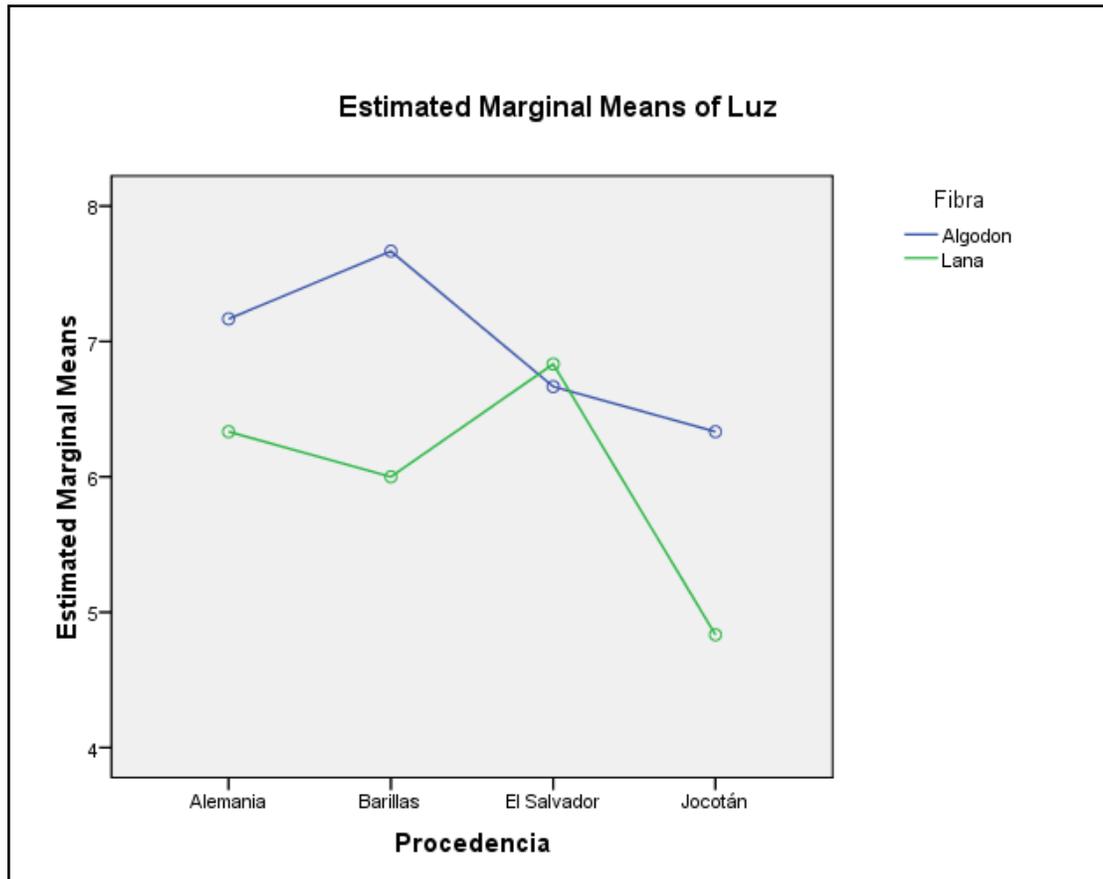
Tabla XII. **Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez a la luz en fibras de algodón**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
Jocotán	6	6.33	
El Salvador	6	6.67	6.67
Alemania	6	7.17	7.17
Barillas	6		7.67
Significancia		0.289	0.162

Fuente: elaboración propia. Resultados de análisis estadístico, anexo 2.

**Nota:** Cada variable dependiente: solidez a la luz, solidez al Hipoclorito enérgico, solidez al Cloro y solidez al lavado, respectivo para cada fibra de lana y algodón poseen cuadro de Tukey específico para su análisis, los cuales se encuentran en la sección de resultados.

Figura 15. **Comparación de medias marginales estimadas de luz para cuatro procedencias en fibras de lana y algodón**



Fuente: datos de tablasXIV y XV, P. 71. Sección de Resultados

### 3.8.2. Programas a utilizar para análisis de datos

El software utilizado, para la realización de los cálculos y gráficas fue el siguiente:

- Microsoft Office Excel: Esta hoja de cálculo se utilizará para llevar a cabo diversas operaciones matemáticas.

- Microsoft Visio: para la elaboración de diagramas, entre ellos los diagramas de flujo de procedimientos.
- Microsoft Office Project: para la elaboración de los cronogramas requeridos.
- Statistical Package for the Social Science (SPSS) Para la realización del análisis de varianza y comparación de las medias mediante el criterio HDS (Honestly Significant Difference) de Tukey.

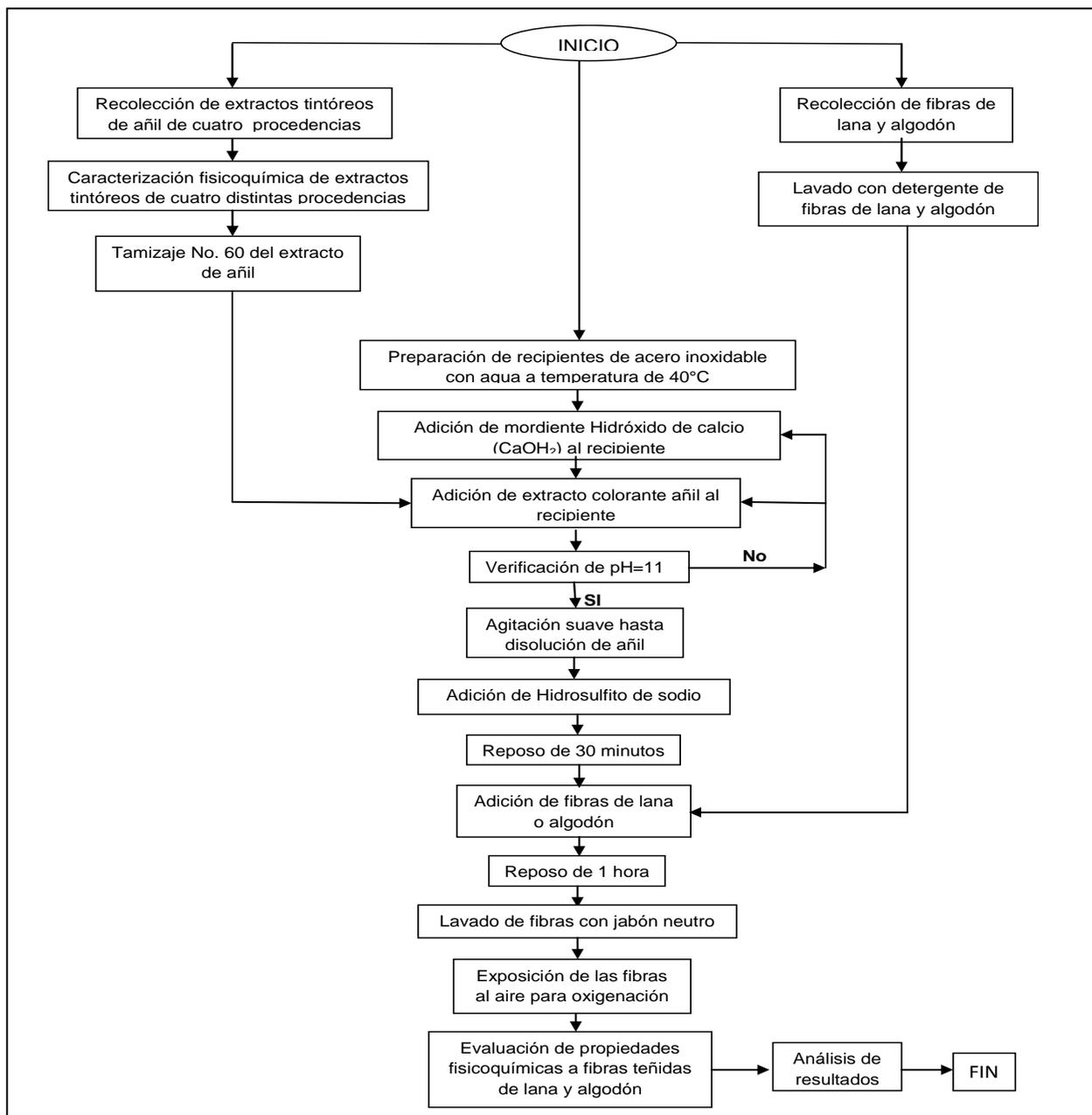
### **3.9. Diagrama de flujo del proceso de tinción**

El proceso completo de la tinción, tanto en lana como algodón, fue descrito en un diagrama de flujo para facilitar su exposición. Fueron incluidas todas las etapas, desde la recolección de materiales (fibras y extractor tintóreos) hasta su evaluación final (véase figura 16).

### **3.10. Análisis de precios de materias primas**

Cada material utilizado es de procedencia distinta, correspondiendo es a un sistema de costos complejo, el cual fue expuesto para su análisis en la tabla XIII, incluyendo: la cantidad utilizada (en sus unidades respectivas), descripción, precio unitario y precio total.

Figura 16. Diagrama de flujo del proceso de tinción



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Precios de materias primas**

Cantidad	Descripción	Precio unitario (Q.)	Precio total (Q.)
2.0 oz	Añil alemán	40.00	80.00
2.0 oz	Añil de Santa Cruz Barillas	30.00	60.00
2.0 oz	Añil de Jocotán	40.00	80.00
2.0 oz	Añil de El Salvador	50.00	100.00
1.0 lb	Madeiras de lana	20.00	20.00
1.0 lb	Madeiras de algodón	30.00	30.00
360.0 g	Jabón detergente en polvo (5g/L)	16.00	16.00
500.0 g	Hidróxido de calcio (cal en terrón)	337.78	337.78
1.0 kg	Hidrosulfito de sodio	500.00	500.00
250.0 ml	Hipoclorito de sodio (2.0g/L cloro activo)	8.00	8.00
1.0 kg	Peróxido de hidrógeno	585.00	585.00

Fuente: elaboración propia.

## 4. RESULTADOS

Tabla XIV. Resultados obtenidos para fibras de lana

Procedencia	Repetición	Respuesta obtenida a la solidez					
		Luz	Lavado Test 1	Lavado Test 2	Lavado Test 3	Hipoclorito energético	Cloro
El Salvador	1	7	4	3	3	4	4
Jocotán	1	7	3	2	1	3	4
Alemania	1	7	3	2	1	3	3
Barillas	1	7	3	4	2	2	4
El Salvador	2	7	4	4	3	4	4
Jocotán	2	5	3	2	1	4	3
Alemania	2	7	3	2	1	3	2
Barillas	2	7	4	4	3	3	4
El Salvador	3	7	4	4	3	3	3
Jocotán	3	3	3	2	2	2	3
Alemania	3	7	3	2	1	1	3
Barillas	3	5	4	4	2	3	4
El Salvador	4	5	3	3	2	4	4
Jocotán	4	5	3	2	2	3	3
Alemania	4	5	2	3	1	3	3
Barillas	4	7	4	3	2	3	4
El Salvador	5	5	4	4	2	4	4
Jocotán	5	3	3	3	2	3	3
Alemania	5	8	2	3	2	3	2
Barillas	5	3	4	4	2	3	4
El Salvador	6	7	4	3	2	4	4
Jocotán	6	6	2	2	2	2	3
Alemania	6	7	3	2	1	3	2
Barillas	6	7	3	3	2	3	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Resultados obtenidos para fibras de algodón**

Procedencia	Repetición	Respuesta obtenida a la solidez					
		Luz	Lavado Test 1	Lavado Test 2	Lavado Test 3	Hipoclorito enérgico	Cloro
El Salvador	1	8	4	4	3	2	4
Jocotán	1	5	2	3	2	1	3
Alemania	1	5	3	2	2	1	3
Barillas	1	8	4	4	3	1	4
El Salvador	2	7	5	3	2	2	4
Jocotán	2	7	3	3	2	1	3
Alemania	2	7	3	2	1	1	3
Barillas	2	8	4	3	2	1	4
El Salvador	3	7	4	3	2	2	4
Jocotán	3	7	3	2	3	1	3
Alemania	3	7	3	2	1	1	3
Barillas	3	7	4	3	2	1	4
El Salvador	4	7	5	3	2	2	5
Jocotán	4	5	3	3	1	1	3
Alemania	4	7	2	2	1	1	3
Barillas	4	8	3	3	2	2	4
El Salvador	5	7	5	3	2	2	4
Jocotán	5	7	3	4	2	1	4
Alemania	5	7	3	2	1	1	3
Barillas	5	7	4	3	2	1	3
El Salvador	6	7	5	4	3	2	4
Jocotán	6	7	3	3	2	1	3
Alemania	6	7	2	2	1	1	3
Barillas	6	8	4	3	2	1	4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultado cuadro de Andeva solidez a la luz**

Fibra	F	Significancia	Resultado hipótesis
Algodón	3.356	0.047	Se rechaza $h_0$
Lana	3.023	0.063	No se rechaza $h_0$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultados prueba de Tukey para procedencias solidez a la luz**

Fibra de Algodón		Fibra de Lana	
Santa Cruz Barillas	7.67	El Salvador	6.83
El Salvador	7.17	Alemania	6.33
Alemania	6.67	Santa Cruz Barillas	6.00
Jocotán	6.33	Jocotán	4.83

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultado cuadro de Andeva solidez al Hipoclorito energético**

Fibra	F	Significancia	Resultado hipótesis
Algodón	33.000	0.000	Se rechaza $h_0$
Lana	6.212	0.006	Se rechaza $h_0$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados prueba de Tukey para procedencias solidez al hipoclorito energético**

Fibra de algodón		Fibra de lana	
El Salvador	2.00	El Salvador	3.83
Barillas	1.17	Jocotán	2.83
Jocotán	1.00	Barillas	2.83
Alemania	1.00	Alemania	2.67

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultado cuadro de Andeva solidez al cloro**

Fibra	F	Significancia	Resultado hipótesis
Algodón	11.909	0.000	Se rechaza $h_0$
Lana	13.750	0.000	Se rechaza $h_0$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultados prueba de Tukey para procedencias solidez al cloro**

Fibra de algodón		Fibra de lana	
El Salvador	4.17	El Salvador	3.83
Barillas	3.83	Barillas	3.83
Jocotán	3.17	Jocotán	3.17
Alemania	3.00	Alemania	2.50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Resultado cuadro de Andeva solidez al lavado**

Fibra	F	Significancia	Resultado hipótesis
Algodón	34.870	0.000	Se rechaza $h_0$
Lana	34.971	0.000	Se rechaza $h_0$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados prueba de Tukey para procedencias solidez al lavado**

Fibra de algodón		Fibra de lana	
El Salvador	3.44	El Salvador	3.28
Santa Cruz Barillas	3.06	Santa Cruz Barillas	3.17
Jocotán	2.61	Jocotán	2.22
Alemania	1.94	Alemania	2.06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Resultados prueba de Tukey para temperaturas en solidez al lavado**

Fibra de algodón		Fibra de lana	
95°C	1.92	95°C	1.87
60°C	2.88	60°C	2.92
40°C	3.50	40°C	3.25

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Porcentajes de rendimiento de la tinción con extracto natural añil con cuatro procedencias**

Procedencia	% Rendimiento
El Salvador	13.38 %
Santa Cruz Barillas	6.90 %
Alemania	6.44 %
Jocotán	6.40 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Porcentaje de indigotina**

Procedencia	% indigotina
El Salvador	40.6
Jocotán	33.4
Alemania	33.6
Santa Cruz Barillas	18.7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Calidad de fibras de lana**

Procedencia	Solidez a la luz	Solidez al hipocloritoenergico	Solidez al cloro
El Salvador	6.33	3.66	3.83
Jocotán	4.83	2.83	3.16
Alemania	6.83	2.66	2.5
Santa Cruz Barillas	6.00	2.83	3.83

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Calidad de fibras de lana solidez al lavado**

Procedencia	Solidez al lavado test 1	Solidez al lavado test 2	Solidez al lavado test 3
El Salvador	3.83	3.5	2.5
Jocotán	2.83	2.16	1.66
Alemania	2.66	2.33	1.16
Santa Cruz Barillas	3.66	3.33	2.16

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Calidad de fibras de algodón**

Procedencia	Solidez a la luz	Solidez al hipoclorito enérgico	Solidez al cloro
El Salvador	7.16	2.00	4.16
Jocotán	6.33	1.00	3.16
Alemania	6.66	1.00	3.00
Santa Cruz Barillas	7.66	1.16	3.83

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Calidad de fibras de algodón solidez al lavado**

Procedencia	Solidez al lavado test 1	Solidez al lavado test 2	Solidez al lavado test 3
El Salvador	4.66	3.33	2.33
Jocotán	2.83	3	2
Alemania	2.66	2	1.33
Santa Cruz Barillas	3.83	3.16	1.66

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo del presente estudio fue evaluar a nivel laboratorio el proceso de aplicación y capacidad de tinción del tinte obtenido de las hojas de añil de cuatro procedencias, El Salvador, Santa Cruz Barillas (municipio del departamento de Huehuetenango), Jocotán (municipio del departamento de Chiquimula) y alemán en fibras de lana y algodón, evaluando la solidez de las mismas con estándares internacionales: AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorist), para obtención de calidad.

Se realizó una visita técnica a San Juan La Laguna, Guatemala, con el propósito de entrevistar a tintoreros para conocer sus métodos de tinción de donde se obtuvieron procedimientos artesanales. También se asistió al vivero y café de La Escalonia, Antigua Guatemala, Guatemala, a una conferencia sobre tinción en fibras de lana y algodón con extracto de añil y se realizaron una serie de pruebas preliminares con la asesoría del señor Joel Ajxup, experto tintorero momosteco.

Se obtuvieron las fibras de lana y algodón en Salcajá, Quetzaltenango en madejas y los extractos correspondientes a cada procedencia. Con dichos extractos se procedió a realizar el tamiz No.60 (partículas de 0.250 mm según ASTM E11, (Ref. No. 7))

Para iniciar el estudio se realizó un análisis en el laboratorio ESEBESA S.A. de CV, situado en San Salvador, El Salvador, C.A. de caracterización de extractos de las cuatro procedencias, para determinación del porcentaje de indigotina; de las cuales el extracto de añil con mayor porcentaje de indigotina

fue la muestra de procedencia de El Salvador (40.6%) y la muestra que obtuvo menor porcentaje de indigotina fue la muestra de Santa Cruz Barillas (18.7%).

Se realizó el proceso de tinción a las fibras con los extractos colorantes de las cuatro procedencias utilizando base de disolución con hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  debido a que este método presentó mejores resultados en las pruebas preliminares realizadas. Se trabajó con un  $\text{pH}=11$  debido a que a este  $\text{pH}$  ocurre el proceso químico donde se da la hidrolización de la enzima que libera la hoja del añil dando lugar a la tinción.

Debido a la experimentación en el proceso de tinción se determinó que se debe utilizar el 5% de extracto tintóreo en base a la cantidad de fibra que se desea teñir, a excepción de la procedencia de Santa Cruz Barillas que se utilizó un porcentaje de 7.5% para obtener el  $\text{pH}=11$ . El porcentaje de hidrosulfito de sodio fue de 2.5% debido a la formación de una solución de dos fases que permite la extracción del oxígeno dentro de la mezcla, si el hidrosulfito de sodio se agrega en menor cantidad la formación de las dos fases sería demasiado lenta o podría no llegar a ocurrir y el tiempo de reposo es a partir de una hora hasta 24 horas dependiendo de la intensidad que se desee obtener.

El proceso de tinción de la fibra depende mucho de la calidad del extracto tintóreo debido a que la cantidad utilizada es dependiente del  $\text{pH}=11$  ya que al agregar el hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  la solución aumenta  $\text{pH}$  pero al agregar el extracto tintóreo este desciende hasta que se alcance el  $\text{pH}$  indicado.

A dichas fibras se les realizaron las siguientes pruebas fisicoquímicas de solidez: solidez a la luz (AATCC 16E), solidez al lavado (AATCC 61), solidez al hipoclorito enérgico/solidez al cloro (AATCC 172/AATCC 188).

Para la solidez a la luz, solidez a Hipoclorito enérgico y solidez al cloro se realizó un análisis estadístico en el que se encuentran los resultados en lastablas No. XIV, XVI, XVIII, Pág. 70-71, donde se demuestra que se rechaza la hipótesis nula para la solides en fibras de lana y algodón a excepción de la solidez a la luz en fibra de algodón la cual indica que no se rechaza la hipótesis nula, tabla No. XIV Pág. 70. Al rechazar dicha hipótesis nula indica que la procedencia influye significativamente en cuanto a las solideces.

Se realizó el análisis estadístico con la prueba de media de Tukey en donde se comparan las procedencias para cada fibra de lana y algodón; los resultados de solidez a la luz en fibra de algodón indican que la muestra de Barillas obtuvo mejores resultados que la muestra de El Salvador, que a su vez es mejor que la muestra de Alemania y este que la muestra de Jocotán. Para los resultados de solidez a la luz en fibras de lana la muestra de El Salvador obtuvo mejores resultados que la muestra de Alemania, la muestra de Alemania mejores que la muestra de Santa Cruz Barillas y este a su vez mejores que la muestra de Jocotán. Según tabla XV p. 70.

Para el análisis de media de Tukey la solidez al hipoclorito enérgico en fibras de algodón se demostró que la muestra de El Salvador obtuvo mejores resultados que la muestra de Santa Cruz Barillas, este a su vez fue mejor que la muestra de Jocotán y la muestra de Jocotán mejor que la muestra de Alemania. En los resultados de solidez al Hipoclorito enérgico en fibras de lana se demostró que la muestra de El Salvador obtuvo mejores resultados, pero la muestra de Barillas y la muestra de Jocotán pueden ser igual de buenos, a diferencia de la muestra de Alemania que fue la que obtuvo resultados menores. Según tabla No. XVII p. 71.

En el análisis de media de Tukey los resultados de la solidez al Cloro en fibras de algodón demostraron que la muestra de El Salvador obtuvo mejores resultados que la muestra de Santa Cruz Barillas y este a su vez mejores resultados que la muestra de Jocotan y la muestra de Jocotan mejores que la muestra de Alemania. Para la solidez al cloro en fibras de lana se demostró que la muestra de Barillas y la muestra de El Salvador podrían llegar a ser igual de buenos y obtuvieron mayores resultados que la muestra de Jocotan y la muestra de Jocotán mayores resultados que la muestra de Alemania. Según tabla No. XIX p. 71.

En el análisis de media de Tukey para solidez al lavado en fibras de algodón y lana se obtuvieron mejores resultados para la muestra de El Salvador seguida por la muestra de Barillas, luego la muestra de Jocotán y por último la muestra de Alemania. Según tabla No. XXI, p. 72.

En el análisis de media de Tukey para la solidez al lavado también se evaluaron las temperaturas de trabajo donde se obtuvieron mejores resultados para la temperatura 40°C seguida por la temperatura de 60°C y luego de 95°C. Según tabla No. XXVII, p. 75.

Para la prueba de Tukey se demuestra que las procedencias que obtuvieron mejores resultados fueron las muestras de El Salvador y Barillas. La procedencia de El Salvador contiene mayor porcentaje de indigotina (40.6%) y se utilizó en 5% de proporción de extracto por lo que se obtuvieron mayores resultados. En cuanto a Barillas contiene un porcentaje menor de indigotina (18.7%) pero este fue aplicado a las fibras en mayor proporción de extracto (7.5%), lo que demuestra que la procedencia de Barillas puede llegar a ser tan buena como la procedencia de El Salvador si se aplica en mayor proporción.

## CONCLUSIONES

1. En la caracterización fisicoquímica el extracto que obtuvo mayor porcentaje de indigotina fue el de procedencia de El Salvador (40.6%), y el que obtuvo menor porcentaje de indigotina fue el de procedencia de Santa Cruz Barillas (18.7%).
2. Para el proceso de tinción adecuado se obtuvo pH=11, hidrosulfito de sodio a 2.5% y temperatura del agua a 40°C.
3. Si existe diferencia significativa en la capacidad de tinción del extracto tintóreo de cuatro procedencias en fibras de lana y algodón a partir de las pruebas fisicoquímicas de solidez a excepción de solidez a la luz en fibras de lana, en este caso la procedencia no influyó significativamente en cuanto a la solidez a la luz.
4. Las procedencias con mayor fijación fueron El Salvador y Santa Cruz Barillas; la procedencia de Santa Cruz Barillas llegó a ser tan buena como la de El Salvador aunque se aplicó en mayor proporción respecto al porcentaje de indigotina.
5. En las fibras de solidez al lavado en fibras de lana y algodón se obtuvo mayor fijación a temperatura de 40°C en comparación a 60°C y 95°C.



## RECOMENDACIONES

1. En el procedimiento de tinción a fibras de lana y algodón utilizar mayor porcentaje de extracto tintóreo de añil de la procedencia de Santa Cruz Barillas, debido al resultado de menor porcentaje de indigotina a partir del análisis de la caracterización de extractos.
2. En el proceso de tinción se debe mantener el pH=11, en el caso de que la solución de tinción se encuentre alcalino, agregar extracto de añil y si se encuentra ácido agregar mayor cantidad de mordiente.
6. En el proceso de tinción se debe mantener el pH=11, en el caso de que la solución de tinción se encuentre alcalino, agregar extracto de añil y si se encuentra ácido agregar mayor cantidad de mordiente.
7. En el proceso de tinción la cantidad de extracto tintóreo agregado debe ser respecto al porcentaje de indigotina.
8. La tinción debe ser realizada a temperatura de 40°C para obtener mayor fijación de extracto tintóreo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BATRES, Carlos; et al. *Las evidencias de la industria del añil en la cuenca Copán-ch'orti*. En XVIII Simposio de investigaciones arqueológicas en Guatemala. Guatemala:2004. Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
2. BERNAT Gabriel. *La economía colonial del añil*. [en línea] [www.gabrielbernat.es/colonia/anil/index.html](http://www.gabrielbernat.es/colonia/anil/index.html). [Consulta: 11 de septiembre de 2010].
3. CAMPO MADRID, Marta Alicia. *El arte del añil*. [en línea] [sites.google.com/site/marindigo/home](http://sites.google.com/site/marindigo/home). [Consulta: 10 de julio de 2010].
4. CASTRO Eduardo A. *Química y color en la pintura colonial sudamericana*. Artículos Técnicos No. 353, Industria & Química.
5. COLOCHO ORTIGA, José Luis; HURTARTE, Margarita; GARCÍA, Francisco, (M.Ed.). *Alternativas técnico-prácticas para reducir el tiempo de extracción de pigmentos sólidos del añil (Indigófera Sp.)*. San Salvador: programa fortalece/GTZ, 2003.59p.

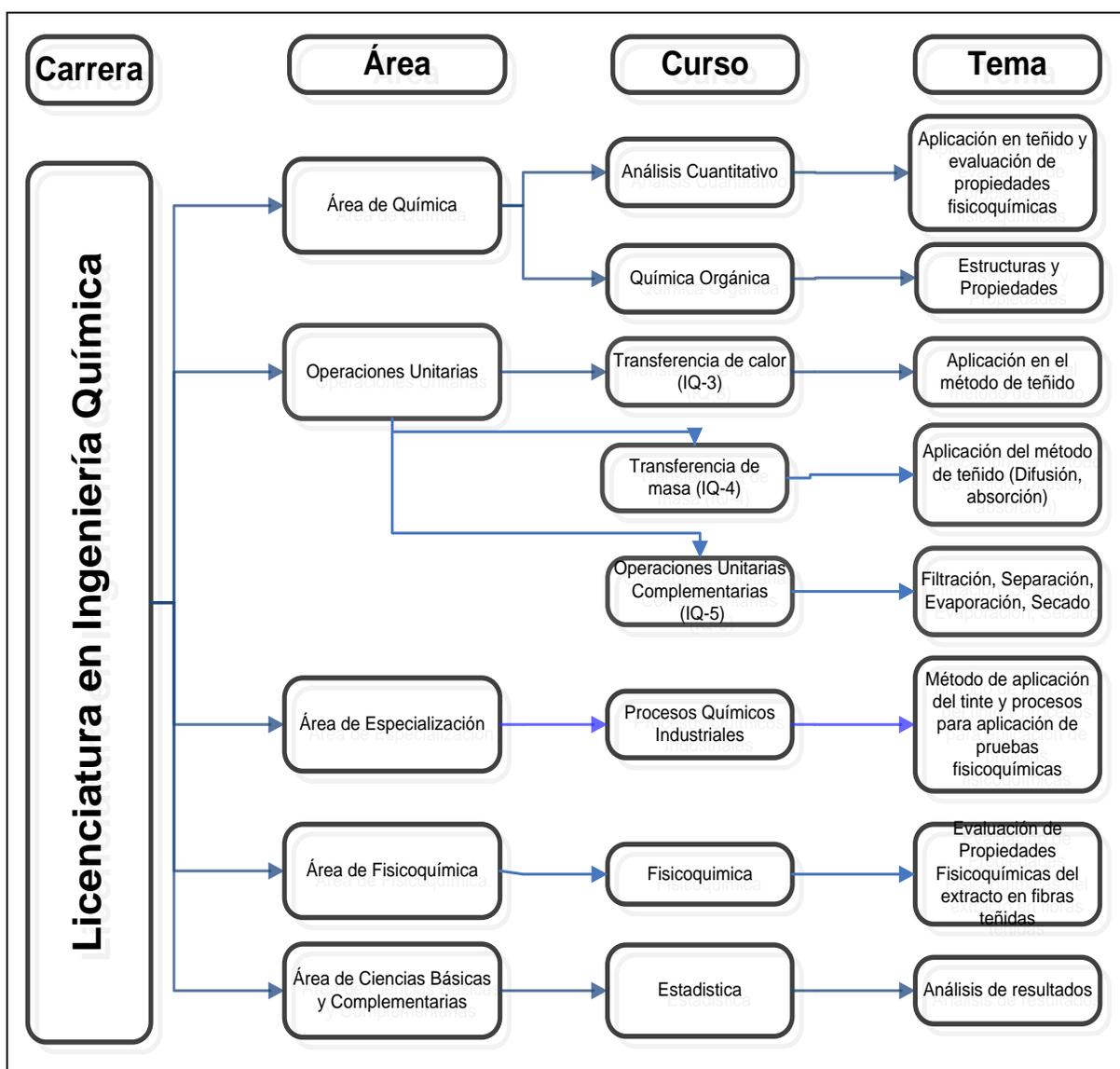
6. DEL CID VÁSQUEZ, Henry Estuardo. *Extracción a nivel de laboratorio de los pigmentos colorantes del tipo flavonoides contenidos en la flor del subín (Acacia farnesiana L. Willd) proveniente de un bosque silvestre guatemalteco.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 175p.
7. SWARBRICK, James. *Farmacotecnia. Número de tamiz.*[en línea] [docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/.../02\\_metodos.html](http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/.../02_metodos.html). [Consulta: 20 de septiembre de 2010]
8. JARAMILLO ZELAYA, Antonio. *Tintura artesanal en la industria de tejidos típicos de Guatemala, proposición de métodos más eficientes y económicos.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1977. 89p.
9. MARTINEZ, Laura. *Teñido con colorantes naturales sobre lana.* México, [en línea] [www.inti.gov.ar/prodiseno/imag\\_blog/art\\_tenido.pdf](http://www.inti.gov.ar/prodiseno/imag_blog/art_tenido.pdf). [Consulta: 31 de julio de 2011].
10. MCCABE, Warren L.; SMITH C. Julian y METER Harriot. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química.* 4a ed. México: Mc-Graw Hill. 2000. 1114 p.

11. MÉNDEZ GUERRERO, Manuel. *El arte de la tintorería, San Juan la Laguna*. González Chavajay, Juan; Cholotio, Cristóbal Fidel; Cholotío, Cristina (trads.), Guatemala: 2008. 79 p.
12. MÉRIDA MERÉ, Mario José. *Extracción y caracterización fisicoquímica del tinte natural obtenido del exocarpo del coco (cocusnucifera), como aprovechamiento del desecho de fuentes comerciales*, Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008.213p.
13. *Orígenes, Historia del añil*. [en línea] [www.guanacosonline.org/origenes/OrigenesHistoria.htm](http://www.guanacosonline.org/origenes/OrigenesHistoria.htm). [Consulta: 8 de septiembre de 2010].
14. PERRY, Robert H.; DON W. Green. *Manual del Ingeniero Químico*. 7a ed. México: Mc-Graw Hill. 1999. 3202 p.
15. QUIÑONEZ FIGUEROA, Byron Alfredo. *Extracción de colorante de chile jalapeño (Capsicum annum L.) a nivel de laboratorio con tres solventes* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 58p.
16. RAYMOND E. Kirk; F. OTHMER, Donald. *Enciclopedia de tecnología Química*.5a ed. Argentina: German Maldonado, 1961. 1290p.
17. SIMÓN, Gary A, et al. *Estadística elemental*. 8a ed. México: Prentice May Hispanoamericana, 1994. 565p.

18. STANDLEY, Paul C.; STEYE, Julian. *Flora of Guatemala*. Chicago Natural History Museum, 1946. 20p. Volumen V.
19. WALPOLE, Ronald. *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. 2aed. México: McGraw Hill, 2012. 125 p.
20. Webinta. *Encuentro taller de recuperación de técnicas ancestrales de teñido*. [en línea] Julio 2007. <http://www.youtube.com/watch?v=jnQbkAoD7t0>. [Consulta: 25 de septiembre de 2010]
21. Ministerio de Economía, República de El Salvador, C.A. Caja de herramientas. <http://www.minec.gob.sv/cajadeherramientasue/images/stories/fichas/el-salvador/sv-productos-de-anil.pdf>. [Consulta: 24 de septiembre de 2010]

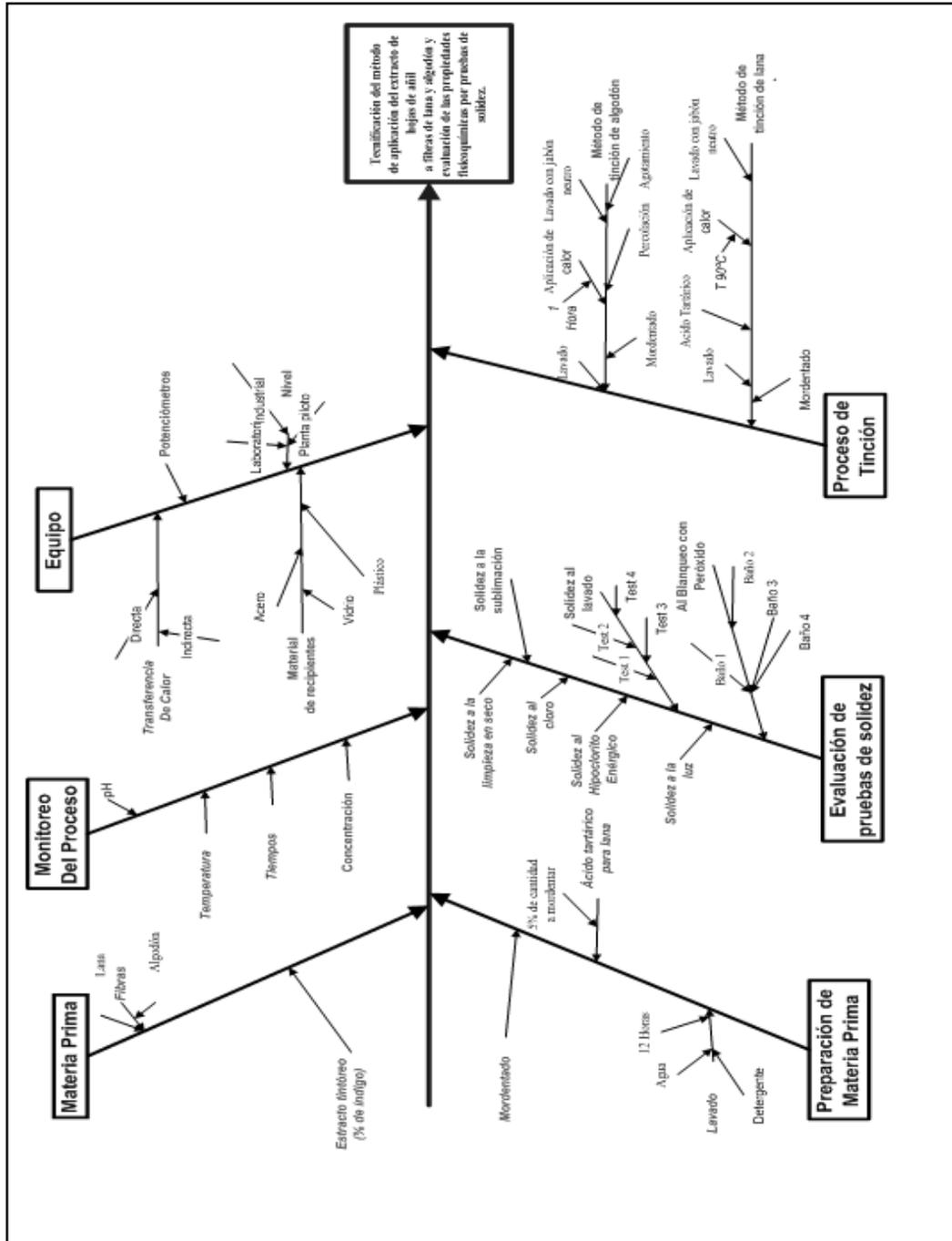
## APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 3. Datos preliminares. Recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de lana**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	5	3	5	7
2	5	5	3	7
3	7	5	5	5

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 4. Recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de algodón**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	7	3	5	7
2	7	3	5	7
3	5	5	5	7

Fuente: elaboración propia.

- **Solidez al lavado para fibras de lana**

**Apéndice 5. Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de lana T=40°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	5	5	5	5
2	3	4	4	4
3	2	4	4	4

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 6. Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de lana T=60°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	4	4	4	5
2	3	2	4	3
3	3	2	4	3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de lana T=95°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	2	2	3	4
2	2	1	3	2
3	2	1	3	1

Fuente: elaboración propia.

- **Solidez a la Sublimación fibras de algodón**

Apéndice 8. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de algodón T=40°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	3	4	3	4
2	4	5	4	5
3	4	5	4	5

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de algodón T=60°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	3	2	3	3
2	3	3	3	4
3	3	3	3	5

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de algodón T=95°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	2	2	2	3
2	3	3	3	4
3	3	3	3	4

Fuente: elaboración propia.

- **Solidez al Hipoclorito Enérgico**

Apéndice 11. **Recolección de datos para la prueba de solidez al hipoclorito enérgico para fibras de lana**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	2	1	1	2
2	2	1	1	2
3	1	1	2	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Recolección de datos para la prueba de solidez al hipoclorito enérgico para fibras de algodón**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	3	2	2	3
2	2	2	1	2
3	2	2	2	2

Fuente: elaboración propia.

- **Solidez al Cloro**

Apéndice 13. **Recolección de datos para la prueba de solidez al cloro para fibras de lana**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	3	3	4	4
2	4	3	3	4
3	4	4	3	4

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Recolección de datos para la prueba de solidez al cloro para fibras de algodón**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino )	Hidróxido de calcio (cal)
1	4	3	4	4
2	3	4	3	4
3	3	4	3	4

Fuente: elaboración propia.

- **Solidez a la Sublimación fibras de lana**

**Apéndice 15. Recolección de datos para la prueba de solidez a la sublimación para fibras de lana T=150°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	4	2	4	4
2	4	2	4	5
3	3	3	3	5

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 16. Recolección de datos para la prueba de solidez a la sublimación para fibras de lana T=180°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	2	1	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Recolección de datos para la prueba de solidez a la sublimación para fibras de lana T=210°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	1	1	2	2
2	1	2	1	2
3	1	1	2	1

Fuente: elaboración propia.

- **Solidez a la Sublimación fibras de algodón**

Apéndice 18. **Recolección de datos para la prueba de solidez a la sublimación para fibras de algodón T=150°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	4	3	4	5
2	4	4	4	4
3	4	2	5	4

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 19. Recolección de datos para la prueba de solidez a la sublimación para fibras de algodón T=180°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	3	3	3	3
2	3	3	4	4
3	3	4	3	4

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 20. Recolección de datos para la prueba de solidez a la sublimación para fibras de algodón T=210°C**

Corrida	Carbonato de sodio	Hidróxido de sodio (soda caustica)	Lejía (ceniza de encino)	Hidróxido de calcio (cal)
1	3	3	3	4
2	4	3	3	4
3	3	3	4	3

Fuente: elaboración propia.

## APÉNDICE 21. DATOS CALCULADOS

### Apéndice 22. **Recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de lana**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	7	7	7	5	5	7
Jocotán	7	5	3	5	3	6
Alemania	7	7	7	5	8	7
Barillas	7	7	5	7	3	7

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 23. **Recolección de datos para la prueba de solidez a la luz para fibras de algodón**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	8	7	7	7	7	7
Jocotán	5	7	7	5	7	7
Alemania	5	7	7	7	7	7
Barillas	8	8	7	8	7	8

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 24. Recolección de datos para la prueba de solidez al hipoclorito energético para fibras de algodón**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	2	2	2	2	2	2
Jocotán	1	1	1	1	1	1
Alemania	1	1	1	1	1	1
Barillas	1	1	1	2	1	1

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 25. Recolección de datos para la prueba de solidez al hipoclorito energético para fibras de lana**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	4	4	3	4	4	4
Jocotán	3	4	2	3	3	2
Alemania	3	3	1	3	3	3
Barillas	2	3	3	3	3	3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. **Recolección de datos para la prueba de solidez al cloro para fibras de algodón**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	4	4	4	5	4	4
Jocotán	3	3	3	3	4	3
Alemania	3	3	3	3	3	3
Barillas	4	4	4	4	3	4

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. **Recolección de datos para la prueba de solidez al cloro para fibras de lana**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	4	4	3	4	4	4
Jocotán	4	3	3	3	3	3
Alemania	3	2	3	3	2	2
Barillas	4	4	4	4	4	3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de algodón test No. 1**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	4	5	4	5	5	5
Jocotán	2	3	3	3	3	3
Alemania	3	3	3	2	3	2
Barillas	4	4	4	3	4	4

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de algodón test No. 2**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	4	3	3	3	3	4
Jocotán	3	3	2	3	4	3
Alemania	2	2	2	2	2	2
Barillas	4	3	3	3	3	3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de algodón test No. 3**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	3	2	2	2	2	3
Jocotán	2	2	3	1	2	2
Alemania	2	1	1	1	1	1
Barillas	3	2	2	2	2	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de lana test No. 1**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	4	4	4	3	4	4
Jocotán	3	3	3	3	3	2
Alemania	3	3	3	2	2	3
Barillas	3	4	4	4	4	3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de lana test No. 2**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	3	4	4	3	4	3
Jocotán	2	2	2	2	3	2
Alemania	2	2	2	3	3	2
Barillas	4	4	4	3	4	3

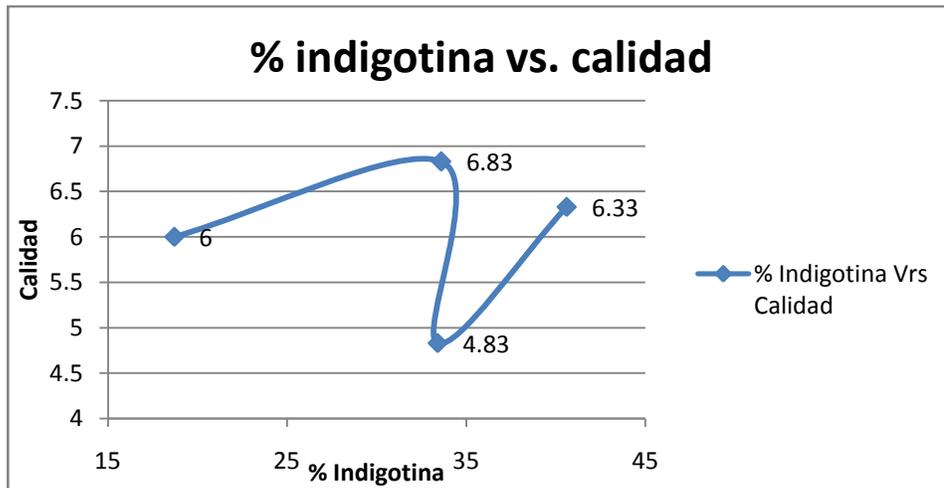
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 33. **Recolección de datos para la prueba de solidez al lavado para fibras de lana test No. 3**

Procedencia	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6
El Salvador	3	3	3	2	2	2
Jocotán	1	1	2	2	2	2
Alemania	1	1	1	1	2	1
Barillas	2	3	2	2	2	2

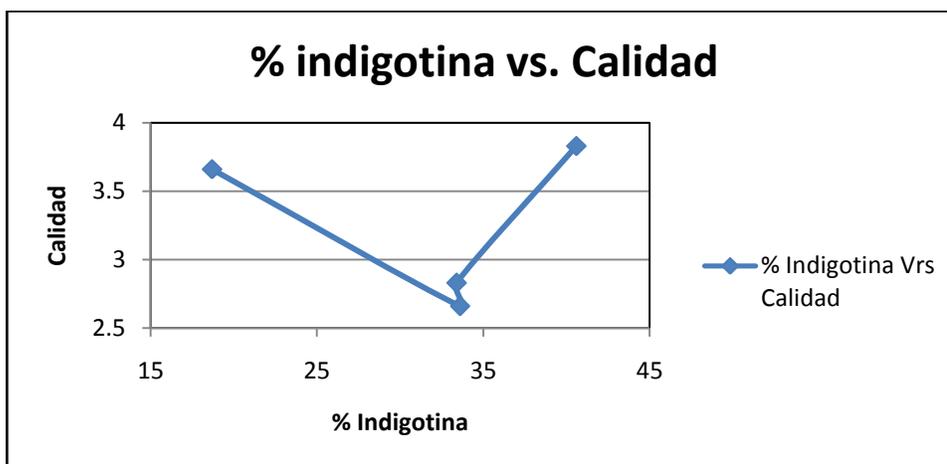
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 34. **Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de lana solidez a la luz**



Fuente: elaboración propia.

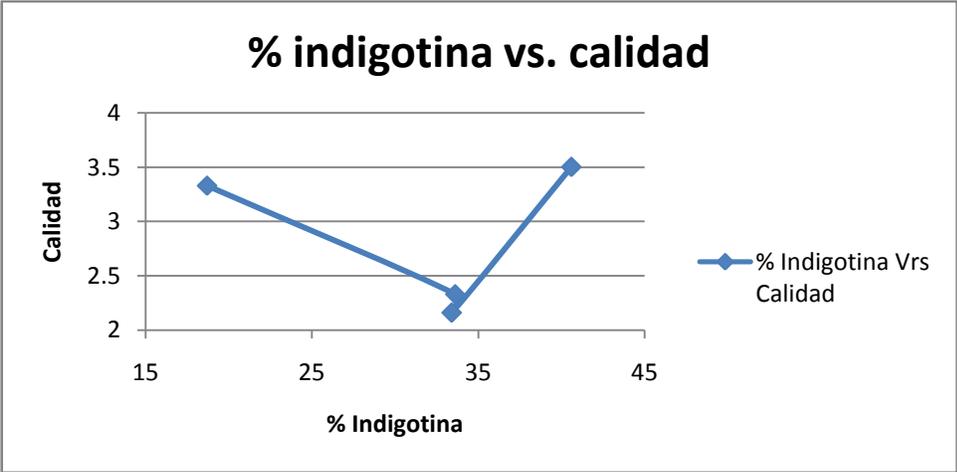
Apéndice 35. **Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de lana solidez al lavado test No. 1**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 36.

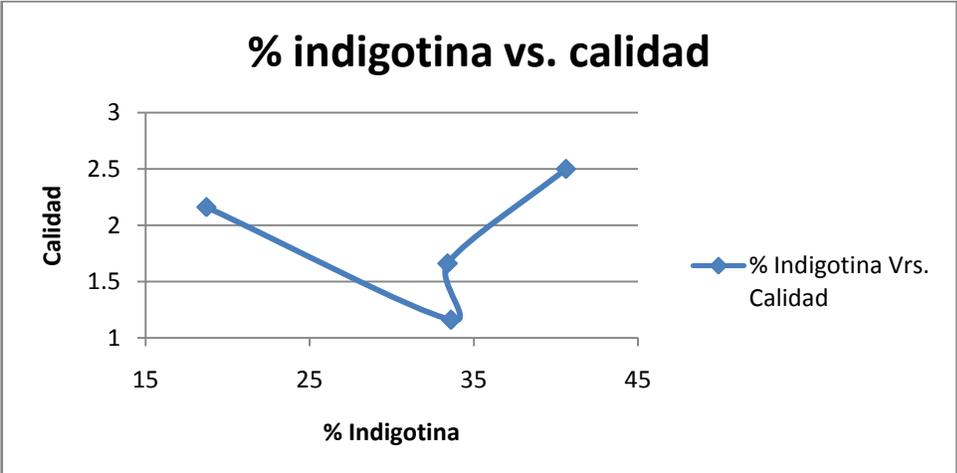
**Porcentaje de indigotina vs. Calidad para fibras de lana  
solidez al lavado test No. 2**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 37.

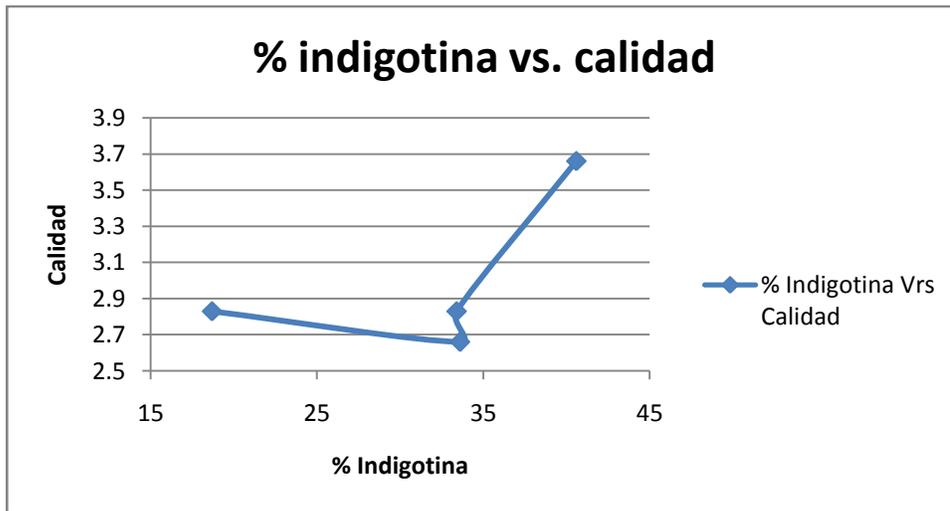
**Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de lana  
solidez al lavado test No. 3**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 38.

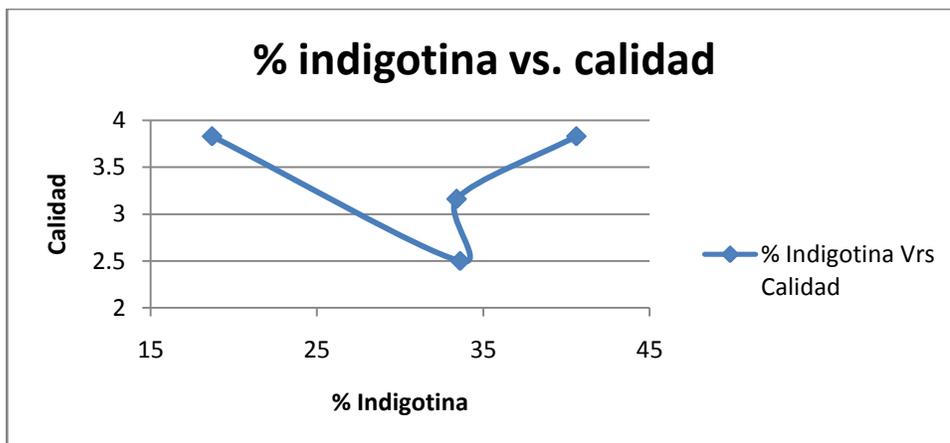
**Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de lana  
solidez al hipoclorito energético**



Fuente: elaboración propia.

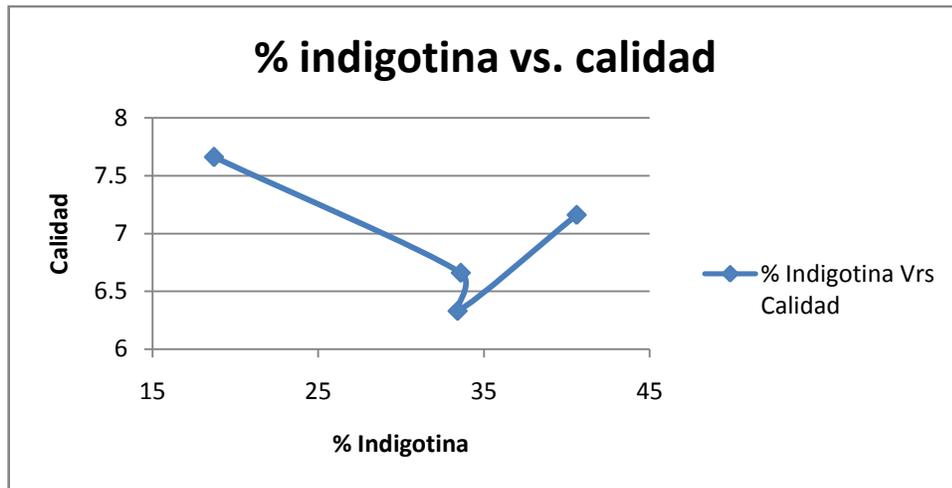
Apéndice 39.

**Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de lana  
solidez al cloro**



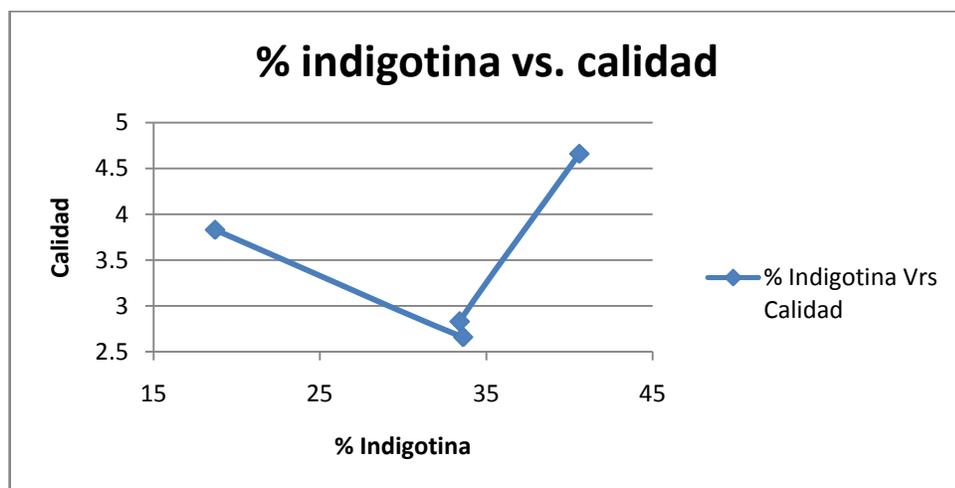
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 40. **Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de algodón solidez a la luz**



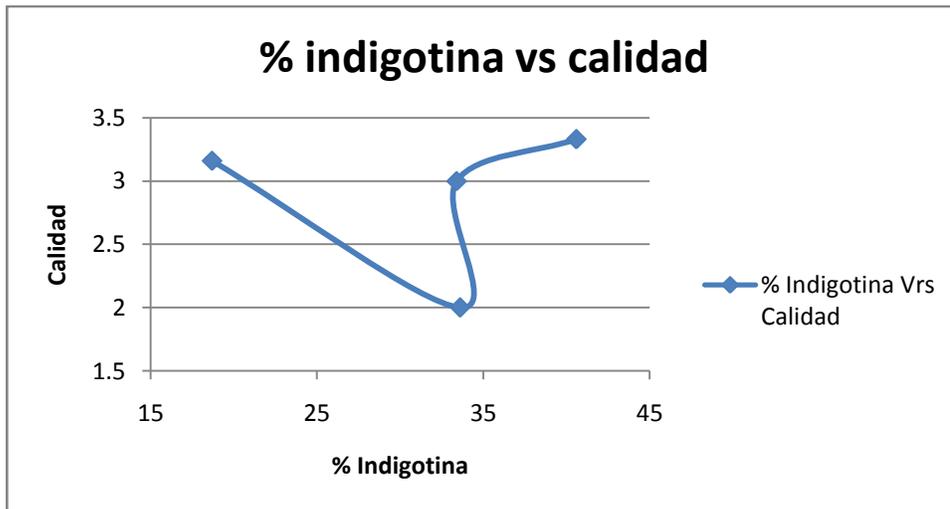
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 41. **Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de algodón solidez al lavado test No. 1**



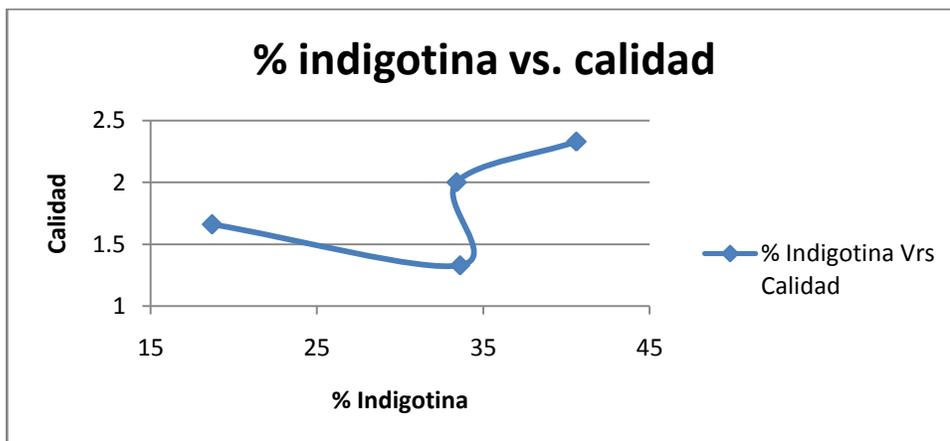
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 42. **Porcentaje de indigotina vs. Calidad para fibras de algodón solidez al lavado test No. 2**



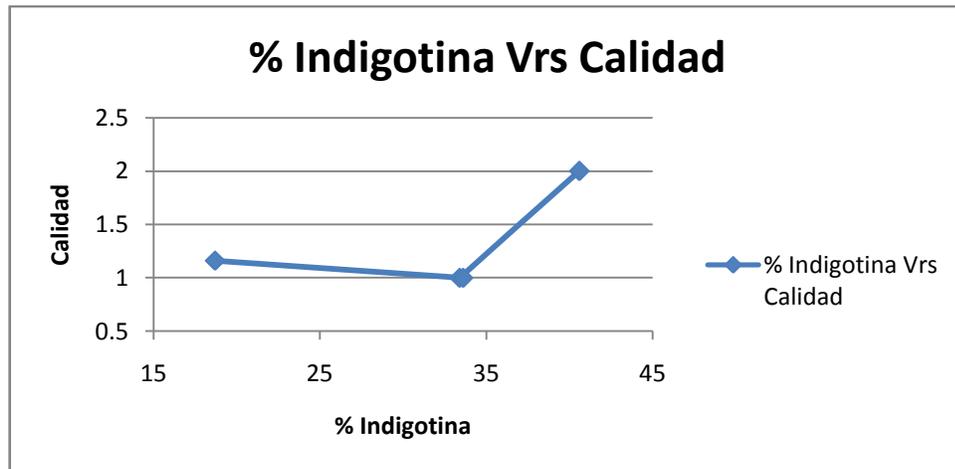
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 43. **Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de algodón solidez al lavado test No. 3**



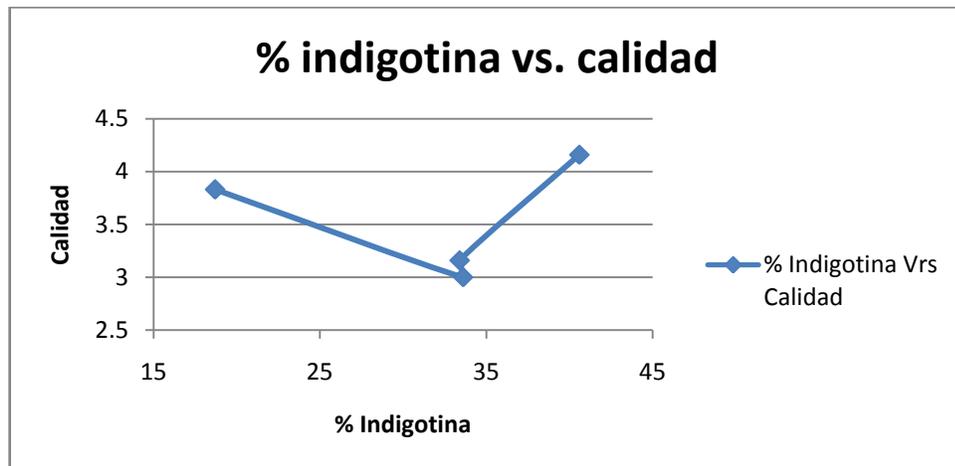
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 44. **Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de algodón solidez al hipoclorito energético**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 45. **Porcentaje de indigotina vs. calidad para fibras de algodón solidez al cloro**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 46. **Muestra de cálculo**

Porcentaje de rendimiento de la tinción en fibras de lana y algodón con extracto colorante natural añil en cuatro procedencias.

$$\%R = \frac{W_F - W_0}{W_{mt}} \cdot 100\% \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$W_F$  : peso de la fibra teñida con colorante natural añil de una procedencia (g).

$W_0$  : peso de la fibra sin teñir (g).

$W_{mt}$  : peso inicial del extracto colorante natural añil (g).

Ejemplo:

Para los datos obtenidos de la tinción de la fibra de algodón con extracto natural añil procedente de El Salvador

$$W_F = 453.01 \text{ g}$$

$$W_0 = 450 \text{ g}$$

$$W_{mt} = 22.5 \text{ g}$$

$$\%R = \frac{453.01 - 450}{22.5} \cdot 100\% = 13.38\%$$

**Apéndice 47. Resultados de porcentaje de rendimiento de las tinciones con extracto natural añil en fibras de lana y algodón**

Procedencia	Peso de fibra teñida (g)	Peso de fibra sin teñir (g)	Peso inicial extracto de añil (g)	% Rendimiento
El Salvador	453.01	450	22.5	13.38 %
Santa Cruz Barillas	452.33	450	33.75	6.90 %
Alemania	451.45	450	22.5	6.44 %
Jocotán	451.44	450	22.5	6.40 %

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 48. Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez a la luz en fibra de algodón**

Fuentes de Variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	6.125	3	2.042	3.356	.047
Repetición	1.708	5	.342	.562	.728
Error	9.125	15	.608		
Total	16.958	23			

Fuente: resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 49. Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez a la luz en fibra de lana**

Fuentesde variación(FV)	Grados delibertad(GL)	Suma de cuadrados(SC)	Cuadrados medios(CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	13.000	3	4.333	3.023	.063
Repetición	15.500	5	3.100	2.163	.113
Error	21.500	15	1.433		
Total	50.000	23			

Fuente: resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 50. Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez a la luz en fibras de algodón**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
Jocotán	6	6.33	
El Salvador	6	6.67	6.67
Alemania	6	7.17	7.17
Barillas	6		7.67
Significancia		.289	.162

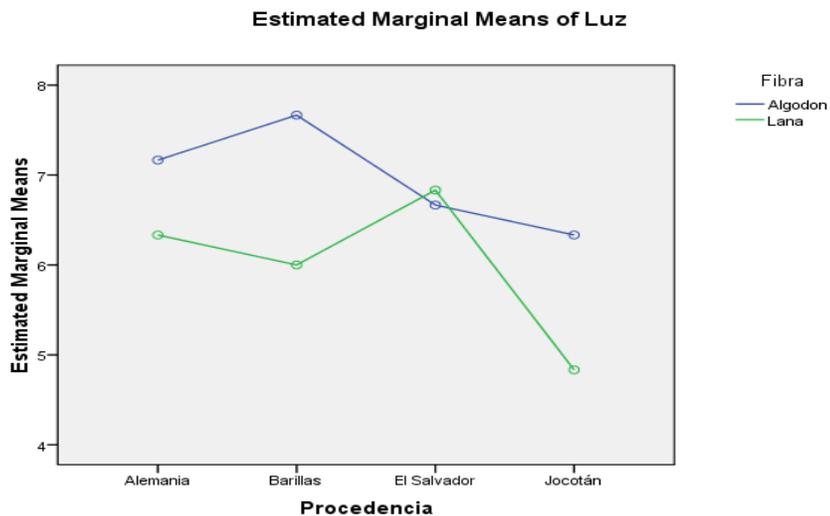
Fuente: resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 51. Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez a la luz en fibras de lana**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
Jocotán	6	6.33	
Barillas	6	6.67	6.67
Alemania	6	7.17	7.17
El Salvador	6		7.67
Significancia		.289	.162

Fuente: resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 52. Comparación de medias marginales estimadas de luz para cuatro procedencias en fibras de lana y algodón**



Fuente: elaboración propia. Basada en datos experimentales con ayuda del programa Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 53. Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez al Hipoclorito enérgico en fibra de algodón**

Fuentes De variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	4.125	3	1.375	33.000	.000
Repetición	.208	5	.042	1.000	.451
Error	.625	15	.042		
Total	4.958	23			

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 54. Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez al Hipoclorito enérgico en fibra de lana**

Fuentes de variación(FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	5.125	3	1.708	6.212	.006
Repetición	3.708	5	.742	2.697	.062
Error	4.125	15	.275		
Total	12.958	23			

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 55. Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez al Hipoclorito energético en fibras de algodón**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
El Salvador	6	6	1.00
Jocotán	6	6	1.00
Barillas	6	6	1.17
Alemania	6	6	
Significancia			.510

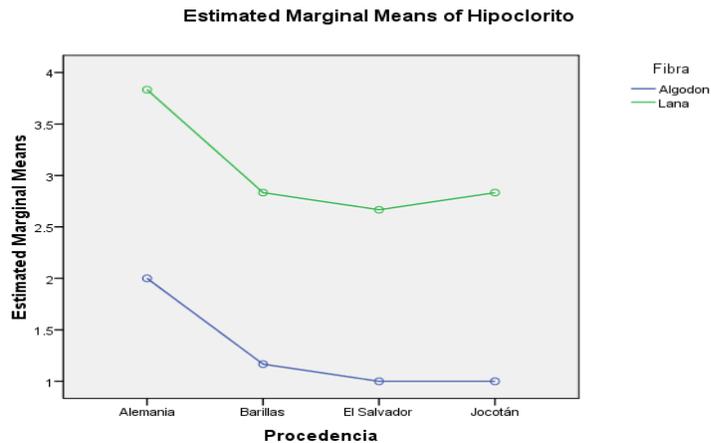
Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 56. Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez al Hipoclorito energético en fibras de lana**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
El Salvador	6	2.67	
Barillas	6	2.83	
Jocotán	6	2.83	
Alemania	6		3.83
Significancia		.945	1.000

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 57. **Comparación de medias marginales estimadas de Hipoclorito energético para cuatro procedencias en fibras de lana y algodón**



Fuente: elaboración propia. Basada en datos experimentales con ayuda del programa Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 58. **Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez al Cloro en fibra de algodón**

Fuentes de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Modelo corregido	5.667	8	.708	4.636	.005
Intercepto	301.042	1	301.042	1.970E3	.000
Procedencia	5.458	3	1.819	11.909	.000
Repetición	.208	5	.042	.273	.921
Error	2.292	15	.153		
Total	309.000	24			
Total corregido	7.958	23			

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 59. **Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez al Cloro en fibra de lana**

Fuentes de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	7.333	3	2.444	13.75	.000
Repetición	1.333	5	.267	1.50	.248
Error	2.667	15	.178		
Total	11.333	23			

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 60. **Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez al Cloro en fibras de algodón**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
El Salvador	6	3.00	
Jocotán	6	3.17	
Barillas	6		3.83
Alemania	6		4.17
Significancia		.880	.474

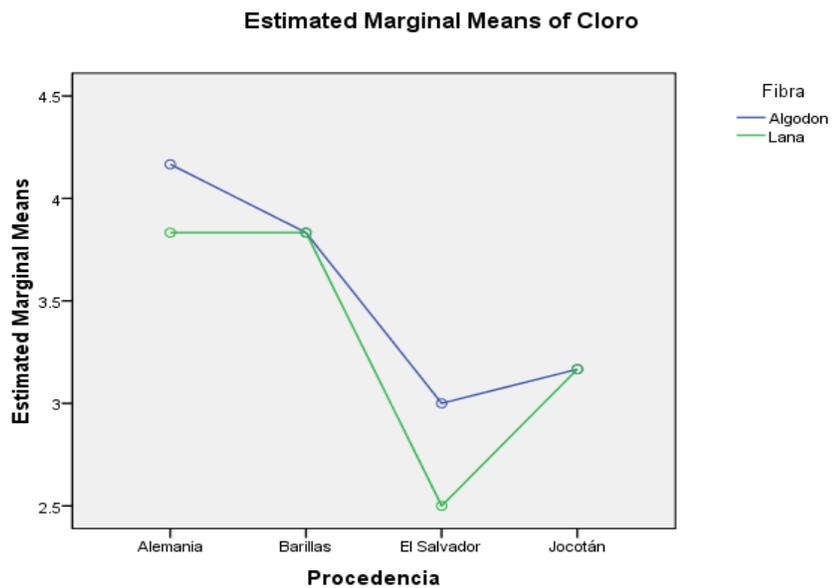
Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 61. **Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez al Cloro en fibras de lana**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
El Salvador	6	2.50	
Jocotán	6	3.17	3.17
Alemania	6		3.83
Barillas	6		3.83
Sig.		.065	.065

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 62. **Comparación de medias marginales estimadas de Cloro para cuatro procedencias en fibras de lana y algodón**



Fuente: elaboración propia. Basada en datos experimentales con ayuda del programa Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 63. Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez al lavado en fibra de algodón**

Fuentes de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	22.375	3	7.458	34.87	.000
Repetición	1.736	5	.347	1.623	.169
Temperatura	30.528	2	15.264	71.36	.000
Procedencia T	4.583	6	.764	3.571	.005
Error	11.764	55	.214		
Corrección	70.986	71			

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 64. Prueba de F de las hipótesis en el análisis de varianza, para la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de cuatro procedencias evaluado mediante pruebas de solidez al Lavado en fibra de lana**

Fuentes de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F	Probabilidad (P)
Procedencia	21.486	3	7.162	34.971	.000
Repetición	2.569	5	.514	2.509	.041
Temperatura	24.694	2	12.347	60.290	.000
Procedencia * T	1.639	6	.273	1.334	.258
Error	11.264	55	.205		
Corrección de error	61.653	71			

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 65. Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez al lavado en fibras de algodón**

Procedencia	N	Subconjunto		
		1	2	3
El Salvador	18	1.94		
Jocotán	18		2.61	
Barillas	18			3.06
Alemania	18			3.44
Significancia		1.000	1.000	.067

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 66. Tabla de decisión para selección de la procedencia con mejores resultados para solidez al lavado en fibras de lana**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
El Salvador	18	2.06	
Jocotán	18	2.22	
Barillas	18		3.17
Alemania	18		3.28
Significancia		.688	.882

Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 67. Tabla de decisión para selección de la temperatura con los mejores resultados para solidez al lavado en fibras de algodón**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
T = 95°C	24	1.92	
T = 60°C	24		2.88
T = 40°C	24		
Significancia		1.000	1.000

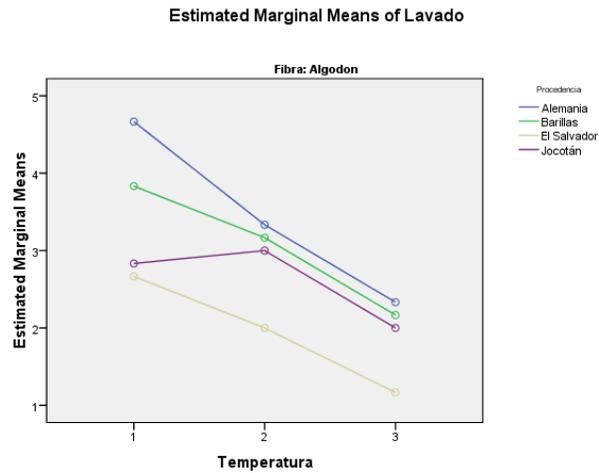
Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

**Apéndice 68. Tabla de decisión para selección de la temperatura con los mejores resultados para solidez al lavado en fibras de lana**

Procedencia	N	Subconjunto	
		1	2
T = 95°C	24	1.87	
T = 60°C	24		2.92
T = 40°C	24		
Significancia		1.000	1.000

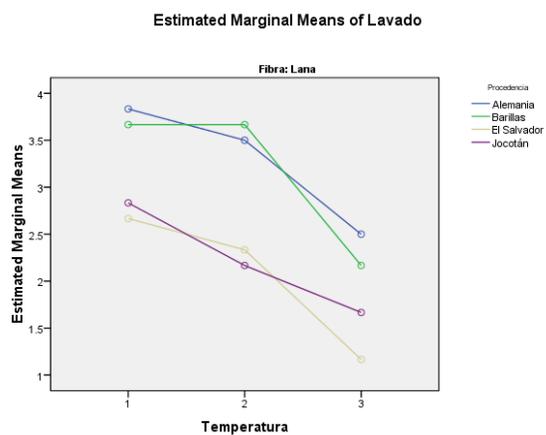
Fuente: Resultados de programa estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 69. **Comparación de medias marginales estimadas de lavado para cuatro procedencias en fibras de algodón**



Fuente: elaboración propia. Basada en datos experimentales con ayuda del programa Statistical Package for the Social Science (SPSS).

Apéndice 70. **Comparación de medias marginales estimadas de lavado para cuatro procedencias en fibras de lana**



Fuente: elaboración propia. Basada en datos experimentales con ayuda del programa Statistical Package for the Social Science (SPSS).

## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados de caracterización de extracto de añil de procedencia El Salvador



**Laboratorios Especializados en Control de Calidad**  
**ESEBESA, S.A. DE C.V.**  
Inscripción en C.S.S.P. No. 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Telefax: (503) 2226-5223 \* 2226-7042 \* 2235-4836 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

---

**INFORME DE ANÁLISIS**

<b>NOMBRE DE LA MUESTRA:</b>	AÑIL EL SALVADOR	<b>CONTROL:</b>	No aplica
<b>FORMA FARMACÉUTICA:</b>	Materia Prima	<b>FECHA DE INGRESO DE MUESTRA:</b>	07/08/2012
<b>PROCEDENCIA:</b>	JOAN ALEJANDRA LÓPEZ	<b>F. ANÁLISIS:</b>	16/08/2012
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	polvo de color azul.	<b>F. EMISIÓN:</b>	17/08/2012

**RESULTADOS**

DETERMINACIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIONES	MÉTODO Y/O REFERENCIA
Contenido de Indigotina	40.6%	---	Método: Colorimétrico Referencia: Técnica Remitida por GTZ

OBSERVACIONES: El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada

Dra. Elizabeth Banegas de Salazar  
Gerencia Técnica.



Pág. 1 de 1




---

Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

Fuente: ESEBESA S.A. DE C.V.

Anexo 2. Resultados de caracterización de extracto de añil de procedencia Jocotán (Chiquimula)



**Laboratorios Especializados en Control de Calidad**  
**ESEBESA, S.A. DE C.V.**  
Inscripción en C.S.S.P. No. 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Telefax: (503) 2226-5223 \* 2226-7042 \* 2235-4838 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

---

**INFORME DE ANÁLISIS**

<p><b>NOMBRE Y/O DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> AÑIL ALEMÁN</p> <hr/> <p><b>PROCEDENCIA:</b> JOAN ALEJANDRA LOPEZ</p> <hr/>	<p><b>CONTROL:</b> O-12-319</p> <hr/> <p><b>LOTE:</b> No proporcionado</p> <hr/> <p><b>F. FAB.:</b> No proporcionado</p> <hr/> <p><b>VENCE:</b> No proporcionado</p> <hr/> <p><b>F. ANALISIS:</b> 27/03/2012</p> <hr/> <p><b>F. EMISION:</b> 29/03/2012</p> <hr/>
---	---

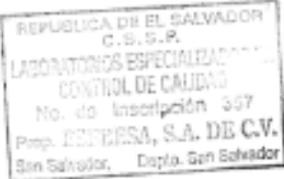
**RESULTADOS**

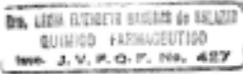
DETERMINACIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIONES	MÉTODO Y/O REFERENCIA
Contenido de Indigotina	33.6%	No Disponible	Método: Colorimétrica Referencia: Técnica Remida por GTZ

**OBSERVACIONES:** El informe corresponde a la muestra remitida y ensayado Pág. 1 de 1



**Dra. Elisabeth Benegas de Salazar**  
Gerencia Técnica





---

Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

Fuente: ESEBESA S.A. DE C.V.

Anexo 3. Resultados de caracterización de extracto de añil de procedencia Santa Cruz Barillas (Huehuetenango)

**LECC®** Laboratorios Especializados en Control de Calidad  
 ESEBESA, S.A. DE C.V.  
 Inscripción en C.S.S.P. No. 357  
 Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Telefax: (503) 2226-5223 \* 2226-7042 \* 2235-4836 \* www.lecc.com.sv \* e-mail: info@lecc.com.sv

---

**INFORME DE ANÁLISIS**

---

<b>NOMBRE Y/O DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b>	AÑIL BARILLAS	<b>CONTROL:</b>	C-12-318
		<b>LOTE:</b>	No proporcionado
		<b>F. FAB.:</b>	No proporcionado
		<b>VENCE:</b>	No proporcionado
<b>PROCEDENCIA:</b>	JOAN ALEJANDRA LOPEZ	<b>F. ANALISIS:</b>	27/03/2012
		<b>F. EMISION:</b>	29/03/2012

---

**RESULTADOS**

DETERMINACIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIONES	MÉTODO Y/O REFERENCIA
Contenido de Indigotina	18.7%	No Disponible	Método: Colorimétrico Referencia: Técnica Remitida por GTZ

**OBSERVACIONES:** El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada Pág. 1 de 1

*Elizabeth Barez Salazar*  
 Dra. Elizabeth Barez Salazar  
 Gerencia Técnica

Dra. ELIZABETH BAREZ SALAZAR  
 QUÍMICO FARMACÉUTICO  
 Ins. J.V.P.O.F. No. 427

REPUBLICA DE EL SALVADOR  
 C.S.S.P.  
 LABORATORIOS ESPECIALIZADOS EN  
 CONTROL DE CALIDAD  
 No. de Inscripción 357  
 Prop. ESEBESA, S.A. DE C.V.  
 San Salvador, Depto. San Salvador

---

Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

Fuente: ESEBESA S.A. DE C.V.

Anexo 4. **Resultados de caracterización de extracto de añil de procedencia Alemana**



**LECC®**

**Laboratorios Especializados en Control de Calidad**

ESEBESA, S.A. DE C.V.  
Inscripción en C.S.S.P No. 957

Calle San Antonio Abad No. 1966, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Telefax: (503) 2226-5223 \* 2226-7042 \* 2235-4836 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

---

**INFORME DE ANÁLISIS**

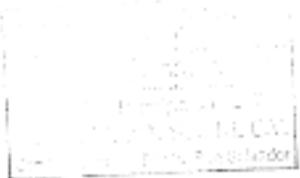
<p><b>NOMBRE Y/O DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> AÑIL JOCOTAN</p> <hr/> <p><b>PROCEDENCIA:</b> JOAN ALEJANDRA LOPEZ</p> <hr/>	<p><b>CONTROL:</b> O-12-320</p> <p><b>LOTE:</b> No proporcionado</p> <p><b>F. FAB.:</b> No proporcionado</p> <p><b>VENCE:</b> No proporcionado</p> <p><b>F. ANALISIS:</b> 27/03/2012</p> <p><b>F. EMISION:</b> 29/03/2012</p>
--	---

**RESULTADOS**

DETERMINACIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIONES	MÉTODO Y/O REFERENCIA
Contenido de Indigotina	33.4%	No Disponible	Método: Colorimétrico Referencia: Técnica Remitida por GTZ

OBSERVACIONES: El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada Pág. 1 de 1

*Elizabeth Banegas de Salazar*  
**Dra. Elizabeth Banegas de Salazar**  
 Gerencia Técnica

---

Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

Fuente: ESEBESA S.A. DE C.V.