

Guatemala, 30 de noviembre de 2010

Doctor  
Jorge Luis De León Arana  
Director  
Dirección General de Investigación  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetado Doctor De León Arana:

Por medio de la presente me dirijo a usted saludándolo cordialmente, y al mismo tiempo para hacer constar que he tenido a la vista el informe final del proyecto, **“ESTUDIO TECNOLÓGICO SOBRE LA REACTIVACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y USO DEL TINTE NATURAL OBTENIDO DEL AÑIL (*Indigofera guatemalensis* Moc.) UTILIZADO POR COOPERATIVAS DE MUJERES, DEDICADAS A LA ELABORACIÓN DE ARTESANÍAS, EN EL ÁREA DEL OCCIDENTE DE GUATEMALA”**.

El cual cumple con los objetivos propuestos.

Agradeciendo la atención a la presente,

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
**Directora**  
**Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII**  
**Facultad de Ingeniería, USAC**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN -DIGI-  
PROGRAMA UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN  
DESARROLLO INDUSTRIAL –PUIDI-**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA –CII-**

## **INFORME FINAL**

**PROYECTO No. 6-52**

**ESTUDIO TECNOLÓGICO SOBRE LA REACTIVACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y USO DEL TINTE NATURAL OBTENIDO DEL AÑIL (*Indigofera guatemalensis* Moc.), UTILIZADO POR COOPERATIVAS DE MUJERES, DEDICADAS A LA ELABORACIÓN DE ARTESANÍAS, EN EL ÁREA DEL OCCIDENTE DE GUATEMALA.**

## **EQUIPO DE INVESTIGACIÓN**

**COORDINADORA: Inga Qca. Telma Maricela Cano Morales  
INVESTIGADOR ASOCIADO: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
INVESTIGADORA ASOCIADA: Inga. Qca. Natalia Cristina Espinal Corrales  
INVESTIGADORA ASOCIADA: Inga. Qca. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa  
INVESTIGADORA ASOCIADA: Inga. Ind. Ericka Johanna Cano Díaz  
INVESTIGADORA ASOCIADA: Inga. Qca. Adela María Marroquín González  
INVESTIGADOR ASOCIADO: Ing. Qco. Jorge Emilio Godínez Lemus**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010**

## **INSTITUCIONES PARTICIPANTES Y COFINANCIANTES**

1. Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería .USAC.
2. Fundación Gabina J.M.  
Municipio de Momostenango, Totonicapán.
3. Industria Nativos S.A.  
Municipio de Jocotán, Chiquimula.

## ÍNDICE GENERAL

<b>SECCIÓN</b>	<b>Página</b>
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	6
1. RESUMEN	10
2. INTRODUCCIÓN	11
3. ANTECEDENTES	12
4. JUSTIFICACIÓN	16
5. OBJETIVOS	17
5.1 Objetivo general	17
5.2Objetivos específicos	17
6. HIPÓTESIS	19
6.1 Hipótesis estadística	19
7. METODOLOGÍA	20
7.1 Localización	20
7.2 Diseño de tratamientos	20
7.3 Análisis de información	20
7.4 Manejo del experimento	21
7.5 Materiales utilizados en el proceso de extracción del tinte de añil	21
7.6 Método	21
7.6.1 Método de extracción del tinte de añil	21
7.6.2 Método para tinción de lana y algodón	22
7.6.2.1 Lavado de fibras	22

7.6.2.2	Pre-tratamiento del añil en polvo	22
7.6.2.3	Estabilizador de pH con carbonato de sodio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	22
7.6.3	Método para caracterización de las fibras teñidas	22
7.6.3.1	Solidez a la luz	22
7.6.3.2	Solidez al hipoclorito energético	23
7.6.3.3	Solidez al cloro	23
7.6.3.4	Solidez a la sublimación	23
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	24
9.	CONCLUSIONES	33
10.	RECOMENDACIONES	34
11.	BIBLIOGRAFÍA	35
12.	ANEXOS	36
12.1	Fotografías de la ejecución del proyecto	36
12.2	Resultados análisis estadístico	43

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### Tablas

<b>Tabla No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a nivel laboratorio, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.	24
2	Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a escala piloto, con diferentes tiempos de oxidación, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.	25
3	Promedios y desviación estándar de solubilidad, con tres diferentes solventes, del tinte de añil a temperatura de 28°C.	27
4	Promedios y desviación estándar de densidad del tinte de añil a temperatura de 28°C.	28
5	Pruebas de solidez para la fibra de lana teñida con añil.	29
6	Pruebas de solidez para la fibra de algodón teñida con añil.	29
7	Contenido de indigotina del tinte comercial de añil producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula (Laboratorios Especializados en Control de Calidad, San Salvador).	31

## Gráficas

<b>Gráfica No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a nivel laboratorio, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.	25
2	Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a escala piloto, con diferentes tiempos de oxidación, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.	26
3	Solubilidad, con tres diferentes solventes, del tinte de añil a temperatura de 28°C.	27
4	Densidad del tinte de añil a temperatura de 28°C.	28
5	Pruebas de solidez para la fibra de lana teñida con añil.	30
6	Pruebas de solidez para la fibra de algodón teñida con añil.	30
7	Contenido de indigotina del tinte comercial de añil producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula (Laboratorios Especializados en Control de Calidad, San Salvador).	31

## Figuras

<b>Figura No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa. Equipo de Investigación con la Licda. Liset Clavel.	36
2	Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa. Etapas del proceso de extracción de añil.	36
3	Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa Blanca inducción de la extracción y tinción de añil, realizada por la Licda. Liset Clavel.	36
4	Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa Blanca inducción de la extracción y tinción de añil, realizada por la Licda. Liset Clavel.	37
5	Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa Blanca. Diferentes técnicas de tinción de añil.	37
6	Curso-taller “Tinción con colorante natural de añil en fibras de lana y algodón”. Impartido por el Señor Joel Ajxup, representante de la Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán. Proceso de teñido con añil de las fibras de lana y algodón.	38
7	Curso-taller “Tinción con colorante natural de añil en fibras de lana y algodón”. Impartido por el Señor Joel Ajxup, representante de la Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán. Etapa final del proceso de teñido con añil de las fibras de lana y algodón.	39
8	Curso-taller “Tinción con colorante natural de añil en fibras de lana y algodón”. Impartido por el Señor Joel Ajxup, representante de la Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán. Comparación del teñido con añil de la fibra de lana y algodón, utilizando diferentes mordientes.	39
9	Primera fase del proceso de extracción del tinte: hidrólisis enzimática. Inmersión del material vegetal en una solución acuosa de hidróxido de calcio 0.01 M, por un período de 12 horas.	39
10	Primera fase del proceso de extracción del tinte: hidrólisis enzimática. Remoción de la biomasa de hojas de añil por medio de filtración.	40

11	Segunda fase del proceso de extracción del tinte: oxidación. El extracto acuoso procedente de la filtración colocado en marmitas con maceración dinámica y entrada de aire, con diferentes tiempos de oxigenación de 0.5, 1, 1.5 y 2 horas.	40
12	Tercera fase del proceso de extracción del tinte: sedimentación. Extracto acuoso tintóreo después de 24 horas de contacto fue decantado para obtener el extracto de añil.	40
13	Tercera fase del proceso de extracción del tinte: sedimentación. El extracto tintóreo fluido en bandejas del secador eléctrico de flujo transversal a una temperatura de 70° C.	41
14	Tinción de fibras naturales. El extracto tintóreo pulverizado utilizado en el proceso de tinción de lana y algodón.	41
15	Caracterización de fibras teñidas. Pruebas de solidez a la luz de las fibras de lana y algodón teñidas con extracto tintóreo de añil.	41
16	Caracterización de fibras teñidas. Pruebas de solidez al hipoclorito enérgico de las fibras de lana y algodón teñidas con extracto tintóreo de añil.	42
17	Caracterización de fibras teñidas. Pruebas solidez al cloro de las fibras de lana y algodón teñidas con extracto tintóreo de añil.	42
18	Caracterización de fibras teñidas. Pruebas solidez a la sublimación de las fibras de lana y algodón teñidas con extracto tintóreo de añil.	42

## 1. RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se realizó la extracción y caracterización fisicoquímica del tinte obtenido del añil (*Indigofera guatemalensis* Moc.), para aplicarlo en fibras naturales de lana y algodón, utilizadas en la elaboración de artesanías.

Se realizó la extracción del tinte de añil a nivel laboratorio y planta piloto, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula, por medio de hidrólisis enzimática con cuatro diferentes tiempos de oxidación, 0.5 h, 1h, 1.5 h y 2 h. Se determinó el porcentaje de rendimiento para los diferentes tiempos de extracción y en el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas en el rendimiento del extracto colorante al variar los tiempos de oxidación, se obtuvo el mayor rendimiento con un tiempo de 2 h de oxidación con valor de 0.3192%.

Se realizaron las pruebas fisicoquímicas de densidad y de solubilidad, con tres diferentes solventes, agua, cloroformo y benceno, para el tinte de añil obtenido a escala piloto con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula y para el tinte comercial de añil de Barillas, Huehuetenango y para el producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula. El tinte de añil fue más soluble en cloroformo que en benceno y presentó baja solubilidad con agua, fue más denso en cloroformo que en agua y presentó una densidad menor con benceno. En el análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas en la densidad del tinte de añil al variar los tiempos de oxidación y se determinó que la densidad promedio del tinte de añil variando los tiempos de oxidación fue de 0.9576 g/mL.

Se determinó el porcentaje de indigotina por medio del método colorimétrico del tinte comercial de añil producido por Industrias de Fibras Nativos, S.A., ubicada en Jocotán, Chiquimula el cual comercializan como tinte de añil de sobrenadante y de sedimento. El tinte de añil de sobrenadante obtuvo el mayor porcentaje de indigotina con un valor del 45.0% y el menor porcentaje de indigotina fue para el tinte de añil de sedimento con un valor de 40.8%.

Se aplicó en fibras de lana y algodón el tinte de añil obtenido, y se realizaron las pruebas de solidez a la luz, al hipoclorito enérgico, al cloro y a la sublimación determinándose que la capacidad de tinción del tinte de añil fue calificada como buena, en su mayoría.

## 2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la tendencia es volver al uso de tintes y colorantes naturales en procesos de la industria alimenticia, farmacéutica y textil, debido a que los colorantes y tintes sintéticos causan un impacto negativo al medio ambiente y problemas de salud al ser humano por lo que se están realizando investigaciones para reactivar la producción y uso de los colorantes y tintes naturales.

Guatemala, fue un país exportador del tinte de añil en el siglo pasado; se reconoce la importancia que el cultivo del añil y la obtención del tinte del mismo representaron para varios países. Históricamente, la mayoría de las fuentes vegetales de colorantes naturales han sido recolectadas en estado silvestre. Sólo algunos pocos, como el índigo y la cochinilla han sido cultivados comercialmente a gran escala. A mediados de 1800, los químicos empezaron a producir sustitutos sintéticos de colorantes naturales y por 1914, solamente el cuatro por ciento del índigo utilizado como colorante para textil era extraído de plantas.

En el presente proyecto de investigación se realizó un estudio sobre la tecnificación y reactivación del proceso de la producción y uso del tinte natural obtenido del añil (*Indigofera guatemalensis* Moc.), para aplicarlo en fibras naturales de lana y algodón utilizadas en la elaboración de artesanías. Se determinó la metodología de tinción, lavado y secado de las fibras para mejorar y tecnificar el proceso de tinción. Se adquirieron hojas frescas de añil en Jocotán, Chiquimula, se sometió al proceso de hidrólisis enzimática, oxidación y sedimentación. El extracto acuoso obtenido se procedió a secar y obtener así el tinte en polvo, posteriormente se aplicó el tinte en fibras naturales de lana y algodón. También se realizaron pruebas fisicoquímicas de solidez a las fibras teñidas.

### 3. ANTECEDENTES

El añil es una planta de origen mesoamericano conocida por los mayas por sus usos. El tono azul y los usos medicinales del añil, conocido como Xiquilite, eran ampliamente utilizados por los pueblos prehispánicos.

Cuando llegaron los españoles a América tienen contacto con los conocimientos de los nativos con relación al Xiquilite. 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. El Rey Carlos I, en 1,538, le dió un valor al Xiquilite como un producto que tiene gran importancia comercial por lo que en las colonias podían proporcionar a Europa este tinte de color azul. Existió una ordenanza dada en San Lorenzo el Real, el 1 de noviembre de 1,610, Antonio Vázquez de Espinosa relata sobre la reglamentación del cultivo y beneficio del añil en el Reino de Guatemala, donde dice que para hacer la tinta se utilizan tres pilas en los obrajes del añil; generalmente estas se encuentran cerca de los ríos o acequias, las pilas se llenan de agua y con 200, 300 o 400 cargas de hierba o Xiquilite, porque la hierba siempre tiene que estar cubierta de agua tal como ocurre con el lino o cáñamo debiendo permanecer 24 horas en ella. Se utilizaba un sistema donde las pilas estén comunicadas, la segunda más honda que la primera por lo que se le quitaba un vitoque (tapón) para que el agua salga y caiga en la siguiente pila. La primera es la del remojo y la segunda es de donde se toma el color azul. Después se filtraba con lienzos para escurrir el agua, se colocaba al sol en forma de panes para que secase y colocare es zurrone, bolsas o en cajones quedando el añil listo para exportar. De cada 20 quintales de este tinte se daba uno de diezmo para la corona.

La ruta del añil para llegar a España era muy dificultosa, la salida natural por mar a través del golfo de Honduras se evitaba sistemáticamente debido a las habituales presencias de embarcaciones piratas (inglesas y holandesas) que aguardaban en esa zona, por tanto lo que se hacía, era emprender una ruta por tierra hasta Granada (Nicaragua) y de allí al puerto del Gran Lago Nicaragua donde se embarcaba el añil en fragatas que navegaban por el lago hasta alcanzar el lugar de acceso del río San Juan, luego alcanzaban el Caribe en un punto en el cual era más seguro 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. El recorrido duraba hasta dos meses y el entorno de de selva, los mosquitos, el calor húmedo y el difícil trayecto ocasionaba enfermedades e incluso muertes durante el viaje.

En el siglo XVIII la economía colonial en Guatemala, El Salvador y Nicaragua pasó a depender de un nuevo ciclo de exportación colonial: “la tinta añil”. Este tinte es extraído de una pequeña planta, *Indigofera tinctoria*, que crece espontáneamente en el área meso-centroamericana (Guatemala, El Salvador y Nicaragua, en concreto) y que es conocida en el área como xiquilite (jiquilite). Su

uso era habitual entre los indígenas del territorio, tanto por sus propiedades como tinte, como por las medicinales o cosméticas.

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 que la mejor época de la producción añilera se sitúa en la segunda mitad del siglo XVIII. Se comercializó con los países textiles, Holanda, Inglaterra, Francia, Alemania, entre otros, por medio del comercio desde España y alguna cantidad se enviaba a la 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", 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 hizo referencia a los añileros del Reino 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 cambió la ley y se autorizó 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 existen 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 Toussaint (1988) relata que se usaba un procedimiento para clasificar la calidad del Xiquilite, por medio de la humedad, en el período 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 números 8 y 9 de naturaleza blanda eran de excelente

calidad; el mejor se fragmentaba más fácilmente “ El Soplillo” se deshacía con los dedos.

En los estudios previos realizados se encontró que en el año 2003 en San Salvador se realizó la investigación sobre Alternativas Técnico-Prácticas para reducir el tiempo de extracción de pigmentos sólidos del añil (*Indigófera* sp.) realizada por el doctor José Luis Colocho y los ingenieros agrónomos Margarita Hurtarte y Francisco García por medio del programa Fortalece GTZ, realizaron el estudio con tiempos de fermentación de 2, 4 y 6 horas y luego compararon periodos de 6, 12 y 18 horas, logrando 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. Luego 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 el color índigo o azul.

En el proyecto 6-46, PUIDI-DIGI, ejecutado en el año 2006 denominado “Evaluación la capacidad de tinción de los tintes obtenidos de dos especies forestales guatemaltecas, en el proceso de teñidos de fibras naturales, lana y maguey”. Se realizó un trabajo con tintes naturales que se basa en la etnobotánica con plantas conocidas tradicionalmente por las comunidades. 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%.

En el proyecto 6-46, PUIDI-DIGI, ejecutado en el año 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” 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. Además, 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% utilizando como solvente etanol al 35%.

En el proyecto 6-51, PUIDI-DIGI, denominado “Evaluación de la capacidad tintórea de los tintes naturales obtenidos de los desechos agro-industriales del coco y del aguacate en el proceso de tinción de fibras naturales utilizadas en la elaboración de artesanías”. En el cual 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. La semilla fresca de aguacate fue reducida de tamaño, se extrajo el colorante por medio de tres tipos de solvente, agua, alcohol etílico al 30% y al 70% se evaporó el solvente y se obtuvo el colorante sólido a nivel piloto, se aplicó el colorante a las fibras de lana y maguey.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Guatemala posee un significativo banco genético de especies domesticadas de la flora y fauna siendo además un importante centro de especies silvestres útiles. Es importante reconocer que en grandes áreas de nuestro territorio existen patrones alimenticios, medicinales y económicos con actividades artesanales e industriales dependientes de la extracción de nuestros recursos naturales.

En el continente americano las plantas nativas de aplicación industrial, actual o potencial, comprenden las usadas en obtención de: abonos (85 especies), aceites y grasas (80), aromas y perfumes (86), productos de cosmetología (155 especies), productos curtientes (38 especies), y tintes y colorantes (382 especies). Estos recursos genéticos nativos son de importancia actual para mantener la diversidad genética de importantes cultivos a nivel mundial, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales, y adquieren cada vez más importancia frente al desarrollo creciente de la biotecnología.

Al plantear un proyecto sobre extracción y aplicación de tintes en la industria textil en Guatemala, se está incursionando en una pequeña parte del gran universo de oportunidades en relación con los extractos vegetales y su potencial económico, específicamente en relación a colorantes y tintes naturales.

En la comunidad de Momostenango, Totonicapán y otras comunidades del altiplano de Guatemala, así como recientemente comunidades del oriente de la República los textiles utilizan tintes naturales extraídos de varias plantas tintóreas y los aplican a fibras naturales con las cuales realizan diversidad de artesanías.

La comunidad de Momostenango, Totonicapán y la comunidad de Jocotán Chiquimula son beneficiadas con estudios como éste, porque ellos se dedican por tradición a la industria textil y de una manera artesanal extraen sus colorantes. Al validar la metodología de extracción y secado de los extractos colorantes, toda esta información es trasladada a los habitantes de dichas comunidades, con la oportunidad de aprender y aplicar estos conocimientos con el consiguiente beneficio económico.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Realizar un estudio tecnológico sobre la tecnificación y reactivación del proceso de la producción y uso del tinte natural obtenido del añil (*Indigofera guatemalensis* Moc.), aplicándolo en fibras naturales de lana y algodón, para elaboración de artesanías.

### 5.2 Objetivos específicos

- ❖ Extraer a nivel laboratorio el índigo, tinte natural obtenido de las hojas del añil, a través de hidrólisis enzimática y oxidación.
- ❖ Determinar el porcentaje de índigo en el extracto colorante para evaluar la pureza del mismo.
- ❖ Caracterizar fisicoquímicamente los extractos colorantes obtenidos del añil a nivel laboratorio, determinando la presencia de grupos de componentes de pigmentos colorantes por medio de pruebas colorimétricas, cromatográficas y espectrofotométricas.
- ❖ Extraer a escala piloto el índigo, tinte natural obtenido de las hojas del añil, a través de hidrólisis enzimática y oxidación.
- ❖ Secar los extractos obtenidos a escala piloto, en un secador eléctrico de flujo transversal de bandejas de acero inoxidable, para obtener un tinte en polvo.
- ❖ Validar la metodología de extracción y secado del extracto tintóreo obtenido de las hojas del añil, para asesorar a las comunidades en el municipio de Barillas, Huehuetenango, los cuales extraen tinte de añil de forma artesanal, con el propósito que produzcan añil de buena calidad para ser comercializado a un precio más alto.
- ❖ Validar la metodología de aplicación del extracto tintóreo obtenido de las hojas del añil, para asesorar a cooperativas de mujeres del occidente guatemalteco, en la mejora y tecnificación del proceso de aplicación del tinte de añil a las fibras de lana y algodón, utilizados en la elaboración de artesanías de calidad.
- ❖ Aplicar el tinte obtenido del añil en fibras de lana y algodón, utilizando el método de inmersión y agitación en caliente. Este proceso a escala piloto.

- ❖ Validar la metodología de tinción, lavado y secado de las fibras para asesorar a los tintoreros del occidente guatemalteco, en la mejora y tecnificación de su proceso de tinción.
- ❖ Evaluar la capacidad de tinción del extracto tintóreo obtenido de las hojas del añil, en fibras de lana y algodón, mediante la aplicación de pruebas fisicoquímicas de solidez a las fibras teñidas.

## 6. HIPÓTESIS

Es factible extraer mediante hidrólisis enzimática y oxidación, el extracto tintóreo de las hojas del añil y aplicarlo en la tinción de dos tipos de fibras naturales lana y algodón, que cumplan las pruebas fisicoquímicas de solidez, establecidas por la asociación internacional de textiles.

### 6.1 Hipótesis estadística

#### Hipótesis nula

No existe diferencia significativa en el rendimiento, del tinte natural extraído de las hojas del añil, en función del tiempo de oxidación.

#### Hipótesis alternativa

Sí existe diferencia significativa en el rendimiento, del tinte natural extraído de las hojas del añil, en función del tiempo de oxidación.

#### Hipótesis nula

No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del tinte natural extraído de las hojas del añil, en función del tiempo de oxidación.

#### Hipótesis alternativa

Sí existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del tinte natural extraído de las hojas del añil, en función del tiempo de oxidación.

#### Hipótesis nula

No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de las fibras teñidas de lana y algodón, obtenidas mediante la aplicación de los tintes naturales extraídos de las hojas del añil, en función del tiempo de oxidación.

#### Hipótesis alternativa

Sí existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de las fibras teñidas de lana y algodón, obtenidas mediante la aplicación de los tintes naturales extraídos de las hojas del añil, en función del tiempo de oxidación.

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1 Localización**

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIECVE-, de la Sección de Química Industrial, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII. Se efectuó la extracción del tinte de las hojas de añil a nivel laboratorio y a escala piloto; se determinó el porcentaje de rendimiento, así como los análisis fisicoquímicos de densidad y solubilidad del mismo.

En la extracción del tinte de hojas añil a escala piloto se utilizaron dos marmitas de extracción. El proceso de secado de los extractos tintóreos acuosos del añil se realizó en el secador eléctrico de flujo transversal.

### **7.2 Diseño de tratamientos**

Para la evaluación estadística se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo combinatorio, en el cual se aplicó un experimento unifactorial evaluando el efecto que tiene la variación del tiempo de oxidación (cuatro tiempos de oxidación, con tres repeticiones para cada tiempo) sobre el rendimiento y densidad del tinte obtenido del añil a escala piloto. Se tiene como resultado tres unidades experimentales y un total de doce tratamientos.

El tamaño de lote fue de 20 libras de hojas de añil en la marmita de extracción de acero inoxidable con una relación masa materia-agua de 1:3, el tiempo de hidrólisis enzimática fue de doce horas, se trabajó en condiciones anaerobias, pH de 7.5 regulado con la adición de 0.12 g/L de hidróxido de calcio y a temperatura ambiente. El proceso de oxidación se llevó a cabo en las marmitas de extracción de colorantes utilizando el sistema de agitación, para una mejor oxidación. Se midió la densidad del tinte obtenido del añil, se aplicó en fibras de lana y algodón, utilizando el método de tinción de inmersión y agitación en caliente.

### **7.3 Análisis de la información**

Para la evaluación estadística se utilizó un análisis de varianza basado en la prueba de medias de Tukey.

## 7.4 Manejo del experimento

La materia prima para la extracción del tinte fue obtenida en el municipio de Jocotán del departamento de Chiquimula con el apoyo de Industrias Nativos S.A., y de la Fundación Gabina J.M.

La materia prima se trasladó a la Universidad de San Carlos de Guatemala donde se procedió a realizar la extracción del tinte natural en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE-, Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería.

## 7.5 Materiales utilizados en el proceso de extracción del tinte de añil

### Hidrólisis enzimática

- ❖ 2 kg de hidróxido de calcio, para regular valor de pH del agua.
- ❖ 1 medidor de pH, para registrar y controlar el valor del pH del agua.
- ❖ Recipientes plásticos con volumen de 100 L.

### Filtrado

- ❖ 20 yardas de manta, como medio filtrante para la separación de la biomasa obtenida durante el proceso de hidrólisis enzimática.

## 7.6 Método

### 7.6.1 Método de extracción del tinte de añil

1. Se pesaron 20 lb de materia prima fresca y se sumergieron en 60 L de una solución acuosa de hidróxido de calcio a una concentración 0.01 M (0.12 g/L) para estabilizar el pH. La mezcla se fermentó anaeróbicamente durante un período de 12 horas.
2. Al finalizar la fermentación, se procedió a separar la biomasa de los medios acuosos por medio de filtración.
3. Las soluciones acuosas obtenidas del filtrado fueron sometidas a cuatro diferentes tiempos de oxidación de 0.5, 1, 1.5 y 2 horas, en las marmitas de oxidación con maceración dinámica y entrada de aire.
4. La mezcla oxigenada se descargó de las marmitas, se le agregó hidróxido de sodio a una concentración 0.0015 M (0.06 g/L) y se sedimentó por un tiempo de 24 horas.
5. Se separó el sedimento de la solución acuosa por medio de decantación, se obtuvo una mezcla de extracto tintóreo acuoso de añil, se colocó en las bandejas del secador eléctrico de flujo transversal y se llevó a evaporación para obtener el tinte del añil en polvo.

## 7.6.2 Método para tinción de lana y algodón

### 7.6.2.1 *Lavado de las fibras*

1. Se calentó agua a 50°C, luego se disolvió el detergente y se dejó por media hora con el objetivo de eliminar la grasa de las fibras de lana y algodón.
2. Se hicieron madejas de fibra de lana y algodón con peso de 113.40 g (4 onzas) y se lavaron con detergente y se quedaron inmersas por veinticuatro horas.

### 7.6.2.2 *Pre-tratamiento del añil en polvo*

1. Se pulverizó y tamizó el colorante utilizando un tamiz No. 50 y No. 60. Y se utilizó el material del tamiz No. 60.

### 7.6.2.3 *Estabilizador de pH con carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)*

1. Se midieron 6 L de agua a una temperatura de 40°C y se agregó 6.01 g de carbonato de sodio, se disolvió y agitó hasta que se llegó a pH 11.
2. Se pesó 2.05 g de añil y se disolvió con los 6 L de la solución alcalina, se agitó hasta disolver totalmente el añil.
3. Se disolvió 8.35 g de hidrosulfito de sodio a la solución coloreada. Se agregó el hidrosulfito con la finalidad de reducir la cantidad de oxígeno y mantener el pH en 11. Se esperó 30 minutos hasta observar turbidez en la superficie de la solución y se observó un color amarillo fuerte.
4. Se sumergieron las fibras en la solución colorante de añil y se retiraron para permitir la oxidación, por último se dejaron en inmersión por 30 minutos.
5. Al finalizar la tinción se observó un cambio de color paulatino de azul a azul fuerte, al ser oxigenada las fibras.
6. Las fibras teñidas se lavaron y se secaron en un lugar ventilado.

## 7.6.3 Método para caracterización de las fibras teñidas

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de solidez del tinte de añil aplicado en las fibras teñidas.

### 7.6.3.1 *Solidez a la luz*

Esta prueba determinó el grado de resistencia a la degradación por la luz de un colorante determinado sobre un tejido, hilo o fibra. Los resultados se compararon

la escala determinada. Se expuso una porción de la muestra de fibras a la luz solar directa mientras que la otra porción fue cubierta por un tiempo de 24 horas.

#### *7.6.3.2 Solidez al hipoclorito enérgico*

Propiedad de resistencia del colorante sobre la fibra frente a la acción de hipoclorito. La fibra se trató por 60 minutos a 20°C en una solución de hipoclorito de sodio con concentración de 2.0 g/L cloro activo con pH 11, la relación del baño fue de 50:1, después se agregó una solución de peróxido de hidrógeno por 10 minutos.

#### *7.6.3.3 Solidez al cloro*

Propiedad de resistencia del colorante sobre la fibra frente a la acción del cloro. La solución de hipoclorito de sodio se hizo a una concentración de 20 mg/L activo de cloro con pH 8.5 por un tiempo de 4 horas a temperatura ambiente. La relación del baño fue de 100:1.

#### *7.6.3.4 Solidez a la sublimación*

Por un tiempo de 30 segundos la fibra teñida tuvo contacto con tres diferentes temperaturas, 150, 180 y 220°C.

### Criterios de evaluación de las diferentes pruebas de solidez

#### **Categorías**

- 1 = Escasa
- 2 = Regular
- 3 = Buena
- 4 = Muy buena
- 5 = Excelente

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente proyecto se realizó la extracción y caracterización fisicoquímica del tinte obtenido del añil (*Indigofera guatemalensis* Moc.), para aplicarlo en fibras naturales de lana y algodón, utilizadas en la elaboración de artesanías.

Se realizó la extracción del tinte de añil a nivel laboratorio y escala piloto, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula, por medio de hidrólisis enzimática con cuatro diferentes tiempos de oxidación, 0.5 h, 1 h, 1.5 h y 2 h. Se determinó el porcentaje de rendimiento para los diferentes tiempos de extracción y se realizaron las pruebas fisicoquímicas de densidad y de solubilidad con tres diferentes solventes, agua, cloroformo y benceno, para el añil obtenido a escala piloto y para el tinte comercial de añil de Barillas, Huehuetenango y para el producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula.

Se determinó el porcentaje de indigotina por medio del método colorimétrico del tinte comercial de añil producido por Industria de Fibras Nativos, S.A., ubicada en Jocotán, Chiquimula, el cual lo comercializan como tinte de añil de sobrenadante y de sedimento.

Se aplicó el tinte de añil obtenido a escala piloto y el tinte comercial, de las diferentes procedencias, en fibras de lana y algodón y se determinó la capacidad de tinción por medio de las pruebas de solidez de las fibras teñidas.

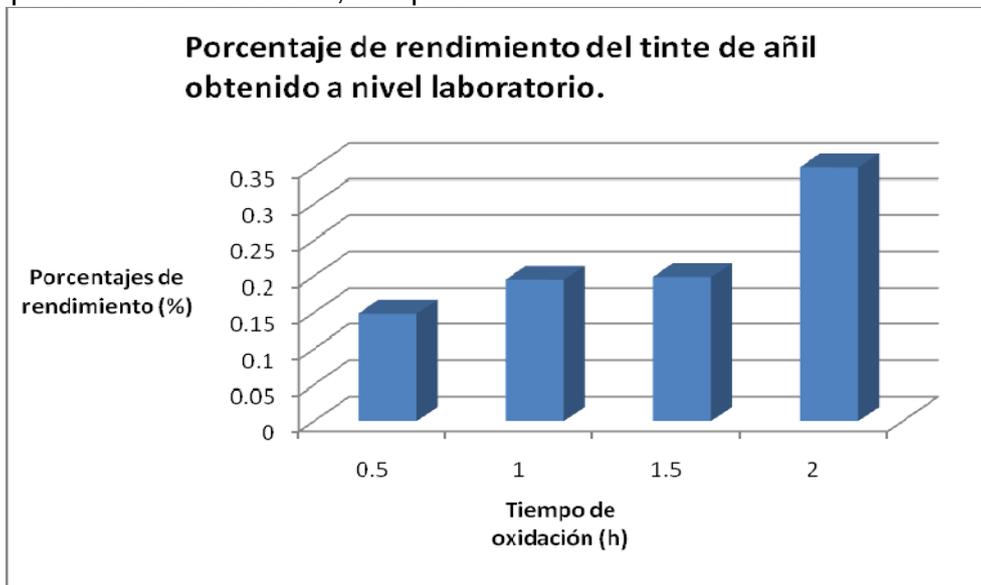
**Tabla No. 1**

Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a nivel laboratorio, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.

Repetición	Muestra		Porcentaje de rendimiento (%)	Promedio $\pm$ S
	Tiempo de oxidación (h)			
1	0.5		0.1851	0.1483 $\pm$ 0.0366
2			0.1479	
3			0.1118	
1	1		0.2032	0.1945 $\pm$ 0.0083
2			0.1937	
3			0.1866	
1	1.5		0.2020	0.1982 $\pm$ 0.0040
2			0.1941	
3			0.1984	
1	2		0.4046	0.3580 $\pm$ 0.0429
2			0.3492	
3			0.3202	

### Gráfica No. 1

Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a nivel laboratorio, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.



En la gráfica No. 1 se observa que el porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a nivel laboratorio aumentó al variar los tiempos de oxidación pero no de forma apreciable de 0.5 a 1.5 h y se incrementó el porcentaje de rendimiento de tinte añil en el tiempo de oxidación de 2 h con un valor promedio de 0.3580%.

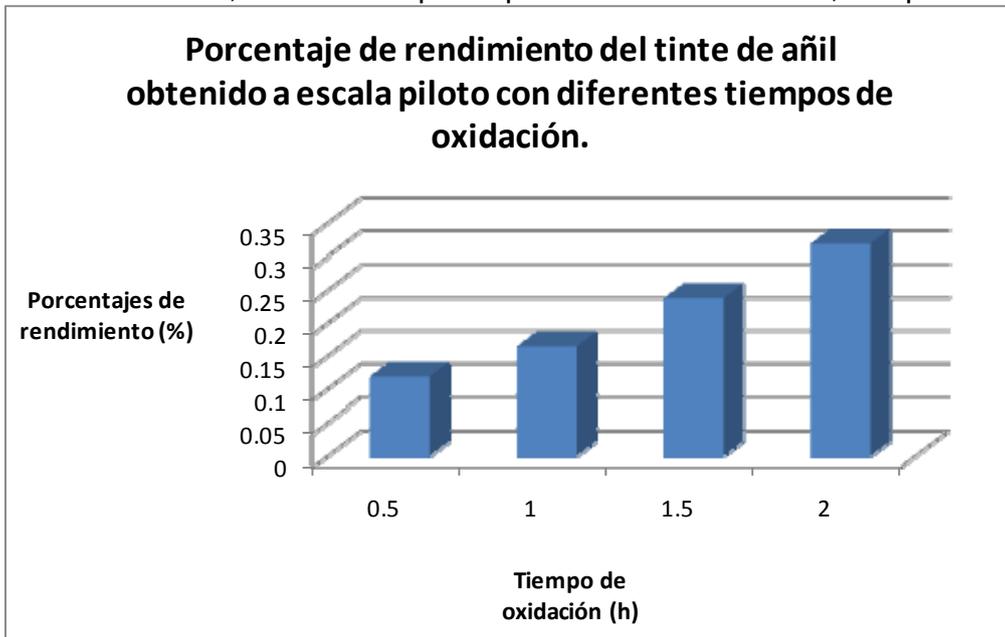
### Tabla No. 2

Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a escala piloto, con diferentes tiempos de oxidación, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.

Muestra		Porcentaje de rendimiento (%)	Promedio $\pm$ S
Repetición	Tiempo de oxidación (h)		
1	0.5	0.0779	0.1189 $\pm$ 0.0480
2		0.1717	
3		0.1070	
1	1	0.1495	0.1646 $\pm$ 0.0160
2		0.1813	
3		0.1632	
1	1.5	0.1663	0.2383 $\pm$ 0.0628
2		0.2668	
3		0.2817	
1	2	0.2436	0.3192 $\pm$ 0.1218
2		0.4597	
3		0.2542	

### Gráfica No. 2

Porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a escala piloto, con diferentes tiempos de oxidación, con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula.



En la gráfica No.2 se observa que el porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a escala piloto es proporcional al tiempo de oxidación y se obtuvo el mayor rendimiento con un tiempo de 2 h de oxidación con valor promedio de 0.3192%. En el estudio de Colocho (2003) se obtuvo 2.05 g de tinte de añil para 1 lb de materia vegetal siendo este un rendimiento de 0.4519% utilizando un tiempo de oxidación de 12 h con un tiempo de oxidación de 2 h utilizando una bomba de oxigenadora de pecera.

En el análisis estadístico respecto al rendimiento del tinte de añil se encontraron diferencias significativas entre los tiempos de oxidación evaluados ( $P = 0.0434$ ), con alta variabilidad existente entre las repeticiones ( $CV = 34.74\%$ ). Para evaluar que tipo de relación existe entre el tiempo de oxidación y el rendimiento se hizo un análisis de polinomios ortogonales encontrándose que únicamente el efecto lineal es significativo, lo cual se evidencia en la gráfica de la tendencia del rendimiento en función del tiempo de oxidación. En el ajuste del modelo lineal se encontró la siguiente estimación:  $Y = 0.00225X$  (donde X es el tiempo de oxidación y Y el rendimiento obtenido, mientras que el coeficiente 0.00225 es el incremento en el rendimiento por cada minuto que se aumenta el tiempo de oxidación), con un coeficiente de determinación ajustado de 0.5708. Se puede deducir que los tiempos evaluados pueden seguir incrementándose porque se encuentran en la parte lineal de una relación que se espera de tipo logarítmico.

**Tabla No. 3**

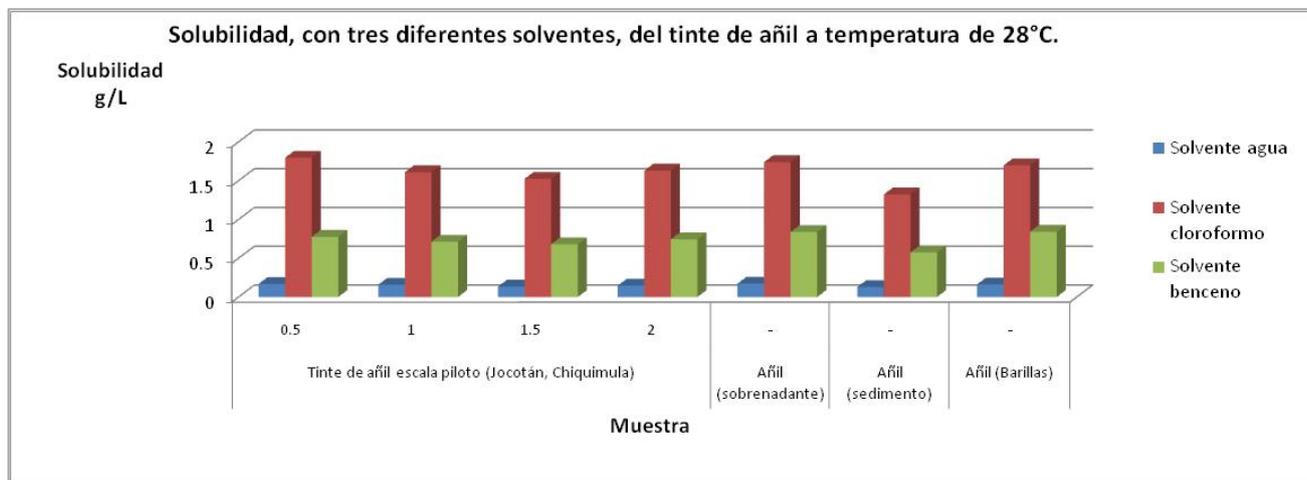
Promedios y desviación estándar de solubilidad, con tres diferentes solventes, del tinte de añil a temperatura de 28°C.

Muestra	Tiempo de oxidación (h)	Solubilidad (g/L)		
		Solvente		
		Agua	Cloroformo	Benceno
Tinte de añil obtenido a escala piloto (Jocotán, Chiquimula)	0.5	0.1682 ± 0.0060	1.7958 ± 0.0114	0.7756 ± 0.0086
	1	0.1583 ± 0.0027	1.6096 ± 0.0101	0.7126 ± 0.0104
	1.5	0.1337 ± 0.0040	1.5236 ± 0.0096	0.6799 ± 0.0066
	2	0.1464 ± 0.0064	1.6305 ± 0.0328	0.7436 ± 0.0439
Tinte comercial de añil de sobrenadante <sup>1</sup>	-	0.1722 ± 0.0048	1.7391 ± 0.0079	0.8386 ± 0.0293
Tinte comercial de añil de sedimento <sup>1</sup>	-	0.1277 ± 0.0019	1.3226 ± 0.0140	0.5735 ± 0.0227
Tinte comercial de añil (Barillas, Huehuetenango)	-	0.1619 ± 0.0047	1.6970 ± 0.0080	0.8412 ± 0.0416
<b>Promedio total ± S</b>		0.1526 ± 0.0171	1.6169 ± 0.1575	0.7379 ± 0.0942

<sup>1</sup> Industrias Fibras Nativos S.A. (Jocotán, Chiquimula).

**Gráfica No. 3**

Solubilidad, con tres diferentes solventes, del tinte de añil a temperatura de 28°C.



Se determinó la solubilidad, con tres diferentes solventes, del tinte de añil obtenido con materia prima de proveniente de Jocotán, Chiquimula y del tinte comercial de añil de Barillas, Huehuetenango y para el producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula. En la gráfica No. 3 se observa que los valores de la solubilidad son similares y no dependen del tiempo de oxidación ni del lugar de procedencia. También se determinó que el tinte de añil fue más soluble en el solvente cloroformo, con un promedio total de 1.6169 g/L, que en benceno, con un promedio total de 0.7379 g/L y presentó baja solubilidad con el agua, con un promedio total de 0.1526 g/L.

**Tabla No. 4**

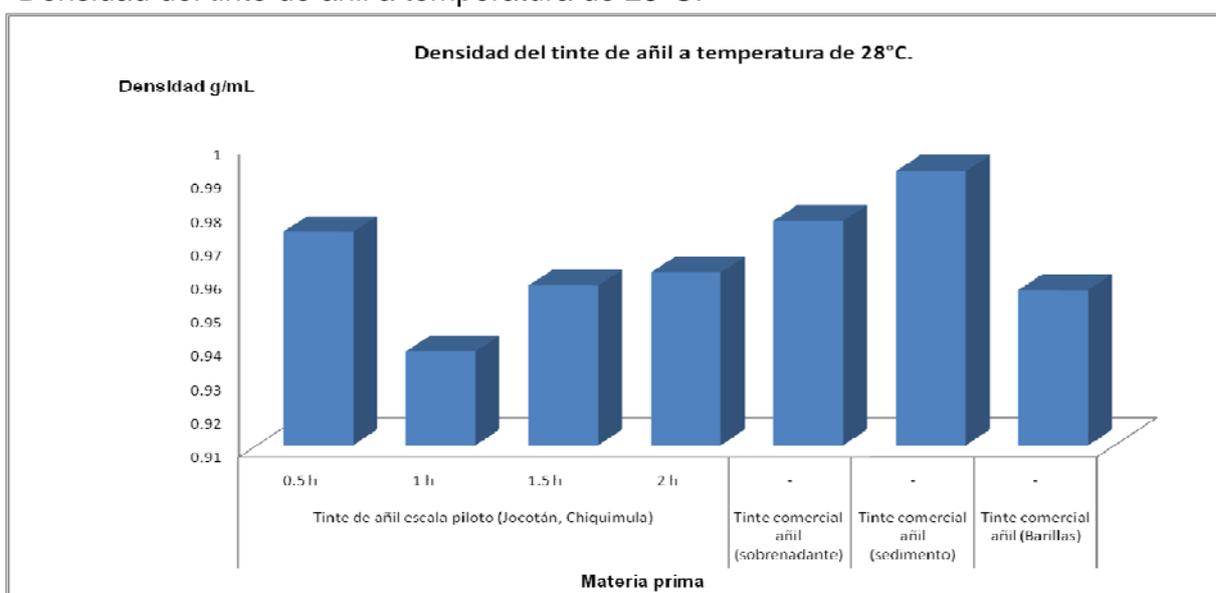
Promedios y desviación estándar de densidad del tinte de añil a temperatura de 28°C.

Muestra	Tiempo de oxidación (h)	Densidad (g/mL)
Tinte de añil obtenido a escala piloto (Jocotán, Chiquimula)	0.5	0.9735 ± 0.0089
	1	0.9379 ± 0.0135
	1.5	0.9575 ± 0.0448
	2	0.9614 ± 0.0278
	<b>Promedio ± S</b>	0.9576 ± 0.0148
Tinte comercial de añil de sobrenadante <sup>1</sup>	-	0.9768 ± 0.0128
Tinte comercial de añil de sedimento <sup>1</sup>	-	0.9916 ± 0.0062
Tinte comercial de añil (Barillas, Huehuetenango)	-	0.9562 ± 0.0077
<b>Promedio total ± S</b>		0.9650 ± 0.0173

<sup>1</sup> Industrias Fibras Nativos S.A. (Jocotán, Chiquimula).

**Gráfica No. 4**

Densidad del tinte de añil a temperatura de 28°C.



Se determinó la densidad del tinte de añil obtenido a escala piloto con materia prima proveniente de Jocotán, Chiquimula y del tinte comercial de añil de Barillas, Huehuetenango y para el producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula. En la gráfica No. 4 se observa que los valores de densidad son similares y no dependen del tiempo de oxidación ni del tipo de procedencia. El promedio total de la densidad fue de 0.9650 g/mL.

En el análisis estadístico respecto a la densidad del tinte de añil, es de esperarse que esta característica no debe estar relacionada con el tiempo de oxidación, no se encontraron diferencias significativas, ( $p=0.5143$ ), y se puede determinar, que para el tinte de añil obtenido con materia fresca proveniente de Jocotán, Chiquimula, con diferentes tiempos de oxidación, la densidad promedio fue de 0.9576 g/mL.

**Tabla No. 5**

Pruebas de solidez para la fibra de lana teñida con añil.

PRUEBA DE SOLIDEZ	FIBRA DE LANA							
	MUESTRA							
	Añil (tiempo oxidación) <sup>1</sup>				Añil (sobrenadante) <sup>2</sup>	Añil (sedimento) <sup>3</sup>	Añil (Barillas) <sup>4</sup>	
0.5 h	1 h	1.5 h	2 h					
A la luz	3	3	2	2	2	2	1	
Al hipoclorito enérgico	2	2	2	2	3	2	1	
Al cloro	3	3	3	3	3	3	3	
Sublimación								
T=150°C	3	3	3	3	3	3	3	
T=180°C	1	1	1	1	1	1	1	
T=220°C	1	1	1	1	1	1	1	

<sup>1</sup>Tinte de añil obtenido a escala piloto (Jocotán, Chiquimula). <sup>2</sup>Tinte comercial de añil de sobrenadante. <sup>3</sup>Tinte comercial de añil de sedimento. <sup>4</sup>Tinte comercial de añil de Barillas, Huehuetenango.

**Tabla No. 6**

Pruebas de solidez para la fibra de algodón teñida con añil.

PRUEBA DE SOLIDEZ	FIBRA DE ALGODÓN							
	MUESTRA							
	Añil (tiempo oxidación) <sup>1</sup>				Añil (sobrenadante) <sup>2</sup>	Añil (sedimento) <sup>3</sup>	Añil (Barillas) <sup>4</sup>	
0.5 h	1 h	1.5 h	2 h					
A la luz	3	3	3	3	3	3	3	
Al hipoclorito enérgico	1	1	1	1	2	1	1	
Al cloro	3	3	3	3	3	3	1	
Sublimación								
T=150°C	3	3	3	3	3	3	3	
T=180°C	3	3	3	3	3	3	3	
T=220°C	3	3	3	2	2	2	2	

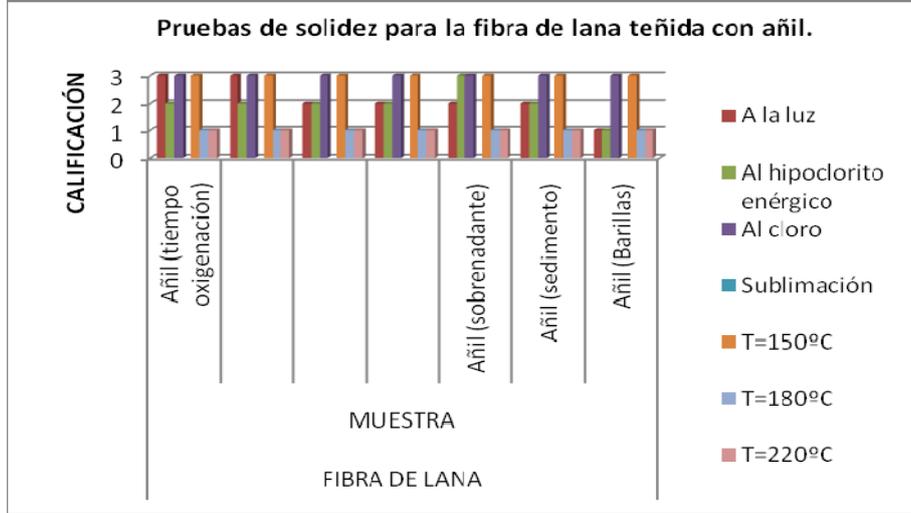
<sup>1</sup>Tinte de añil obtenido a escala piloto (Jocotán, Chiquimula). <sup>2</sup>Tinte comercial de añil de sobrenadante (Industria Fibras Nativos S.A). <sup>3</sup>Tinte comercial de añil de sedimento (Industria Fibras Nativos S.A). <sup>4</sup>Tinte comercial de añil de Barillas, Huehuetenango.

Categoría

1 = Escasa      2 = Regular      3 = Buena      4 = Muy buena      5 = Excelente

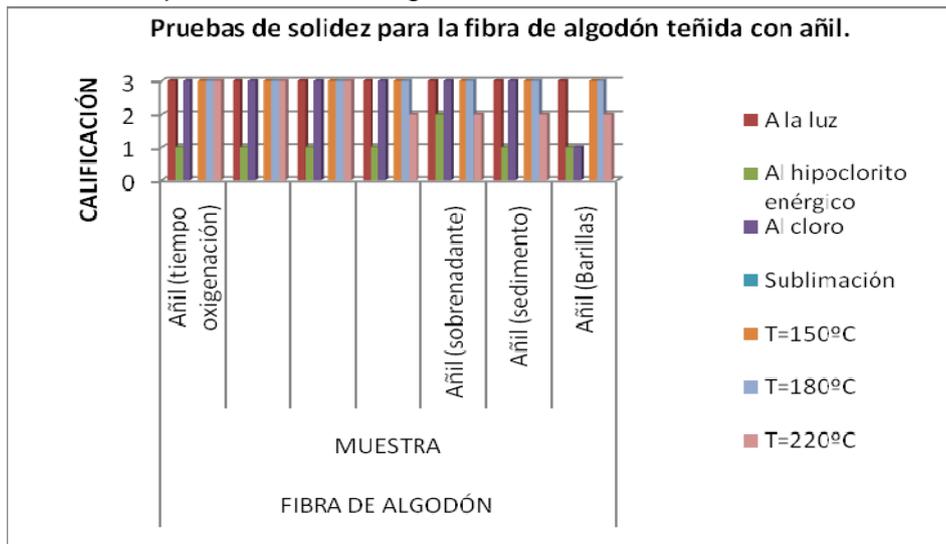
### Gráfica No. 5

Pruebas de solidez para la fibra de lana teñida con añil.



### Gráfica No. 6

Pruebas de solidez para la fibra de algodón teñida con añil.



En las tablas No. 5 y No.6 se puede apreciar los resultados de las pruebas de solidez a la luz, al hipoclorito energético, al cloro y a la sublimación determinándose que la capacidad de tinción del tinte de añil fue calificada como buena, en su mayoría.

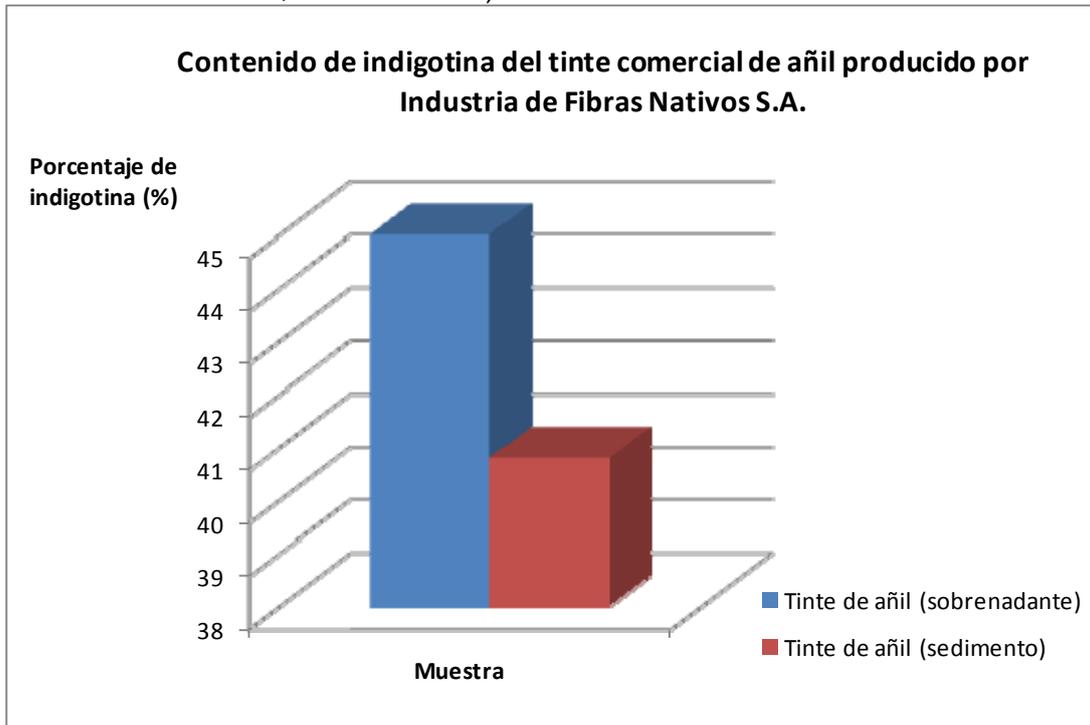
**Tabla No. 7**

Contenido de indigotina del tinte comercial de añil producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula (Laboratorios Especializados en Control de Calidad, San Salvador).

Muestra	Porcentaje de indigotina	Método	Referencia
Tinte de añil (sobrenadante)	45.0%	Colorímetro	Técnica referida por GTZ.
Tinte de añil (sedimento)	40.8%		

**Gráfica No. 7**

Contenido de indigotina del tinte comercial de añil producido por Industria de Fibras Nativos S.A. ubicada en Jocotán, Chiquimula (Laboratorios Especializados en Control de Calidad, San Salvador).



En la gráfica No. 7 se observa que el mayor porcentaje de indigotina fue de 45.0% para el tinte comercial de añil de sobrenadante y el menor fue de 40.8% para el tinte comercial de añil de sedimento, ambos provenientes de Jocotán, Chiquimula producido por Industria de Fibras Nativos S.A. Estos valores se encuentran entre los valores que reporta Colocho (2003) donde el mayor porcentaje de indigotina que reportó fue de 44.94% y el de menor valor fue de 37.62%.

No se realizó la determinación del porcentaje de indigotina para el tinte de añil producido a escala piloto en el contexto del proyecto, debido a que no se produjo la cantidad requerida para realizar el análisis. Se contaba con material en el rango de 20 a 45 g y la cantidad mínima requerida para el ensayo por el Laboratorio Especializado en Control de Calidad de San Salvador era de 50 g.

## 9. CONCLUSIONES

1. Sí hay diferencia significativa en el rendimiento del tinte de añil al variar los tiempos de oxidación.
2. Se obtuvo el mayor porcentaje de rendimiento del tinte añil obtenido a nivel laboratorio con un tiempo de oxidación de 2 h con un valor de 0.3580%.
3. Se obtuvo el mayor porcentaje de rendimiento del tinte de añil obtenido a escala piloto con un tiempo de 2 h de oxidación con un valor de 0.3192%.
4. El tinte de añil fue más soluble en el solvente cloroformo que en benceno y presentó baja solubilidad en agua.
5. No se encontraron diferencias significativas en la densidad del tinte de añil al variar los tiempos de oxidación.
6. La densidad promedio del tinte de añil variando los tiempos de oxidación fue de 0.9576 g/mL.
7. El mayor porcentaje de indigotina fue de 45.0% para el tinte comercial de añil de sobrenadante y el menor fue de 40.8% para el tinte comercial de añil de sedimento, ambos provenientes de Jocotán, Chiquimula producido por Industria de Fibras Nativos S.A.
8. Los valores de indigotina reportados por la Industria de Fibras Nativos S.A se encuentran entre los valores que reporta Colocho (2003) donde el mayor porcentaje de indigotina reportado fue de 44.94% y el de menor valor fue de 37.62%.
9. Las pruebas de solidez a la luz, al hipoclorito enérgico, al cloro y a la sublimación determinaron que la capacidad de tinción del tinte de añil fue calificada como buena, en su mayoría.

## 10.RECOMENDACIONES

1. Aplicar las fibras teñidas de lana y algodón en la manufactura de artesanías, ropa de cama y alfombras.
2. Realizar pruebas sensoriales a las fibras teñidas para determinar la aceptación en el mercado.
3. Continuar la tecnificación del proceso de tinción.
4. Evaluar tiempos de oxidación mayor a 2 horas para determinar el comportamiento en cuanto a porcentaje de rendimiento.
5. Utilizar mayor cantidad de materia prima de *Indigofera guatemalensis* con el objetivo de obtener mayor cantidad de extracto tintóreo y poder determinar el porcentaje de indigotina en las muestras.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Acuña O. & Víctor H. (1978) Capital comercial y comercio exterior en América Central durante el siglo XVIII. Tesis doctoral Universidad de La Sorbona.
2. Colocho, José; Hurtarte, Margarita & García, Francisco (2003). Alternativas técnico prácticas para reducir el tiempo de extracción de pigmentos sólidos del añil (*Indigófera* sp.). Programa Fortalece/GTZ. San Salvador, septiembre de 2003.
3. Larrazabal F. A. (Marzo 1953). Anales de la Sociedad de Geografía e Historia Tomo XXVII, No. 114.
4. Lujan M. & Haciendas J. (1984). Obrajes en el corregimiento del Valle de Guatemala. 1671-80. Guatemala DIGI-USAC.
5. Pinto S. & César J. (1982). Economía y Comercio en el Reino de Guatemala. Consideraciones para una historia económica. 1ª. Parte. Guatemala .CEUR, USAC.
6. Ross G. (1987) El negro porvenir del añil. México.
7. Rubio M. (1976) Historia del añil o Xiquilite en Centro América. San Salvador, El Salvador.
8. Smith R. (1989). Producción y comercio del añil en la Guatemala Colonial en: Lecturas de Historias de Centro América. BCIE, EDUCA, pp. 141-177. Guatemala.
9. Toussaint, M. (1988) Textos de la Historia de Centro América y el Caribe. Instituto de Investigaciones Doctor José María Luis Mora, Universidad de Guadalajara. México. Ed. Nueva Imagen.

## 12. ANEXOS

### 12.1 Fotografías de la ejecución del proyecto

#### Figura No.1

Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa. Equipo de Investigación con la Licda. Liset Clavel.



#### Figura No.2

Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa. Etapas del proceso de extracción de añil.



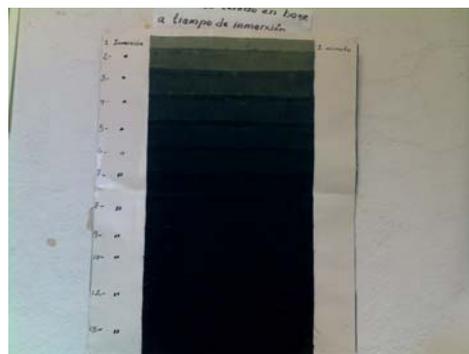
#### Figura No.3

Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa Blanca inducción de la extracción y tinción de añil, realizada por la Licda. Liset Clavel.



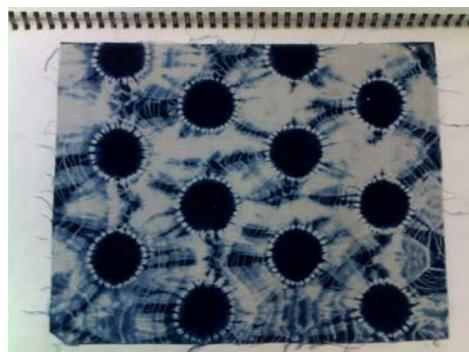
**Figura No.4**

Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa Blanca inducción de la extracción y tinción de añil, realizada por la Licda. Liset Clavel.



**Figura No.5**

Visita Técnica a El Salvador. Municipio de Chalchuapa, Santa Ana en el Museo Arqueológico Casa Blanca. Diferentes técnicas de tinción de añil.



**Figura No. 6**

Curso-taller “Tinción con colorante natural de añil en fibras de lana y algodón”. Impartido por el Señor Joel Ajxup, representante de la Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán. Proceso de teñido con añil de las fibras de lana y algodón.



### Figura No.7

Curso-taller “Tinción con colorante natural de añil en fibras de lana y algodón”. Impartido por el Señor Joel Ajxup, representante de la Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán. Etapa final del proceso de teñido con añil de las fibras de lana y algodón.



### Figura No.8

Curso-taller “Tinción con colorante natural de añil en fibras de lana y algodón”. Impartido por el Señor Joel Ajxup, representante de la Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Totonicapán. Comparación del teñido con añil de la fibra de lana y algodón, utilizando diferentes mordientes.



### Figura No. 9

Primera fase del proceso de extracción del tinte de añil: hidrólisis enzimática. Inmersión del material vegetal en una solución acuosa de hidróxido de calcio 0.01 M, por un período de 12 horas.



**Figura No.10**

Primera fase del proceso de extracción del tinte de añil: hidrólisis enzimática. Remoción de la biomasa de hojas de añil por medio de filtración.



**Figura No.11**

Segunda fase del proceso de extracción del tinte: oxidación. El extracto acuoso proveniente de la filtración colocado en marmitas con maceración dinámica y entrada de aire, con diferentes tiempos de oxidación de 0.5, 1, 1.5 y 2 horas.



**Figura No.12**

Tercera fase del proceso de extracción del tinte de añil: sedimentación. Extracto acuoso tintóreo después de 24 horas de contacto fue decantado para obtener el extracto de añil.



**Figura No.13**

Tercera fase del proceso de extracción del tinte de añil: sedimentación. El extracto tintóreo fluido en bandejas del secador eléctrico de flujo transversal a una temperatura de 70° C.



**Figura No. 14**

Tinción de fibras naturales. Tinte de añil pulverizado utilizado en el proceso de tinción de lana y algodón.



**Figura No.15**

Caracterización de fibras teñidas. Pruebas de solidez a la luz de las fibras de lana y algodón teñidas con el tinte de añil.



**Figura No. 16**

Caracterización de fibras teñidas. Pruebas de solidez al hipoclorito energético de las fibras de lana y algodón teñidas con el tinte de añil.



**Figura No.17**

Caracterización de fibras teñidas. Pruebas solidez al cloro de las fibras de lana y algodón teñidas con el tinte de añil.



**Figura No.18**

Caracterización de fibras teñidas. Pruebas solidez a la sublimación de las fibras de lana y algodón teñidas con el tinte de añil.



## 12.2 Resultados del análisis estadístico

En las líneas de abajo se resumen los resultados del análisis de los datos del rendimiento y la densidad obtenida en el proyecto de extracto de añil.

Respecto al rendimiento se encontró diferencias significativas entre los tiempos de oxidación evaluados. ( $P = 0.0434$ ), llama la atención la alta variabilidad existente entre las repeticiones, esto es indicativo de mucho error experimental, ( $CV = 34.74\%$ ). Para evaluar que tipo de relación existe entre el tiempo de oxidación y el rendimiento se hizo un análisis de polinomios ortogonales encontrándose que únicamente el efecto lineal es significativo, lo cual se evidencia en la grafica de la tendencia del rendimiento en función del tiempo de oxidación. En el ajuste del modelo lineal se encontró la siguiente estimación:  $Y = 0.00225X$  (donde  $X$  es el tiempo de oxidación y  $Y$  el rendimiento obtenido, mientras que el coeficiente  $0.00225$  es el incremento en el rendimiento por cada minuto que se aumenta el tiempo de oxidación), con un coeficiente de determinación ajustado de  $0.5708$ . De ello se puede deducir que los tiempos evaluados pueden seguir incrementándose puesto que aún nos encontramos en la parte lineal de una relación que se espera de tipo logarítmico.

Por otro lado, respecto a la densidad, como es de esperarse puesto que esta característica no debe estar relacionada con el tiempo de oxidación, no se encontraron diferencias significativas, ( $p=0.5143$ ), pudiendo concluirse que la densidad es de  $0.9574$ .

Statistix 9.0  
23:31:17

01/12/2010,

### Completely Randomized AOV for Rendimiento

Source	DF	SS	MS	F	P
Tiempo	3	0.06923	0.02308	4.33	0.0434
Error	8	0.04268	0.00533		
Total	11	0.11191			

Grand Mean 0.2102      CV 34.74

### Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Rendimiento by Tiempo

Tiempo	Mean	Homogeneous Groups
120	0.3192	A
90	0.2383	AB
60	0.1647	AB
30	0.1189	B

### Polynomial Contrasts of Rendimien by Tiempo

Degree = 1, Linear Trend

Contrast	0.1508	SS (Contrast)	0.0682
Scheffe's F	4.26	P (Scheffe's F)	0.0448
T-Statistic	3.58	P (T-Statistic)	0.0072
SE (Contrast)	0.0422		

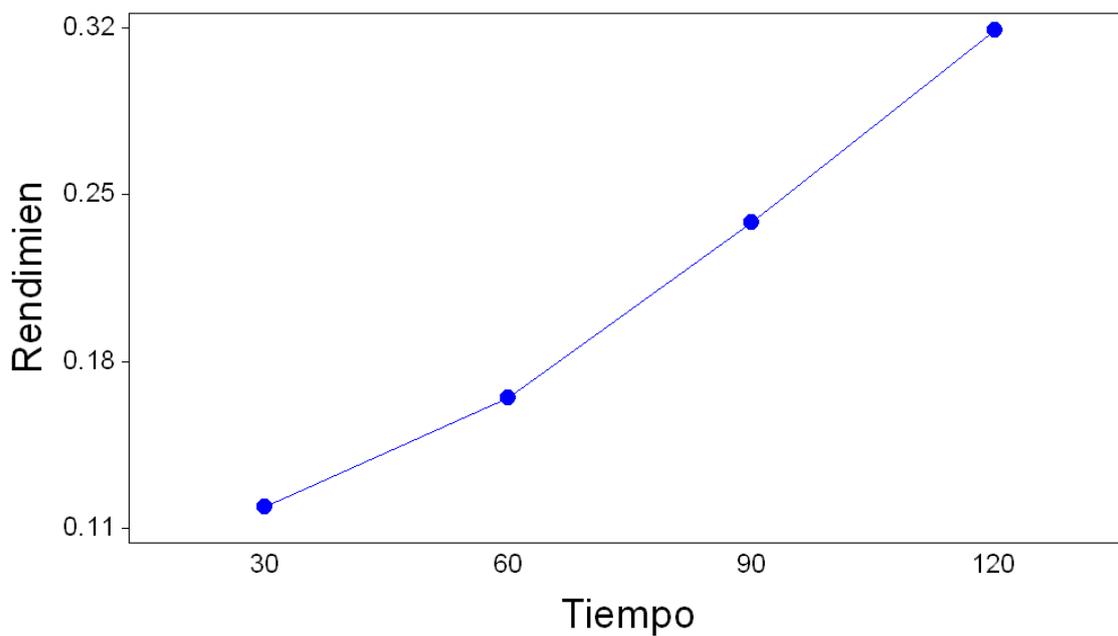
Degree = 2, Quadratic Trend

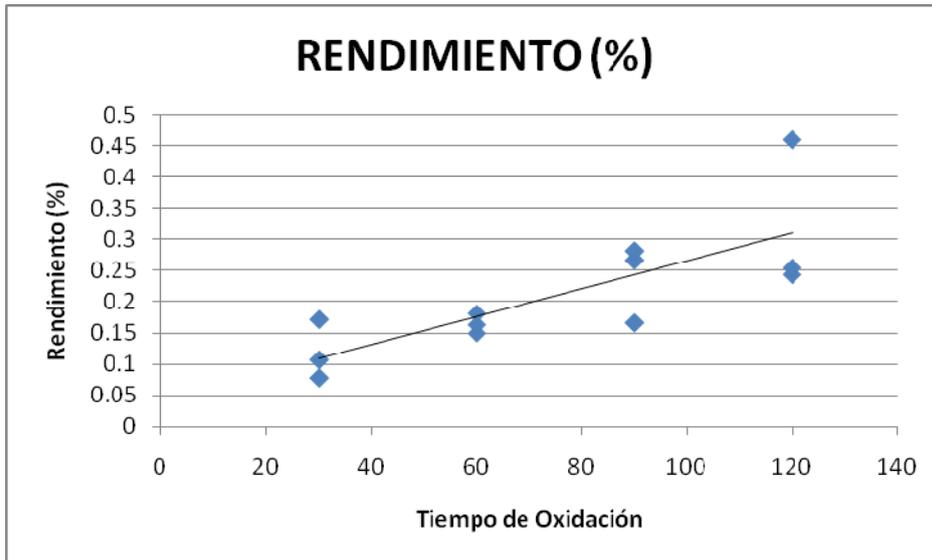
Contrast	0.0176	SS (Contrast)	9.24E-04
Scheffe's F	0.06	P (Scheffe's F)	0.9805
T-Statistic	0.42	P (T-Statistic)	0.6882
SE (Contrast)	0.0422		

Degree = 3, Cubic Trend

Contrast	-4.58E-03	SS (Contrast)	6.30E-05
Scheffe's F	0.00	P (Scheffe's F)	0.9996
T-Statistic	-0.11	P (T-Statistic)	0.9161
SE (Contrast)	0.0422		

## Means of Rendimien for Tiempo





Least Squares Linear Regression of Rendimiento

**Predictor**

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Constant	0.04162	0.04673	0,89	0,3940
Tiempo	0.00225	5.687E-04	3,95	0,0027

R-Squared	0,6098	Resid. Mean Square (MSE)	0.00437
Adjusted R-Squared	0,5708	Standard Deviation	0.06608
AICc	-58.393		
PRESS	0.0701		

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.06824	0.06824	15,63	0,0027
Residual	10	0.04367	0.00437		
Total	11	0.11191			
Lack of Fit	2	0.00099	0.00049	0,09	0,9126
Pure Error	8	0.04268	0.00533		

Cases Included 12 Missing Cases 0

Statistix 9.0  
23:35:16

01/12/2010,

**Completely Randomized AOV for Densidad**

Source	DF	SS	MS	F	P
Tiempo	3	0.00189	6.316E-04	0.83	0.5143
Error	8	0.00610	7.621E-04		
Total	11	0.00799			

Grand Mean 0.9574 CV 2.88

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	2.69	0.1173
O'Brien's Test	1.19	0.3720
Brown and Forsythe Test	1.15	0.3871

Means of Densidad for Tiempo

