

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



EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA  
CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL.

*(Indigofera Sp.)*

PRESENTADO POR  
CRISTO JOSE HERNANDEZ AYALA  
EDWIN ALEXANDER PEREZ FLORES

PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :  
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL:  
Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :  
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :  
Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR :  
Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:  
INGENIERO QUIMICO

Título :  
EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA  
LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE  
AÑIL. (*Indigofera Sp.*)

Presentado por :  
CRISTO JOSE HERNANDEZ AYALA  
EDWIN ALEXANDER PEREZ FLORES

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director : Ingra. Ana Beatriz Lima de Zaldaña

Docente Director : Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

Docente Director : Ingra. Tania Torres Rivera

San Salvador, Diciembre de 2003

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Ingra. Ana Beatriz Lima de Zaldaña

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

Ingra. Tania Torres Rivera

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a todas aquellas personas e instituciones por su valiosa colaboración a la realización de esta investigación, sin cuyo valioso aporte no hubiese sido posible llevarlo a su culminación:

- Ingra. Ana Beatriz Lima de Zaldaña
- Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya
- Ingra. Tania Torres Rivera
- Sra. Rhina de Rehmann
- Ingra. Carolina Rivas
- Dra. Francisca Cañas de Moreno
- Ing. Ricardo Imendia
- Lic. Marta Cáceres de Montoya
- Don Lucas Benítez
- Don Gilberto Montes
- Don Alfredo Pérez
- Don Ignacio Jiménez
- Don José Mario García
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)
- Proyecto de Fomento a la Integración de la Producción Agropecuaria y Agroindustrial (GTZ)
- Personal del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador

## DEDICATORIA

Quiero dedicar y agradecer de todo corazón en primer lugar este triunfo tan importante en mi vida a **DIOS PADRE**, por todos los dones y capacidades que he recibido de sus manos, por su ayuda y fortaleza en momentos de dificultad, pero principalmente por todo el amor, apoyo y comprensión de tantas personas que han hecho posible mi formación académica. También a **Nuestra MADRE LA VIRGEN MARIA** por su protección maternal y su cuidado especial en todos estos años.

A mis Papás y maestros **Adolfo Hernández** y **María Thelma**, les agradezco todos sus sacrificios y su amor incondicional en toda mi vida, gracias porque sin ustedes no hubiera sido posible llegar hasta aquí.

También a mis hermanas **Karla**, **Ariana** y **Adela** va dedicado este triunfo, por su paciencia y consejos en todo este tiempo y porque siempre cuento con ustedes en cualquier momento.

Agradezco a todos mis **familiares** y **amigos** que siempre estuvieron pendientes de mis estudios y que con sus atenciones y ánimo en momentos de dificultad me ayudaron mucho a continuar en la lucha.

Finalmente dedico este triunfo a **todos los docentes** que con su diario afán impartieron muchos conocimientos y enseñanzas de gran valor, sin faltar agradecer de manera muy especial a **todos mis compañeros y amigos** que Dios me ha regalado en todos estos años Universitarios, por todos los excelentes momentos que hemos convivido juntos, les deseo éxitos y bendiciones a cada uno. ¡¡Gracias por todo!!!

CRISTO JOSE

## *Dedicatoria*

*Quiero agradecer a nuestro magnífico creador **Jehová Dios** por la valiosa oportunidad de vida que me ha brindado hasta este momento y permitirme alcanzar este logro mediante su sabiduría, su poder, consuelo y estímulo que tanto me han ayudado en los momentos más difíciles de esta carrera.*

*A mi abuelita **Jesús Pérez** y mi papá **José Luis Pérez** porque ambos han sido mi única fuente de cariño y apoyo incondicional que mediante esfuerzos y sacrificios infundieron en mí el deseo de alcanzar este triunfo.*

*A mi **mamá** que aunque no estemos juntos, sé que estaría orgullosa y feliz de poder compartir este logro académico.*

*A mis **familiares** que de alguna u otra manera me han brindado el apoyo y las fuerzas necesarias para seguir adelante.*

*Y finalmente agradezco a todos mis **Amigos** quienes siempre han estado ahí conmigo en el momento preciso para brindarme palabras de aliento, estímulo y comprensión .*

*A todos Muchas Gracias!!!*

*Edwin Alexander*

## RESUMEN

Con el propósito de buscar alternativas para la conservación de la hoja de la planta de añil, se realizó un trabajo experimental en el cual se evaluaron tres diferentes procesos para el secado de la hoja de añil y la posible relación existente entre el nivel de secado de la hoja y las características de calidad de colorante obtenido. Para ello se necesitaba variables que explicaran el avance del proceso de secado (variables explicativas) y variables indicadoras de la calidad del colorante de añil (variables respuestas). Las variables explicativas del proceso de secado utilizadas fueron: el tiempo de secado y el porcentaje de humedad en la hoja; las variables respuestas en las que se manifiesta el efecto del secado son: el porcentaje de indigotina y el rendimiento en peso del colorante.

Se trabajó con dos variedades de añil: *Indigofera Guatemalensis* e *Indigofera Suffruticosa*.

Los procesos de secado empleados en esta investigación son:

- ✓ Secado a la Sombra
- ✓ Secado mecánico, del cual se utilizó:
  - Secado sin circulación de aire ( Estufa a nivel de laboratorio)
  - Secado con circulación de aire ( Secador de Bandejas por lote)

Como punto de partida para el inicio del proceso experimental se sometió la hoja al proceso de secado a diferentes condiciones de temperatura, tiempo de secado y porcentaje de humedad relativa ambiente, para dar paso a la extracción del colorante y finalizando con el respectivo análisis de contenido de indigotina y rendimiento en peso del colorante.

El comportamiento de los diferentes procesos de secado se analizó a través de gráficos de tendencia entre las variables respuestas y las variables explicativas mencionadas anteriormente, los cuales muestran que ambas variedades se ven afectadas por el proceso de secado puesto que presentan tendencias de disminución de contenido de indigotina y rendimiento de colorante a medida que el nivel de humedad en la hoja es menor, sin embargo, hablando comparativamente, la variedad *I.Guatemalensis* presenta una resistencia mayor en cuanto al efecto del secado sobre las características de calidad del colorante que en la *I.Suffructicosa*. Además se generaron modelos matemáticos de comportamiento aplicando análisis de regresión, obteniéndose en la mayoría de los casos modelos polinómicos de grado 5.

Finalmente, el trabajo contempla conclusiones y recomendaciones respecto a los resultados globales obtenidos.

## INDICE

	PAGS
<b>INTRODUCCION</b>	i
<b>1. GENERALIDADES DEL AÑIL</b>	1
1.1 ASPECTOS BOTANICOS	2
1.1.1 DESCRIPCIÓN	2
1.1.2 ESPECIES DE MESOAMERICA	3
1.1.3 CICLO VEGETATIVO	4
1.2 REQUERIMIENTOS CLIMATICOS Y EDAFICOS	4
1.2.1 REQUERIMIENTOS CLIMATICOS	4
1.2.2 CLASES DE SUELOS	5
1.2.3 MANEJO DEL CULTIVO Y COSECHA	5
1.3 COMPOSICION QUÍMICA DE LA PLANTA Y COLORANTE DE AÑIL	7
<b>2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL COLORANTE DE AÑIL EN EL SALVADOR</b>	9
<b>3. SITUACION ACTUAL DEL AÑIL EN EL SALVADOR</b>	14
3.1 ZONAS DE PRODUCCIÓN	14
3.2 PRODUCTORES	16
3.3 MERCADO	17
3.3.1 DEMANDA NACIONAL	17
3.3.2 OFERTA DE TINTE NACIONAL	18
3.3.3 PRECIOS	18
<b>4.0 FUNDAMENTOS DE SECADO</b>	20
4.1 OBJETIVOS DEL PROCESO DE SECADO	21
4.2 CONCEPTOS IMPORTANTES	21
4.3 MÉTODOS GENERALES DE SECADO	23
4.4 CONDICIONES GENERALES PARA EL SECADO	23
4.4.1 VELOCIDAD DE SECADO POR LOTES	24
4.4.2 PRUEBAS DE SECADO	25
4.4.3 PERIODOS DE SECADO	25
4.4.3.1 Periodo Inicial	27
4.4.3.2 Periodo de Velocidad Constante	28
4.4.3.3 Primer periodo de velocidad descendente	28
4.4.3.4 Segundo periodo de Velocidad descendente	28
<b>5.0 SECADO DE HIERBAS Y ESPECIAS</b>	30
5.1 OPERACIONES PRELIMINARES	32
5.1.1 HORA DE RECOLECCION	32
5.1.2 CONSERVACION DE HIERBAS FRESCAS	33

5.1.2.1 Factores Ambientales que afectan la calidad de los productos frescos	34
5.1.2.2 Control de los factores ambientales	36
5.1.2.3 Empaque para las hierbas, especias y plantas medicinales frescas	37
5.2 SISTEMAS DE SECADO	37
5.2.1 SECADO NATURAL	38
5.2.1.1 Secado al sol	38
5.2.1.2 Secado a la Sombra	40
5.2.1.3 Secadores solares	41
5.2.2 SECADO MECANICO	42
5.3 CRITERIOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO O SELECCIÓN DE UN SECADOR PARA HIERBAS Y ESPECIAS	43
<b>6.0 METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACION</b>	45
6.1 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SECADO	45
6.2 DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL	46
6.2.1 RECOLECCION DE HOJA FRESCA DE AÑIL	48
6.2.2 CONSERVACION DE HOJA	49
6.2.3 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD PARCIAL	49
6.2.4 OPERACIONES PRELIMINARES AL PROCESO DE SECADO	50
6.2.5 EXTRACCIÓN DE COLORANTE	51
6.2.5.1 Fermentación	51
6.2.5.2 Oxigenación	52
6.2.5.3 Separación del colorante	52
6.2.5.4 Secado del colorante	52
6.2.6 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE INDIGOTINA	53
<b>7.0 CARACTERIZACION Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PROCESOS DE SECADO APLICADOS</b>	55
7.1 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTA	55
7.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS	55
7.3 SECADO SIN CIRCULACION DE AIRE	56
7.3.1 EQUIPO	56
7.3.2 VARIABLES CONTROLABLES	57
7.3.3 CONDICIONES DE TRABAJO	57
7.3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCION DE DATOS	58
7.3.5 RESULTADOS Y MODELADO EMPÍRICO	58
7.3.5.1 Análisis para la variedad <i>I. Guatemalensis</i>	59
7.3.5.2 Análisis para la variedad <i>I. Suffructicosa</i>	62
7.3.6 EVALUACIÓN DE RESULTADOS	65
7.4 SECADO A LA SOMBRA	66
7.4.1 EQUIPO	66
7.4.2 VARIABLES CONTROLABLES	66
7.4.3 CONDICIONES DE TRABAJO	67

7.4.4	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCION DE DATOS	68
7.4.5	RESULTADOS Y MODELADO EMPIRICO	69
	7.4.5.1 Análisis para la variedad <i><u>I. Guatemalensis</u></i>	69
	7.4.5.2 Análisis para la variedad <i><u>I. Suffructicosa</u></i>	73
7.4.6	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	77
7.5	SECADO CON CIRCULACIÓN DE AIRE	78
7.5.1	EQUIPO	78
7.5.2	VARIABLES CONTROLABLES	78
7.5.3	CONDICIONES DE TRABAJO	79
7.5.4	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCION DE DATOS	80
7.5.5	RESULTADOS Y MODELADO EMPIRICO	81
	7.5.5.1 Análisis para la variedad <i><u>I. Guatemalensis</u></i>	82
	7.5.5.2 Análisis para la variedad <i><u>I. Suffructicosa</u></i>	86
7.5.6	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	90
	<b>CONCLUSIONES</b>	91
	<b>RECOMENDACIONES</b>	93
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	94
	<b>ANEXOS</b>	98
	Anexo I	
	Marcha Analítica y resultados de la determinación de Humedad Parcial de la hoja de añil	99
	Anexo II	
	Análisis de Indigotina	108
	Anexo III	
	Resultados Obtenidos de la Etapa Experimental	112
	Anexo IV	
	Curvas de Secado	158

## INDICE DE CUADROS

	PAGS
<b>1.1</b> Clasificación Taxonómica del añil.....	3
<b>3.1</b> Procesamiento de Añil en El Salvador.....	10
<b>3.2</b> El Salvador: Zonas Productoras de añil por departamento, Municipio, Cantón, Área y Productores. Año 2003.....	15
<b>3.3</b> Número aproximado de Productores y Obrajes. Año 2003.....	16
<b>3.4</b> El Salvador. Exportaciones de Añil 1997-2002.....	18
<b>3.5</b> El Salvador: Porcentaje de Indigotina y Precio/Kg. Año 2002.	19
<b>5.1</b> Contenido de Humedad de algunas hierbas para su comercialización.....	31
SECADO SIN CIRCULACIÓN DE AIRE:	
<b>7.1</b> Niveles de Temperatura. Secado sin Circulación de aire.....	57
<b>7.2</b> Valores promedios de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> a 38, 45 y 60°C.....	60
<b>7.3</b> Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> .....	62
<b>7.4</b> Valores promedios de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad <i>I. Suffructicossa</i> a 38, 45 y 60°C.....	63
<b>7.5</b> Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad <i>I. Suffructicossa</i> .....	65
SECADO A LA SOMBRA:	
<b>7.6</b> Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> .....	69
<b>7.7</b> Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> .....	73

<b>7.8</b>	Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad <i>I. Suffructicossa</i> .....	73
<b>7.9</b>	Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad <i>I. Suffructicossa</i> .....	77

SECADO CON CIRCULACIÓN DE AIRE:

<b>7.10</b>	Niveles de Temperatura y Combinación de termostatos.....	80
<b>7.11</b>	Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> .....	82
<b>7.12</b>	Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> .....	86
<b>7.13</b>	Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad <i>I. Suffructicossa</i> .....	86
<b>7.14</b>	Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad <i>I. Suffructicossa</i> .....	89

ANEXOS:

<b>III.1-III.10</b>	Hojas de Recolección de Datos. Secado sin circulación de aire.....	114
<b>III.11-III.14</b>	Hojas de Recolección de Datos. Secado a la Sombra..	134
<b>III.15-III.18</b>	Hojas de Recolección de Datos. Secado con circulación de aire.....	146
<b>IV.1- IV.2</b>	Hojas de Recolección de Datos. Curva de Secado. Variedad <i>I. Guatemalensis</i> .....	162
<b>IV.1- IV.2</b>	Hojas de Recolección de Datos. Curva de Secado. Variedad <i>I. Suffructicossa</i> .....	165

## INDICE DE FIGURAS

	PAGS
<b>1.1</b> Planta de xiquilite ( <i>Indigofera Sp.</i> ).....	2
<b>1.2</b> Elaboración y teñido en Añil.....	7
<b>1.3</b> Tinte de Añil.....	8
<b>2.1</b> Diagrama de distribución de pilas en un obraje.....	11
<b>4.1</b> Curva de Secado Obtenida de Datos Experimentales en función de la Humedad vrs tiempo.....	26
<b>4.2</b> Representación esquemática de los períodos de la velocidad de secado. (X: contenido de humedad; Nw: velocidad de secado; T: temperatura).....	29
<b>5.1</b> Secado de pescado al Sol.....	39
<b>5.2</b> Secado a la Sombra.....	40
<b>6.1</b> Mecanismo de Trabajo.....	45
<b>6.2</b> Desarrollo de la etapa experimental.....	47
<b>6.3</b> Variedades de añil:	
<i>I. Suffruticosa</i> (izquierda)	
<i>I. Guatemalensis</i> (derecha).....	48
<b>6.4</b> Plantación de añil: Hacienda Los Nacimientos.....	48
<b>6.5</b> Conservación de Hoja.....	49
<b>6.6</b> Separación Hoja-Tallo.....	50
<b>6.7</b> Pesado de Hoja.....	51
<b>6.8</b> Fermentación de Hoja.....	51
<b>6.9</b> Oxigenación de agua de la etapa de fermentación .....	52
<b>6.10</b> Secado del colorante.....	53
SECADO SIN CIRCULACIÓN DE AIRE:	
<b>7.1</b> Distribución de bandejas en el interior de la estufa.....	56
<b>7.2</b> Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad <i>I</i> Guatemalensis...	60

<b>7.3</b>	Gráfica de los valores promedios de Rendimiento versus porcentaje de humedad para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> ...	61
<b>7.4</b>	Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad <i>I. Suffructicosa</i> ...	63
<b>7.5</b>	Gráfica de los valores promedios de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad <i>I. Suffructicosa</i> ...	64

#### SECADO A LA SOMBRA:

<b>7.6</b>	Medidor de Humedad Relativa y temperatura ambiente.....	67
<b>7.7</b>	Distribución de muestras en la zona de secado.....	67
<b>7.8</b>	Cobertura de Muestras con malla de tela.....	68
<b>7.9</b>	Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura ambiente vrs Tiempo para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> :(a) Prueba 1 ; (b) Prueba 2.....	70
<b>7.10</b>	Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> ..	71
<b>7.11</b>	Gráfica de los valores promedios de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad <i>I. Guatemalensis</i> ...	72
<b>7.12</b>	Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura ambiente vrs Tiempo para la variedad <i>I. Suffructicosa</i> :(a) Prueba 1 ; (b) Prueba 2.....	74
<b>7.13</b>	Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad <i>I. Suffructicosa</i> ....	75
<b>7.14</b>	Gráfica de los valores promedios de Rendimiento versus porcentaje de humedad para la variedad <i>I. Suffructicosa</i> ....	76

#### SECADO CON CIRCULACIÓN DE AIRE:

<b>7.15</b>	Secador de bandejas por lotes.....	78
<b>7.16</b>	Estimación de la Velocidad del aire.....	79
<b>7.17</b>	Vista de la distribución de las bandejas y accesorios en el secador.....	81

<b>7.18</b>	Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura del aire circulante vrs Tiempo para la variedad <u><i>I. Guatemalensis</i></u> : (a) $T_{prom}=37.8$ °C ; (b) $T_{prom}=53.75$ °C.....	83
<b>7.19</b>	Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad <u><i>I. Guatemalensis</i></u> ...	84
<b>7.20</b>	Gráfica de los valores promedios de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad <u><i>I. Guatemalensis</i></u> ...	85
<b>7.21</b>	Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura del aire circulante vrs Tiempo para la variedad <u><i>I.Suffructicosa</i></u> : (a) $T_{prom}=34.74$ °C ; (b) $T_{prom}=48.36$ °C.....	87
<b>7.22</b>	Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad <u><i>I.Suffructicosa</i></u> ....	88
<b>7.23</b>	Gráfica de los valores promedios de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad <u><i>I.Suffructicosa</i></u> ...	89

ANEXOS:

<b>IV.1</b>	Vista de la distribución de las bandejas y accesorios en el secador, para elaboración curvas de secado.....	160
<b>IV.2</b>	Curvas de secado para la variedad <u><i>I. Guatemalensis</i></u> : (a) $39.3$ ° C (b) $46.3$ °C.....	164
<b>IV.3</b>	Curvas de secado para la variedad <u><i>I. Suffructicosa</i></u> (a) $39.55$ ° C (b) $46.45$ °C. ....	167

## INTRODUCCION

El añil natural se extrae de la planta de Indigo, de las cuales hay diversas variedades o especies en todo el mundo, el tinte extraído da la coloración azul a los materiales en los cuales es aplicado.

Actualmente en El Salvador, las especies *Indigofera Guatemalensis* e *Indigofera Suffruticosa* son las más cultivadas en las diferentes zonas productoras del país, realizándose la mayor parte del proceso de extracción del colorante en obrajes artesanales distribuidos en la zona central, existiendo además grupos, organizaciones y cooperativas que están impulsando la actividad añilera en muchas áreas del territorio.

La época de cosecha de la planta de añil se realiza entre el mes de octubre a diciembre-Enero de cada año. En este período, dentro del proceso artesanal, luego de recolectada la materia prima (hojas ó follaje), se traslada directamente hacia el obraje.

Estas condiciones de manejo son una limitante para la industrialización del proceso de extracción del colorante de añil, pues no se dispone de materia prima fresca durante mucho tiempo y a la vez, no se puede satisfacer la demanda de la hoja en el mercado internacional (para los usos a los que puede destinarse).

Es por ello que se hace necesario iniciar un proceso de investigación en el área de la conservación de las hojas de la planta de añil, que permita dar un gran paso para que la materia prima pueda estar disponible en excelentes condiciones y ser procesada en diferentes épocas del año, con excelente calidad, y además abrir un nuevo campo de comercialización de la planta, como lo es la exportación de las hojas para otros usos.

Es así, como en el presente estudio se pretende definir de una forma técnico-científica los factores determinantes en las operaciones de secado de la hoja de la planta de añil como alternativa de conservación.

Se tratará de definir si realmente un proceso de secado controlado produce efectos sobre el contenido de indigotina de la hoja de la planta de añil, o bien si el porcentaje de humedad de la hoja influye sobre el rendimiento en porcentaje de indigotina de la hoja de la planta de añil.

Por otra parte, se generará información valiosa sobre la caracterización de diferentes procesos de secado al que pueden someterse las hojas de la planta de añil. Además se plantearán ciertas recomendaciones que pueden ser tomadas en cuenta para darle seguimiento a futuras investigaciones en el campo de la conservación y almacenamiento de las hojas de la planta de añil.

## **1. GENERALIDADES DEL AÑIL**

*(CENTA, Guía técnica para el cultivo de añil ,2001)*

El mercado mundial de tintes está conformado por: Los tintes sintéticos, tintes naturales y los tintes orgánicos. El Añil de El Salvador, se clasifica dentro de los tintes naturales y tintes orgánicos.

El Añil forma parte de una amplia gama de tintes naturales, éstos constituyen productos extraídos de material vegetativo diverso, algunos colores son extraídos de raíces, pétalos, flores, corteza, hojas, etc. El Añil natural, se extrae de la planta de Índigo, de las cuales hay diversas variedades en todo el mundo, el tinte extraído da la coloración azul a los materiales en los cuales es aplicado. El uso de tintes naturales en distintas ramas industriales y artesanales, ha hecho que toda una gama de colores sean producidos naturalmente.

Desde tiempos antiguos, el Añil, fue uno de los tintes naturales más usados. Los tintes naturales, hacia finales del siglo XIX comenzaron a declinar en su uso por el apareamiento de los tintes sintéticos, sin embargo, el mercado de tintes naturales, vuelve a resurgir en el siglo XXI, por una razón fundamental, los efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente de los tintes sintéticos.

Las tendencias del mercado muestran una mayor demanda de tintes naturales en el futuro, tanto por la conciencia ecológica de los consumidores como por lo atractivo de los materiales teñidos con esas materias primas. El Añil como un tinte natural especial por dar la coloración azul (muy pocos colorantes naturales dan el color azul) está dentro de los tintes con un alto potencial de demanda.

El tinte de Añil natural y orgánico se comercializa bajo diversas presentaciones, en cantidades pequeñas y en formas de extractos. En la gran industria, se importa en polvo a granel embalado en bolsas plásticas.

Los consumidores de Añil son empresas que manejan tintes para la industria textil, la industria cosmética, la industria artesanal y de restauración, entre otras. El Añil natural, es apto para el teñido en fibras, maderas, cuero y papel, al mismo tiempo, que su color genera diversas tonalidades del azul.

El producto de la competencia más cercano al Añil natural es el Añil sintético, el cual se produce utilizando una estructura molecular idéntica a la del Añil natural, se produce en laboratorio a partir de material sintético.

## **ASPECTOS BOTANICOS**

### 1.1.1 DESCRIPCIÓN

A nivel mundial se reportan 140 especies de indigoferas. El añil es una planta herbácea, erecta de 1.5 – 1.8 m. de altura, poco ramificada, tallo angular, subleñoso y sus ramas se encuentran cubiertas con 10 o 12 hojuelas de color verde claro, dispuestas en pares regulares, como barba de pluma, tal como se observa en la figura 1.1. Las flores son pequeñas de un color rojo claro y se encuentran en racimos de receptáculo también muy corto; su cáliz es gamosépalo de óvalos casi iguales, siendo los posteriores más cortos. La corola es papilionácea de pétalos sentados y soldados al androceo; la corona es erecta, obtusa, acuminada y esta provista de un casco saliente. El fruto es una vainita cilíndrica, tetraedra, ligeramente comprimida y cuando está seca, puede ser un poco arqueada. Estas vainas contienen de 5 a 7 semillas ovaladas y oscuras.



**Figura 1.1:** Planta de xiquilite (*Indigofera Sp*)

En el cuadro 1.1 se presenta la clasificación taxonómica de la planta de añil.

<b>CLASIFICACION TAXONOMICA (Heywood)</b>	
Reino/	<i>Plantae</i>
División/	<i>Embryophyta</i>
Clase/	<i>Angiospermae</i>
Sub clase/	<i>Dicotyledonae</i>
Super orden/	<i>Rosidae</i>
Orden/	<i>Fabales</i>
Familia/	<i>Leguminosae</i>
Genero/	<i>Indigofera</i>

**Cuadro 1.1:** Clasificación Taxonómica del añil.  
(CENTA, Guía técnica para el cultivo de añil ,2001)

### 1.1.2 ESPECIES DE MESOAMÉRICA

Hasta la fecha se ha constatado la existencia de las siguientes especies de indigoferas en mesoamérica:

- *Indigofera guatemalensis*
- *Indigofera suffruticosa*
- *Indigofera mucronata*
- *Indigofera lespedizioides*

Las especies *Indigofera guatemalensis* e *Indigofera suffruticosa*, fueron las más cultivadas durante la época colonial y son las que se están cultivando actualmente en las diferentes zonas productoras del país, sus características son:

- *Indigofera guatemalensis*:

Las ramificaciones inician a baja altura del suelo (10 a 20 cms), las flores son de color rojo claro, vainas cortas y rectas, hojas pequeñas y poca resistencia a la sequía. Necesita descope para inducirla a producir más ramas laterales.

- *Indigofera suffruticosa*:

Las ramificaciones se inician a unos 40 cm del suelo, las flores son de color rojo claro, las vainas son curvas y más largas que la *Indigofera guatemalensis* y presentan dehiscencia, las hojas son grandes y presenta resistencia a la sequía, es una variedad arbustiva y no necesita descope.

### 1.1.3 CICLO VEGETATIVO

El Añil es una planta perenne y de acuerdo con la información consultada y entrevistas realizadas, el ciclo de la planta es de cinco meses para su uso industrial, aunque al cesar las lluvias queda en latencia y reinicia su ciclo biológico al tener condiciones de humedad adecuadas. Al paso de los años, la planta se va tornando leñosa, por lo que se elimina al tercer año de producción. Sin embargo, algunos autores y productores, señalan que al tercer año, la planta se corta totalmente dejando el sistema radicular intacto y al caer las lluvias la planta brota con un nuevo tallo.

## 1.2 REQUERIMIENTOS CLIMATICOS Y EDAFICOS

### 1.2.1 REQUERIMIENTOS CLIMATICOS

De acuerdo con la información consultada, el Añil se ha cultivado desde los 100 metros sobre el nivel del mar, hasta los 1,000 msnm, y por lo tanto en zonas con diferentes volúmenes de precipitación, temperaturas y bio-temperaturas, que están en función de la zona de vida a que pertenezca la localidad. También se tienen evidencias de cultivos al nivel del mar.

La escasez de humedad afecta la calidad y cantidad de la tinta.

### 1.2.2 CLASES DE SUELOS

En cuanto a los suelos, se reporta adaptabilidad a diferentes clases, sin embargo, hay coincidencias en cuanto a que deben tener buen drenaje, pero por ser un cultivo limpio puede erosionar los suelos, en virtud de lo cual, deberá estar limitado hasta suelos con moderadas a fuertes pendientes y que por tal motivo deben establecerse obras de conservación.

Además de las limitantes de clases de suelos, limitan el cultivo en su contenido y calidad de la tinta, los suelos muy arenosos con excesivo drenaje, los suelos orgánicos y los suelos arcillosos con mal drenaje, independientemente de la clase a que pertenezcan debido a que es un cultivo sensible a la sequía y a las inundaciones.

Con excepción de los suelos inundables permanentemente y los inundables sujetos a las mareas, no se reportan cultivos, así como en aquellos suelos podzólicos y latosoles hidrohúmicos, situados al Norte del país.

### 1.2.3 MANEJO DEL CULTIVO Y COSECHA

A continuación se presenta una descripción característica del manejo del cultivo y cosecha de la planta de añil en El Salvador:

a) *Época de siembra:*

Abril – mayo

b) *Siembra:*

Entre surco 0.80 m.

Entre planta 0.50 – 0.80 m.

c) *Sistema de siembra:*

Puede utilizarse semilla en vaina o en oro, utilizándose para cada caso 12 Lbs./Mz. de semilla en vaina y 2-3 Lbs. por manzana para semilla en oro. Si las siembras se realizan en surcos a chorro seguido, las cantidades de semilla en vaina podrían alcanzar valores de 80 Lbs./Mz.

en surcos de 1.0 a 1.5 m. entre ellos. También podría utilizarse el sistema de trasplante, para ello las plántulas deberán llevarse al terreno definitivo en un promedio de 20 días después de realizado el almácigo, en 0.80 m. en cuadro y una planta por postura.

d) *Fertilización:*

Se utiliza fertilizante orgánico (composta), al momento de la siembra en cantidades que van desde los 200 a 1000 kg. por Ha., pero para este tipo de fertilización, no existen datos de la respuesta de la planta. La mayoría de los agricultores no realiza ninguna aplicación de fertilizantes químicos ya sean granulados o foliares.

e) *Control de insectos y enfermedades:*

No se reportan daños de plagas y enfermedades que tengan importancia económica. La mayoría de los agricultores no aplica ningún insecticida o fungicida al cultivo.

Algunos productores reportan daños principalmente de gusanos cortadores (larvas de lepidópteros) que dañan el follaje.

En el caso del control de malezas, se realiza en forma manual y generalmente esta práctica se lleva a cabo dos veces por año. En otros casos, el control de malezas es manual mas una aplicación de herbicidas orgánicos.

f) *Cosecha:*

Para la cosecha se realiza un corte total de 0.30 – 0.40 m. del suelo hacia arriba, lográndose para el primer año un corte y dos cortes por año, durante los años 2 y 3 de producción. Los sistemas de recolección son manuales, utilizándose para ésto tijeras de podar o corvos.

g) *Producción y Rendimiento:*

El rendimiento está en función del material verde, la variedad cultivada, distanciamiento de siembra, prácticas agrícolas, suelos y condiciones de humedad durante el ciclo vegetativo, así como del proceso de extracción de la tinta en la fase agroindustrial.

La fase agroindustrial depende de la fase agrícola, tanto en el volumen de biomasa como del tinte, existiendo rendimientos para las variedades *I. guatemalensis* y *I. suffruticosa* en los rangos del 30 al 55% de indigotina, éstas son las variedades que se explotan actualmente en el país.

### 1.3 COMPOSICION QUÍMICA DE LA PLANTA Y COLORANTE DE AÑIL

(SHIRATA YOSHIKO, *Colorantes Naturales*, 1996)

La planta de añil contiene un glucósido natural incoloro que se llama *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 anólico, análogo a un fenol) que da una solución incolora. Este proceso se explica químicamente en la figura 1.2.

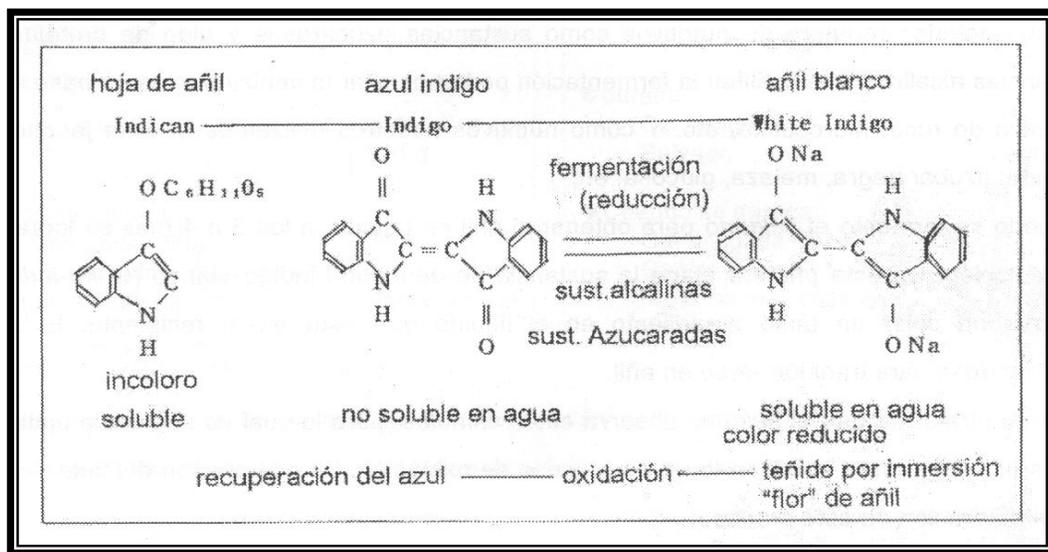


Figura 1.2. Elaboración y teñido en Añil

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, que se observa en la figura 1.3.



**Figura 1.3.** Tinte de Añil

El colorante de añil contiene indirrubina o rojo de índigo, indihumina o pardo de índigo, sustancia gelatinosa, materiales nitrogenados y sales minerales como arena, silicato, calcio, potasio, manganeso, hierro, etc. El de buena calidad, no debe producir más del 70% de ceniza ligera, flota sobre el agua y es de color azul oscuro. La indigotina calentada a  $290^{\circ}\text{C}$  se sublima, casi es inalterada en el vacío, insoluble en agua, alcohol frío, éter, ácidos o álcalis diluidos y aceites grasos. Se disuelve en piridina, ácido acético glacial, nitrobenzol, ácido sulfúrico concentrado formando según las condiciones en que se opera, ácido mono, di, tri, o tetrasulfoindigótico.

## **2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL COLORANTE DE AÑIL EN EL SALVADOR** *(JICA, Estudio del Sub-Sector Añil en El Salvador, Cap.5,2003)*

En general, los procedimientos de extracción del Añil no han variado mucho desde la colonia, las principales variantes se observan en la utilización de bombas achicadoras para el oxigenado y compresores que bombean aire desde la base del obraje.

La infraestructura de extracción no ha variado, esta constituida por dos pilas principales. Hay productores que han duplicado la pila de batido para poder ampliar la capacidad de extracción, esto es, cuando se vacía la pila de fermentado se descarga en la primera pila, inmediatamente se vuelve a llenar y descarga en la segunda pila. Otras variaciones pueden darse en el proceso, dependiendo del productor y del tipo de obraje. como se ejemplifica en el cuadro 3.1.

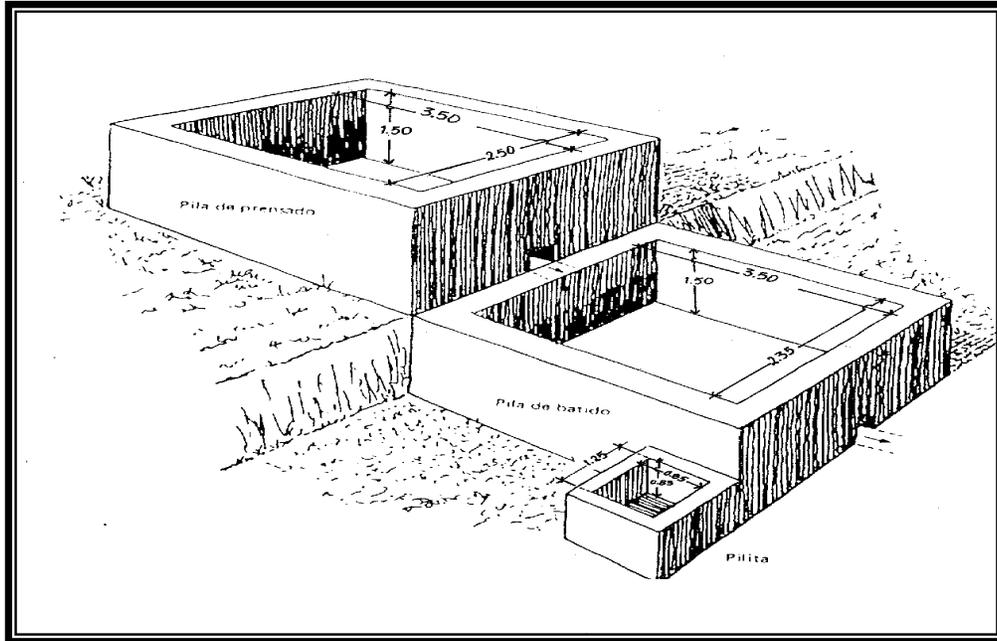
El obraje en la actualidad, consta de tres pilas principales y un depósito construido bajo tierra, a manera de pozo de absorción, el cual capta las aguas residuales.

Las pilas están construidas de ladrillo y cemento afinado en sus paredes internas. En la figura 2.1, se presenta un modelo de obraje con sus medidas.

La mayor parte de los obrajes, están construidos bajo el mismo principio: una pila de remojo, una pila de batido y una pila pequeña para recoger el Añil.

<b>OBRAJE</b>	<b>AGRISAL/EL SAUCE, S.A. DE C.V.</b>	<b>AGRO-INAGOR S.A. DE C.V.</b>
<b>TIPO DE OBRAJE</b>	Es un obraje inicial, de 1.5 m <sup>3</sup> por pila, la capacidad es para unas 400 lb. de material verde (rama y hojas), su construcción es de piedra, cascajo, arena, cal y cemento.	El tipo de obraje con el que se cuenta tiene una capacidad de 2 tns.
<b>MATERIAL UTILIZADO</b>	Hoja seca, puntas verdes y frescas, se utiliza rama entera y se trata de cortar antes de la floración o al inicio de éste.	Hoja con tallo.
<b>AGUA UTILIZADA</b>	Agua de nacimiento, clara, sin residuos arcillosos visibles.	Agua de nacimiento, captada por cajas, llega al obraje por gravedad a través de tuberías.
<b>ETAPAS DEL PROCESO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* <i>Prensado o remojo</i>: se prensa uniformemente en toda la pila, luego se pone una zaranda de metal de ¼ de pulgada, encima tablas, troncos y piedras.</li> <li>* <i>Batido</i>: con paletas, por un periodo hasta de 7 horas.</li> <li>* <i>Sedimentación</i>: Se deja sedimentar hasta 24 horas.</li> <li>* <i>Tendales</i>: se usa mantas de algodón conocidas como mantas colochas y gruesas.</li> <li>* <i>Cocinado</i>: antes y después de los tendales, por un periodo igual, hasta llegar al punto previo a la ebullición.</li> <li>* <i>Secado</i>: directamente al sol, sobre tablas de madera y en un secador solar de madera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* <i>Prensado o remojo</i>: el material verde permanece de 15 a 20 hrs. en maceración.</li> <li>* <i>Batido</i>: con bomba achicadora durante 1 hora.</li> <li>* <i>Sedimentación</i>: Se deja sedimentar durante 24 horas.</li> <li>* <i>Tendales</i>: filtrado con manta corriente (tela), permaneciendo 2 días durante este proceso.</li> <li>* <i>Cocinado</i>: con leña en peroles aproximadamente por 45 minutos, en constante movimiento con paletas de madera.</li> <li>* <i>Secado</i>: al sol en bandejas de madera, permaneciendo aproximadamente 2 días.</li> </ul>
<b>RENDIMIENTOS</b>	150 lb. de hoja seca dan 1 lb. de añil. 350 lb. de material verde dan 1 lb. 4 - 10 oz. de añil	De 4 a 5 Kg. Por tonelada de material verde, con un 43% de indigotina.
<b>MANEJO DE DESECHOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* <i>Aguas residuales</i>: ningún tratamiento, se agregan a volúmenes mucho mayores en una zacatera de corte.</li> <li>* <i>Desechos sólidos</i>: secados directamente al sol, en tendidos ralos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* <i>Aguas residuales</i>: descargadas al resumidero del obraje.</li> <li>* <i>Desechos sólidos</i>: utilizados en la producción de abono orgánico</li> </ul>

**Cuadro 3.1** Procesamiento de Añil en El Salvador (Referencia 7)



**Figura 2.1.** Diagrama de distribución de pilas en un obraje  
(JICA, Estudio del Subsector añil en El Salvador, 2003)

El proceso de extracción se describe a continuación:

a) Fermentación

La planta completa, ramas y hojas, se depositan a lo largo, en una pila de remojo o fermentación, dispuestas ordenadamente. Los manojos del material verde se apilan sueltos dentro de la pila, posteriormente se prensa el material verde con cualquier peso, para evitar que las plantas floten, luego se llena la pila con agua, hasta cubrir el material unos 10 centímetros arriba de su nivel del material depositado. Se deja reposar de 12 - 14 horas hasta ver una especie de nata sobre la superficie del agua.

b) Oxigenado

Al observar el color verde azulado y una especie de nata tornasol sobre la superficie del agua, se traslada el líquido a la pila de batido u oxigenación, con la finalidad de proseguir con el segundo paso el cual es el oxigenado.

El proceso del oxigenado se lleva a cabo con remos o bomba aspirante e impelente, la cual succiona el agua y retorna y a la vez se agita el agua con la misma manguera de la bomba, hasta que parezca una espuma de color blanco.

El procedimiento se prolonga hasta que la espuma desaparezca, lo cual sucede en aproximadamente una o tres horas dependiendo del método de oxigenación empleado.

Se deja reposar el agua hasta el siguiente día, para luego proseguir con la descarga del agua.

#### c) Descargado

Luego de completar el proceso de oxigenación, el índigo se precipita en el fondo. El agua remanente se descarga lentamente y se deposita ya sea en un pozo de absorción ó directamente al medio ambiente.

Lo que queda adherido a las paredes y al fondo se recupera usando esponjas.

#### d) Filtrado

El índigo es recogido en canastos que hacen las veces de filtro y se traslada a la tercera pila, ya que presenta un estado semilíquido al decantar el agua de la misma.

El índigo es colocado en tendales de manta y comienza a secarse, para luego llevarlo al proceso de cocción.

Este procedimiento de secado puede durar todo un día y al finalizar éste, queda una pasta color azul oscuro, la cual es calentada o cocinada al fuego hasta llegar a ebullición por unos 45 minutos, esto con la finalidad de extraerle el agua restante. Luego es enfriada y colocada en tablonas, los cuales son puestos al sol para su último secado.

e) Molido y Empacado

La pasta ya endurecida al sol es pulverizada para homogenizarla y colocada en bolsas de polietileno. Estas bolsas se colocan en sacos para su exportación.

### **3. SITUACION ACTUAL DEL AÑIL EN EL SALVADOR** (JICA, *Estudio del Sub-Sector Añil en El Salvador ,Cap.2, 2003*)

#### 3.1 ZONAS DE PRODUCCION

En el Cuadro 3.2, se presentan los municipios en los cuales se ha localizado a productores de Añil.

Puede observarse que las mayores zonas de cultivo, se desarrollan en el oriente de El Salvador. Según las evidencias, la expansión de las áreas no representa problema pues los datos históricos nos muestran que el Añil se puede sembrar en todo el territorio nacional, hasta alturas de 1000 metros sobre el nivel del mar.

Las zonas de cultivo actual presentan evidencias de los cultivos de la época colonial pues se han encontrado restos de obrajes en todos los sitios de producción. Se reportan cuatro variedades de índigo:

1. *Indigofera guatemalensis*

En el departamento de San Salvador.

2. *Indigofera lespedizioides.*

En el departamento de Santa Ana.

3. *Indigofera suffruticosa.*

En San Salvador y en casi todas las partes del país.

4. *Indifofera mucronata*

Departamento de San Miguel.

Las especies *I.guatemalensis* e *I.suffruticosa,* son las más explotadas, mostrando ambas una alta adaptación a las diferentes zonas productoras.

DEPTO.	MUNICIPIO	CANTON	AREA HECTAREAS (Has.)	PRODUCTORES
San Miguel	1-San Miguel	El Niño	3.54	Varios
	San Miguel	San Antonio Silva	7.07	Miguel Espinal
	El Delirio		14.14	
	2-Moncagua	Platanar	3.54	Pedro Portillo
	3-Chapeltique	San Pedro	1.41	Cooperativa
	4-Sesori		*	
	5-Ciudad Barrios		*	
	6-Chinameca		*	
	7-Nueva Guadalupe		*	
	8-Chirilagua	Chilanguera	2.12	Francisco Romero
Usulután	9-Jiquilisco	Tierra Blanca	21.21	Fernando Argueta
	10-San Fco. Javier	Santa Fe	3.54	Lucio Rodríguez
	11-Mercedes Umaña		*	
	12-Santiago de María		*	
	13-Ozatlán		*	
	14-Berlín		*	
La Unión	15-El Carmen	Olomega	3.54	Varios
Morazán	16-San Simón		12.73	Varios
	17-San Fco. Gotera	Cacahuatalejo	35.36	Varios
	San Fco. Gotera	El Triunfo	7.07	Varios
	18-Lolotiquillo	El Manzanillo	7.07	Miguel Espinal
	19-Sociedad	El Pital	2.12	Varios
	20-Joateca	San José	12.73	Dos productores
	21-Corinto		2.82	Varios
	22-Oscicala		2.82	Varios
Cabañas	23-Guacotecti		31.82*	34 productores
	24-Cinquera		4.24*	
	25-Tejutepeque		17.5	Varios
Santa Ana	26-Metapán		14.14	
	27-Chalchuapa		2.10	Varios
	28-Existepeque		8.49	
	29-Santa Ana	El Sauce	16.0	
La Libertad	30-S. José Villanueva	S. Juan Buenavista	8.49	
San Salvador	31-San Salvador	El Paisnal	14.14	
Chalatenango	32-Nombre de Jesús		4.24	
	33-Las Flores	Guancorita	3.54	
	34-Nueva Concepción		28.0	
La Paz	35-El rosario		4.9	un productor

\*comunidades interesadas en producir Añil

**Cuadro 3.2** El Salvador: Zonas productoras de añil por departamento, municipio, cantón, área y productores. Año 2003. (JICA, Estudio del Subsector añil en El Salvador, 2003)

### 3.2 PRODUCTORES

Actualmente los productores de Añil son alrededor de 97. Hay un potencial de 889 productores que están organizándose en el oriente del país. La extracción del Añil se realiza en 30 obrajes distribuidos en su mayor parte en la zona central. En el Cuadro 3.3, se presenta el número aproximado de productores y obrajes.

<b>NOMBRE</b>	<b>PRODUCTORES</b>	<b>PRODUCTORES POTENCIALES*</b>	<b>OBRAJES</b>
<i>AZULES</i>	<i>27</i>	<i>0</i>	<i>25</i>
<i>ADAZOES</i>	<i>60</i>	<i>300</i>	<i>1</i>
<i>COROBAN</i>	<i>4</i>	<i>46</i>	<i>1</i>
<i>MESOAMERICA</i>	<i>2</i>	<i>23</i>	<i>0</i>
<i>CHALATENANGO</i>	<i>3</i>	<i>0</i>	<i>3</i>
<i>MAPLE S.A.</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>CABAÑAS *</i>	<i>0</i>	<i>250</i>	<i>0</i>
<i>BERLÍN *</i>	<i>0</i>	<i>200</i>	<i>0</i>
<i>NUEVA GUADALUPE *</i>	<i>0</i>	<i>70</i>	<i>0</i>
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>	<b>889</b>	<b>30</b>

\*Los productores potenciales son aquellos que no tienen experiencia en el cultivo pero tienen Intenciones de siembra para el año 2003

**Cuadro 3.3** Número Aproximado de productores y obrajes .Año 2003  
(JICA, estudio del Subsector añil en el Salvador, 2003)

El grupo mejor organizado dentro de los añileros, es la Asociación de Añileros de El Salvador –AZULES-, que cuenta con 27 productores e incluye dos empresas especializadas en teñido de ropa y artesanías con Añil. Los

productores de oriente, aglutinados en dos núcleos: Uno en Morazán de 50 productores organizados alrededor de la Cooperativa -COROBAN- y otro en San Miguel aglutinados en la Asociación de Añileros de la Zona Oriental de El Salvador -ADAZOES-, que aglutinan a unos 360 productores. En Cabañas, de acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería, se está promoviendo un grupo de 250 productores. Finalmente, se reportan 3 productores en Chalatenango, 1 en La Paz. Estos constituyen los principales grupos que impulsan la actividad añilera en El Salvador.

De acuerdo a las visitas de campo, hay aproximadamente 264.37 Has. cultivadas de Añil, 36 Has. potenciales identificadas y 8 municipios en los cuales se ha expresado el interés de cultivar el Añil (ver Cuadro 3.2)

Para la extracción de tinte, se cuenta con 30 obrajes. La mayor parte de éstos pertenecen a miembros del grupo AZULES, quienes reportan 25 obrajes; 1 obraje experimental en el Parque Arqueológico y Taller de Teñido Casa Blanca y 3 en Chalatenango. Están en proceso de construcción dos obrajes más, uno experimental del Ministerio de Agricultura y Ganadería en Guacotecti y otro en San Miguel del grupo ADAZOES.

### **3.3 MERCADO**

#### **3.3.1 DEMANDA NACIONAL**

La demanda de productos, es realizada por artesanos quienes consumen alrededor de 650 kg para el teñido de hilos, telas, ropa, tejidos artesanales y pinturas del tipo acuarelas. La demanda interna se presenta creciente en la medida que los artesanos utilizan y encuentran nuevas aplicaciones del Añil, al mismo tiempo, en algunos meses hay problemas de abastecimiento por falta de producto.

El desarrollo de la demanda interna presenta tendencias positivas a los productores. De acuerdo a ECONATURE, los precios internos son similares a

los precios internacionales y hay escasez de producto. Esta situación limita fuertemente el desarrollo de las empresas teñidoras pues no logran llenar los pedidos grandes de prendas de vestir teñidas con Añil.

### 3.3.2. OFERTA DE TINTE NACIONAL

La oferta de producto es de 1500 kg , de éste total, si deducimos el consumo interno la oferta exportable de tinte se reduce a 850 kg.

Se espera que la oferta aumente en la cosecha 2003 a unos 3,000 kg de acuerdo a las intenciones de siembra e incremento de la capacidad de obraje.

En el Cuadro 3.4 se presentan las exportaciones de Añil de 1997 al 2002 por país de destino y volumen. La mayor exportación realizada se hizo en el año 2002, exportándose 550 kg de Añil con destino a Alemania y Francia.

AÑO	PAIS	VOLUMEN( kg)
1997	Turquía	30
1999	Suiza	60
2000	Suiza	100
2001	Alemania	100
2002	Alemania	500
2002	Francia	50

**Cuadro 3.4.** El Salvador. Exportaciones de Añil 1997-2002  
(JICA, estudio del Subsector añil en el Salvador, 2003)

### 3.3.3 PRECIOS

El precio del Añil de exportación de El Salvador, ha oscilado entre \$35.00 a \$45.00 por kg, de acuerdo a datos de productores y de la Asociación de Añileros de El Salvador -AZULES-. La norma para establecer el precio ha sido

el pago de \$1.00 por grado de Indigotina<sup>1</sup>, así a mayor grado de concentración de Indigotina mayor precio.

En el Cuadro 3.5, se presenta una relación entre concentración de Indigotina y precio.

<b>% DE INDIGOTINA</b>	<b>PRECIO EN \$ / kg</b>
20	17.50
30	26.25
40	35.00
45	39.38
50	43.75
60	52.50

**Cuadro 3.5.** El salvador: porcentaje de indigotina y precio/kg. año 2002  
Estimación en base a informe de Mercado de colorantes naturales y AZULES. (*Estudio del Subsector añil en El Salvador, 2003*)

De acuerdo a un estudio de mercado sobre tintes naturales<sup>2</sup>, el precio al por menor del Añil era de \$28.00 la libra (\$61.60 / kg) en 1998.

---

<sup>1</sup> El grado de concentración de Indigotina es la que designa la calidad del Añil, se estima que una concentración mayor al 30% ya es comercializable como calidad.

<sup>2</sup> Fintrac Market Surveys: Natural Dyes. [www.raise.org](http://www.raise.org)

#### **4. FUNDAMENTOS DE SECADO**

(CRUZ F., MÉNDEZ J., SOTO F., *Diseño y Construcción de un secador por lotes de tipo charola, para ser utilizado como instrumento de enseñanza en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador, 2000.*)

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de diversos materiales orgánicos e inorgánicos. Es un proceso copiado de la naturaleza; nosotros hemos mejorado ciertas características de la operación. El secado es el método de conservación de alimentos mas ampliamente usado.

Los productos que tradicionalmente han sido sometidos al secado son, en primer lugar, los cereales, y en menor grado, las carnes, el pescado, y algunos vegetales, frutas y hierbas. Es importante señalar que todos los métodos de secado se han ido desarrollando debido a que resultaban convenientes o aceptables para determinadas condiciones ambientales.

En general el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante grandes. En la evaporación, el agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con el aire. La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con la que éste circule alrededor del producto, su grado de sequedad, etcétera), y de las características del producto (su composición, su contenido de humedad, el tamaño de las partículas, etcétera).

El contenido de humedad en el producto seco final varía ya que depende del tipo de producto. El secado suele ser la etapa final de los procesos antes del empaque y permite que muchos materiales, como los jabones en polvo y los colorantes, sean más adecuados para su manejo.

El mecanismo de las operaciones de secado en términos generales se realiza de dos maneras:

- a) Por medios mecánicos, estos métodos no se consideran como una operación de secado, aunque a menudo se procede a una operación de esta naturaleza, ya que es menos costoso y muchas veces más fácil de utilizar, tal como: la estrucción y la compresión.
- b) Por evaporación, este involucra los conceptos de transferencia de masa y calor.

#### **4.1 OBJETIVOS DEL PROCESO DE SECADO**

El objeto fundamental del secado es el de disminuir el contenido de agua de sólidos húmedos hasta dejarlos en un límite conveniente para garantizar su conservación en el almacenamiento y comercialización.

En el caso de materiales biológicos el secado se usa como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer ni multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en los alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 56 % en peso en los alimentos, para preservar el sabor y el valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastantes largos.

#### **4.2 CONCEPTOS IMPORTANTES**

A continuación se resumen ciertos términos que utilizaremos para describir el contenido de humedad de las sustancias:

Contenido de humedad, en base húmeda. El contenido de humedad de un sólido o solución generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda, es decir, como (kg humedad/ kg sólido

húmedo)100 = [kg humedad/(kg sólido seco + kg humedad)] 100 = 100X/(1 + X).

Contenido de humedad, base seca. Se expresa como kg humedad/kg sólido seco = X. Porcentaje de humedad, base seca = 100X.

Humedad en el equilibrio X\*. Es el contenido de humedad de una sustancia que está en el equilibrio con una presión parcial dada del vapor.

Humedad ligada. Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura.

Humedad no ligada. Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

Humedad libre. La humedad libre es la humedad contenida por una sustancia en exceso de la humedad en el equilibrio:  $X - X^*$ . Sólo puede evaporarse la humedad libre; el contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración del vapor en el gas.

Difusión interna. Se define como el movimiento del líquido o el vapor a través del sólido, como resultado de una diferencia de concentración.

Periodo de Velocidad de secado constante. Es el lapso de secado durante el cual la velocidad de eliminación del agua por unidad de superficie secada es constante y uniforme.

Humedad Crítica. Es el contenido de humedad promedio cuando concluye el período de velocidad de secado constante.

Período de Velocidad decreciente. Es el lapso de secado durante el cual la velocidad instantánea de secado disminuye en forma continua.

#### **4.3 MÉTODOS GENERALES DE SECADO**

Los métodos y procesos de secado pueden clasificarse de diferentes maneras. Estos procesos pueden dividirse por *lotes* cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo de tiempo, o *continuos*, donde el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo.

Los procesos de secado pueden clasificarse también de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer el vapor de agua: (1) en la primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire; (2) en el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con mayor rapidez a presiones bajas y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación (también pueden usarse temperaturas bajas con vacío para ciertos materiales que pueden decolorarse o descomponerse a temperaturas altas); (3) en el secado por congelación, el agua se sublima directamente del material congelado.

#### **4.4 CONDICIONES GENERALES PARA EL SECADO**

El secado de sólidos incluye dos procesos fundamentales y simultáneos:

- a) Se transmite calor para evaporar el líquido
- b) Se transmite masa en forma de líquido a vapor dentro del sólido y como vapor desde de la superficie.

Los factores que regulan las velocidades de este proceso determinan la rapidez o el índice de secado. En la mayoría de secadores industriales los métodos de transferencia de calor utilizados difieren fundamentalmente entre si, ya que la

transferencia de calor puede ser por convección, conducción, radiación o una combinación de estos. Sin embargo, en cada caso, el calor debe fluir hacia la superficie externa y luego hacia el interior del sólido. La única excepción es el secado dieléctrico y de microondas, en donde la electricidad de alta frecuencia genera calor internamente creando una temperatura elevada dentro del material y la superficie.

La masa se transfiere durante el secado en forma de líquido o vapor dentro del sólido y como vapor que se desprende de las superficies expuestas.

Un estudio de la forma cómo se seca un sólido se puede basar en el *mecanismo interno de flujo de líquido* o en el *efecto de las condiciones externas* (temperatura, humedad, flujo de aire, estado de subdivisión, espesor de la bandeja, etc.) en la velocidad de secado del sólido.

#### 4.4.1 VELOCIDAD DE SECADO POR LOTES

Con el fin de fijar horarios de secado y determinar el tamaño del equipo, es necesario saber el tiempo que se requerirá para secar una sustancia a partir de un contenido de humedad a otro en condiciones específicas. También si se desea calcular el efecto que tendrán las diferentes condiciones de secado en el tiempo del secado.

Las curvas de velocidad de secado son una forma gráfica de representar la velocidad de secado de un producto con respecto al contenido de humedad libre que este contiene.

El conocimiento del mecanismo del secado es tan incompleto que, salvo pocas excepciones, es necesario confiar al menos en algunas mediciones experimentales. Las mediciones de la rapidez del secado por lotes son relativamente fáciles y proporcionan mucha información no solo para la operación por lotes sino también para la operación continua.

#### 4.4.2 PRUEBAS DE SECADO

Para determinar experimentalmente la velocidad de evaporación de un material, se procede colocando una muestra en una bandeja. Si se trata de un material sólido, debe llenar por completo la bandeja de tal manera que quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida de peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado.

Al realizar experimentos de secado por lotes, deben observarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se asemejen lo más posible a las que imperarán en las operaciones a gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y debe introducirse en una bandeja similar a la que se usara en producción. La relación de superficie de secado a superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser los mismos y constante para simular un secado en condiciones invariables.

#### 4.4.3. PERIODOS DE SECADO

*(J.A. MILLÁN, I. GÓMEZ, J.L., GUTIERREZ DE ROZAS, Máquinas y Motores Térmicos, Secadero de Bandejas, 2001-2003.*

*<<http://scsx01.sc.ehu.es/nmwmigaj/secadero.htm>>*

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como peso total  $W$  del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos  $\theta$  horas en el período de secado. Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos.

- a) Se recalculan los datos, la pérdida de peso se debe expresar en términos de razones masa. Si  $W$  es el peso del sólido húmedo y  $W_s$  es el peso del sólido seco entonces:

$$X = \frac{W - W_s}{W_s} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa sólido seco}} \quad \text{ec. (4.1)}$$

- b) Usando los datos calculados con la ecuación (4.1) se traza una gráfica del contenido de humedad en función del tiempo  $\theta$  horas, tal como se presenta en la figura 4.1.
- c) Para obtener una curva de velocidad de secado, a partir de la figura 4.1, se miden las pendientes de las tangentes de la curva, lo cual proporciona valores de  $dX/d\theta$  para ciertos valores de  $\theta$ . Se calculan entonces, las velocidades  $N_w$  para cada punto con la expresión:

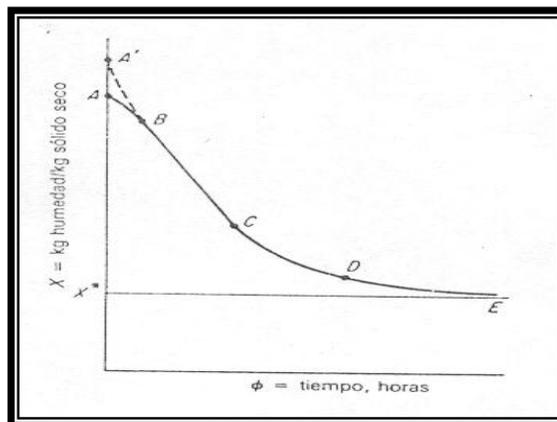
$$N_w = \frac{SS}{A} \frac{dX}{d\theta} \quad \text{ec. (4.2)}$$

donde:

$N_w$ : velocidad de secado en masa/(tiempo x área)

SS: peso de sólido seco

A: área de la superficie expuesta al secado



**Figura 4.1** Curva de Secado Obtenida de Datos Experimentales en función de la Humedad vrs tiempo (Treybal, 1998)

En la obtención de datos experimentales para cualquier material que pueda ser sometido a secado como la presentada en la figura 4.1, se hace énfasis que los sólidos deben perder humedad por:

- Evaporación desde una superficie saturada del sólido (tramo BC).
- A la cual sigue un periodo de evaporación de la superficie saturada que tiene un área gradualmente decreciente (tramo CD).
- Cuando el agua se evapora en el interior del sólido (tramo DE).

Entonces la curva de velocidad de secado, se obtiene graficando  $N_w$  en función del tiempo  $\theta$ , o la más utilizada  $N_w$  en función del contenido de humedad (figura 4.2).

Esta curva refleja el paso por distintos periodos a medida que la humedad del sólido se reduce desde un elevado valor inicial hasta el pequeño valor final, los cuales son los siguientes:

- I- Período Inicial.
- II- Período de velocidad constante ( $N_{wc}$ ).
- III- Primer período de velocidad descendente.
- IV- Segundo período de velocidad descendente.

#### 4.4.3.1 Período inicial (I)

La evaporación ocurre como desde una superficie libre y, usualmente, la temperatura incrementa desde su valor inicial ( $T_o$ ) hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire ( $T_{wb}$ ). En algunos casos, cuando la temperatura del producto es mayor que la correspondiente temperatura de bulbo húmedo del aire, el producto disminuye su temperatura. Este período inicial dura pocos minutos. ( $X_o$ : contenido de humedad inicial).

#### 4.4.3.2 Período de velocidad constante ( $N_{wc}$ ) (II)

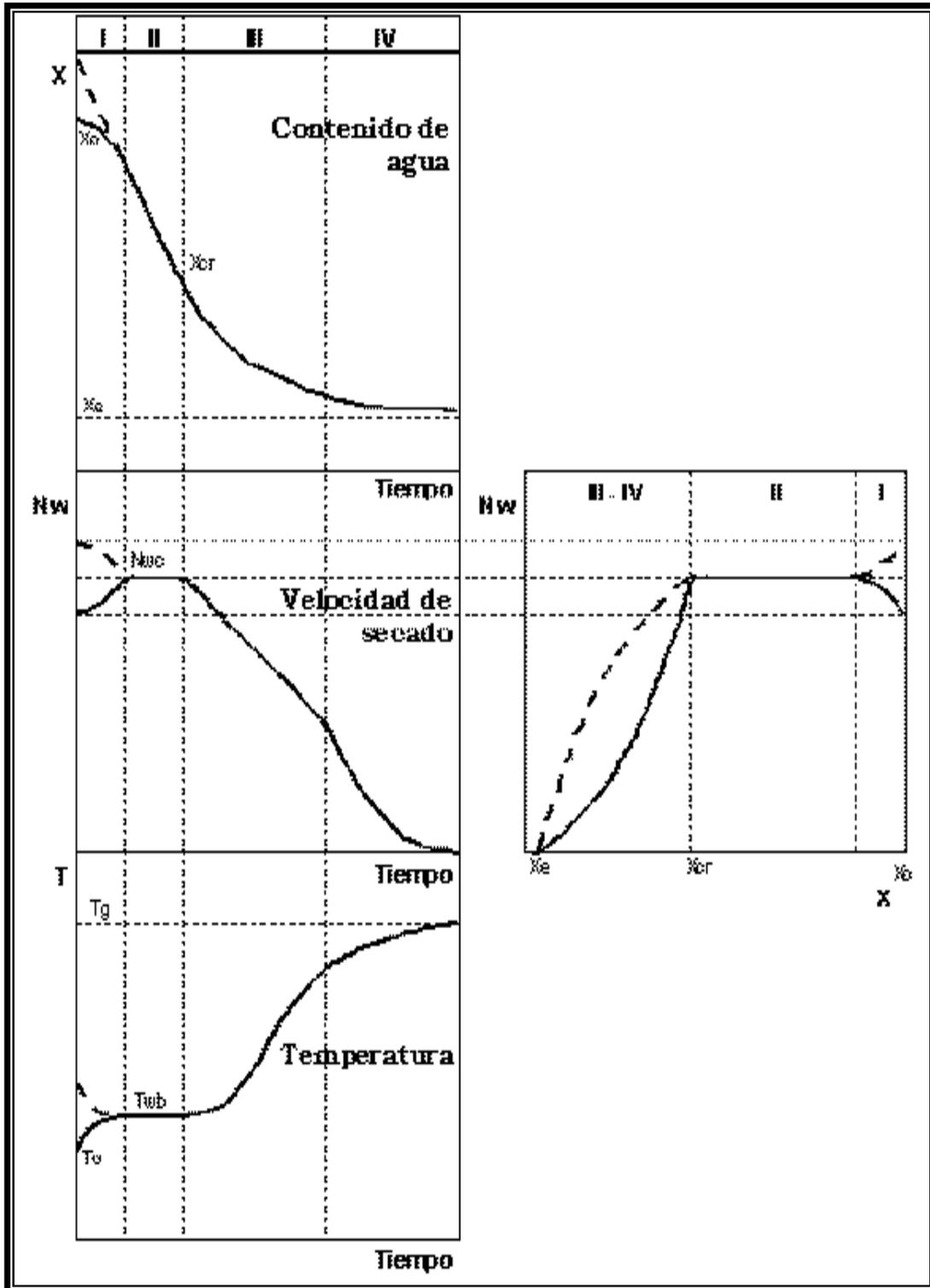
Durante este período el secado aún se lleva a cabo por evaporación de la humedad desde una superficie saturada (evaporación desde una superficie libre) y el material permanece a  $T_{wb}$ . La mayoría de los productos alimenticios no exhiben un período de velocidad de secado constante.

#### 4.4.3.3 Primer período de velocidad descendente (III)

El contenido de humedad al final del período de velocidad constante es el contenido de humedad crítico ( $X_{cr}$ ). En este punto la superficie del sólido ya no se encuentra saturada de agua, y la velocidad de secado disminuye con el decrecimiento en el contenido de humedad y el incremento en la temperatura. En el punto final de este período, el film de humedad superficial se ha evaporado completamente y, con el posterior decrecimiento en el contenido de humedad, la velocidad de secado es controlada por la velocidad de movimiento de la humedad dentro del sólido.

#### 4.4.3.4 Segundo período de velocidad descendente (IV)

Este período representa las condiciones correspondientes a una velocidad de secado totalmente independiente de las condiciones externas. La transferencia de humedad puede ocurrir por una combinación de difusión de líquido, movimiento capilar, y difusión de vapor. La temperatura del producto se acerca a la temperatura de bulbo seco ( $T_g$ ) y el contenido de humedad se aproxima asintóticamente al valor de equilibrio ( $X_e$ ).



**Figura 4.2** Representación esquemática de los períodos de la velocidad de secado. (X: contenido de humedad; Nw: velocidad de secado; T: temperatura) . (Referencia 18.)

## **5. SECADO DE HIERBAS Y ESPECIAS**

*(CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS. Curso corto: tecnología Post-cosecha y secado de hierbas y especias, 2000.)*

La razón más importante desde el punto de vista técnico por la que secamos las hierbas es su conservación; por este método se promueve el mantenimiento de los componentes del vegetal fresco y se evita la proliferación de microorganismos.

También hay aspectos comerciales: la desecación debe llevarse a cabo en las mejores condiciones para que las hierbas no pierdan nada del aspecto que deben presentar, para que cautiven y ejerzan la mayor atracción, así serán más apreciadas, más demandadas y , sobre todo, mejor pagadas.

Pero la cantidad de agua a extraer no debe superar ciertos valores, la planta no debe presentarse al comercio reseca y quebradiza, tal que al manipularla se convierta en polvo. En general, en el comercio existen valores establecidos de contenido de humedad para cada hierba o sus partes.

Por ejemplo, los siguientes son algunos valores para contenido de humedad de algunas hierbas, exigidos por Alemania para importar a ese país, aunque las empresas compradoras pueden exigir otros valores distintos.

El aire es el que absorbe el vapor de agua que se retira de las plantas por lo que no debe estar saturado, es decir, su humedad relativa debe ser baja, sea tanto que se utilice secado al aire libre como secado mecánico, y deberá renovarse a medida que sea necesario en tanto el producto no haya cedido el agua que contiene en exceso.

Los productos que se deben secar o los órganos de los vegetales que se someten a desecado pueden ser hojas, flores, frutos, semillas, raíces, cortezas, o plantas enteras, que ha menudo se hallan al estado herbáceo. Cada uno de estos órganos puede estar completamente aislado de los otros o tener

adherida una parte, como las hojas con una parte de las ramas, la raíz completa o descortezada o bien con el rizoma, etc.

HIERBA	HUMEDAD MAXIMA
Albahaca dulce	10 %
Laurel hojas	9 %
Eneldo	10 %
Mejorana	10 %
Orégano	11 %
Romero	9 %
Salvia	10 %
Ajedrea	12 %
Estragón	10 %
Tomillo	9 %

**Cuadro 5.1.** Contenido de Humedad de algunas hierbas para su comercialización (Referencia 11).

Cada producto reclama una desecación diferente, no solamente por la cantidad de agua que contiene, sino por el aspecto que debe presentar; las hierbas y las hojas deben secarse por lo común a temperatura moderada, en presencia de una cantidad grande de agua; las raíces, cortezas y rizomas pueden desecarse a temperaturas algo mayores.

Algunos productos pueden ponerse al sol, como las raíces de angélica y belladona; otros deben secarse únicamente a la sombra para que conserven el color natural, tal el caso de las hojas de angélica que en caso contrario se tornarían amarillas, las flores de acacia que se ennegrecerían, etc., en ambos casos evitando su exposición al rocío y la lluvia.

Podemos utilizar diversos métodos para el secado, sea que lo realicemos en forma natural o mecánica; de ésta última el más utilizado es el secado por aire caliente forzado.

Más, siempre convendrá realizarlo en condiciones que no permitan la contaminación del vegetal ni la disminución de su calidad terapéutica y comercial.

## **5.1 OPERACIONES PRELIMINARES**

Primeramente hay que tener en cuenta que dependiendo de la planta que nos interesa recolectar debemos distinguir dónde se encuentran los principios activos más intensos y en qué momento, etapa de crecimiento de la planta, parte de la planta y momento de recolección del día.

### **5.1.1 HORA DE RECOLECCIÓN**

Es importante la hora o momento de recolección de las plantas. El mejor momento es por la mañana, antes del mediodía y en día siempre soleado. Si lo hacemos muy temprano por la mañana el rocío puede llegar a estropear las plantas debido a la humedad, factor muy desfavorable para su conservación. Además por la mañana temprano observaremos que muchas plantas tienen las flores caídas, en estado de letargo, no estando sus propiedades al 100%. Tampoco es recomendable recolectarlas al mediodía, especialmente con plantas aromáticas ya que a esa hora el calor es excesivo y muchos de los aceites esenciales se volatilizan. Tampoco es aconsejable recolectarlas en la tarde o a la caída del sol ya que las plantas están adormecidas quedando adormecida su actividad productora. Podemos pues resumir que la mejor hora para recolectar en general las plantas es entre las 9 y las 11 de la mañana y en día soleado, hora en que encontraremos con toda probabilidad las plantas al 100%. Si recolectamos en día nublado las propiedades son menores, tardando más en secarse y teniendo más humedad.

### 5.1.2 CONSERVACION DE HIERBAS FRESCAS

La calidad de los productos agrícolas en general, alcanza su nivel máximo en el momento de la cosecha (color, apariencia, peso, contenido de aceites esenciales, otros), cuando es separado de la planta madre y se interrumpe la fuente de agua y nutrientes. La tecnología poscosecha se refiere a todas aquellas prácticas y operaciones que se realizan después de la cosecha, con el objetivo de preservar por el mayor tiempo posible, la calidad del producto fresco.

El deterioro de los productos frescos después de la cosecha es un proceso normal, que se quiere retardar, para que estos lleguen en buen estado. De ahí la importancia de conocer los factores que pueden afectar la calidad de tales productos, para identificar la estrategia para minimizar su efecto.

- Estrés en la etapa precosecha. Los niveles de estrés a que se someten la planta durante su desarrollo (deficiencias hídricas, nutricionales, clima, etc.), pueden afectar la susceptibilidad de los productos frescos al deterioro.
- Condiciones ambientales en el momento de la cosecha. Para las hierbas aromáticas, especias y planta medicinales, las condiciones de temperatura, humedad relativa y exposición al sol durante las horas de cosecha, afectan sensiblemente su calidad. La cosecha debe hacerse en las primeras horas del día para minimizar la pérdida de los aceites esenciales, cuya salida se ve favorecida en las horas más calientes del día.
- Infecciones latentes. Provenientes del campo, pueden desarrollarse rápidamente después de la cosecha, si no se toman medidas preventivas (fungicidas, bactericidas, desinfectantes, tratamientos con agua caliente) o si los productos se almacenan a temperatura ambiente y altos niveles de humedad relativa.

- Daños mecánicos por golpes, compresión o fricción (abrasivo). Resultantes de las operaciones en el campo y la planta empacadora. Estos daños debilitan los tejidos y los hacen más susceptible al ataque patológico y al deterioro.
- Condiciones ambientales durante el manejo. La temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire y la composición atmosférica afectan directamente la calidad y vida útil de los productos frescos. La tasa de deterioro de un producto está estrechamente relacionada con la temperatura a que se mantenga, con una relación exponencial, puesto que la tasa respiratoria aumenta de 2 a 3 veces por cada aumento en la temperatura de 10 °C. Una humedad relativa alta reduce los problemas de pérdida de peso de los productos frescos, mientras que cuando es baja, los favorece y el deterioro en la apariencia del producto se acelera.

La vida útil de los productos frescos es muy corta comparada con la de los productos deshidratados, lo que resalta la importancia de un manejo cuidadoso y rápido.

#### 5.1.2.1 Factores ambientales que afectan la calidad de los productos frescos

La calidad de los productos frescos se puede ver afectada por factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa del aire, la composición atmosférica, la incidencia directa del sol y la circulación del aire. Es importante conocer el efecto de la variación de los factores ambientales sobre la calidad de los productos frescos y familiarizarse con los requerimientos y particularidades de cada uno de ellos.

- Temperatura: a mayor temperatura, más rápidamente ocurren las reacciones metabólicas del producto, el producto transpira aceleradamente y la vida útil del producto se reduce.

- Humedad relativa: la humedad relativa es un factor que debe controlarse. Niveles bajos de humedad relativa favorecen la pérdida de humedad de los productos frescos, provocando pérdida de brillo, marchitez (en hojas, tallos y cáscara), turgencia y apariencia fresca de los productos. Una humedad relativa alta, disminuye el riesgo de deshidratación, pero puede favorecer el crecimiento de ciertos patógenos (hongos, bacterias, levaduras).
- Circulación del aire: el movimiento del aire cerca del producto, en el campo, la empacadora y los cuartos de almacenamiento refrigerados, permite un enfriamiento rápido, pero si se deja excesivamente, puede favorecer la deshidratación del producto, especialmente, si el ambiente tiene una humedad relativa baja.
- Exposición al sol: El sol puede calentar significativamente los productos frescos cuando estos se exponen directamente, provocando deshidratación, quemaduras y acelerando su deterioro. Se debe evitar exponer los productos al sol, especialmente durante las horas más calientes del día.
- Composición atmosférica: la atmósfera que rodea a los productos frescos puede favorecer o retardar el deterioro de un producto. Una alta concentración de dióxido de carbono en combinación con una baja concentración de oxígeno y almacenamiento a baja temperatura, tiene efecto beneficioso en algunos productos. La presencia de etileno en la atmósfera, es indeseable para casi todas las hierbas, por su efecto acelerador de la maduración, que hace que las hojas se tornen amarillas.

Las hierbas requieren también bajas temperaturas de almacenamiento, pero muy altos niveles de humedad relativa, lo anterior por la alta susceptibilidad los tejidos tiernos y las hojas a perder humedad.

### 5.1.2.2 Control de los factores ambientales

Los factores ambientales que se controlan con mayor frecuencia en la comercialización de los productos frescos son la temperatura y la humedad relativa.

La actividad metabólica de las hierbas, especias y plantas medicinales se incrementa al aumentar la temperatura y disminuye al reducirla. Para extender al máximo la vida útil de estos productos, se requiere de un cuarto frío para reducir la temperatura de los productos hasta su temperatura óptima de almacenamiento, y mantener una cadena de frío hasta el punto de trabajo, que asegure que no habrá fluctuaciones de temperatura.

La cadena de frío se refiere al mantenimiento de una temperatura dada (0 a 5 °C para las hierbas) durante la preparación, distribución y comercialización de estos productos, lo cual involucra controles en la planta procesadora, en los medios de transporte (equipo de refrigeración o aislamiento de las paredes) y en los puntos de venta (supermercados). La realidad en los países de Centroamérica y Panamá, con frecuencia no permite que tal cadena de frío se cumpla, y se dan fluctuaciones importantes de temperatura alcanzándose niveles del orden de los 25 - 30 °C, lo cual acelera considerablemente el deterioro de los productos.

Esta realidad, junto con la alta inversión requerida, no permite en muchos casos tomar las medidas para manipular los productos a sus condiciones ideales, y se deben buscar soluciones, que minimicen el deterioro del producto.

Las fluctuaciones de temperatura son totalmente indeseables, porque favorecen la condensación de agua dentro de los empaques plásticos, lo cual debilita los tejidos y los hace más propensos al ataque de microorganismos.

### 5.1.2.3 Empaque para las hierbas, especias y plantas medicinales frescas

Las hierbas frescas son muy propensas a la pérdida de humedad por la alta relación superficie/volumen, por lo cual el empaque debe proveer una protección para minimizar tales pérdidas. Las bolsas o películas plásticas son ideales para este tipo de producto, porque permiten el intercambio gaseoso con el ambiente (bolsas sin cerrar o con agujeros), a la vez que mantienen un microambiente de alta humedad relativa rodeando al producto. No se recomienda cerrar estos empaques, porque el intercambio de calor entre el producto y el ambiente se reduciría (tardaría más enfriándose), la composición atmosférica cambiaría (aumentando el CO<sub>2</sub> y reduciendo el O<sub>2</sub>), y con las fluctuaciones de temperatura durante el transporte la vida útil del producto podría reducirse.

Para algunos productos tales cambios en la composición podrían ser beneficiosos, siempre y cuando se seleccionen empaques con las permeabilidades al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua requeridos, se mantenga la cadena de frío desde la planta empacadora hasta el punto de venta, y se incorporen buenas prácticas de manufactura y programas de aseguramiento de la calidad que minimicen el riesgo de contaminación microbiológica dentro de los empaques.

Por lo anterior, para las hierbas frescas se recomienda el uso de .bolsas o fundas de polietileno abiertas o con perforaciones. El producto debe seleccionarse y escurrirse bien antes de empacarse, y debe mantenerse en un lugar fresco o, preferiblemente, refrigerado a 0 - 5 °C.

## **SISTEMAS DE SECADO**

*(PEGGY OTI-BOATENG, BARRIE AXTELL, Técnicas de Secado, 1998,  
<[http://www.fao.org/inpho/vlibrary/new\\_else/x5694s/x5694s03.htm](http://www.fao.org/inpho/vlibrary/new_else/x5694s/x5694s03.htm)>)*

Podemos utilizar diversos métodos para el secado, sea que lo realicemos en forma natural o mecánica; de ésta última el más utilizado es el secado por aire caliente forzado.

El éxito de un sistema de secado depende de una buena transferencia de masa y de calor en el secador. Para ello la transferencia de calor debe ser eficiente, y se debe mantener un gradiente de temperatura entre el medio desecante (aire) y el agua que se evaporará. Por su parte, para garantizar la eficiencia del proceso de transferencia de masa, debe siempre haber un gradiente de presiones de vapor (humedad relativa) entre el aire de secado y el lugar del producto donde ocurre la evaporación.

La migración del vapor del agua, las curvas de velocidad de secado y la actividad de agua, no restringen la eficiencia del secado, a menos que la migración se vea impedida por la formación de costras que restrinjan el paso del agua a través del producto.

#### 5.2.1 SECADO NATURAL

Si se cuenta con condiciones climáticas adecuadas, baja humedad relativa y temperaturas elevadas, el secado natural requiere poco gasto y es sencillo de realizar.

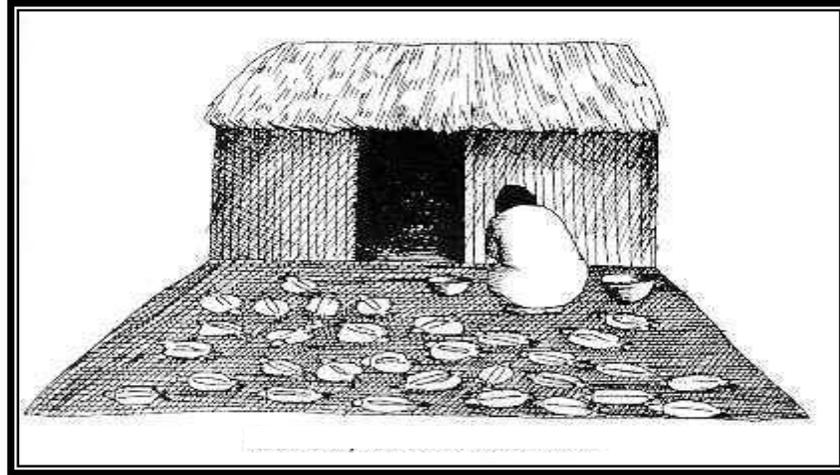
##### 5.2.1.1 Secado al sol

El simple secado al sol es el método más usado en el mundo. En algunos países, los cultivos se secan extendiéndolos sobre los caminos, en las playas o en los techos de las casas, aprovechando el calor absorbido por estas superficies. Muchas veces se usan las rocas planas con el mismo propósito. Con frecuencia el material se coloca sobre esteras, lo que contribuye a reducir la contaminación causada por el polvo y facilita la manipulación.

Estos simples métodos de secado tienen algunas ventajas:

- Prácticamente no requieren de ningún costo adicional, ya que no utilizan combustible.

- No necesitan estructuras permanentes, lo que permite que después de la estación de secado, el terreno quede disponible para la agricultura o para otros fines.



**Figura. 5.1.** Secado de pescado al Sol

Pero también tienen muchas limitaciones:

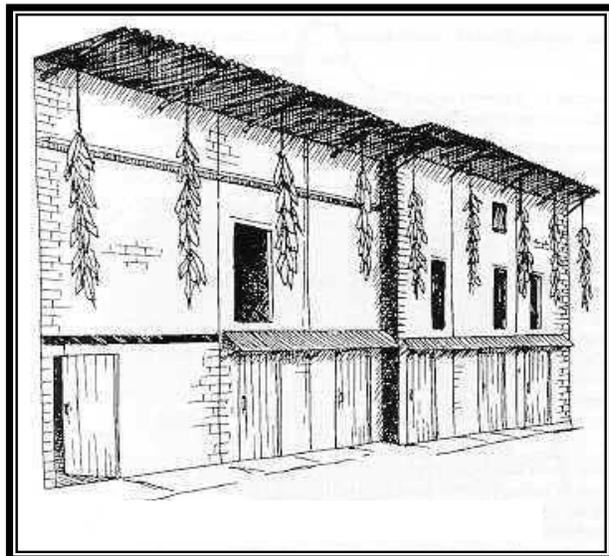
- La pérdida de humedad puede no ser constante, ya que depende del clima.
- El secado es muy lento y a menudo el producto no llega a secarse completamente en un solo día, por lo que debe permanecer expuesto durante toda la noche para finalizar su secado al día siguiente. Esto aumenta el riesgo de deterioro, en especial debido al desarrollo de hongos.
- Los niveles finales de humedad que se alcanzan no son lo suficientemente bajos, lo que aumenta las posibilidades de deterioro del producto durante el almacenado. En otras ocasiones, el producto alcanza niveles de secado superiores a los límites recomendables.
- El producto está expuesto a la contaminación por el polvo y la suciedad y a la infestación por insectos.
- Al permanecer a la intemperie puede ser dañado o hurtado por las aves u otros animales.

- En el caso de cultivos a granel, como los cereales, se necesita mucho terreno para colocar el grano.
- Se requiere de mano de obra adicional para extender el grano, voltearlo y recogerlo cuando hay riesgo de lluvia.
- Los granos pueden adquirir un color oscuro y el nivel de ciertos nutrientes, particularmente las vitaminas, puede disminuir por la exposición directa al sol (este riesgo es mayor en algunos productos que en otros).

El simple secado al sol se aplica a una amplia gama de productos tales como el pescado, la carne, los cereales, las menestras, las frutas, los vegetales y las raíces comestibles.

#### 5.2.1.2 Secado a la sombra

En algunos países, particularmente en aquellos de clima seco y con períodos de fuertes vientos, algunas de las limitaciones mencionadas pueden superarse por medio del secado a la sombra, utilizando los aleros de las viviendas, los balcones construidos especialmente. Así no hay tantas posibilidades de que el producto se oscurezca, se decolore o pierda vitaminas, y está protegido de la lluvia. Sin embargo, el secado a la sombra es un proceso lento, por lo que el producto está más expuesto al desarrollo de hongos.



**Figura 5.2.** Secado a la Sombra

Las hierbas se secan sin lavar, atadas en pequeños ramos y colgadas boca abajo. Hay que tener cuidado de que no se toquen unas a otras.

Ejemplos comunes de secado a la sombra incluyen vegetales de hoja, algunas hierbas y especias y el secado final del maíz.

#### 5.2.1.3 Secadores solares

Este sistema es ligeramente mejor que el secado por exposición directa al sol. Se utilizan estructuras con superficies que captan la radiación del aire y calientan el aire, que luego está en contacto con el producto. La circulación del aire puede ser natural o con ventiladores (forzada); en este último caso la eficiencia del secado aumenta considerablemente. El calentamiento del aire ayuda a tener una temperatura más uniforme durante el secado, pero la eficiencia de esos secadores depende de las condiciones climáticas, por lo que la temperatura sólo es parcialmente controlada.

Al igual que en el caso del secado por exposición directa al sol, se pierden muchos de los atributos de calidad del producto.

El uso de secadores solares tiene más ventajas que el secado al sol:

- Las temperaturas son más elevadas y, en consecuencia, los grados de humedad son menores. Esto trae como resultado un secado más rápido y una humedad final menor.
- Las temperaturas elevadas que se generan actúan como una barrera contra la presencia de insectos y el desarrollo de moho.
- El producto dentro de la secadora está protegido del polvo y los insectos.
- El ritmo de secado es más acelerado, y debido a su sistema de rejillas requiere de menor cantidad de terreno para extender el cultivo.
- Permite un grado considerable de protección contra la lluvia, lo que hace innecesaria mano de obra adicional para recoger el material.

- Resulta comparativamente más barato de construir y no necesita mano de obra especializada.

### 5.2.2 SECADO MECANICO

El secado artificial o mecánico determina mayores gastos pero tiene ventajas, pues al controlarse las variables del tratamiento, en el lapso de unas horas, es posible obtener un producto homogéneo y de buena calidad comercial.

Hay diversos métodos para deshidratar las hierbas, que pueden clasificarse, entre otras formas, de la siguiente manera:

- a.- Secado por aire caliente.
- b.- Secado por contacto directo con una superficie caliente.
- c.- Secado por aporte de energía de una fuente radiante de microondas o dieléctrica.
- d.- Liofilización.

De ellos, el más utilizado es la aplicación de una corriente de aire caliente.

La mayoría de los secadores de este tipo incorporan un quemador con un intercambiador de calor y un ventilador que permite la circulación de aire a través del producto. Por lo general se les adapta un termostato para controlar la temperatura del aire. Los tipos más comunes incluyen los secadores de bandejas (donde el aire caliente pasa a través de una serie de bandejas que contienen el producto); los secadores rotativas (el producto se coloca en un tambor rotativo a través del cual circula el aire) y a mayor escala; los secadores de túnel, donde pequeños coches con las bandejas pasan a través de éste. Si se usa un quemador a gas y el equipo está bien instalado, normalmente no se requiere incorporar un intercambiador de calor. Si bien estos secadores accionados a electricidad son más costosos, ofrecen grandes ventajas:

- Buen grado de control sobre el proceso.
- Total independencia de las variaciones climáticas locales.
- Producto final de superior calidad.

### **5.3 CRITERIOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO O SELECCIÓN DE UN SECADOR PARA HIERBAS Y ESPECIAS.**

Para poder conservar los atributos de calidad de estos productos (sabor, olor y alto contenido de aceites esenciales), las condiciones de secado deben ser leves en lo que se refiere a temperatura de secado y velocidad del aire, puesto que si esas variables se mantienen con niveles altos, se favorece la pérdida de esos componentes. La temperatura también puede causar un efecto negativo en el color de algunas especias como la cúrcuma.

Para hierbas varios autores recomiendan el secado con aire caliente a temperaturas cercanas a 35 °C, en secadores de gabinete o túnel, manteniendo velocidades de aire moderadas (0.5-1.0 m/s). Para aplicaciones pequeñas se recomienda el secado al aire libre, en un lugar sombreado (sin exponer directamente al sol) y ventilado. Para esas condiciones, y con el equipo adecuado, el secado puede realizarse en unas pocas horas.

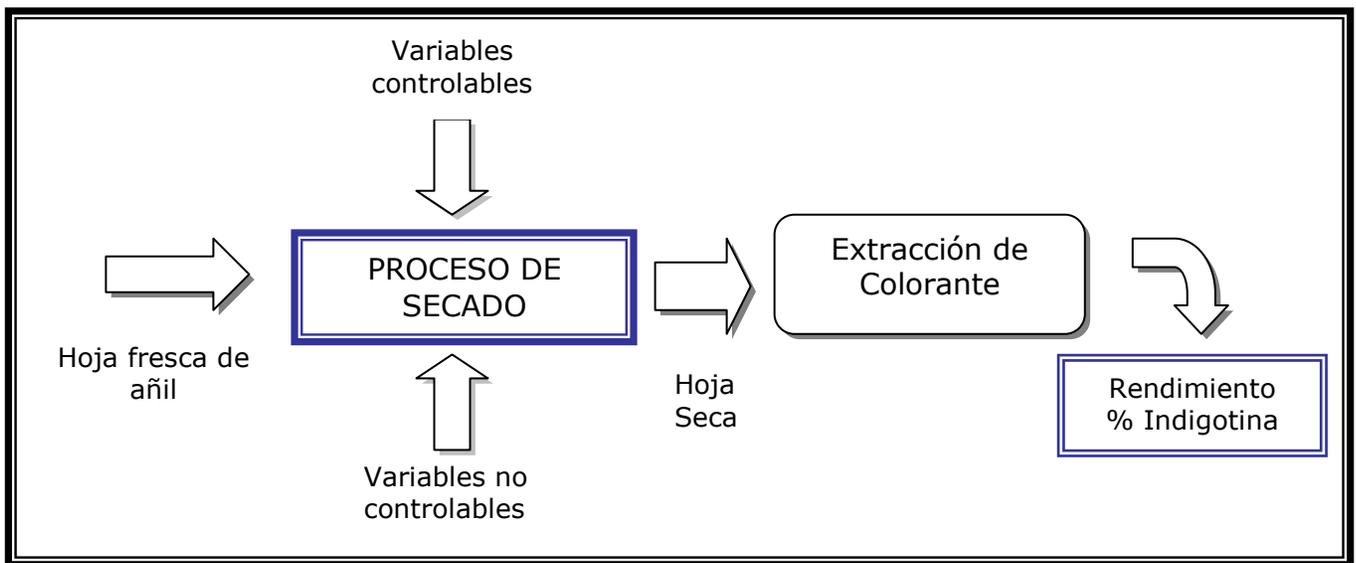
La literatura no menciona nada respecto a la humedad relativa del aire, pero vale la pena destacar que si las condiciones ambientales tienen una alta humedad relativa, y se usan temperaturas bajas, la deshidratación va a ser más lenta, por lo cual sería ideal que el secador se ubicara en un lugar fresco y seco.

Si se cuenta con un deshidratador, se deben hacer unas pruebas iniciales para determinar los tiempos de secado y la calidad final del producto usando distintas cantidades de producto y variando ligeramente las condiciones de temperatura y velocidad del aire. Estas pruebas permitirán identificar los niveles óptimos de estas variables y asegurar un producto final uniforme.

Similarmente, si el secado se hace de forma natural, se deben correr algunas pruebas para determinar los criterios que indicarán el momento de finalizar el secado.

## 6. METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACION

En la figura 6.1 se esquematiza el mecanismo de trabajo desarrollado en la investigación, con el objeto de determinar la posible relación existente entre distintos niveles de secado de la hoja de la planta de añil y sus respectivas características de calidad del colorante obtenido, sometiendo la hoja fresca a través de distintos procesos de secado.



**Figura 6.1.** Mecanismo de Trabajo

De lo anterior se deduce que las variables respuestas en las que se manifiesta el efecto del secado son: rendimiento en peso de colorante y su correspondiente porcentaje de indigotina.

Las variables que indican el nivel de secado de la hoja son: el porcentaje de humedad y el tiempo de secado de la hoja.

### 6.1 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SECADO

Los procesos de secado empleados en esta investigación son:

- ✓ Secado a la Sombra
- ✓ Secado Mecánico

Este último proceso de secado se divide en dos partes:

- Secado sin circulación de aire (Estufa a Nivel de Laboratorio)
- Secado con circulación de aire (Secador de bandejas por lotes)

La selección de los anteriores procesos de secado es el resultado de la evaluación de los recursos disponibles (equipo, materiales, tiempo de ejecución, entre otros) que facilitarán el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

## **6.2 DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL**

El proceso de investigación consiste en el desarrollo secuencial de cada uno de los siguientes componentes básicos:

### *1. Preparación y acondicionamiento de la materia prima.*

Consiste en la recolección y conservación de la hoja fresca de añil.

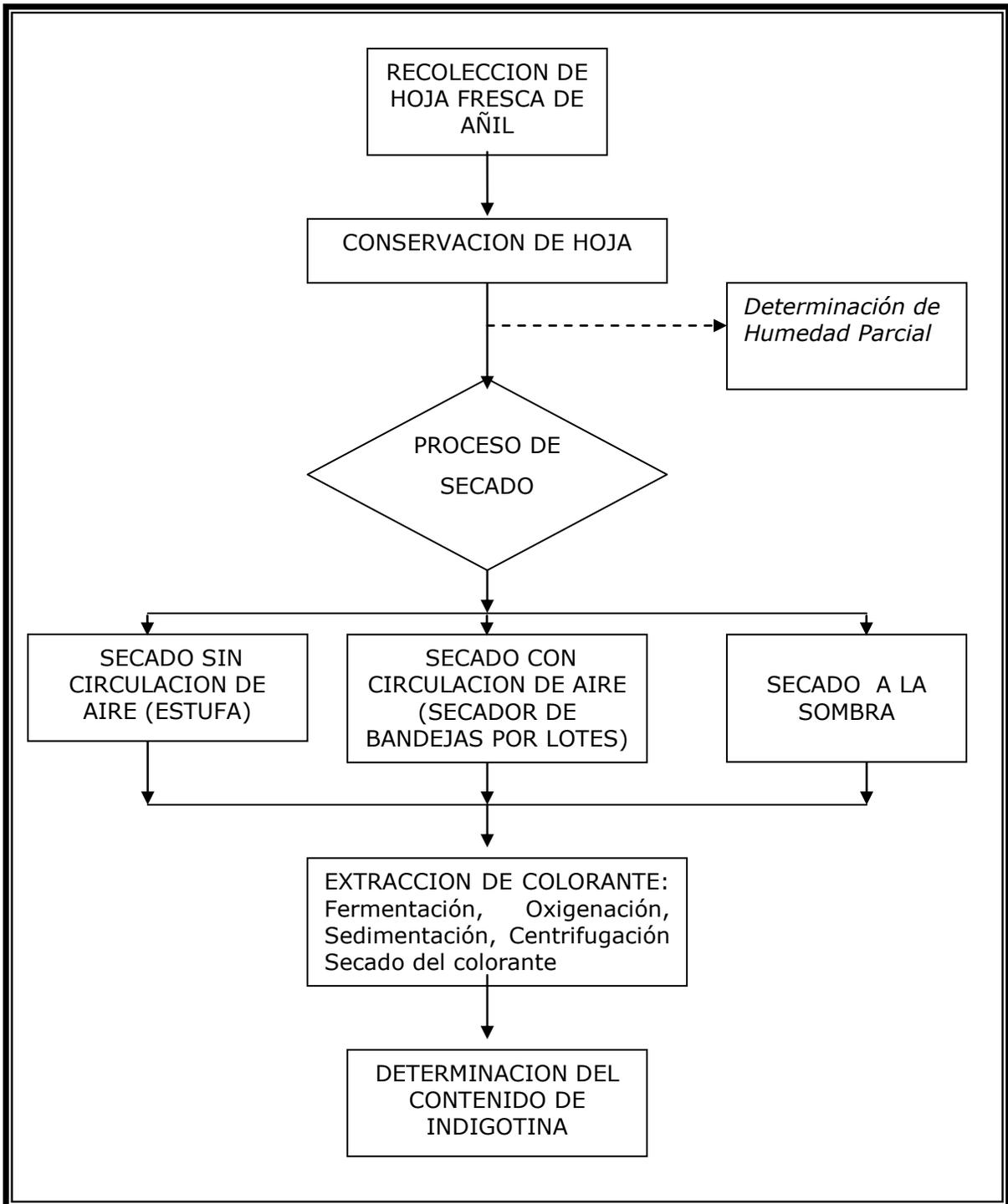
### *2. Proceso de Secado*

En el cual la hoja es sometida a diferentes condiciones de secado (temperatura, tiempo y humedad relativa del aire).

### *3. Extracción de Colorante y medición de su correspondiente contenido de indigotina*

Consiste en la realización de las etapas requeridas a través de las cuales se obtiene el colorante y su contenido de indigotina.

En la figura 6.2 se detallan de una manera mas amplia cada una de los pasos que conlleva al desarrollo de la etapa experimental.



**Figura 6.2.** Desarrollo de la etapa experimental

### 6.2.1 RECOLECCION DE HOJA FRESCA DE AÑIL

Las muestras utilizadas como materia prima en las pruebas consisten en hojas de la planta de añil de las especies *Indigofera Guatemalensis* e *Indigofera Suffructicosa* ambas en su primer año, primer corte tal como pueden observarse en la figura 6.3.



**Figura 6.3.** Variedades de añil:  
*I. Suffructicosa* (izquierda)  
*I. Guatemalensis* (derecha)

Estas fueron obtenidas de una plantación de añil (Hacienda Los Nacimientos), ubicada en el cantón San Lucas, caserío El trapichito, Municipio de Suchitoto en el departamento de Cuzcatlán. La figura 6.4 presenta el cultivo de la variedad *I. Guatemalensis* en dicha plantación.



**Figura 6.4.** Plantación de añil:  
Hacienda Los Nacimientos

En cada visita a la plantación se recolectaban aproximadamente 4 libras de planta de añil (hojas y tallos) de la variedad a trabajar, y 2 libras adicionales en los días en que se realizaban los análisis de Humedad Parcial de la Hoja.

### 6.2.2 CONSERVACION DE HOJA

Esta etapa consiste en mantener las condiciones iniciales de humedad de la planta recolectada durante su transporte desde la plantación a la zona de realización de las pruebas (Planta Piloto, UES).

Para lograr dicho objetivo, la planta se envolvió en bolsa plástica perforada y se introdujo en un recipiente hermético conteniendo cubos de hielo, de tal manera que se generó un ambiente frío y adecuado para conservar la hoja en su estado natural. La Figura 6.5 muestra dichas condiciones. Con el fin de evitar el contacto directo del hielo con la planta, se utilizó una malla metálica de separación.



**Figura 6.5.** Conservación de Hoja

### 6.2.3 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD PARCIAL

Para conocer las pérdidas de humedad de la hoja en los diferentes procesos de secado, es necesario determinar su contenido de humedad inicial. Este se

obtuvo desarrollando una marcha analítica para análisis bromatológico (Ver Anexo I, sección A), realizada en el Departamento de Química Agrícola de La Facultad de Ciencias Agronómicas (UES).

En el transcurso de cada proceso de secado, se realizaron diferentes análisis de humedad parcial con el propósito de obtener valores promedios representativos.

#### 6.2.4 OPERACIONES PRELIMINARES AL PROCESO DE SECADO.

Antes de someter la hoja a los diferentes procesos de secado, ésta fue separada de los tallos de la planta, ya que se sabe que el colorante se encuentra únicamente en las hojas. Este proceso se muestra gráficamente en la figura 6.6.



**Figura 6.6.** Separación Hoja-Tallo

Posteriormente, se pesan 50 g de hoja, haciendo uso de una balanza semianalítica, estas se distribuyen en 4 bandejas de tela cedazo galvanizada. (12.5 g por bandeja).

Este procedimiento se realizó cada vez que la hoja se sometía a los diferentes procesos de secado listados en la sección 6.1.



**Figura 6.7.** Pesado de Hoja

Para evitar las pérdidas de humedad de la hoja durante el pesado de las mismas, se dispuso de un desecador conteniendo sílica gel. En la figura 6.7 se muestra el equipo descrito anteriormente.

#### 6.2.5 EXTRACCION DE COLORANTE

Después de haber aplicado la operación de secado a las distintas muestras de hojas, se efectuó la extracción del colorante de acuerdo a las etapas que a continuación se detallan:

##### 6.2.5.1 Fermentación

Cada muestra de 50 g de hoja se coloca en recipientes plásticos de 1 galón de capacidad en donde se les adiciona 1 L de agua de pozo (proveniente de la Hacienda "Los Nacimientos"), tal como se presenta en la figura 6.8 Esta etapa tiene una duración de 18 horas durante el cual recipiente se mantiene cerrado.



**Figura 6.8.** Fermentación de Hoja

#### 6.2.5.2 Oxigenación

Una vez transcurrido el tiempo fijado para la etapa de fermentación, se procede a separar los extractos de los desechos sólidos en un proceso de colado simple. El líquido obtenido en la filtración se airea por medio de una bomba de pecera (flujo de aire 78 mL/min) durante aproximadamente 1 hora para hacer precipitar el colorante. La formación de burbujas por acción del bombeo del aire se presenta en la figura 6.9.



**Figura 6.9.** Oxigenación de agua de la etapa de fermentación

#### 6.2.5.3 Separación del colorante

Después de la aireación se deja reposar la muestra por un periodo de 24 horas para permitir que el sólido se deposite por gravedad en el fondo del recipiente. Una vez finalizada la etapa anterior, se separa el extracto sólido de la fase líquida por medio de una centrífuga a nivel de laboratorio marca DAMON / IEC DIVISION (9000 RPM), a una velocidad aproximada de 1500 rpm durante un lapso de 5 min.

#### 6.2.5.4 Secado del Colorante

La pasta de colorante obtenido se coloca en cápsulas de porcelana, las cuales

se introducen en una estufa a 65 °C durante un periodo de 12-18 horas para asegurar una completa evaporación del agua remanente, distribuyéndose en el interior de la misma tal como se muestra en la figura 6.10.

El colorante obtenido se pesa y se almacena adecuadamente en bolsas de polietileno previamente etiquetadas para su posterior análisis de indigotina.



**Figura 6.10.** Secado del colorante

#### 6.2.6 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE INDIGOTINA

Para llevar a cabo la determinación del contenido de indigotina del añil extraído se utilizó el método analítico que se presenta en el anexo II.

Las tramitancias (%T) fueron leídas por medio de un espectrofotómetro (Spectronic 20) a una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 600 nm, para la cual se obtenía la mínima lectura.

La concentración (ppm) pudo determinarse, aplicando análisis de regresión a los valores obtenidos de concentración (ppm) para el estándar al 98% contra los valores obtenidos de tramitancia (%T). la ecuación obtenida para el modelo fue:

$$[ppm] = 12.594599 - 0.148742 \times \%T \quad \text{ec.}(6.1)$$

En donde :

%T = Porcentaje de Tramitancia

ppm= Concentración en partes por millón

El coeficiente de correlación fué de -0.994017.

El porcentaje de indigotina se obtuvo según la fórmula dada en el Anexo II sección C.

## **7. CARACTERIZACION Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PROCESOS DE SECADO APLICADOS.**

A continuación, se presenta de una manera detallada el desarrollo experimental realizado para cada uno de los procesos de secado así como sus correspondientes resultados obtenidos, los cuales se resumen en el Anexo III.

### **7.1 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTA**

El porcentaje de humedad final (%H) en la muestra de hoja, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%H = \%Hi - \left[ \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100 \right] e \quad \text{ec. (7.1)}$$

Donde %Hi se refiere al porcentaje de humedad parcial de la hoja fresca de añil, obtenido del promedio de los análisis de humedad parcial (mostrados en el anexo I) correspondientes a cada método de secado. El resto de las variables se definen en el Anexo III, sección A.

El rendimiento de colorante obtenido se define y se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\text{Peso Colorante}}{\text{Peso Muestra Hoja}} \times 100 = \frac{W_c}{\sum W_o} \times 100 \quad \text{ec. (7.2)}$$

### **7.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS**

El comportamiento de los diferentes procesos de secado, se analizó a través de gráficos de tendencias entre las variables respuestas (% indigotina y % p/p de colorante o rendimiento) y la variable mas explicativa del avance del proceso de secado (% Humedad de la hoja) a diferentes condiciones de temperatura,

humedad relativa del aire y tiempo de secado. Además, se generaron modelos matemáticos de comportamiento aplicando análisis de regresión.

El mejor modelo de regresión se seleccionó sobre la base de dos criterios estadísticos que son: el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) cuyo valor se espera sea cercano a 1 y la Suma Residual de Cuadrados (RSS) cuyo valor se espera sea cero o próximo.

### **7.3 SECADO SIN CIRCULACIÓN DE AIRE**

Este proceso de secado consiste en introducir las hojas frescas de la planta de añil en un espacio confinado que impide la circulación de aire externo y el control de la humedad relativa interna.

#### **7.3.1 EQUIPO**

Para el desarrollo de este proceso se dispuso de una estufa a nivel de laboratorio Marca PRECISION Thelco Modelo 18 con una temperatura máxima de operación de 200 °C, la cual se muestra en la figura 7.1.



**Figura 7.1.** Distribución de bandejas en el interior de la estufa

### 7.3.2 VARIABLES CONTROLABLES

La utilización del equipo descrito anteriormente hace posible el control de las variables siguientes:

- ❖ Temperatura de secado: se regula por medio de una perilla de control y un termómetro de inmersión (-20 a 110 °C) que se introduce por un orificio ubicado en la parte superior de la estufa.
- ❖ Tiempo de secado: medido con un cronómetro.

### 7.3.3 CONDICIONES DE TRABAJO

- Se trabajó con dos variedades de añil (*I. Suffruticosa* e *I. Guatemalensis*). Ambas son sometidas a los diferentes niveles de temperatura, analizándose en cada nivel 7 muestras.
- Los niveles de temperatura que se utilizaron fueron: 38, 45 y 60 °C. Los criterios de selección se detallan en el cuadro 7.1.
- Los intervalos de tiempo considerados en el proceso de secado fueron de 0, 10, 40, 90, 150, 230 y 300 minutos para el secado a temperatura constante de 38 y 45 °C y de 0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 minutos para el secado a temperatura constante de 60 °C.

NIVEL DE TEMPERATURA °C	CRITERIO DE SELECCIÓN
38	De acuerdo a recomendación bibliográfica para el secado de hierbas y especias <sup>3</sup>
45	Pruebas de Secado realizadas en Materiales Orgánicos como Cilantro y Orégano <sup>4</sup>
60	Conocer el comportamiento de secado a temperaturas superiores que las anteriores

**Cuadro 7.1.** Niveles de Temperatura. Secado sin Circulación de aire

<sup>3</sup> "Tecnología poscosecha y secado de hierbas y especias", Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, 2000

<sup>4</sup> Trabajo de investigación para la cátedra de Operaciones Unitarias III, ciclo II/2001, (UES-FIA)

#### 7.3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCION DE DATOS

A continuación se presentan los pasos seguidos en el desarrollo del experimento:

1. Calibrar la estufa al nivel de temperatura de trabajo.
2. Introducir las bandejas conteniendo la hoja previamente pesada.
3. Controlar el tiempo de secado de acuerdo a cada intervalo.
4. Al finalizar el periodo de secado, registrar el peso final de las muestras.

Los formatos de tablas de recolección de datos y los datos recolectados se muestran en el anexo III sección B.

#### 7.3.5 RESULTADOS Y MODELADO EMPÍRICO

A partir de los resultados de los análisis presentados en el Anexo I sección B, las humedades iniciales de la hoja determinadas, según se explicó en la sección 6.2.3 fueron:

Para la variedad *I. Guatemalensis*:

$$\%Hi = \frac{63.25 + 64.36 + 64.91}{3} = 64.173$$

Para la variedad *I. Suffructicosa*:

$$\%Hi = \frac{67.45 + 67.89}{2} = 67.67^5$$

---

<sup>5</sup> Se ha discriminado el valor correspondiente al análisis II debido a discrepancias de este con respecto a los valores de los análisis I y III .

<b>38°C</b>	<b>45°C</b>	<b>60°C</b>
-------------	-------------	-------------

Así, tomando de ejemplo las condiciones presentadas para la muestra 2 del Anexo III, sección B, cuadro 3.1 se tiene:

De la ecuación (7.1) se calcula el porcentaje de humedad en la hoja después de su tiempo de secado:

$$\%H = 67.67 - \frac{50.23 - 48.15}{50.23} \times 100 = 63.537$$

De la ecuación (6.1) se obtiene la concentración de indigotina:

$$[ppm] = 12.594599 - 0.148742 \times 66 = 2.778 \text{ ppm}$$

De la fórmula dada en el Anexo II sección C se calcula el porcentaje de indigotina:

$$\%I = \frac{2.778 \times 250 \times 50}{0.1 \times 10^6} \times 100 = 34.72$$

y el rendimiento en partir de la ecuación

$$R = \frac{0.435}{50.23} \times 100 = 0.866\%$$

% p/p se obtiene a 7.2:

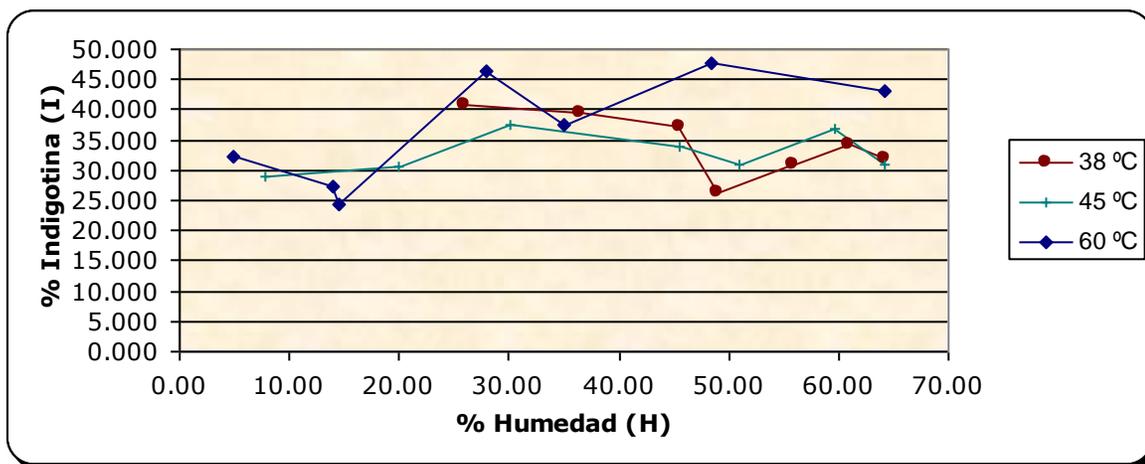
#### 7.3.5.1 Análisis para la variedad I. Guatemalensis

Recopilando datos de los cuadros III.6 a III.10 del anexo III sección B, se resume los valores promedios de las variables %H, %I, y R para las tres temperaturas experimentadas:

N	%			%			%		
	H	I	R	H	I	R	H	I	R
1	64.2	31.7	0.512	64.2	30.8	0.784	64.2	43.1	0.955
2	61.0	34.3	0.543	59.6	36.8	1.060	48.5	47.5	0.618
3	55.9	31.0	0.516	51.0	31.0	0.867	35.0	37.5	0.655
4	48.9	26.2	0.618	45.5	34.0	0.723	28.0	46.3	0.736
5	45.5	37.2	0.547	30.1	37.6	0.602	14.6	24.5	0.516
6	36.5	39.6	0.549	20.0	30.6	0.659	14.0	27.4	0.488
7	26.0	40.8	0.536	7.8	28.9	0.553	5.0	32.4	0.609

**Cuadro 7.2.** Valores promedios de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad *I. Guatemalensis* a 38,45 y 60°C

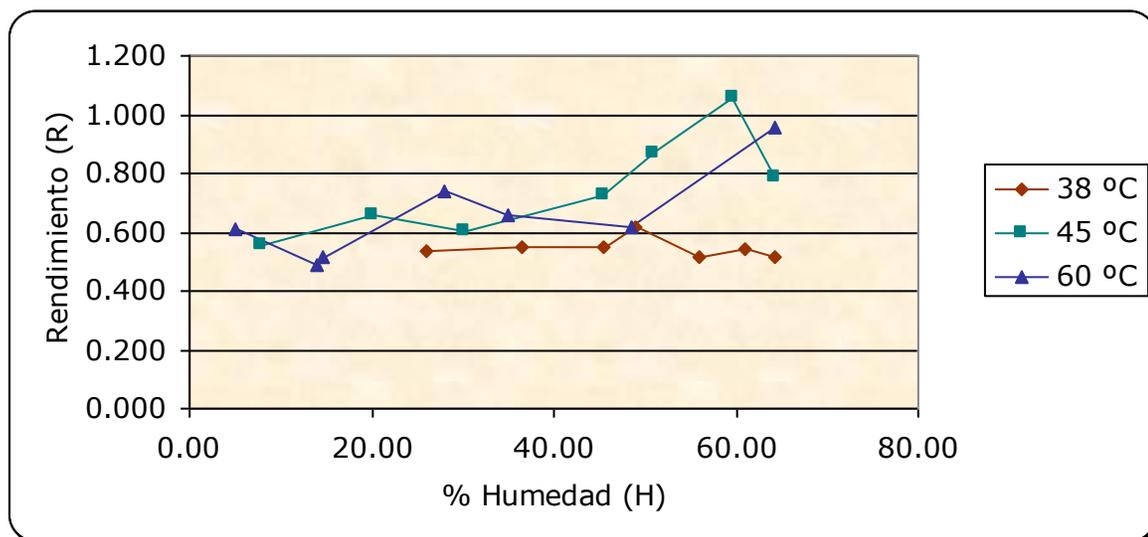
G ..... dro  
 7.2 para cada una de las temperaturas:



**Figura 7.2.** Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Guatemalensis*

La figura 7.2, indica que el proceso de secado de la hoja de la especie *I. guatemalensis* a las temperaturas de 38°C y 45°C, permite una calidad del colorante (en % de indigotina) bastante estable. Mientras que a la temperatura de 60°C, a parte de observarse una mayor variabilidad en el porcentaje de

indigotina, este disminuye de manera más notable a medida que disminuye el porcentaje de humedad de la hoja, pero en general a medida aumenta la temperatura de secado la variabilidad en el porcentaje de indigotina es mayor.



**Figura 7.3.** Gráfica de los valores promedios de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Guatemalensis*

En la figura 7.3 puede observarse una estabilidad muy notable en el rendimiento a 38°C, sin embargo a 45 °C y 60 °C se presenta una variabilidad inicial que disminuye a medida que la hoja pierde humedad. En general puede apreciarse que el rendimiento no se ve muy afectado por el proceso de secado en comparación con el porcentaje de indigotina para esta especie.

En el cuadro 7.3 se resume el mejor modelo de ecuación de ajuste y sus respectivos parámetros aplicados a los gráficos de %indigotina versus %Humedad presentados en la figura 7.2. Cabe mencionar que para las tres temperaturas la función que describe el comportamiento más aproximado de ajuste de los datos es un polinomio de grado 5.

	38°C	45°C	60°C
<b>MODELO</b>	$I = aH^3 + bH^4 + cH^5 + dH^2 + eH + f$		
<b>T °C</b>	<b>38</b>	<b>45</b>	<b>60</b>
a	-3.200E-005	-2.897E-006	-8.788E-006
b	0.0073	0.0005	0.0014
c	-0.6556	-0.0373	-0.0886
d	28.5645	1.1598	2.3402
e	-605.3741	-15.2363	-25.1099
f	5024.3658	93.0302	109.6785
R <sup>2</sup>	0.8637	0.8902	0.9792
RSS	22.0582	7.4360	10.4738

El modelo de regresión planteado explica de una manera más satisfactoria el comportamiento descrito a la temperatura de 60 °C, seguido por la temperatura de 45 °C. En cambio a 38 °C existe un margen de error más amplio entre los puntos reales y los descritos por el modelo. Observando los valores de los parámetros, para la temperatura de 38 °C, el modelo se reduce a un polinomio de grado 3, y para la temperatura de 45 °C y 60 °C a un polinomio de grado 2.

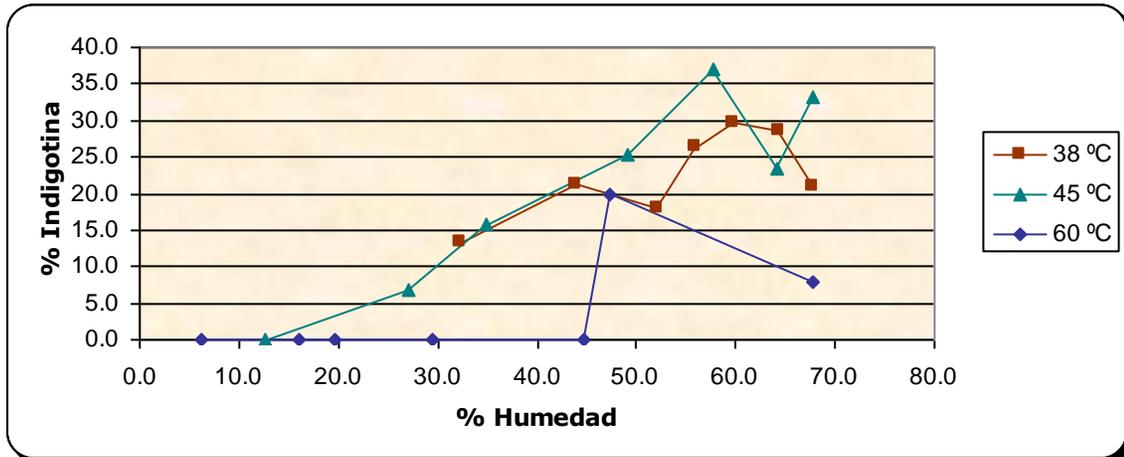
#### 7.3.5.2 Análisis para la variedad *I. Suffruticosa*

Recopilando datos de los cuadros III.1 a III.5 del anexo III sección B, se resume los valores promedios de las variables %H, %I, y R para las tres temperaturas experimentadas:

N	%			%			%		
	H	I	R	H	I	R	H	I	R
1	67.7	20.9	0.784	67.7	33.1	0.691	67.7	7.8	0.737
2	64.4	28.6	0.844	64.2	23.3	0.708	47.4	19.8	0.383
3	59.7	29.6	0.691	57.7	37.0	0.668	44.6	0.0	0.524
4	55.9	26.3	0.678	49.2	25.2	0.579	29.5	0.0	0.400
5	52.1	17.9	0.919	34.9	15.7	0.571	19.6	0.0	0.0
6	44.0	21.2	0.749	27.0	6.9	0.519	16.0	0.0	0.0
7	32.3	13.4	0.628	12.6	0.0	0.458	6.2	0.0	0.0

**Cuadro 7.4.** Valores promedios de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad *I. Suffructicossa* a 38, 45 y 60°C.

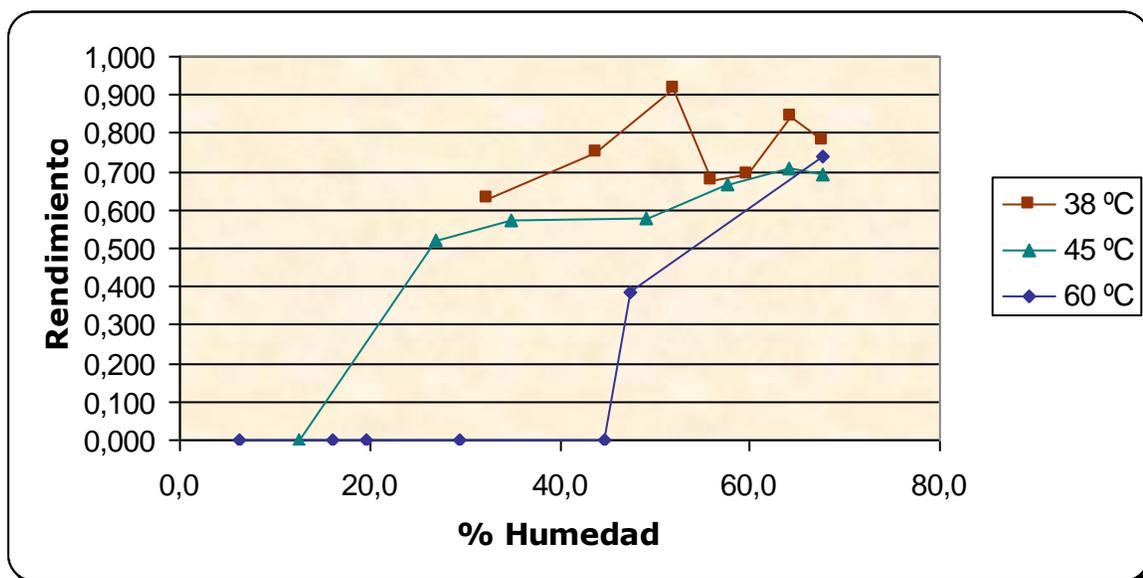
Graficando los valores promedios de %I y R vs %H presentados en el cuadro 7.4 para cada una de las temperaturas:



**Figura 7.4** Gráfica de los valores promedios de porcentaje de indigotina vs porcentaje de humedad para la variedad *I. Suffructicossa*

A partir de la figura 7.4 podemos observar que en esta variedad se presenta desde su inicio de secado una tendencia a la disminución del contenido de

indigotina en relación con el porcentaje de humedad en la hoja. Es notable que la temperatura de 38 °C refleja una tendencia más definida entre la relación existente de indigotina-humedad es decir a diferencia de las otra dos temperaturas, ésta no presenta cambios bruscos de comportamiento.



**Figura 7.5.** Gráfica de los valores promedios de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Suffruticosa*

En lo que respecta a rendimiento según se presenta en la figura 7.5, puede apreciarse una clara disminución de éstos a medida aumenta la temperatura de secado. Nuevamente se observa una mayor estabilidad en la temperatura de 38 °C en cuanto a rendimiento, sin embargo a temperaturas de 45°C y 60°C notamos que existen rendimientos de cero lo cual se debe a la obtención de polvo verdoso que indica la ausencia de colorante de añil, para lo cual no tiene sentido hablar de rendimiento de polvo de añil en este caso.

En el cuadro 7.5 se resume el mejor modelo de ecuación de ajuste y sus respectivos parámetros aplicado a los gráficos de %indigotina versus %Humedad presentados en la figura 7.4.

MODELO	$I = aH^5 + bH^4 + cH^3 + dH^2 + eH + f$		$I = \frac{a}{(1+bx+cx^2)}$
T °C	38	45	60
a	3.2043E-005	2.0822E-006	-1.1369E-008
b	-0.0087	-0.0004	-0.0358
c	0.9344	0.0318	0.0003
d	-48.9444	-1.0978	-
e	1253.7327	17.7377	-
f	-12524.9068	-103.0119	-
R <sup>2</sup>	0.9893	0.9072	1
RSS	2.2330	100.9555	0.0

Aparentemente a la temperatura de 60 °C el modelo planteado se ajusta perfectamente a los datos obtenidos, sin embargo, esto se debe a que en la mayoría de las muestras se obtuvieron niveles de porcentaje de indigotina igual a cero.

Entre las otras dos temperaturas, a 38 °C el modelo generado explica bastante bien el comportamiento descrito.

### 7.3.6 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Efectuando una evaluación global de este proceso para la variedad *I. Guatemalensis*, podemos determinar que el comportamiento del secado de la hoja hasta un máximo de 30% de humedad nos permite obtener de forma estable porcentajes de indigotina aptos para su comercialización, siempre y cuando el proceso se efectúe a temperaturas moderadas, en este caso a un máximo de 45°C. En lo que respecta al rendimiento obtenido, las variaciones han sido mínimas (entre 0.5 a 1.10 %), por lo cual el secado ejerce poca

influencia en esta variable. Pese a ello, es mejor que las condiciones dadas para el porcentaje de indigotina se apliquen de igual modo para el rendimiento. La variedad *I. Suffructicosa* se ve mucho más afectada que la variedad *I. Guatemalensis*, puesto que sólo es posible secar la hoja hasta un 50% de humedad para obtener porcentajes de indigotina cercanos al límite inferior de calidad (aprox. 30%), siempre efectuando el proceso a temperatura máxima de 45 °C. El rendimiento se ve de igual forma muy afectado, por lo cual al realizar el proceso a las condiciones indicadas se obtienen los mejores valores para esta variable.

En general, el porcentaje de indigotina en la variedad *I. Suffructicosa* presenta una menor resistencia al efecto de la disminución del contenido de humedad de la hoja en comparación con la variedad *I. Guatemalensis*.

#### **7.4 SECADO A LA SOMBRA**

Durante este proceso de secado las hojas frescas de la planta de añil se exponen directamente a las condiciones ambientales en un área determinada sin exposición directa a los rayos solares.

##### **7.4.1 EQUIPO**

Por las características del método antes descritas, no fue necesario la utilización de algún equipo de secado.

##### **7.4.2 VARIABLES CONTROLABLES**

Debido a que en este método el secado de la hoja depende únicamente de las condiciones ambientales, no es posible controlar todas las variables que afectan a este (temperatura y humedad relativa del aire), a excepción del tiempo. Por ello, se realizó un monitoreo de la temperatura y humedad relativa ambiente utilizando un higrómetro de aguja (10-90% HR) con termómetro

(-20 a 40 °C) el cual se muestra en la figura 7.6. El tiempo de secado se controla empleando un cronómetro.



**Figura 7.6** Medidor de Humedad Relativa y temperatura ambiente

#### 7.4.3 CONDICIONES DE TRABAJO

- Las variedades de añil fueron expuestas a las condiciones ambientales en un área sombreada con adecuada ventilación (en los alrededores de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador), como se observa en la figura 7.7.



**Figura 7.7** Distribución de muestras en la zona de secado.

- Para cada variedad se trabajó por duplicado su proceso de secado, en

diferentes días, por lo que las condiciones ambientales fueron distintas.

- Los intervalos de tiempo considerados en el proceso de secado fueron de 0, 10, 40, 90, 150, 230 y 300.

#### 7.4.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCION DE DATOS

A continuación se presentan los pasos seguidos en el desarrollo del experimento:

1. Cubrir cada una de las bandejas con una malla de tela para evitar que partículas extrañas se depositen e interfieran en el peso de las mismas. ( Ver figura 7.8).
2. Colgar las bandejas en la zona de secado ( Ver figura 7.7).
3. Controlar el tiempo de secado de acuerdo a cada intervalo y al mismo tiempo, monitorear aproximadamente cada 20 minutos el valor de temperatura y humedad relativa ambiente en ese instante.
4. Al finalizar el periodo de secado, registrar el peso final de las muestras.

En el Anexo III, sección C se resumen los resultados obtenidos de la etapa experimental para este método.



**Figura 7.8** Cobertura de Muestras con malla de tela.

#### 7.4.5 RESULTADOS Y MODELADO EMPÍRICO

El valor promedio del porcentaje de Humedad parcial (%Hi) a partir del cual se calculan los demás valores de humedad es el mismo que el calculado en el método de secado sin circulación de aire, detallado en la sección 7.3.5; de igual manera se calculan el resto de las variables tal como se muestran en los ejemplos presentados en la misma sección.

Debido a que en este método las variables que afectan el proceso de secado (temperatura y humedad relativa del aire) no son posibles de controlar, no es posible trabajar con datos promedios, ya que las condiciones ambientales en cada día de experimentación fueron diferentes.

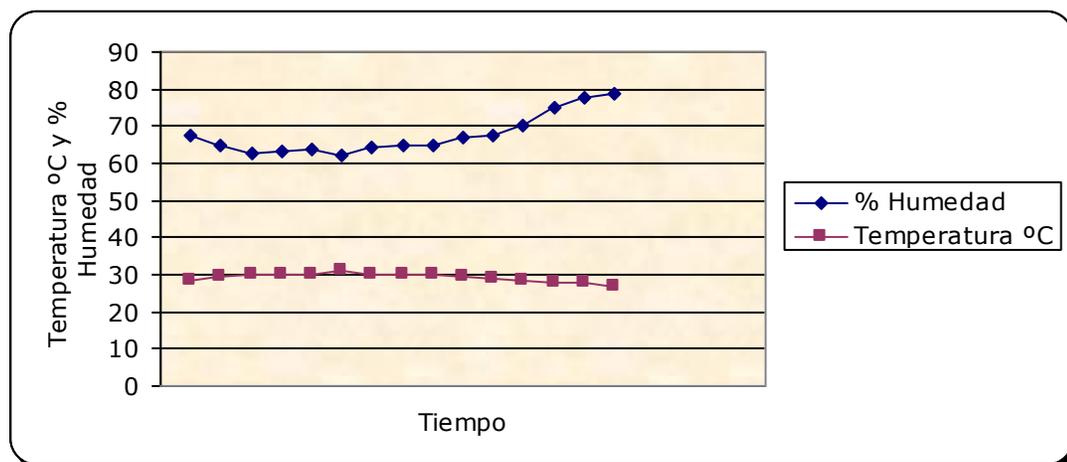
#### 7.4.5.1 Análisis para la variedad *I. Guatemalensis*

Recopilando datos de los cuadros III.13 a III.14 del anexo III sección C, se resume los valores de las variables %H, %I, y R para las dos pruebas:

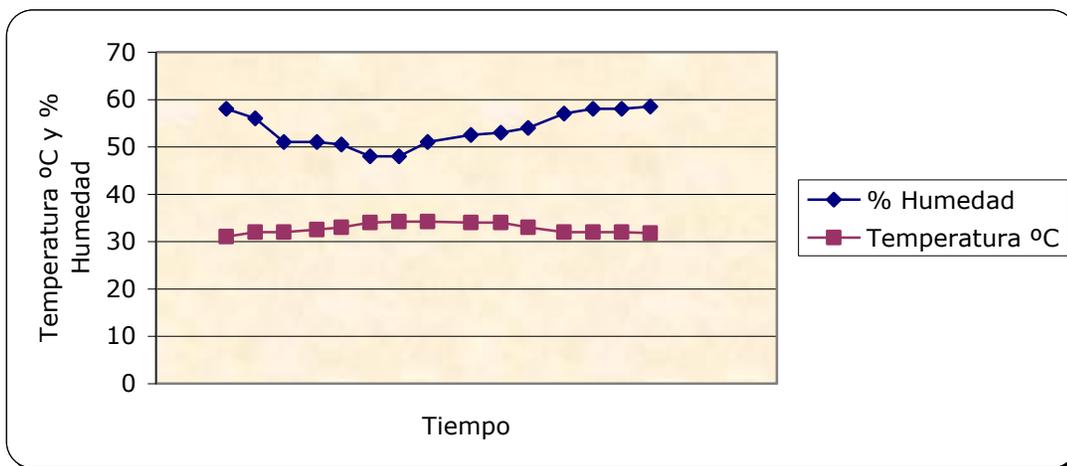
	<b>T<sub>prom</sub>:29.57 °C</b> <b>%H<sub>prom</sub>: 67.59</b>			<b>T<sub>prom</sub>:32.78 °C</b> <b>%H<sub>prom</sub>: 53.63</b>		
<b>%</b> <b>N</b>	H <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>
<b>1</b>	64.17	39.55	0.768	64.17	37.04	0.790
<b>2</b>	55.76	32.21	1.237	55.03	49.59	0.646
<b>3</b>	51.32	56.29	1.047	46.72	34.72	0.642
<b>4</b>	40.62	35.65	1.093	36.40	24.31	0.753
<b>5</b>	32.51	19.85	0.939	22.45	2.18	0.556
<b>6</b>	20.44	34.72	0.629	8.33	19.85	0.471
<b>7</b>	15.10	0.00	0.550	1.00	10.57	0.100

**Cuadro 7.6.** Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad *I. Guatemalensis*

Asimismo, en la figura 7.9 se muestra gráficamente el comportamiento de la variación de %Humedad y temperatura ambiente durante el tiempo de realización de cada prueba .



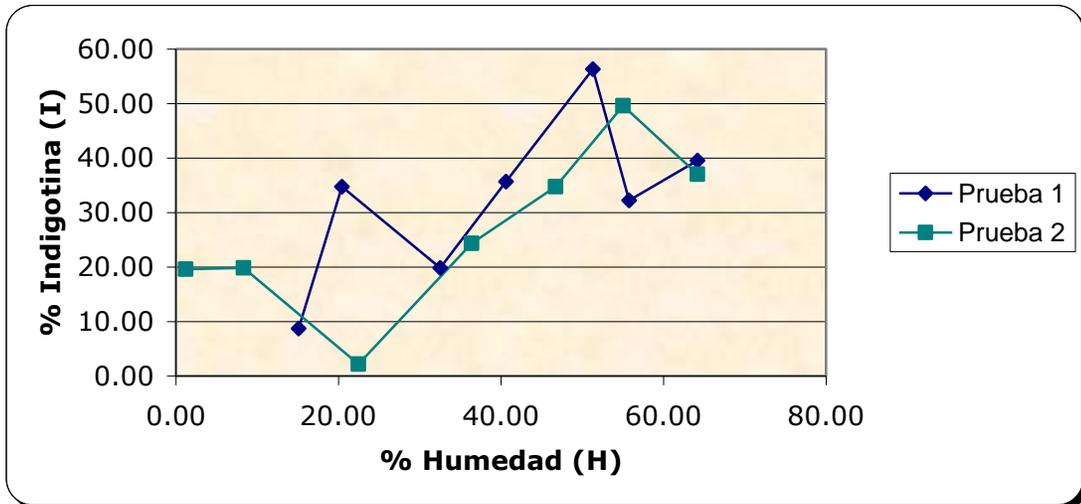
(a)



(b)

**Figura 7.9** Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura ambiente vrs Tiempo para la variedad *I.Guatemalensis* :(a) Prueba 1 ; (b) Prueba 2.

Graficando los valores de %I y R vrs %H presentados en el cuadro 7.6 para cada una de las pruebas:



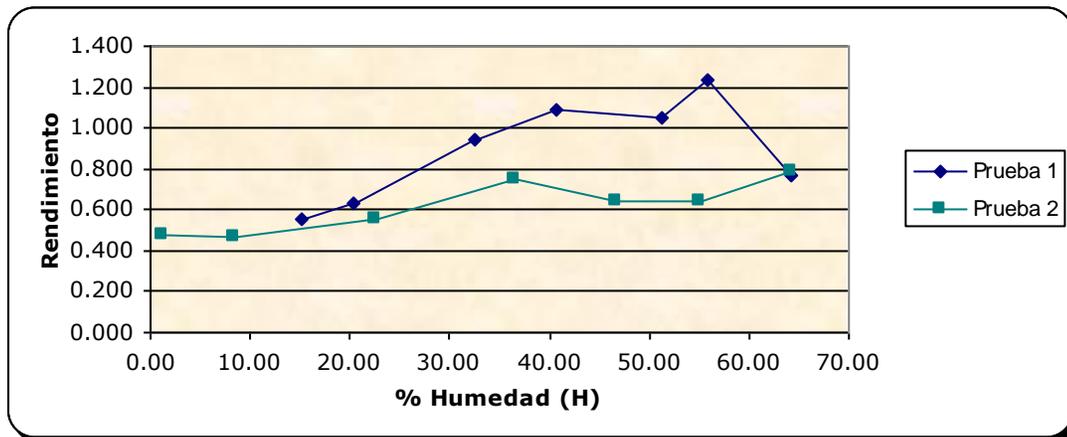
**Figura 7.10** Gráfica de los valores de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Guatemalensis*

Es notable afirmar a partir de la figura 7.9 que las condiciones ambientales varían notablemente a lo largo del día, de ahí que los resultados obtenidos del proceso de secado dependen fuertemente de tales condiciones, y por lo tanto, el análisis a realizar de la figura 7.10 deba efectuarse tomando en cuenta las variaciones climáticas representadas.

Nótese que bajo las condiciones ambientales en las que se realizó la prueba 1, el secado de la hoja se desarrolló prácticamente a temperatura constante, pero con una gran variación en la humedad relativa. En cambio en la prueba 2, existe una variación proporcional de ambas variables, es decir, en los períodos en que la temperatura ambiente aumentaba, la humedad relativa disminuía y viceversa.

Lo antes expresado influye en el comportamiento reflejado en la figura 7.10, donde a pesar de que la tendencia general en ambas pruebas es a la disminución del porcentaje de indigotina con respecto a la humedad de la hoja, puede observarse diferencias en la estabilidad entre ambas, puesto que la prueba 1 es más inestable. En lo que respecta a la prueba 2, existe un período de decremento en la curva %I vrs %H, que puede ser explicado al observar las

condiciones ambientales que predominaron en dichos puntos, en los cuales, la temperatura ambiente alcanzó sus niveles más elevados y la humedad relativa sus niveles más bajos, lo que propició un aumento en la velocidad de secado de la hoja.



**Figura 7.11.** Gráfica de los valores de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Guatemalaensis*.

De la figura 7.11 podemos decir que en general el rendimiento de colorante en ambas pruebas es hacia la disminución con respecto a la disminución del porcentaje de humedad de la hoja. Sin embargo, a tiempos de secado bajos se pueden observar valores máximos o constantes de dicha variable, lo cual puede indicar que el rendimiento se ve afectado por valores de humedad muy bajos.

En el cuadro 7.7 se resume el mejor modelo de ecuación de ajuste y sus respectivos parámetros aplicado a los gráficos de %indigotina versus %Humedad presentados en la figura 7.10.

Podemos notar que para ambas pruebas, prácticamente se ha obtenido un modelo de regresión con parámetros similares, a pesar de ello el valor del RSS es alto, lo que indica que existe un margen de error apreciable entre los datos experimentales y los generados a partir del modelo.

MODELO	$I = aH^5 + bH^4 + cH^3 + dH^2 + eH + f$	
	PRUEBA 1	PRUEBA 2
a	2.3821-005	1.0927E-006
b	-0.0047	-0.0002
c	0.3585	0.0147
d	-12.7660	-0.3555
e	213.1450	2.1624
f	-1306.2406	17.8517
R <sup>2</sup>	0.9508	0.9576
RSS	66.7612	59.2708

**Cuadro 7.7.** Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad *I. Guatemalensis*

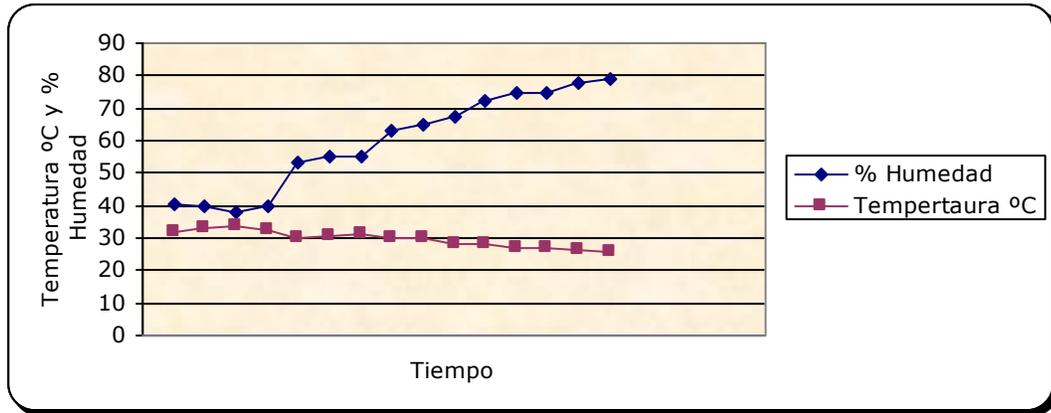
#### 7.4.5.2 Análisis para la variedad *I. Suffruticosa*.

Recopilando datos de los cuadros III.11 a III.12 del anexo III sección C, se resume los valores de las variables %H, %I, y R :

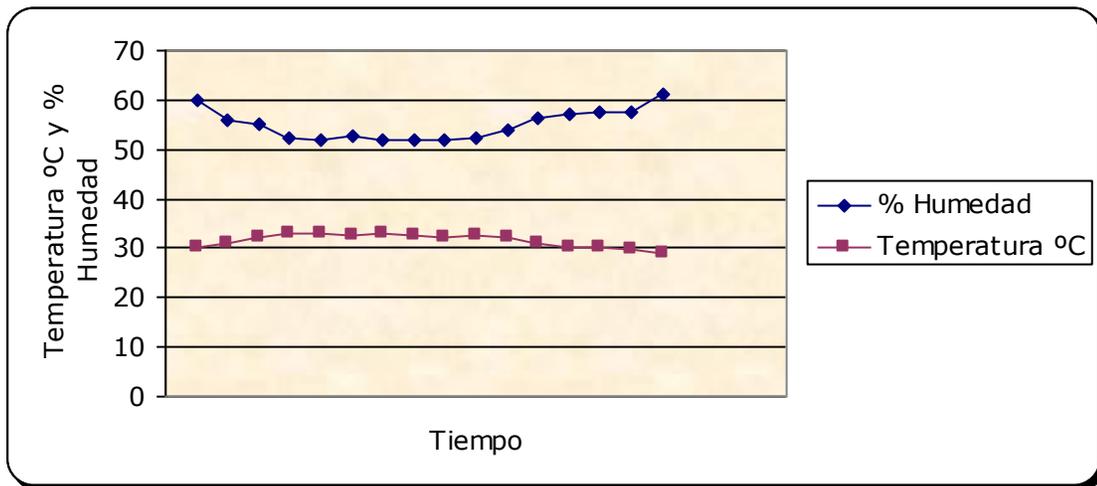
		T <sub>prom</sub> :29.67 °C %H <sub>prom</sub> : 59.63			T <sub>prom</sub> :31.51 °C %H <sub>prom</sub> : 54.67		
N	%	H <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>
	1		67.67	37.97	0.439	67.67	22.36
2		62.89	41.51	0.510	58.57	27.00	0.616
3		59.59	48.66	0.500	51.70	5.16	0.670
4		45.75	24.68	0.500	39.09	18.92	0.653
5		36.27	7.76	0.300	38.69	6.83	0.410
6		24.01	0.00	0.000	19.29	5.44	0.435
7		19.19	0.00	0.000	7.88	0.00	0.429

**Cuadro 7.8** Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad *I. Suffruticosa*

En la figura 7.12 se muestra gráficamente el comportamiento de la variación de porcentaje de Humedad y temperatura ambiente durante el tiempo de realización de cada prueba.



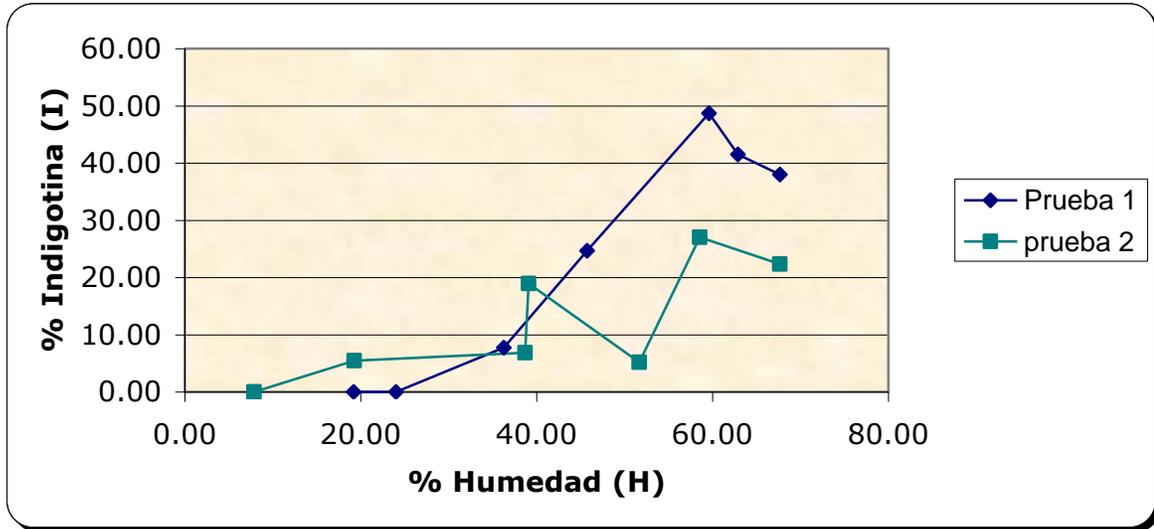
(a)



(b)

**Figura 7.12** Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura ambiente vrs Tiempo para la variedad *I. Suffruticosa* : (a) Prueba 1 ; (b) Prueba 2.

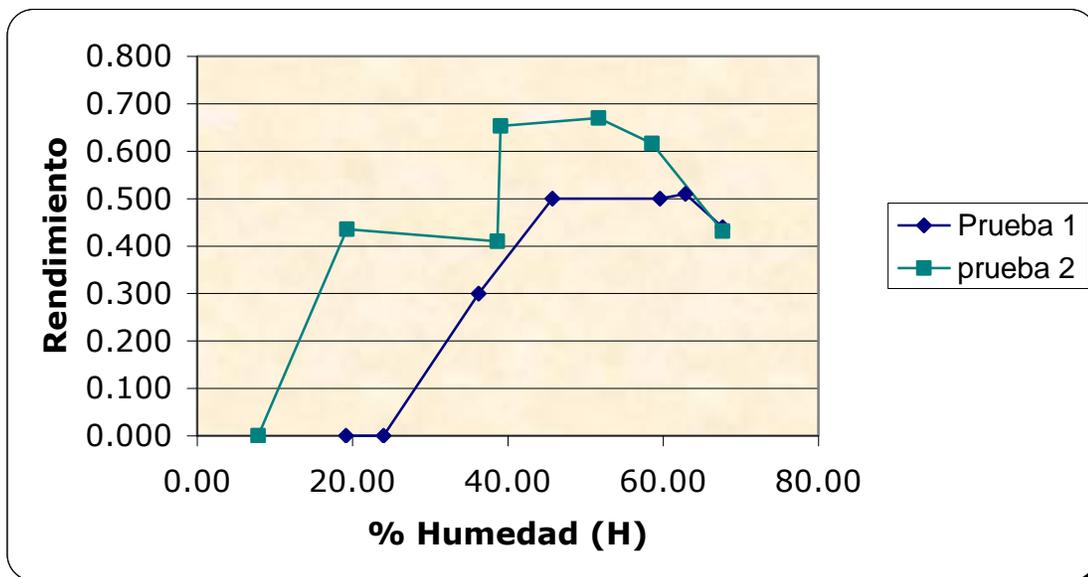
Graficando los valores de %I y R vrs %H presentados en el cuadro 7.8 para cada una de las pruebas:



**Figura 7.13** Gráfica de los valores de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Suffruticosa*

Podemos observar en la figura 7.12 dos comportamientos de condiciones ambientales con diferencias muy notorias. En la prueba 1, inicialmente se dieron condiciones constantes que posteriormente tuvieron un cambio apreciable, aumentando de una manera pronunciada la humedad relativa y disminuyendo de la misma forma la temperatura, es muy probable que este cambio de condiciones explique la caída en los valores de porcentajes de indigotina a principios del proceso de secado, sin puntos de inflexión, presentados en la figura 7.13 para la prueba 1.

En cambio en la prueba 2, existió poca variación en las condiciones ambientales, sin embargo la humedad relativa bajo la cual se inició el proceso de secado fue alta en comparación con la prueba 1, produciendo valores bajos de indigotina desde el inicio, lo que parece, indicar según se observa en ambas pruebas, que dicho contenido de indigotina se ve negativamente afectado por altos niveles de humedad relativa ambiente. Puede percibirse nuevamente que en esta especie se obtuvo muestras de colorante con niveles de cero de contenido de indigotina en ambas pruebas.



**Figura 7.14.** Gráfica de los valores de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Suffruticosa*.

Observando la figura 7.14 notamos cierta correspondencia en cuanto a las tendencias entre los comportamientos rendimiento-humedad e indigotina-humedad. En principio, ambas variables tienden a disminuir a medida que la humedad en la hoja decrece. Nótese que en la prueba 2 se obtuvieron los rendimientos mas altos y constantes en los mismos periodos para los cuales se obtuvieron de igual manera los valores de indigotina altos. Para la prueba 1, existe una región similar donde el decaimiento en el rendimiento es muy notorio, al igual que el observado en el porcentaje de indigotina.

En el cuadro 7.9 se resume el mejor modelo de ecuación de ajuste y sus respectivos parámetros aplicado a los gráficos de %indigotina versus %Humedad presentados en la figura 7.13.

Los parámetros estadísticos correspondientes a la prueba 2, muestran que el modelo no es muy representativo de los resultados de la experimentación; caso contrario con respecto a la prueba 1 en la cual el coeficiente de determinación múltiple es muy próximo al valor de uno.

MODELO	$I = aH^5 + bH^4 + cH^3 + dH^2 + eH + f$	
	PRUEBA 1	PRUEBA 2
a	2.1028E-006	-8.7675E-006
b	-0.0005	0.0016
c	0.0427	-0.1156
d	-1.6601	3.5597
e	29.6802	-46.0911
f	-198.6043	192.5767
R <sup>2</sup>	0.9923	0.8673
RSS	19.1613	84.9690

**Cuadro 7.9.** Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad *I.Suffructicosa*

#### 7.4.6 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Debido a las variaciones en las condiciones ambientales de las cuales depende este método de secado, no es posible estipular o determinar parámetros específicos que nos permitan indicar cuales son los mejores valores de humedad de hoja que nos brinden los mayores porcentajes de indigotina. En general para ambas especies de acuerdo a las pruebas realizadas, la disminución del contenido de indigotina se rige por la disminución del contenido de humedad en la hoja. Lo que sí podemos observar es que la variación brusca en los niveles de humedad relativa ambiente afectan negativamente la relación %I vrs %H. El rendimiento se ha visto más afectado en la variedad *I.Suffructicosa*.

## 7.5 SECADO CON CIRCULACION DE AIRE

Este método se basa en colocar las hojas frescas de la planta de añil en el interior de un conducto a través del cual circula aire caliente a velocidad moderada con la posibilidad de regular la temperatura interna del aire.

### 7.5.1 EQUIPO

Para el desarrollo de este proceso se dispuso de un secador por lotes de tipo charolas ó secador de bandejas por lotes diseñado y construido en la planta piloto de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador, mostrado en la figura 7.15, el cual consiste en una tubería cuadrada que posee un sistema de generación y control de la velocidad de flujo de aire (2 velocidades) y calor (4 termostatos de 6 niveles cada uno), así como también un sistema que permite la medición de temperatura y peso.



**Figura 7.15** Secador de bandejas por lotes

### 7.5.2 VARIABLES CONTROLABLES

La utilización del equipo descrito anteriormente hace posible el control de las variables siguientes:

- ❖ Temperatura de secado: se regula y controla por medio de la combinación de los diferentes niveles de los termostatos y de 2

termómetros de inmersión (-20 a 110 °C) colocados antes y después de las bandejas. Los termómetros están sostenidos en la parte superior de la carcasa, los cuales se mantienen fijos por medio de un empaque de hule.

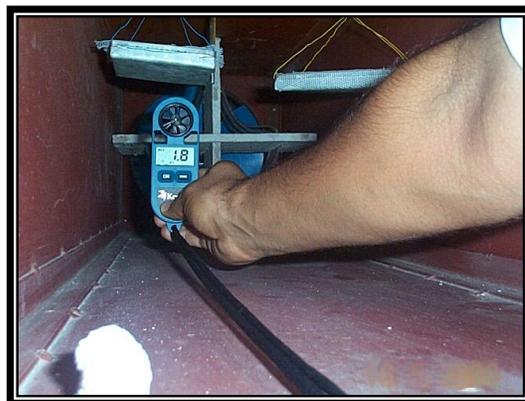
- ❖ Velocidad del aire: se regula a través de las diferentes velocidades del ventilador y se mide por medio de un anemómetro kestrel 1000 (rango de medición: 0-19.9 m/s).
- ❖ Tiempo de secado: medido con un cronómetro.

### 7.5.3 CONDICIONES DE TRABAJO

Previo al desarrollo de este método, se realizaron pruebas para la determinación de las curvas de secado para cada variedad de la planta de añil (Ver Anexo IV).

- La velocidad del aire se fijó de acuerdo con las recomendaciones bibliográficas (Referencia 8), para el secado de hierbas y especias. Es por ello que según las pruebas de velocidad realizadas para cada nivel del ventilador, se determinó utilizar el nivel más bajo (nivel I), cuya velocidad promedio es de 1.7 m/s.

La figura 7.16 muestra uno de los puntos de medición que se fijaron en el interior del secador para calcular la velocidad promedio antes mencionada.



**Figura 7. 16** Estimación de la Velocidad del aire

- Se escogieron dos niveles de temperatura de secado: 38 y 45 °C, con el objeto de establecer una similitud en las condiciones de temperatura con respecto al método de secado en la estufa. Por lo cual, se seleccionó la combinación de niveles en los termostatos que nos reportaran valores de temperatura cercanos a los anteriores. Lo anterior se resume en el cuadro 7.10.

NIVEL DE TEMPERATURA °C	NIVELES DE TERMOSTATO		
	Termostato 1	Termostato 2	Termostato 3
38	5	4	OFF
45	5	5	OFF

**Cuadro 7.10** Niveles de Temperatura y Combinación de termostatos

- Se utilizaron 7 muestras de cada variedad de añil por cada nivel de temperatura. Cada variedad se sometió a los niveles de temperatura anteriores una sola vez.
- Los intervalos de tiempo considerados en el proceso de secado fueron de 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos para el secado a temperatura constante de 38 y 45 °C.

#### 7.5.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCION DE DATOS

A continuación se presentan los pasos seguidos en el desarrollo del experimento:

1. Colocar los termómetros en los agujeros respectivos y el Higrómetro a la salida del aire del equipo.
2. Encender primero el ventilador y luego los termostatos llevándolos a las condiciones de trabajo anteriormente establecidas.
3. Cubrir cada una de las bandejas con una malla de tela para evitar que las

- hojas se pierdan por acción del viento.
4. Colgar rápidamente las bandejas en el interior del secador tal como se observa en la figura 7.17.
  5. Controlar el tiempo de secado de acuerdo a cada intervalo y al mismo tiempo, monitorear aproximadamente cada 10 minutos el valor de la humedad relativa del aire de salida del secador en ese instante y las temperaturas antes y después de las bandejas
  6. Al finalizar el periodo de secado, registrar el peso final de las muestras.

En el Anexo III, sección D se resumen los resultados obtenidos de la etapa experimental para este método.



**Figura 7.17** Vista de la distribución de las bandejas y accesorios en el secador

#### 7.5.5 RESULTADOS Y MODELADO EMPÍRICO

A partir de los resultados de los análisis presentados en el Anexo I sección C, las humedades iniciales de la hoja determinadas, según se explicó en la sección 6.2.3 fueron:

Para la variedad *I. Guatemalensis*:

$$\%Hi = \frac{74.10 + 73.18}{2} = 73.64$$

Para la variedad *I. Suffructicosa*:

$$\%Hi = \frac{72.23 + 74.51}{2} = 73.37$$

De igual manera se calculan el resto de las variables tal como se muestran en los ejemplos presentados en la sección 7.3.5.

Es importante hacer notar que debido a factores externos como las condiciones físicas de los termostatos, cambios climáticos significativos en los días de experimentación, etc., influyeron en la variación de los valores de temperatura establecidos en la sección 7.5.3.

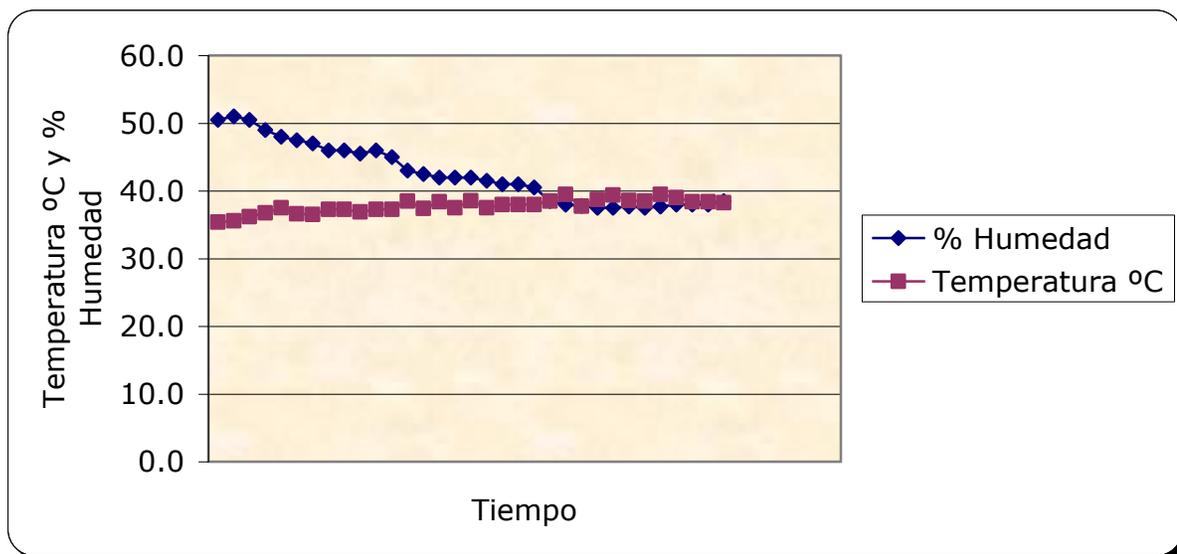
#### 7.5.5.1 Análisis para la variedad *I. Guatemalensis*

De los cuadros III.17 a III.18 del anexo III sección D, se resume los valores de las variables %H, %I, y R para las dos pruebas:

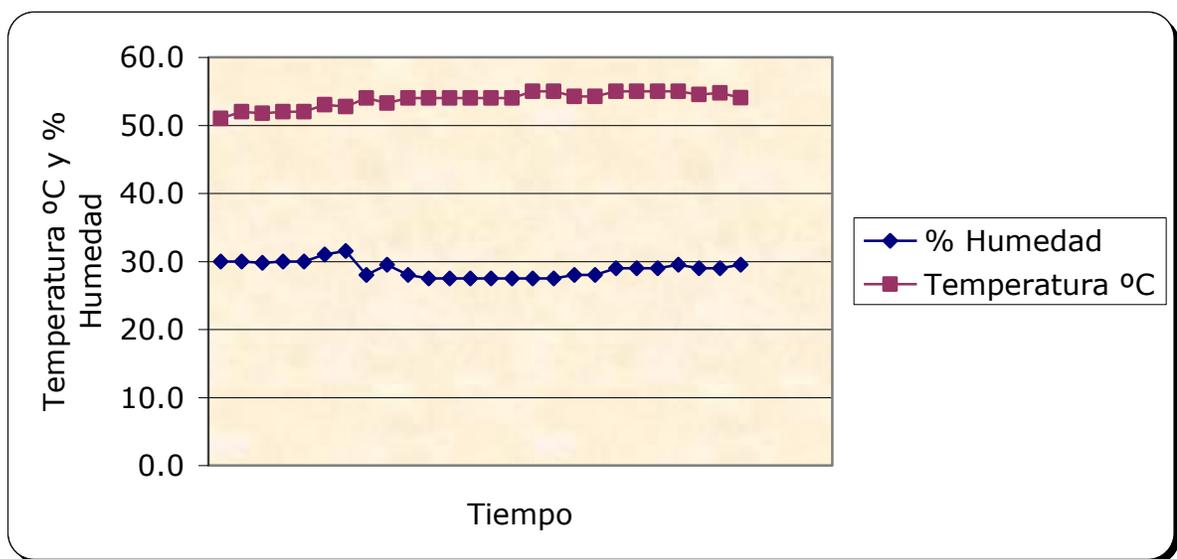
	<b>T<sub>prom</sub>: 37.8 °C</b> <b>%H<sub>prom</sub>: 42.5</b>			<b>T<sub>prom</sub>: 53.75°C</b> <b>%H<sub>prom</sub>: 28.9</b>		
<b>%</b> <b>N</b>	H <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>
<b>1</b>	73.64	25.42	0.627	73.64	39.55	0.419
<b>2</b>	60.62	30.07	0.752	56.93	18.92	0.351
<b>3</b>	54.61	26.35	0.594	40.01	27.75	0.363
<b>4</b>	45.09	20.78	0.627	30.11	25.89	0.304
<b>5</b>	39.89	23.56	0.752	20.17	14.27	0.298
<b>6</b>	33.86	21.71	0.594	17.80	5.90	0.273
<b>7</b>	34.25	11.01	0.539	15.76	0.23	0.619

**Cuadro 7.11.** Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad *I. Guatemalensis*

Asimismo, en la figura 7.18 se muestra gráficamente el comportamiento de la variación de %Humedad y temperatura del aire en el interior del secador de bandejas durante el tiempo de realización de cada prueba .



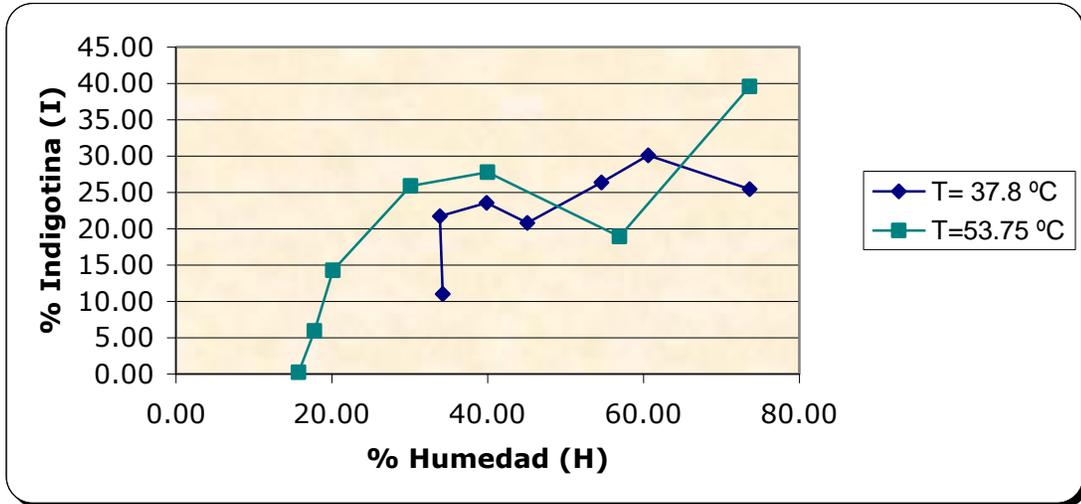
(a)



(b)

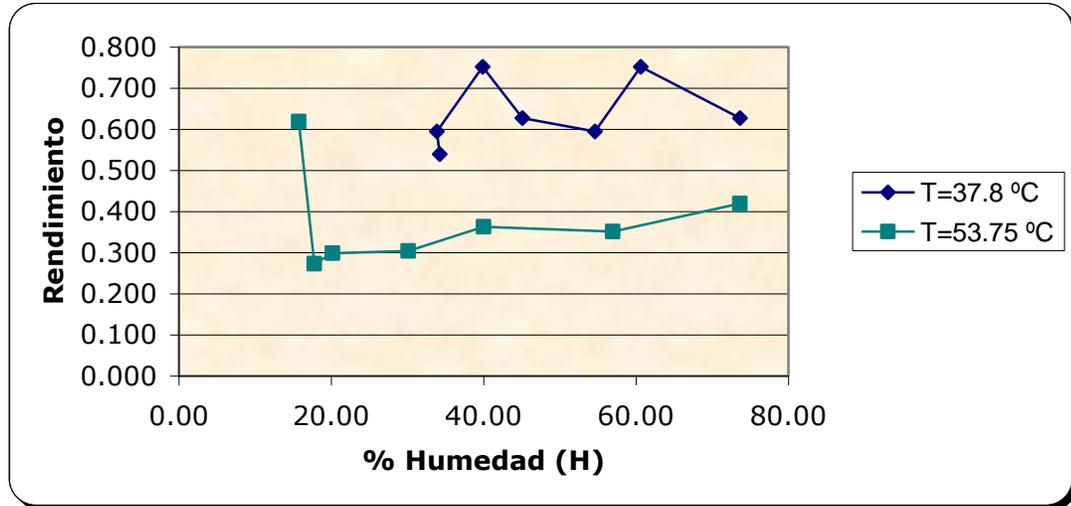
**Figura 7.18** Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura del aire circulante vrs Tiempo para la variedad *I. Guatemalaensis* : (a)  $T_{prom}=37.8$  °C ; (b)  $T_{prom}=53.75$ °C.

Graficando los valores de %I y R vrs %H presentados en el cuadro 7.11 para cada una de las temperaturas:



**Figura 7.19** Gráfica de los valores de porcentaje de indigotina vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Guatemalensis*

Para ambos casos, puede decirse a partir de la figura 7.19, que se da una tendencia a la disminución del porcentaje de indigotina a medida decrece el porcentaje de humedad de la hoja. Para la temperatura de secado de 37.8 °C, la disminución del porcentaje de humedad relativa del aire circulante a lo largo de la prueba ejerce una mayor influencia en el secado de la hoja, ya que la temperatura y la velocidad del aire se mantuvieron prácticamente estable. A pesar de ello, los valores obtenidos de indigotina se mantienen en un rango de 20 a 30%, que los hace aptos para su comercialización. En el caso de la temperatura de 53.75 °C, se dieron condiciones que favorecieron una mayor velocidad de evaporación, lo que no impidió la obtención de valores de porcentaje de indigotina aceptables para esta especie. Sin embargo, esta fue la única prueba en la cual se obtuvo un valor de porcentaje de indigotina de aproximadamente cero, producto de la condición extrema de secado antes mencionada.



**Figura 7.20.** Gráfica de los valores de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad *I. Guatemalensis*.

Existe inestabilidad en cuanto a los rendimientos obtenidos para la temperatura de 37.8 °C, como se observa en la figura 7.20, existiendo cierta similitud con el comportamiento del porcentaje de indigotina, sobre todo, en los últimos puntos de experimentación. En cambio, para la temperatura de 53.75 °C, se dieron valores más estables (sin tomar en cuenta el punto final), a pesar de las condiciones extremas de secado antes explicadas.

En el cuadro 7.12 se resume el mejor modelo de ecuación de ajuste y sus respectivos parámetros aplicado a los gráficos de %indigotina versus %Humedad presentados en la figura 7.19.

Nótese que de los parámetros estadísticos presentados para ambas temperaturas, los correspondientes a la temperatura de 53.75 °C explican muy satisfactoriamente el comportamiento del proceso experimental. En cambio a 37.8° C el modelo mas próximo a la explicación del fenómeno, no es muy representativo de los datos reales.

MODELO	$I = aH^5 + bH^4 + cH^3 + dH^2 + eH + f$	
T °C	37.8 °C	53.75°C
a	3.3607E-006	1.2197E-006
b	-0.0001	-0.0002
c	0.1133	0.0208
d	-6.3041	-0.8972
e	170.8463	20.3194
f	-1789.5442	-164.8525
R <sup>2</sup>	0.6734	0.998
RSS	70.8944	2.1809

**Cuadro 7.12.** Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad *I. Guatemalensis*

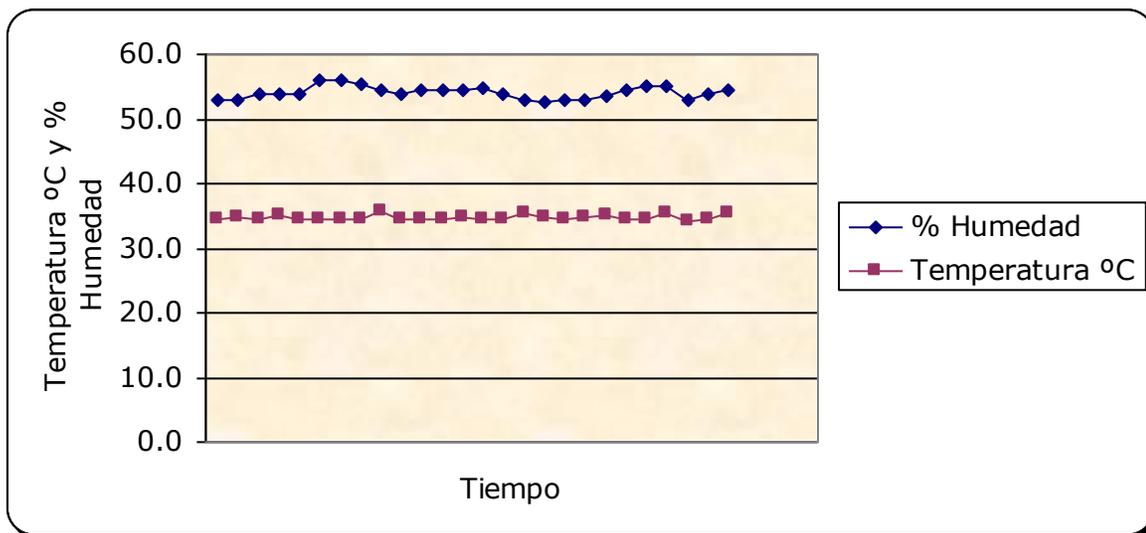
#### 7.5.5.2 Análisis para la variedad *I. Suffructicosa*

Recopilando datos de los cuadros III.15 a III.16 del anexo III sección D, se resume los valores de las variables %H, %I, y R para las dos pruebas:

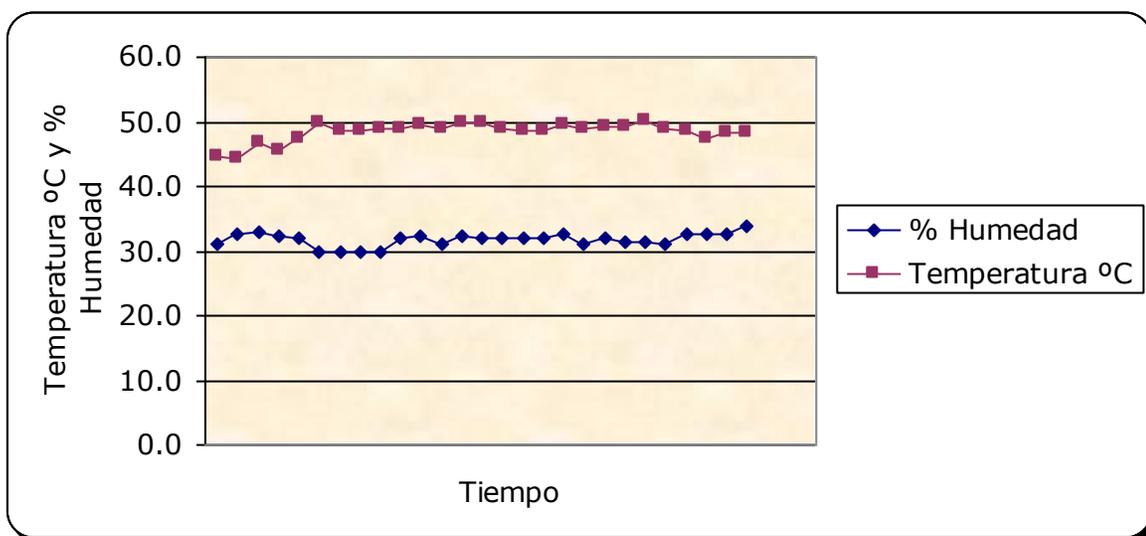
	T <sub>prom</sub> : 34.74°C %H <sub>prom</sub> : 54.13			T <sub>prom</sub> : 48.36°C %H <sub>prom</sub> : 31.76		
% N	H <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>
1	73.37	43.55	0.354	73.37	20.78	0.469
2	64.47	43.09	0.316	60.37	0.00	0.000
3	58.57	12.41	0.415	49.90	21.24	0.372
4	56.56	19.85	0.467	41.90	24.77	0.576
5	52.89	24.03	0.536	36.13	0.00	0.000
6	49.13	40.30	0.410	28.92	0.00	0.000
7	44.45	15.20	0.300	28.02	0.00	0.000

**Cuadro 7.13.** Valores de porcentajes de humedad, indigotina y rendimiento para la variedad *I. Suffructicosa*

Asimismo, en la figura 7.21 se muestra gráficamente el comportamiento de la variación de %Humedad y temperatura del aire en el interior del secador de bandejas durante el tiempo de realización de cada prueba.



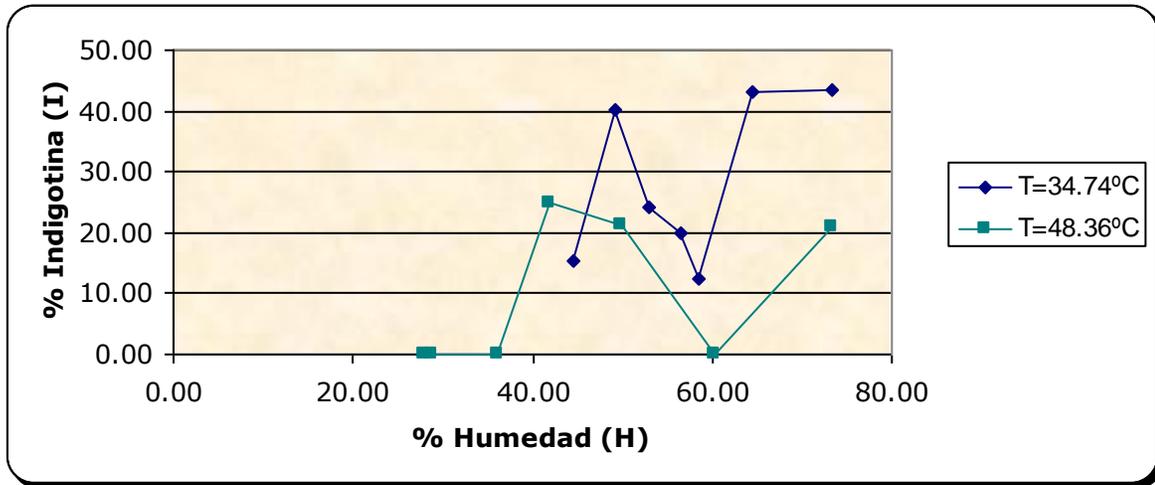
(a)



(b)

**Figura 7.21** Gráfica de la variación de %Humedad y Temperatura del aire circulante vrs Tiempo para la variedad *I.Sufructicosa* : (a)  $T_{prom}=34.74$  °C ; (b)  $T_{prom}=48.36$ °C.

Graficando los valores de %I y R vs %H presentados en el cuadro 7.13 para cada una de las temperaturas:

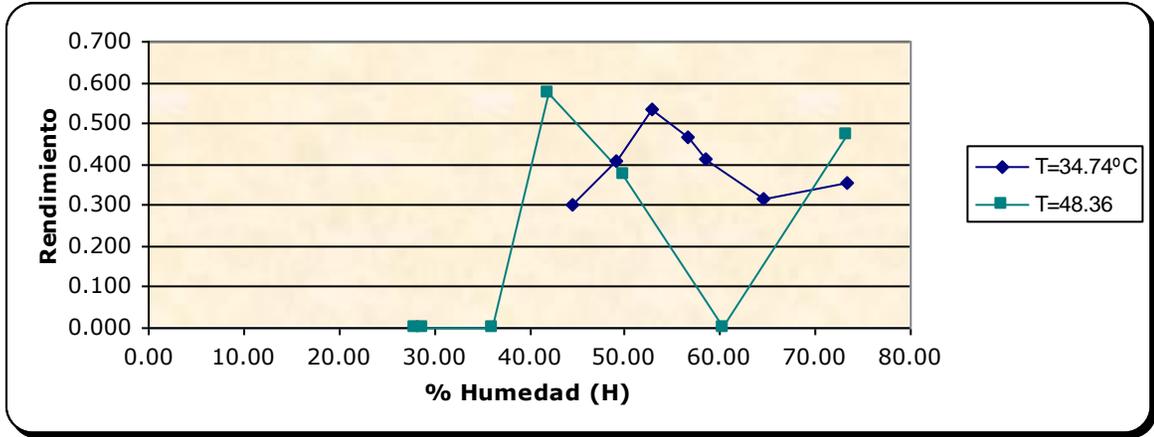


**Figura 7.22** Gráfica de los valores de porcentaje de indigotina vs porcentaje de humedad para la variedad *I.Suffructicosa*

Las condiciones de secado en el interior del equipo se mantuvieron prácticamente estables tal como se observa en la figura 7.21. Para el caso de la temperatura de 48.36 °C, la velocidad de secado se ve favorecida por el bajo nivel de humedad relativa del aire circulante, apreciándose el efecto negativo que dichas condiciones ejercen sobre el nivel de indigotina, en contraste con el caso de la temperatura de 34.74°C donde se obtienen valores de indigotina de mayor valor que para la temperatura de 48.36 °C, como puede apreciarse en la figura 7.22.

Nótese de la figura 7.23 que el rendimiento ha experimentado un efecto similar a lo observado en la figura 7.22, sobre todo para la temperatura de 48.36 °C.

En el cuadro 7.14 se resume el mejor modelo de ecuación de ajuste y sus respectivos parámetros aplicado a los gráficos de %indigotina versus %Humedad presentados en la figura 7.22.



**Figura 7.23** Gráfica de los valores de porcentaje de Rendimiento vrs porcentaje de humedad para la variedad *I.Suffructicosa*

MODELO	$I = aH^5 + bH^4 + cH^3 + dH^2 + eH + f$	
T °C	34.74°C	48.36°C
a	-3.1719E-006	-1.9861E-005
b	-0.0019	0.0052
c	0.5659	-0.5384
d	-52.3286	26.6961
e	2057.9245	-637.4001
f	-29623.3333	5855.6985
R <sup>2</sup>	0.9683	0.9634
RSS	35.1411	31.4291

**Cuadro 7.14.** Modelo de regresión para los comportamientos %I vrs. %H para la variedad *I.Suffructicosa*

Es notable que para las dos temperaturas ambos modelos explican de un manera similar los comportamientos antes planteados. El valor del RSS indica que existe una diferencia significativa entre los datos reales y los generados a partir del modelo.

### 7.5.6 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Las condiciones imperantes en este método de secado provocaron una mayor inestabilidad en la variedad *I. Suffruticosa* en el comportamiento %I vrs %H, lo cual no permite establecer con claridad condiciones apropiadas ó recomendables para efectuar el proceso de secado, al igual que los rendimientos obtenidos. Pero en la variedad *I. Guatemalensis*, es posible obtener porcentajes de indigotina apreciables si la humedad de la hoja se lleva hasta un máximo de 40%, siempre que la temperatura de secado sea cercana a 40°C. Parece ser que la influencia del aire circulante y su velocidad incide en los porcentajes de indigotina por debajo del 30% obtenidos en su mayoría en este método, sobre todo a temperaturas moderadas.

## CONCLUSIONES

- ✚ Realizando una comparación entre el comportamiento del secado entre ambas variedades, se puede decir que la variedad *I. Suffructicosa* presenta desde su inicio en la operación de secado una tendencia significativa a la disminución del contenido de indigotina respecto al porcentaje de humedad en la hoja. En cambio en la variedad *I. Guatemalensis* ocurre un comportamiento diferente, puesto que desde su inicio en la operación de secado se denota un incremento en el porcentaje de indigotina con la disminución del contenido de humedad hasta lograr un punto de inflexión máximo después del cual la tendencia es a la disminución de la indigotina. Por tanto se recomienda aprovechar este rango de valores para la obtención de los mejores porcentajes de indigotina.
- ✚ El rendimiento de colorante obtenido como una de las variables respuesta de secado, se ve notablemente afectado por éste, aunque en mayor grado en la variedad *I. Suffructicosa*, presentando una tendencia hacia la disminución con respecto al contenido de humedad en la hoja. Sin embargo, se ve afectado en menor proporción que el porcentaje de indigotina.
- ✚ De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de experimentación, en general, el secado de la hoja de la planta de Añil debe realizarse a temperaturas moderadas que oscilen entre 35-45 °C hasta alcanzar a lo sumo contenidos de humedad de aproximadamente 30% para la variedad *I. Guatemalensis*, y de 50% para la variedad *I. Suffructicosa*.
- ✚ De los tres métodos de secado experimentados, desde un punto de vista técnico, se sabe que solamente sobre la base del secado sin circulación de aire se puede afirmar que existe relación entre el proceso de secado y nivel de secado de la hoja con el porcentaje de indigotina y

el rendimiento en peso de colorante obtenido, ya que reduce el efecto de variables difíciles de controlar. En cambio en los otros dos métodos dicha afirmación resulta insegura debido a la dependencia de factores externos que intervienen y afectan el proceso de secado.

- ✚ Los modelos de regresión generados describen parcialmente el comportamiento real de los datos obtenidos; sin embargo, no es posible especificar qué tipo de ecuación describe la relación existente entre el porcentaje de indigotina y el porcentaje de humedad en la hoja de añil debido a que realmente no se pueden comparar o modelar genéricamente los procesos de secado individualmente y en conjunto.

## RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda que en futuras investigaciones de secado de la hoja de la planta de añil se profundice en otros métodos de secado en los cuales se permita controlar adecuadamente todas de las variables que intervienen en el proceso.
- ✚ Antes de efectuar el proceso de secado a un lote de hoja de añil, es importante realizarle la prueba de humedad parcial con el propósito de conocer con exactitud su contenido de humedad inicial a partir del cual se calculan las pérdidas de humedad en el proceso.
- ✚ Debido a que el secado a la sombra dificulta el control de las variables que afectan el proceso, es necesario realizar una mayor cantidad de pruebas tomando en cuenta las épocas del año para tener una visión más amplia de las variaciones posibles que se pueden presentar.
- ✚ La realización de una mayor cantidad de ensayos experimentales en cada uno de los procesos de secado para la obtención de más datos puede contribuir a la búsqueda de una ecuación que describa satisfactoriamente su comportamiento.
- ✚ Con el propósito de conservar las propiedades de la hoja de la planta de añil al finalizar el proceso de secado, es necesario controlar las condiciones ambientales de almacenamiento, para evitar fluctuaciones de humedad de la hoja, siendo de gran utilidad los sistemas de conservación como por ejemplo las cámaras de control de humedad relativa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### LIBROS

1. FOUST, A.S. **Principios de Operaciones Unitarias**. Tercera Edición. Compañía Editorial Continental S.A. (CECSA). México. 1987.
2. GEANKOPLIS, CHRISTIE. **Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias**. Segunda impresión. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. 1996.
3. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. **Metodología de la Investigación**. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 1988.
4. PERRY, ROBERT. **Manual del Ingeniero Químico**. Sexta Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 1994.
5. TREYBAL, ROBERT E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 1988.

### TESIS

6. CRUZ F., MÉNDEZ J., SOTO F. **Diseño y Construcción de un secador por lotes de tipo charola, para ser utilizado como instrumento de enseñanza en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador**. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Químico de la Universidad de El Salvador. Febrero 2000.
7. LIMA S., MORALES C., ORELLANA C. **Optimización de la extracción del colorante de la planta de añil (*Indigofera Sp.*) para su utilización en la industria**. Tesis presentada para

optar al título de Ingeniero Químico de la Universidad de El Salvador. Enero 2002.

#### DOCUMENTOS

8. CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS. **Curso corto: tecnología Post-cosecha y secado de hierbas y especias.** Universidad de Costa Rica. Septiembre 2000.
9. JAPAN INTERNACIONAL CORPORATION AGENCY (JICA). **Estudio del Sub-Sector Añil en El Salvador.** Technoserve. Marzo 2003.
10. SHIRATA YOSHIKO. **Colorantes Naturales.** Biblioteca Nacional de Antropología e Historia (INAH), México 1996.

#### HOJAS ELECTRONICAS

11. **Secado de Hierbas Aromáticas y Medicinales.** [Consulta:15 ene. 2003 ].  
< <http://www.herbotecnia.com.ar/poscosecha-secado> >
12. PROGRAMA DE DESARROLLO DE LA AGROINDUSTRIA RURAL PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (PRODAR) CONVENIO IICA-CIID-CIRAD. **Proyecto de Reactivación del Cultivo y Procesamiento del Añil en El Salvador.** Marzo 2002. [Consulta:24 Mar. 2003].  
<<http://www.prodar.org/cartera/carteraproyectosanil.htm>>

13. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA). **Guía técnica para el cultivo de añil**. Mayo 2001. [Consulta:13 Feb. 2003]  
<[www.centa.gob.sv/documentos/otrainfo/agricola/anil.doc](http://www.centa.gob.sv/documentos/otrainfo/agricola/anil.doc) >
14. BON GUST PRODUCCIONES. **Las Hierbas Aromáticas. Uso y Conservación**.1999. [Consulta:11 Mar. 2003].  
<<http://www.afuegolento.com/secciones/hierbas/#h5>>
15. LOURDES MÉNDEZ. **Revive el añil en versión Orgánica**. El Diario de Hoy. Septiembre 2000. [Consulta:13 Abr. 2003].  
<<http://www.elsalvador.com/noticias/edicionesanteriores/2000/septiembre/septiembre8/NEGOCIOS/negoc3.html>>
16. **La recolección de plantas medicinales silvestres y de cultivo**. 2000. [Consulta:13 Abr. 2003].  
<<http://members.fortunecity.es/natura2001/plmd/recoleccion.htm>>
17. PEGGY OTI-BOATENG, BARRIE AXTELL. **Técnicas de Secado**.1998. [Consulta:13 Abr. 2003].  
<[http://www.fao.org/inpho/vlibrary/new\\_else/x5694s/x5694s03.htm](http://www.fao.org/inpho/vlibrary/new_else/x5694s/x5694s03.htm)>

18. J.A. MILLÁN, I. GÓMEZ, J.L. GUTIERREZ DE ROZAS. **Máquinas y Motores Térmicos, Secadero de Bandejas**. Web de la Sección Departamental de Máquinas y Motores Térmicos de la Escuela Universitaria Politécnica (antes EUITI) de Donostia-San Sebastián, perteneciente a la Universidad del País Vasco, U.P.V.-E.H.U. 2001-2003. [Consulta:13 Abr. 2003].  
<<http://scsx01.sc.ehu.es/nmwmigaj/secadero.htm>>

# ANEXOS

# ANEXO I

## ANEXO I

Marcha Analítica y Resultados de la determinación de Humedad parcial de la Hoja de Añil

**Marcha Analítica y Resultados de la determinación de Humedad parcial de la Hoja de Añil**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA**

**A. MARCHA ANALÍTICA PARA ANALISIS BROMATOLOGICO**

**1.0 DETERMINACION DE HUMEDAD.**

**INTRODUCCION:**

El componente más abundante y el único que casi siempre está presente en los alimentos, es el agua. Los tejidos animales y vegetales contienen agua en abundancia. En las hojas de los vegetales verdes existe 90% o más de agua, en la carne sometida a cocimiento durante el cual se pierde cierta cantidad de agua; contiene entre 50 y 65%. El agua presente en los tejidos puede encontrarse:

- 1.- Como agua libre; en la cual las sustancias se disuelven ó dispersan, ejemplo: en el citoplasma o en cualquiera de fluidos circulantes de los tejidos.
- 2.- Como hidratos, como sería el caso de los almidones, proteínas y muchos otros compuestos orgánicos importantes en los alimentos que forman hidratos.
- 3.- Adsorbida sobre la superficie de los sólidos.

La presencia de agua en los alimentos y su concentración determina en alto grado su sabor y su digestibilidad, así como estructura física y la capacidad de manejo técnico del material. La determinación de humedad es sencilla, la muestra se pesa, y se calienta en una estufa hasta peso constante; la temperatura de calentamiento y tiempo en que se somete la muestra a esa

temperatura, depende de la naturaleza y también del tipo de agua que se pretende eliminar de ella.

**OBJETIVO :**

Determinar el contenido de humedad (agua) en muestras de uso agropecuario, por medio de la evaporación inducida por el calor, utilizando para ello una estufa de aire caliente en circulación, determinando en esta forma la humedad parcial, luego ésta misma muestra se calienta en una estufa al vacío y se obtiene la humedad total.

**2.0 DETERMINACION DE HUMEDAD PARCIAL**

**EQUIPO:** Estufa de aire caliente en circulación. Desecador de gabinete

**MATERIAL:** Cápsula de aluminio para humedad o bolsa de papel. Pinzas de acero inoxidable. Lápiz graso.

**PROCEDIMIENTO:**

- \* Calentar la cápsula de aluminio en estufa a 105 °C enfriar en desecador, pesar, anotar el peso. En caso de usar bolsa de papel perforarla y anotar en ella la identificación de la muestra y peso.
- \* Si la muestra es de tamaño grande, caso pastos, cortar con tijera de acero inoxidable en trozos pequeños y mezclar bien. Si es otro tipo de material molerlo en el molino eléctrico antes de pesar.
- \* Pesar en la cápsula o bolsa la cantidad de muestra que le indique su instructor. Anotar el peso. Si es pasto más o menos 400 gramos, otro tejido foliar 100 gramos.
- \* Cerrar la bolsa o caja, colocarla en la estufa de aire caliente en circulación, previamente calentada a una temperatura entre 60 y 70°C. Dejar la muestra

en la estufa 24 horas. Sacar la muestra de la estufa, colocar en desecador para enfriar durante media hora y pesar. Anotar el peso.

- \* Reportar la pérdida de peso como humedad.

**B. RESULTADOS DE HUMEDAD PARCIAL DE HOJA DE AÑIL UTILIZADOS  
EN EL SECADO SIN CIRCULACION DE AIRE Y SECADO A LA SOMBRA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA

CIUDAD UNIVERSITARIA  
Apdo. Postal Nos. 747 y 773  
Teléfonos: 225-2572 Fax: (503) 225-1506

Ciudad Universitaria, 21 de febrero de 2003

Bachiller  
Cristo José Hernández Ayala  
Presente

Por este medio y de la manera más atenta, le estoy reportando los resultados de Análisis de Añil; con números de entradas 29 y 30; y fecha 17 de Febrero de 2003.

Nº. de Laboratorio	Identificación de la Muestra	Humedad Parcial
29	Añil Variedad Indigófera Guatemalensis	63.25%
30	Añil Variedad Indigófera suffruticóla	67.45%

Sin más por el momento, me suscribo de Usted,

Atentamente,

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”

  
Dra. Francisca Cañas de Moreno  
Jefe del Depto. de Química Agrícola

\*ddea.

c.c.: Archivo.



Ciudad Universitaria, 11 de Marzo de 2003

Bachiller  
Cristo José Hernández Ayala  
Presente

Por este medio y de la manera más atenta, le estoy reportando los resultados de Análisis de Añil; con números de entradas 31 y 32; y fecha 5 de Marzo del 2003.

Nº. de Laboratorio	Identificación de la Muestra	Humedad Parcial
31	Añil Variedad Indigófera Guatemalensis	64.36%
32	Añil Variedad Indigófera suffrutícola	76.05%

Sin más por el momento, me suscribo de Usted,

Atentamente,

**"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"**

  
Dra. Francisca Cañas de Moreno  
Jefe del Depto. de Química Agrícola

\*ddea.

c.c.: Archivo.



Ciudad Universitaria, 3 de Abril de 2003

Bachiller  
Cristo José Hernández Ayala  
Presente

Por este medio y de la manera más atenta, le estoy reportando los resultados de Análisis de Añil; con números de entradas 36 y 37; y fecha 31 de Marzo del 2003.

Nº. de Laboratorio	Identificación de la Muestra	Humedad Parcial
36	Añil Variedad Indigófera suffruticosa	67.89%
37	Añil Variedad Indigófera Guatemalensis	64.91%

Sin más por el momento, me suscribo de Usted,

Atentamente,

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”



Dra. Francisca Cañas de Moreno  
Jefe del Depto. de Química Agrícola

\*ddea.

c.c.: Archivo.



**C. RESULTADOS DE HUMEDAD PARCIAL DE HOJA DE AÑIL UTILIZADOS**  
**EN EL SECADO CON CIRCULACION DE AIRE**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA

CIUDAD UNIVERSITARIA  
Apdo. Postal Nos. 747 y 773  
Teléfonos: 225-2572 Fax: (503) 225-1506

Ciudad Universitaria, 7 de Mayo de 2003

Bachiller  
Cristo José Hernández Ayala  
Presente

Por este medio y de la manera más atenta, le estoy reportando los resultados de Análisis de Añil; con números de entradas 83 y 84; y fecha 5 de Mayo del 2003.

Nº. de Laboratorio	Identificación de la Muestra	Humedad Parcial
83	Añil Variedad Indigófera Guatemalensis	74.10%
84	Añil Variedad Indigófera suffruticosa	72.23%

Sin más por el momento, me suscribo de Usted,

Atentamente,

**“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”**

  
Dra. Francisca Cañas de Moreno  
Jefe del Depto. de Química Agrícola

\*ddea.

c.c.: Archivo.



Ciudad Universitaria, 23 de Mayo de 2003

Bachiller  
Cristo José Hernández Ayala  
Presente

Por este medio y de la manera más atenta, le estoy reportando los resultados de Análisis de Añil; con números de entradas 85 y 86; y fecha 19 de Mayo del 2003.

Nº. de Laboratorio	Identificación de la Muestra	Humedad Parcial
85	Añil Variedad Indigófera Guatemalensis	73.18%
86	Añil Variedad Indigófera suffruticosa	74.51%

Sin más por el momento, me suscribo de Usted,

Atentamente,

**“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”**

  
Dra. Francisca Cañas de Moreno  
Jefe del Depto. de Química Agrícola



\*ddea.

c.c.: Archivo.

ANEXO II

**ANEXO II**

Análisis de Indigotina

**Análisis de Indigotina**

## **MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE INDIGOTINA DEL AÑIL. ( Referencia 7).**

### **A. PRINCIPIOS**

El índigo es tratado con ácido sulfúrico para transformarlo en *indigocarmin*. Por medio de esta reacción, pasa de una forma no soluble en agua a una soluble en agua.

Se determina la absorbancia específica del indigocarmin soluble en agua por espectrofotometría. Se compara la absorbancia específica de la muestra con la del estándar.

### **B. PROCEDIMIENTO**

a) *Para la muestra a analizar*

1. En un mortero, moler una muestra del índigo a analizar hasta obtener un polvo fino. De este polvo, pesar en forma exacta 0.1 g de muestra ( $\pm 0.1$  mg) en la balanza y colocarla en un erlenmeyer de 125 mL taparla adecuadamente usando un tapón de hule.
2. Añadir 30 mL (aproximadamente 47.5 g) de perlas de vidrio (o perlas de ebullición), un agitador magnético y 30 mL de ácido sulfúrico concentrado 95- 98% (se recomienda seguir el orden: Índigo, perlas, agitador magnético, ácido sulfúrico).
3. Remover la mezcla en un baño maría, durante 1 1/2 hora, utilizando un hot-plate y conservando la temperatura a  $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Después, dejar enfriar el erlenmeyer con la mezcla, en agua con hielo, hasta que llegue a una temperatura aproximadamente de  $20^{\circ}\text{C}$ .
4. Preparar un balón volumétrico de 250 ml, conteniendo 50 ml de agua destilada, depositar la solución enfriada en el balón mediante un embudo (deben separarse las perlas de vidrio y el agitador, procurando que no caigan dentro del balón y cerciorarse de que no queden residuos de solución en las perlas ni en el agitador, esto se logra lavando el erlenmeyer y recolectando el agua de lavado en el balón). La solución se volverá caliente, dejar enfriar el balón con la mezcla en agua con hielo,

hasta alcanzar una temperatura aproximadamente de 20°C. Luego, aforar con agua destilada hasta un volumen de 250 mL (la solución obtenida se llama solución de reserva).

5. Tomar una alícuota de 2 mL de la solución de reserva y colocarla en un balón de 100 mL, aforar con una solución de ácido sulfúrico al 5%.
6. Medir la absorbancia correspondiente de dicha muestra a su máximo.

*b) Para el estándar (añil sintético, marca Fluka al 98% de pureza)*

Con el fin de encontrar una ecuación para el estándar, la cual nos servirá para determinar la concentración correspondiente a la muestra y con el objetivo de encontrar la longitud de onda máxima a la que el espectrofotómetro realizará las mejores lecturas, se procederá de la forma siguiente:

1. Seguir los pasos del 1 al 4 utilizados para la muestra a analizar.
2. Tomar 3 alícuotas de solución estándar (preparada en el balón de 250 mL), colocar cada una de ellas en un volumétrico de 100 mL y aforar cada balón con solución de ácido sulfúrico al 5%. Estas soluciones serán preparadas de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} 0.5 \text{ mL} \quad \frac{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 5\%}}{\quad} \quad 100 \text{ mL} = 2 \text{ ppm} \\ 1.0 \text{ mL} \quad \frac{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 5\%}}{\quad} \quad 100 \text{ mL} = 4 \text{ ppm} \\ 2.0 \text{ mL} \quad \frac{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 5\%}}{\quad} \quad 100 \text{ mL} = 8 \text{ ppm} \end{array}$$

Con estas concentraciones (soluciones) se debe encontrar la longitud de onda máxima a la que el espectrofotómetro realizará las mejores lecturas de la absorbancia, ésta puede variar entre 600 - 610 nm.

Una vez fijada la longitud de onda máxima (que depende del equipo que se tenga disponible), se procede a leer las absorbancias correspondientes para 2, 4, y 8 ppm, se aplica análisis de regresión a los valores obtenidos de absorbancia contra concentración (ppm) para el

estándar al 98%. La ecuación obtenida para el modelo nos permitirá encontrar la concentración correspondiente a la muestra a analizar.

### **C. CALCULOS**

Con los datos obtenidos para la muestra y por medio de la ecuación que se obtiene para el estándar, se encuentra la concentración correspondiente a la muestra y se aplica la siguiente fórmula para encontrar su porcentaje de indigotina:

$$\%I = \frac{ppm * vol * f.d.}{Wm * 10^6} * 100 \quad ec.(II.1)$$

ppm = concentración de la muestra

vol. = volumen de la solución de reserva (250 mL)

f.d. = factor de dilución (2 en 100 = 50)

Wm = peso de la muestra

**NOTA:** El método original ha sido reducido a la cuarta parte

# ANEXO III

## **ANEXO III**

Resultados Obtenidos de la Etapa Experimental

**Resultados Obtenidos de la Etapa Experimental**

## **A. NOMENCLATURA**

En los siguientes cuadros se muestran todo el monitoreo de variables y sus respectivos valores para las pruebas efectuadas en los 3 métodos de secado aplicados a las variedades de añil *I. Guatemalensis* e *I. Suffruticosa*.

Las variables tabuladas son las siguientes, haciendo notar que todos los pesos se registraron en gramos (g):

- ✓  $t$  (g) : peso de bandeja de tela cedazo galvanizada .
- ✓  $t+W_o$  (g): peso de bandeja mas muestra antes del proceso de secado.
- ✓  $W_o$  (g) : peso de muestra antes del proceso de secado.
- ✓  $\Theta$  : tiempo de secado medido en minutos, aplicado a cada muestra.
- ✓  $T$  : temperatura de secado en grados centígrados.
- ✓  $t+W_f$  (g) : peso de bandeja mas muestra después del proceso de secado.
- ✓  $W_f$  (g) : peso de muestra después del proceso de secado.
- ✓  $\%H$  : porcentaje de humedad en la muestra de hoja al final del proceso de secado.
- ✓  $W_c$  (g) : peso de colorante obtenido.
- ✓  $\%T$  : porcentaje de transmitancia leído en espectrofotómetro.
- ✓  $[ppm]$  : concentración de indigotina de la muestra de colorante en partes por millón.
- ✓  $\%I$  : porcentaje de Indigotina de la muestra de colorante.
- ✓  $TBS1$  : temperatura en grados centígrados del interior del secador de bandejas por lotes antes de la zona de bandejas.
- ✓  $TBS2$  : temperatura en grados centígrados del interior del secador de bandejas por lotes después de la zona de bandejas.

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**B. SECADO SIN CIRCULACIÓN DE AIRE**  
**Cuadro III.1 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 38 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)		
FECHA DE CORTE: Sabado 22 de Febrero de 2003		VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>
HORA DE CORTE: 9:10 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año	No CORTE: Primer Corte
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H		Wc (g)	%T	[ppm]
1	14.79	27.304	0	27.304	12.52	12.516	67.670	0.428	72.1	1.937	24.215
	14.79	27.272		27.272	12.48	12.483					
	14.79	27.334		27.334	12.54	12.544					
	14.79	27.306		27.306	12.52	12.517					
				$\Sigma$	50.06	50.06			71.65		
2	15.39	27.902	10	27.551	12.51	12.157	63.537	0.435	66	2.778	34.720
	14.99	27.479		27.144	12.49	12.158					
	14.24	26.879		26.802	12.64	12.558					
	15.61	28.196		26.883	12.59	11.277					
				$\Sigma$	50.23	48.15			66		
3	14.79	27.284	40	26.055	12.5	11.267	59.406	0.363	69.9	2.190	27.376
	15.29	27.849		26.775	12.56	11.486					
	15.23	27.798		26.789	12.57	11.559					
	15	27.494		26.664	12.5	11.669					
				$\Sigma$	50.12	45.981			69.95		

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.4	27.87	90	25.997	12.47	10.601	52.906	0.247	74.8	1.528	19.102
	15.69	28.292		26.486	12.6	10.793					
	15.74	28.252		26.429	12.51	10.686					
	16.03	28.6		26.698	12.57	10.664					
				$\Sigma$	50.15	42.744			74.4		
5	15.4	27.868	150	25.899	12.47	10.504	53.022	0.383	76.9	1.186	14.826
	15.69	28.18		26.484	12.49	10.792					
	15.64	28.219		26.476	12.58	10.834					
	16.03	28.617		26.683	12.58	10.65					
				$\Sigma$	50.12	42.78			76.7		
6	14.79	27.315	230	23.974	12.53	9.186	44.722	0.441	76.2	1.283	16.035
	15.29	27.784		24.907	12.5	9.618					
	15.23	27.779		24.798	12.55	9.568					
	12.35	24.855		22.563	12.5	10.21					
				$\Sigma$	50.07	38.582			76.05		
7	15.4	27.909	300	23.797	12.51	8.398	33.440	0.288	79	0.956	11.944
	14.99	27.495		23.636	12.51	8.65					
	15.23	27.733		22.589	12.5	7.356					
	15.61	28.107		24.1	12.5	8.495					
				$\Sigma$	50.02	32.899			78.25		

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.2 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 38 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)	
FECHA DE CORTE: Sabado 1 de Marzo de 2003	VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>
HORA DE CORTE: 9:15 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	No CORTE: Primer Corte
DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	θ(min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	15.43	27.967	0	27.967	12.537	12.537	67.670	0.357	74.9	1.409	17.615
	14.75	27.294		27.294	12.542	12.542					
	15.64	28.148		28.148	12.506	12.506					
	14.9	27.402		27.402	12.506	12.506					
				Σ	50.091	50.091					
2	15.39	27.896	10	27.49	12.502	12.096	65.215	0.412	73	1.796	22.449
	14.97	27.539		27.194	12.569	12.224					
	14.23	26.814		26.646	12.583	12.415					
	15.61	28.133		27.82	12.526	12.213					
				Σ	50.18	48.948					
3	14.57	27.063	40	26.134	12.498	11.569	59.933	0.327	67	2.547	31.838
	14.75	26.784		25.811	12.033	11.06					
	15.64	28.211		27.339	12.569	11.697					
	14.9	27.52		26.447	12.625	11.552					
				Σ	49.725	45.878					

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.71	28.308	90	27.242	12.6	11.534	58.960	0.435	66.9	2.674	33.419
	14.75	27.522		26.474	12.771	11.723					
	15.64	28.226		27.208	12.584	11.566					
	14.89	27.354		26.095	12.46	11.201					
				$\Sigma$	50.415	46.024					
5	15.39	27.974	150	25.734	12.58	10.34	51.164	0.541	73.5	1.684	21.055
	14.97	27.583		25.659	12.615	10.691					
	14.05	26.732		24.824	12.682	10.774					
	15.61	28.149		25.899	12.542	10.292					
				$\Sigma$	50.419	42.097					
6	14.79	27.573	230	24.245	12.783	9.455	43.205	0.311	71	2.108	26.354
	15.29	27.78		24.337	12.492	9.049					
	15.24	27.794		24.745	12.557	9.508					
	12.16	24.737		22.225	12.574	10.062					
				$\Sigma$	50.406	38.074					
7	15.4	27.942	300	23.227	12.542	7.827	31.239	0.342	76.2	1.186	14.826
	15.7	28.228		23.78	12.532	8.084					
	15.74	28.364		24.063	12.621	8.32					
	16.02	28.547		23.713	12.532	7.698					
				$\Sigma$	50.227	31.929					
								76.7			

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.3 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 45 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)	
FECHADE CORTE: Sabado 8 de Marzo de 2003	VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>
HORA DE CORTE: 9:05 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	No CORTE: Primer Corte
DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION Wc (g)	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	θ(min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H		%T	[ppm]	%I
1	15.7	28.244	0	28.244	12.54	12.54	67.670	0.352	72.5	1.848	23.100
	15.7	28.274		28.274	12.57	12.57					
	15.7	28.295		28.295	12.59	12.591					
	15.7	28.268		28.268	12.56	12.564					
				Σ	50.27	50.265					
2	15.7	28.338	10	27.841	12.63	12.137	64.295	0.38	75	1.350	16.871
	14.75	27.219		26.845	12.47	12.099					
	15.64	28.25		27.84	12.62	12.205					
	14.89	27.386		26.972	12.5	12.084					
				Σ	50.22	48.525					
3	15.71	28.36	40	27.09	12.66	11.385	59.091	0.34	71	2.183	27.283
	14.75	27.262		26.269	12.52	11.522					
	15.64	28.164		27.18	12.53	11.544					
	14.89	27.492		26.424	12.6	11.534					
				Σ	50.3	45.985					

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.71	28.334	90	25.464	12.63	9.759	47.779	0.273	79	0.881	11.015
	14.75	27.366		25.228	12.62	10.481					
	15.64	28.152		25.611	12.52	9.975					
	14.89	27.35		24.909	12.46	10.019					
				$\Sigma$	50.22	40.234					
5	15.38	27.961	150	24.612	12.58	9.229	37.518	0.385	84	0.175	2.183
	14.9	27.521		24.04	12.62	9.137					
	15.23	27.754		23.966	12.52	8.735					
	15.6	28.12		23.59	12.52	7.99					
				$\Sigma$	50.24	35.091					
6	14.79	27.311	230	22.173	12.52	7.386	29.545	0.338	80	0.695	8.690
	15.29	27.774		23.234	12.49	7.948					
	15.22	27.739		23.218	12.52	7.998					
	14.99	27.529		22.639	12.54	7.649					
				$\Sigma$	50.07	30.981					
7	15.39	27.92	300	21.143	12.53	5.755	16.001	0.2 (Polvo verde)	88	0.000	0.000
	15.69	28.18		22.405	12.49	6.716					
	15.74	28.334		21.912	12.59	6.17					
	16.01	28.512		21.592	12.5	5.58					
				$\Sigma$	50.12	24.221					

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.4 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 45 °C**

<b>METODO:</b> Secado sin Circulación de Aire (Estufa)	
<b>FECHA DE CORTE:</b> Sabado 15 de Marzo de 2003	<b>VARIEDAD:</b> <i>I. Suffruticosa</i>
<b>HORA DE CORTE:</b> 9:08 am	<b>EDAD DE LA PLANTA:</b> 1er. Año
<b>PESO HOJA Y TALLO:</b> 4 Lb	<b>No CORTE:</b> Primer Corte
<b>DIMENSIONES DE BANDEJA:</b> 10 x 10 x 3 cm	

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	θ(min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	15.71	28.248	0	28.248	12.54	12.541	67.670	0.342	61	3.447	43.087
	15.71	28.275		28.275	12.57	12.568					
	15.71	28.259		28.259	12.55	12.552					
	15.71	28.229		28.229	12.52	12.522					
				Σ	50.18	50.183					
2	15.39	27.825	10	27.359	12.44	11.974	64.016	0.331	69	2.383	29.793
	14.9	27.55		27.098	12.65	12.195					
	15.23	27.755		27.342	12.52	12.109					
	15.6	28.211		27.707	12.61	12.105					
				Σ	50.22	48.383					
3	15.71	28.205	40	26.857	12.5	11.149	56.397	0.331	60	3.744	46.806
	14.75	27.262		25.894	12.51	11.146					
	15.64	28.196		26.747	12.56	11.109					
	14.89	27.426		25.943	12.53	11.05					
				Σ	50.1	44.454					
								61.5			
								68.3			
								68.65			
								59			
								59.5			

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.71	28.247	90	26.127	12.54	10.421	50.562	0.309	63	3.149	39.369
	14.75	27.261		25.29	12.51	10.542					
	15.64	28.316		26.27	12.68	10.634					
	14.89	27.4		24.942	12.51	10.049					
				$\Sigma$	50.24	41.646					
5	15.38	27.954	150	22.987	12.57	7.603	32.296	0.189	69	2.331	29.143
	14.9	27.537		23.78	12.63	8.877					
	15.23	27.768		24.162	12.54	8.931					
	15.6	28.198		22.722	12.6	7.119					
				$\Sigma$	50.34	32.53					
6	14.78	27.286	230	21.863	12.5	7.08	24.549	0.182	82.3	0.413	5.158
	15.29	27.778		22.054	12.49	6.766					
	15.22	27.801		22.546	12.58	7.326					
	14.99	27.495		22.304	12.5	7.31					
				$\Sigma$	50.08	28.482					
7	15.39	27.877	300	20.888	12.49	5.5	9.099	0.259 Polvo verde	89.2	0.000	0.000
	15.69	28.214		21.328	12.53	5.639					
	15.74	28.268		20.64	12.53	4.902					
	16.01	28.542		20.716	12.53	4.704					
				$\Sigma$	50.07	20.745					

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.5 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 60 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)	
FECHA DE CORTE: Sábado 05 de Abril de 2003	VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>
HORA DE CORTE: 9:15 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	No CORTE: Primer Corte
DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	15.05	27.475	0	27.475	12.43	12.427	67.670	0.369	81	0.621	7.761
	15.05	27.563		27.563	12.52	12.515					
	15.05	27.623		27.623	12.58	12.575					
	15.05	27.594		27.594	12.55	12.546					
				$\Sigma$	50.06	50.063					
2	15.7	28.348	20	25.751	12.65	10.05	47.406	0.193	74	1.588	19.846
	14.75	27.504		25.208	12.75	10.455					
	15.6	28.072		25.384	12.47	9.785					
	14.82	27.308		24.683	12.49	9.868					
				$\Sigma$	50.36	40.158					
3	15.71	27.233	40	24.782	11.53	9.075	44.649	0.257 Polvo verde	86	0.000	0.000
	15.05	27.538		24.787	12.49	9.739					
	15.32	27.875		24.851	12.55	9.529					
	15.05	27.564		24.49	12.52	9.442					
				$\Sigma$	49.09	37.785					
								80.5			
									74		
									74		
									86		
									87		
									86.5		

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.7	28.169	60	23.515	12.47	7.816	29.464	0.198 Polvo verde	99	0.000	0.000
	14.75	27.342		22.714	12.59	7.962					
	15.6	28.139		23.62	12.54	8.021					
	14.82	26.708		21.6	11.89	6.784					
				$\Sigma$	49.49	30.583			99		
5	15.33	27.767	80	22.042	12.44	6.714	19.558	0.125 Polvo verde	99	0.000	0.000
	14.88	27.315		21.695	12.44	6.816					
	15.23	27.663		21.389	12.44	6.163					
	15.59	28.087		21.74	12.5	6.154					
				$\Sigma$	49.81	25.847			99		
6	14.73	27.282	100	20.826	12.55	6.095	15.990	0.126 Polvo verde	99	0.000	0.000
	15.29	27.797		21.161	12.51	5.871					
	15.21	27.781		21.974	12.57	6.766					
	14.97	27.5		20.477	12.53	5.505					
				$\Sigma$	50.16	24.237			99		
7	15.36	27.96	120	20.708	12.6	5.348	6.227	0.16 Polvo verde	100	0.000	0.000
	15.69	28.191		20.714	12.5	5.023					
	15.7	28.195		20.491	12.5	4.796					
	16.01	28.566		20.184	12.55	4.17					
				$\Sigma$	50.15	19.337			100		

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.6 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 38 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)	
FECHA DE CORTE: Martes 18 de Febrero de 2003	VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>
HORA DE CORTE: 9:45 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	No CORTE: Primer Corte
DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H		Wc (g)	%T	[ppm]
1	15.39	27.928	0	27.928	12.54	12.536	64.173	0.242	71	1.997	24.959
	14.99	27.498		27.498	12.51	12.506					
	15.23	27.747		27.747	12.52	12.515					
	15.6	28.122		28.122	12.52	12.519					
				$\Sigma$	50.08	50.076					
2	15.39	27.928	10	27.522	12.54	12.129	61.259	0.274	68.8	2.421	30.258
	14.99	27.497		27.149	12.5	12.156					
	15.23	27.75		27.378	12.52	12.146					
	15.6	28.114		27.781	12.51	12.177					
				$\Sigma$	50.07	48.608					
3	15.4	27.902	40	26.78	12.51	11.383	56.523	0.282	69.5	2.294	28.678
	15.69	28.209		27.285	12.52	11.593					
	15.74	28.311		27.376	12.57	11.634					
	16.03	28.559		27.706	12.53	11.672					
				$\Sigma$	50.12	46.282					

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	14.8	27.31	90	25.151	12.51	10.352	49.049	0.313	64	2.993	37.416
	15.29	27.809		25.905	12.52	10.617					
	15.23	27.843		26.062	12.61	10.828					
	14.99	27.498		25.758	12.5	10.764					
				$\Sigma$	50.15	42.561					
5	15.39	27.933	150	25.56	12.54	10.167	44.574	0.271	67	2.770	34.627
	14.98	27.503		25.08	12.52	10.096					
	15.23	27.782		25.198	12.55	9.965					
	15.6	28.137		25.69	12.53	10.086					
				$\Sigma$	50.14	40.314					
6	14.8	27.303	230	23.679	12.51	8.883	36.223	0.205	62	3.440	42.994
	15.29	27.797		24.199	12.51	8.912					
	15.23	27.827		24.522	12.6	9.291					
	14.99	27.593		24.085	12.6	9.093					
				$\Sigma$	50.21	36.179					
7	15.39	27.99	300	23.688	12.6	8.295	26.136	0.267	58.5	3.819	47.735
	15.69	28.212		23.272	12.52	7.58					
	15.74	28.241		23.484	12.5	7.744					
	16.03	28.54		23.472	12.51	7.441					
				$\Sigma$	50.13	31.06					

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.7 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS T = 38 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)	
FECHA DE CORTE: Martes 25 de Febrero de 2003	VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>
HORA DE CORTE: 10:00 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	No CORTE: Primer Corte
DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	θ(min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H		Wc (g)	%T	[ppm]
1	15.39	27.913	0	27.913	12.52	12.523	64.173	0.271	63.9	3.083	38.532
	14.98	27.493		27.493	12.52	12.517					
	15.24	27.766		27.766	12.53	12.531					
	15.61	28.113		28.113	12.51	12.506					
				Σ	50.08	50.077					
2	15.4	27.926	10	27.488	12.53	12.091	60.751	0.27	64	3.075	38.439
	15.69	28.214		27.757	12.52	12.064					
	15.75	28.248		27.783	12.5	12.038					
	16.02	28.526		28.173	12.51	12.156					
				Σ	50.06	48.349					
3	15.39	27.936	40	27.012	12.54	11.618	55.217	0.237	66.6	2.674	33.419
	14.98	27.944		26.565	12.97	11.589					
	14.91	27.417		26.122	12.51	11.215					
	15.61	28.109		27.182	12.5	11.575					
				Σ	50.52	45.997					

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	14.79	27.293	90	25.439	12.5	10.65	48.751	0.306	76.8	1.194	14.919
	15.29	27.807		25.836	12.52	10.546					
	15.23	27.765		25.809	12.53	10.577					
	15	27.527		25.584	12.53	10.588					
				$\Sigma$	50.09	42.361					
5	15.39	27.905	150	25.678	12.51	10.285	46.385	0.277	63	3.187	39.833
	14.98	27.477		25.635	12.5	10.659					
	15.23	27.758		25.384	12.52	10.15					
	15.61	28.113		25.654	12.51	10.048					
				$\Sigma$	50.04	41.142					
6	14.79	27.334	230	23.529	12.55	8.741	36.683	0.346	66	2.889	36.115
	15.3	27.754		24.42	12.46	9.121					
	15	27.544		24.26	12.55	9.265					
	15.23	27.877		24.501	12.65	9.271					
				$\Sigma$	50.2	36.398					
7	15.41	27.936	300	23.523	12.53	8.118	25.816	0.272	66	2.703	33.791
	15.69	28.272		23.622	12.58	7.932					
	15.74	28.29		22.799	12.55	7.056					
	16.02	28.758		23.979	12.74	7.964					
				$\Sigma$	50.4	31.07					

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.8 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 45 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)		
FECHA DE CORTE: Martes 4 de Marzo de 2003		VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>
HORA DE CORTE: 8:35 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año	No CORTE: Primer Corte
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION Wc (g)	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	θ(min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H		%T	[ppm]	%I
1	15.71	28.212	0	28.212	12.503	12.503	64.173	0.504	73	1.588	19.846
	14.75	27.265		27.265	12.514	12.514					
	15.64	28.148		28.148	12.505	12.505					
	14.9	27.4		27.4	12.504	12.504					
				Σ	50.026	50.026					
2	15.71	28.26	10	27.721	12.55	12.011	60.170	0.642	69	2.391	29.886
	14.75	27.255		26.708	12.503	11.956					
	15.64	28.146		27.69	12.503	12.047					
	14.9	27.402		26.94	12.507	12.045					
				Σ	50.063	48.059					
3	15.39	27.9	40	26.479	12.507	11.086	50.093	0.494	73.2	1.684	21.055
	14.91	27.426		26.041	12.519	11.134					
	13.96	26.463		23.67	12.5	9.707					
	15.61	28.109		26.664	12.503	11.058					
				Σ	50.029	42.985					
								74			
									68.2		
									68.6		
									73.5		
									73.35		

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.71	28.209	90	25.949	12.501	10.241	45.069	0.376	67.5	2.443	30.537
	14.75	27.259		24.995	12.508	10.244					
	15.64	28.146		25.786	12.505	10.145					
	14.89	27.395		24.724	12.501	9.83					
				$\Sigma$	50.015	40.46			68.25		
5	15.39	27.902	150	23.678	12.509	8.285	24.664	0.325	68.5	2.354	29.421
	14.91	27.408		23.157	12.501	8.25					
	14.97	27.47		20.899	12.502	5.931					
	15.61	28.11		23.395	12.504	7.789					
				$\Sigma$	50.016	30.255			68.85		
6	14.79	27.472	230	21.696	12.683	6.907	21.968	0.298	69	2.242	28.027
	15.29	27.786		22.314	12.497	7.025					
	15.23	27.727		22.497	12.496	7.266					
	12.23	24.854		20.101	12.629	7.876					
				$\Sigma$	50.305	29.074			69.6		
7	15.4	27.979	300	20.467	12.583	5.071	5.294	0.289	74	1.588	19.846
	15.69	28.476		21.185	12.786	5.495					
	15.74	28.39		21.287	12.647	5.544					
	16.01	28.524		20.681	12.51	4.667					
				$\Sigma$	50.526	20.777			74		

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.9 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 45 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)			
FECHA DE CORTE: Lunes 17 de Marzo de 2003		VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>	
HORA DE CORTE: 9:40 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año	No CORTE: Primer Corte	
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm		

Muestra	SECADO DE HOJA						%H	EXTRACCION Wc (g)	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)			%T	[ppm]	%I
1	15.39	27.892	0	27.892	12.51	12.507	64.173	0.28	62.3	3.335	41.693
	14.9	27.399		27.399	12.5	12.5					
	15.22	27.735		27.735	12.51	12.512					
	15.59	28.091		28.091	12.5	12.5					
				$\Sigma$	50.02	50.019					
2	14.73	27.235	10	26.445	12.5	11.711	59.124	0.419	61.3	3.499	43.738
	15.29	27.791		27.132	12.5	11.843					
	15.21	27.711		27.178	12.5	11.97					
	14.97	27.5		26.956	12.53	11.984					
				$\Sigma$	50.03	47.508					
3	15.39	27.92	40	26.353	12.53	10.967	51.870	0.374	63	3.283	41.042
	14.88	27.426		25.915	12.55	11.036					
	15.22	27.734		26.237	12.51	11.013					
	15.59	28.099		26.51	12.51	10.92					
				$\Sigma$	50.1	43.936					

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.39	27.889	90	25.565	12.5	10.18	45.854	0.347	64.3	3.001	37.509
	14.9	27.403		25.305	12.5	10.406			64.7		
	15.22	27.727		25.51	12.5	10.287			64.5		
	15.59	28.093		25.57	12.5	9.979					
				$\Sigma$	50.01	40.852					
5	14.79	27.291	150	23.785	12.51	9	35.494	0.277	60.05	3.663	45.783
	15.29	27.795		24.436	12.51	9.148			60.05		
	15.21	27.71		24.05	12.5	8.843			60.05		
	14.97	27.475		23.655	12.5	8.684			60.05		
				$\Sigma$	50.02	35.675					
6	15.71	28.209	230	22.489	12.5	6.782	18.094	0.363	66.2	2.651	33.140
	14.75	27.252		21.669	12.5	6.92			67.5		
	15.63	28.137		22.298	12.51	6.667			66.85		
	14.89	27.397		21.492	12.51	6.6					
				$\Sigma$	50.02	26.969					
7	15.39	27.896	300	21.188	12.5	5.795	10.307	0.267	63.5	3.038	37.974
	15.69	28.197		21.322	12.51	5.631			65		
	15.74	28.248		21.677	12.51	5.937			64.25		
	16.01	28.529		21.732	12.52	5.719					
				$\Sigma$	50.03	23.082					

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.10 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. T = 60 °C**

METODO: Secado sin Circulación de Aire (Estufa)		
FECHA DE CORTE: lunes 31 de Marzo de 2003		VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>
HORA DE CORTE: 10:00 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año	No CORTE: Primer Corte
PESO HOJA Y TALLO: 4 Lb	DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA							EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	15.7	28.2	0	28.2	12.5	12.501	64.173	0.478	62	3.447	43.087
	14.75	27.283		27.283	12.53	12.533					
	15.6	28.115		28.115	12.52	12.515					
	14.81	27.313		27.313	12.5	12.5					
				$\Sigma$	50.05	50.049					
2	14.73	27.231	20	25.187	12.5	10.457	48.477	0.309	59	3.804	47.549
	15.29	27.803		25.674	12.51	10.384					
	15.21	27.71		25.85	12.5	10.642					
	14.97	27.482		25.663	12.51	10.69					
				$\Sigma$	50.03	42.173					
3	15.36	27.89	40	24.135	12.53	8.775	34.992	0.328	64.1	3.001	37.509
	15.68	28.186		24.408	12.5	8.724					
	15.7	28.198		24.62	12.5	8.924					
	16.01	28.529		25.035	12.52	9.021					
				$\Sigma$	50.05	35.444					
								61.5			
									59.2		
									59.1		
									64.9		
									64.5		

Continuación...

SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t+Wo (g)	$\theta$ (min)	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	15.7	28.208	60	23.363	12.51	7.663	27.989	0.368	60	3.707	46.341
	14.75	27.251		22.881	12.5	8.13					
	15.6	28.101		23.565	12.5	7.965					
	14.81	27.315		22.97	12.5	8.157					
				$\Sigma$	50.01	31.915					
5	15.38	27.883	80	21.802	12.5	6.422	14.575	0.258	71.5	1.960	24.494
	14.88	27.386		21.015	12.51	6.135					
	15.23	27.738		21.705	12.51	6.48					
	15.59	28.097		21.767	12.51	6.18					
				$\Sigma$	50.03	25.217					
6	14.73	27.233	100	21.058	12.5	6.329	13.985	0.244	70.8	2.190	27.376
	15.29	27.799		21.116	12.51	5.826					
	15.21	27.735		21.463	12.53	6.254					
	14.97	27.477		21.491	12.51	6.519					
				$\Sigma$	50.04	24.928					
7	15.36	27.865	120	20.581	12.51	5.221	4.979	0.305	67.5	2.592	32.396
	15.69	28.193		20.437	12.5	4.745					
	15.7	28.207		20.738	12.51	5.042					
	16.01	28.569		21.437	12.56	5.425					
				$\Sigma$	50.07	20.433					
								59.75			
								71.5			
								71.5			
								71.5			
								69.1			
								69.95			
								67.5			
								67			
								67.25			

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

**C. SECADO A LA SOMBRA**  
**Cuadro III.11 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS.**

<b>METODO:</b> Secado a la Sombra			
<b>FECHA:</b> Martes 21 de Abril de 2003		<b>VARIEDAD:</b> <i>I. Suffruticosa</i>	
<b>HORA DE CORTE:</b> 10:00 am		<b>EDAD DE LA PLANTA:</b> 1er. Año	
<b>PESO HOJA:</b> 4 Lb		<b>No CORTE:</b> Primer Corte	
		<b>DIMENSIONES DE BANDEJA:</b> 10 x 10 x 3 cm	

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	16.76	29.27	0		29.27	12.51	12.507	67.670	0.22	64.5	3.038	37.974
	15.83	28.358			28.358	12.53	12.528					
	15.83	28.336			28.336	12.51	12.506					
	15.85	28.381			28.381	12.53	12.529					
					$\Sigma$	50.07	50.07					
2	15.76	28.263	20	4:10 a 4:30 pm	27.61	12.5	11.849	62.892	0.255	62.5	3.321	41.507
	16.35	28.859			28.267	12.51	11.918					
	16.28	28.788			28.189	12.51	11.907					
	16.06	28.564			28.018	12.5	11.958					
					$\Sigma$	50.02	47.632					
3	16.75	29.264	40	3:40 a 4:20 pm	28.138	12.51	11.388	59.588	0.25	58.5	3.893	48.665
	16.12	28.626			27.542	12.5	11.418					
	16.41	28.918			27.906	12.51	11.499					
	16.02	28.545			27.722	12.52	11.7					
					$\Sigma$	50.05	46.005					

Continuación...

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	16.76	29.277	80	1:50 a 3:10 pm	26.241	12.52	9.481	45.745	0.25	71.5	1.974	24.680
	15.75	28.253			26.18	12.5	10.43			71.3		
	16.57	29.073			25.85	12.51	9.282			71.4		
	15.83	28.343			25.705	12.51	9.872					
					$\Sigma$	50.04	39.065					
5	16.76	29.26	120	1:15 a 3:15 pm	25.608	12.5	8.85	36.270	0.15	80	0.621	7.761
	16.12	28.643			24.515	12.52	8.395			81		
	16.4	28.91			24.561	12.51	8.163					
	16.12	28.626			25.041	12.51	8.922					
					$\Sigma$	50.04	34.33			80.5		
6	15.76	28.273	200	12:50 a 4:10 pm	22.809	12.51	7.05	24.006	0.258 (Polvo verde)	90	0.000	0.000
	16.35	28.876			23.746	12.53	7.399			91		
	16.28	28.807			23.081	12.53	6.803					
	16.03	28.529			22.985	12.5	6.957					
					$\Sigma$	50.07	28.209			90.5		
7	16.41	28.917	300	12:30 a 5:30 pm	22.287	12.51	5.879	19.189	0.2 (Polvo verde)	99	0.000	0.000
	15.96	28.488			22.546	12.53	6.583			99		
	16.3	28.798			23.161	12.5	6.863					
	16.63	29.135			23.082	12.51	6.457					
					$\Sigma$	50.04	25.782			99		

Continuación...

## CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA



FECHA: martes 21 de abril de 2003

VARIEDAD: *I. Suffruticosa*

HORA	% HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA (°C)
12:30:00 m.	40.5	32
12:54:00 m.	39.5	32.9
01:11:00 p.m.	38	33.8
01:33:00 p.m.	40	32.5
01:55:00 p.m.	53	30
02:10:00 p.m.	55	30.5
02:32:00 p.m.	55	31
02:52:00 p.m.	63	29.9
03:10:00 p.m.	65	29.8
03:30:00 p.m.	67.5	28.2
04:00:00 p.m.	72.5	28
04:20:00 p.m.	74.5	27
04:40:00 p.m.	74.5	27
05:00:00 p.m.	77.5	26.5
05:20:00 p.m.	79	26
<i>PROMEDIO</i>	<i>59.63</i>	<i>29.67</i>

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL *Indigofera Sp.*

**Cuadro III.12 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS.**

METODO: Secado a la Sombra		VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>	
FECHA: Lunes 28 de Abril de 2003		No CORTE: Primer Corte	
HORA DE CORTE: 9:55 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año		DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 3 cm
PESO HOJA: 4 Lb			

Muestra	SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1			0			0	0	67.670	0.216	72.5	1.788	22.356
						0	0					
						0	0					
						0	0					
						$\Sigma$	50.07					
2	16.76	29.261	20	3:50 a 4:10 pm	27.943	12.5	11.185	58.570	0.308	69.8	2.160	27.004
	15.77	28.29			27.205	12.52	11.431					
	16.61	29.1025			28.079	12.49	11.47					
	15.84	28.343			27.218	12.51	11.381					
					$\Sigma$	50.02	45.467					
3	16.45	28.963	40	2:05 a 2:45 pm	26.706	12.51	10.254	51.698	0.335	82	0.413	5.158
	16.78	29.282			27.419	12.5	10.639					
	16.79	29.297			27.379	12.51	10.594					
	17.07	29.576			27.623	12.51	10.552					
					$\Sigma$	50.03	42.039					

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	16.41	28.923	80	1:40 a 3:00 pm	25.774	12.51	9.365	39.090	0.33	74	1.513	18.917
	15.96	28.962			25.422	13	9.462					
	16.31	28.813			25.329	12.51	9.022					
	16.63	29.132			24.864	12.51	8.238					
					$\Sigma$	50.53	36.087					
5	16.76	29.27	120	1:15 a 3:15 pm	25.726	12.51	8.962	38.688	0.205	81	0.546	6.831
	15.77	28.295			24.691	12.52	8.918					
	16.61	29.116			25.304	12.51	8.696					
	15.86	28.357			24.815	12.5	8.96					
					$\Sigma$	50.04	35.536					
6	16.75	29.258	200	12:50 a 4:10 pm	23.221	12.51	6.473	19.291	0.218	82	0.435	5.437
	16.11	28.678			21.818	12.57	5.71					
	16.4	28.915			23.29	12.52	6.892					
	16.1	28.615			22.894	12.51	6.793					
					$\Sigma$	50.11	25.868					
7	15.76	28.293	300	12:14 a 5:14 pm	21.353	12.53	5.59	7.884	0.215	85	0.000	0.000
	16.35	28.893			21.252	12.54	4.902					
	16.28	28.79			21.297	12.51	5.016					
	16.06	28.562			20.693	12.5	4.633					
					$\Sigma$	50.08	20.141					
									84.6			

Continuación...

## CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA



FECHA: Lunes 28 de abril de 2003

VARIEDAD: *I. Suffruticosa*

HORA	% HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA (°C)
12:14 m	60	30
12:35 m	56	30.8
12:56 m	55	32
01:18:00 p.m.	52.5	33
01:43:00 p.m.	52	32.8
02:05:00 p.m.	52.55	32.5
02:25:00 p.m.	52	32.8
02:45:00 p.m.	52	32.5
03:05:00 p.m.	52	32
03:25:00 p.m.	52.5	32.5
03:46:00 p.m.	54	32
04:05:00 p.m.	56.5	31
04:25:00 p.m.	57	30
04:45:00 p.m.	57.5	30
05:05:00 p.m.	57.5	29.8
05:21:00 p.m.	61	29
<i>PROMEDIO</i>	<i>54.67</i>	<i>31.51</i>

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

**Cuadro III.13 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS**

METODO:	Secado a la Sombra				
FECHA:	Sabado 26 de Abril de 2003		VARIEDAD:	<i>I. Guatemalensis</i>	
HORA DE CORTE:	9:05 am	EDAD DE LA PLANTA:	1er. Año	No CORTE:	Primer Corte
PESO HOJA:	4 Lb	DIMENSIONES DE BANDEJA:			10 x 10 x 3 cm

Muestra	SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	16.41	28.959	0		28.959	12.55	12.549	64.173	0.385	62.8	3.164	39.554
	16.43	28.955			28.955	12.53	12.527					
	16.41	28.92			28.92	12.51	12.508					
	16.41	28.947			28.947	12.54	12.536					
					$\Sigma$	50.12	50.12					
2	16.45	28.936	20	2:40 a 3:00 pm	27.96	12.49	11.51	55.761	0.618	67.2	2.577	32.210
	16.78	29.12			27.959	12.34	11.178					
	16.79	29.288			28.231	12.5	11.446					
	17.07	29.716			28.706	12.65	11.636					
					$\Sigma$	49.97	45.77					
3	16.45	28.866	40	1:45 a 2:25 pm	27.919	12.42	11.47	51.318	0.523	53.8	4.503	56.288
	16.78	29.331			27.41	12.55	10.629					
	16.79	29.3			27.537	12.51	10.751					
	17.07	29.559			27.766	12.49	10.697					
					$\Sigma$	49.97	43.547					

Continuación...

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	16.41	28.971	80	1:30 a 2:50 pm	25.804	12.56	9.392	40.623	0.546	65	2.852	35.650
	15.97	28.352			25.387	12.39	9.422			66		
	16.3	28.818			25.818	12.52	9.521			66		
	16.63	29.13			26.494	12.5	9.868			65.5		
					$\Sigma$	49.97	38.203			65.5		
5	16.77	29.297	120	1:10 a 3:10 pm	25.134	12.53	8.366	32.506	0.47	73.5	1.588	19.846
	15.77	28.273			24.59	12.5	8.817			74.5		
	16.61	29.11			25.033	12.5	8.426			74.5		
	15.86	28.364			24.441	12.51	8.585			74		
					$\Sigma$	50.04	34.194			74		
6	16.8	29.348	200	12:50 a 4:10 pm	23.783	12.55	6.984	20.439	0.315	65.8	2.778	34.720
	16.12	28.658			23.105	12.54	6.988			66.2		
	16.4	28.914			23.372	12.52	6.974			66.2		
	16.12	28.62			23.366	12.5	7.247			66		
					$\Sigma$	50.11	28.193			66		
7	15.77	28.77	300	12:29 a 5:29 pm	22.269	13	6.495	15.115	0.28	79	0.695	8.690
	16.35	28.897			22.714	12.55	6.367			81		
	16.28	28.914			22.828	12.64	6.549			81		
	16.06	28.605			22.488	12.55	6.432			80		
					$\Sigma$	50.73	25.843			80		

Continuación...

## CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA



FECHA: Sabado 26 de abril de 2003

VARIEDAD: *I. Guatemalensis*

HORA	% HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA (°C)
12:29:00 p.m.	67.5	28.3
12:49:00 p.m.	65	29.5
01:09:00 p.m.	62.5	30.2
01:29:00 p.m.	63	30
01:49:00 p.m.	64	30
02:09:00 p.m.	62	31
02:29:00 p.m.	64.5	30.2
02:49:00 p.m.	64.8	30
03:09:00 p.m.	65	30
03:29:00 p.m.	67	29.5
03:49:00 p.m.	67.5	29
04:09:00 p.m.	70	28.5
04:29:00 p.m.	75	28.1
04:49:00 p.m.	77.5	27.8
05:09:00 p.m.	78.5	27
<i>PROMEDIO</i>	<i>67.59</i>	<i>29.27</i>

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

**Cuadro III.14 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS**

METODO:	Secado a la Sombra		
FECHA:	Sabado 03 de Mayo de 2003	VARIEDAD:	<i>I. Guatemalensis</i>
HORA DE CORTE:	8:30 am	EDAD DE LA PLANTA:	1er. Año
PESO HOJA:	4 Lb	No CORTE:	Primer Corte
DIMENSIONES DE BANDEJA:		10 x 10 x 3 cm	

Muestra	SECADO DE HOJA								EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	16.76	29.266	0		29.266	12.5	12.504	64.173	0.395	65.5	2.964	37.044
	16.76	29.268			29.268	12.51	12.505					
	16.76	29.273			29.273	12.51	12.51					
	16.76	29.265			29.265	12.5	12.502					
					$\Sigma$	50.02	50.021					
2	16.41	28.915	20	1:56 a 2:16 pm	27.735	12.5	11.323	55.034	0.323	57	3.968	49.595
	15.96	28.461			27.314	12.5	11.354					
	16.3	28.799			27.642	12.5	11.345					
	16.63	29.135			28.048	12.51	11.421					
					$\Sigma$	50.01	45.443					
3	16.73	29.274	40	12:10 a 12:50 pm	27.127	12.55	10.398	46.716	0.318	66.5	2.778	34.720
	16.11	28.118			25.921	12.01	9.814					
	16.39	28.897			26.644	12.51	10.252					
	16.1	28.608			26.552	12.51	10.45					
					$\Sigma$	49.57	40.914					

Continuación...

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	16.73	29.291	80	1:15 a 2:35 pm	25.666	12.57	8.94	36.404	0.378	72	1.945	24.308
	16.1	28.671			25.071	12.57	8.968			71.2		
	16.39	28.916			25.57	12.52	9.178					
	16.1	28.656			25.284	12.55	9.182					
					$\Sigma$	50.21	36.268					
5	16.41	28.927	120	11:20 a 1:20 pm	23.926	12.52	7.514	22.447	0.278	83	0.175	2.183
	15.96	28.475			23.622	12.52	7.662			84		
	16.3	28.8			23.811	12.51	7.516					
	16.63	29.136			23.097	12.51	6.471					
					$\Sigma$	50.05	29.163					
6	16.74	29.24	200	10:50 a 2:10 pm	21.859	12.5	5.12	8.329	0.236	74	1.588	19.846
	15.77	28.281			21.255	12.51	5.482			74		
	16.59	29.096			22.258	12.51	5.667					
	15.86	28.406			21.695	12.55	5.836					
					$\Sigma$	50.06	22.105					
7	15.76	28.271	300	10:25 a 3:25 pm	20.126	12.51	4.363	1.205	0.24	73.8	1.565	19.567
	16.35	28.85			21.169	12.5	4.82			74.5		
	16.27	28.775			20.919	12.5	4.647					
	16.06	28.562			20.751	12.5	4.691					
					$\Sigma$	50.01	18.521					

Continuación...

## CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA



FECHA: Sabado 3 de Mayo de 2003

VARIEDAD: *I. Guatemalensis*

HORA	% HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA (°C)
10:25:00 a.m.	58	31
10:45:00 a.m.	56	32
11:05:00 a.m.	51	32
11:28:00 a.m.	51	32.5
11:45:00 a.m.	50.5	33
12:05:00 p.m.	48	34
12:25:00 p.m.	48	34.2
12:45:00 p.m.	51	34.2
01:15:00 p.m.	52.5	34
01:36:00 p.m.	53	34
01:55:00 p.m.	54	33
02:20:00 p.m.	57	32
02:40:00 p.m.	58	32
03:00:00 p.m.	58	32
03:20:00 p.m.	58.5	31.8
<i>PROMEDIO</i>	<i>53.63</i>	<i>32.78</i>

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

**D. SECADO CON CIRCULACIÓN DE AIRE**  
**Cuadro III.15 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS**

<b>METODO:</b> Secado con Circulacion de aire (Secador de Bandejas por lotes)		
<b>FECHA:</b> Lunes 19 de Mayo de 2003	<b>VARIEDAD:</b> <i>I. Suffruticosa</i>	
<b>HORA DE CORTE:</b> 10:00 am	<b>EDAD DE LA PLANTA:</b> 1er. Año	<b>No CORTE:</b> Primer Corte
<b>PESO HOJA:</b> 4 Lb	<b>DIMENSIONES DE BANDEJA:</b> 10 x 10 x 2 cm	

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	12.31	24.818	0		24.818	12.51	12.505	73.370	0.177	61	3.484	43.552
	12.31	24.82			24.82	12.51	12.509					
	12.31	24.812			24.812	12.5	12.5					
	12.31	24.82			24.82	12.51	12.509					
					$\Sigma$	50.02	50.023					
2	12.56	25.079	10	5:05 a 5:15 p.m.	23.77	12.52	11.208	64.467	0.158	62	3.447	43.087
	12.48	24.979			23.793	12.5	11.317					
	12.42	24.925			23.909	12.5	11.486					
	13.3	25.808			24.865	12.51	11.563					
					$\Sigma$	50.03	45.574					
3	12.31	24.894	20	4:20 a 4:40 p.m.	23.121	12.59	10.815	58.566	0.208	77	0.993	12.409
	12.65	25.14			23.579	12.49	10.928					
	13.31	25.894			24.052	12.59	10.747					
	12.56	25.072			22.82	12.51	10.259					
					$\Sigma$	50.18	42.749					
									61.25			
										61.5		
										61		
										61.5		
										77		
										79		
										78		

Continuación ...

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	12.56	25.095	30	3:41 a 4:11 p.m.	22.573	12.53	10.012	56.557	0.238	75	1.588	19.846
	12.48	24.979			22.613	12.5	10.138					
	12.4	24.911			22.999	12.51	10.595					
	12.39	25.796			24.03	13.4	11.637					
					$\Sigma$	50.95	42.382					
5	12.31	24.82	40	2:56 a 3:36 p.m.	21.435	12.51	9.123	52.890	0.268	72	1.922	24.030
	12.18	24.684			22.617	12.5	10.435					
	12.35	24.857			22.606	12.5	10.252					
	12.66	25.157			22.617	12.5	9.961					
					$\Sigma$	50.01	39.771					
6	12.59	25.081	50	2:05 a 2:55 p.m.	21.199	12.49	8.608	49.134	0.205	63	3.224	40.298
	12.48	24.981			22.093	12.51	9.617					
	12.42	24.939			22.039	12.52	9.616					
	13.3	25.829			23.372	12.53	10.069					
					$\Sigma$	50.04	37.91					
7	12.58	25.083	60	12:35 a 1:35 p.m.	21.343	12.5	8.76	44.445	0.15	75	1.216	15.198
	12.48	24.983			21.626	12.51	9.15					
	12.42	24.932			20.976	12.51	8.553					
	13.3	25.819			22.4	12.52	9.098					
					$\Sigma$	50.03	35.561					
									74			
										71.5		
										71.75		
										63		
										63		
										63		
										75		
										78		
										76.5		

Continuación...

## CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

FECHA: lunes 19 de mayo de 2003  
VELOCIDAD DE AIRE: 1.7 m/s

VARIEDAD: *I. Suffruticosa*

HORA	TBS1 °C	TBS2 °C	% HUMEDAD RELATIVA
12:35 p.m.	35.0	34.0	53.0
12:55 p.m.	35.5	34.2	53.0
1:15 p.m.	35.2	34.0	54.0
1:35 p.m.	35.5	34.5	54.0
2:05 p.m.	35.0	34.0	54.0
2:15 p.m.	35.0	34.0	56.0
2:30 p.m.	34.8	34.0	56.0
2:45 p.m.	35.2	34.0	55.5
2:55 p.m.	36.2	35.0	54.5
2:56 p.m.	35.0	34.2	54.0
3:05 p.m.	35.0	34.2	54.5
3:15 p.m.	35.0	34.0	54.5
3:25 p.m.	35.5	34.0	54.5
3:35 p.m.	35.0	34.0	54.8
3:40 p.m.	35.2	34.0	54.0
3:47 p.m.	36.0	35.0	53.0
3:55 p.m.	35.0	34.5	52.5
4:04 p.m.	35.0	34.0	53.0
4:11 p.m.	35.5	34.2	53.0
4:20 p.m.	35.0	35.0	53.5
4:26 p.m.	35.0	34.0	54.5
4:32 p.m.	35.0	33.8	55.0
4:41 p.m.	36.0	35.0	55.0
5:05 p.m.	35.0	33.5	53.0
5:10 p.m.	35.0	34.0	54.0
5:15 p.m.	36.0	34.9	54.5
<i>PROMEDIO</i>	<i>35.25</i>	<i>34.23</i>	<i>54.13</i>

**Cuadro III.16 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS**

METODO: Secado con Circulacion de aire (Secador de Bandejas por lotes)	
FECHA: martes 27 de Mayo de 2003	VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>
HORA DE CORTE: 10:00 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año
PESO HOJA: 4 Lb	No CORTE: Primer Corte
DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 2 cm	

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	12.18	24.696	0		24.696	12.52	12.516	73.370	0.235	72.5	1.662	20.776
	12.18	24.698			24.698	12.52	12.515					
	12.18	24.703			24.703	12.52	12.52					
	12.18	24.718			24.718	12.54	12.535					
					$\Sigma$	50.09	50.086					
2	12.56	25.075	10	4:07 a 4:17 p.m.	23.558	12.52	11.002	60.370	0.355 Polvo verde	90	0.000	0.000
	12.48	24.978			23.502	12.5	11.024					
	12.42	24.936			23.366	12.51	10.944					
	13.31	25.814			23.872	12.51	10.565					
					$\Sigma$	50.04	43.535					
3	12.31	24.807	20	3:40 a 4:00 p.m.	21.879	12.5	9.572	49.897	0.186	73	1.699	21.241
	12.18	24.686			22.261	12.5	10.078					
	12.35	24.851			22.052	12.5	9.704					
	12.65	25.157			21.57	12.5	8.917					
					$\Sigma$	50.01	38.271					

Continuación...

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	12.56	25.072	30	3:07 a 3:37 p.m.	21.783	12.51	9.222	41.895	0.288	71.5	1.982	24.773
	12.48	24.986			21.128	12.51	8.651			71.2		
	12.42	24.925			21.207	12.51	8.787			71.2		
	13.31	25.818			20.934	12.51	7.628			71.2		
					$\Sigma$	50.04	34.288			71.35		
5	12.31	24.826	40	2:19 a 2:59 p.m.	20.362	12.52	8.057	36.129	0.2 Polvo verde	86	0.000	0.000
	12.19	24.692			20.357	12.51	8.172			85		
	12.35	24.88			20.45	12.53	8.1			85		
	12.65	25.16			19.743	12.51	7.093			85.5		
					$\Sigma$	50.07	31.422			85.5		
6	12.56	25.062	50	1:27 a 2:17 p.m.	20.893	12.51	8.338	28.915	0.168 Polvo verde	90	0.000	0.000
	12.48	24.981			19.156	12.5	6.676			90		
	12.43	24.954			19.145	12.53	6.716			90		
	13.3	25.804			19.365	12.5	6.061			90		
					$\Sigma$	50.03	27.791			90		
7	12.31	24.808	60	12:25 a 1:25 p.m.	19.412	12.5	7.106	28.024	0.211 Polvo verde	85	0.000	0.000
	12.18	24.692			19.418	12.51	7.235			85		
	12.35	24.865			19.708	12.52	7.362			85		
	12.65	25.159			18.296	12.51	5.645			85		
					$\Sigma$	50.04	27.348			85		

Continuación...

## CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

FECHA: martes 27 de mayo de 2003

VARIEDAD: *I. Suffruticosa*

VELOCIDAD DE AIRE: 1.7 m/s

HORA	TBS1 °C	TBS2 °C	% HUMEDAD RELATIVA
12:25 m	45.0	44.0	31.0
12:35 m	44.8	43.8	32.5
12:45 m	47.5	46.0	33.0
12:55 m	46.0	45.0	32.3
1:05 p.m.	48.0	47.0	32.0
1:15 p.m.	50.5	49.0	30.0
1:25 p.m.	49.0	48.0	30.0
1:27 p.m.	49.0	48.0	30.0
1:37 p.m.	49.5	48.5	29.8
1:47 p.m.	49.8	48.0	32.0
1:57 p.m.	50.0	49.0	32.3
2:07 p.m.	50.0	48.0	31.0
2:17 p.m.	50.5	49.0	32.3
2:18 p.m.	50.5	49.0	32.0
2:29 p.m.	49.5	48.5	32.0
2:39 p.m.	49.0	48.0	32.0
2:49 p.m.	49.0	48.0	32.0
2:59 p.m.	50.0	49.0	32.5
3:07 p.m.	49.5	48.2	31.0
3:17 p.m.	50.0	48.5	32.0
3:27 p.m.	50.0	48.5	31.5
3:37 p.m.	51.0	49.5	31.5
3:40 p.m.	50.0	48.0	31.0
3:50 p.m.	49.0	48.0	32.5
4:00 p.m.	48.0	47.0	32.7
4:07 p.m.	49.0	47.5	32.5
4:17 p.m.	49.0	47.5	34.0
<i>PROMEDIO</i>	<i>49.00</i>	<i>47.72</i>	<i>31.76</i>

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

**Cuadro III.17 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS**

<b>METODO:</b>	Secado con Circulacion de aire (Secador de Bandejas por lotes)		
<b>FECHA:</b>	sabado 24 de Mayo de 2003	<b>VARIEDAD:</b>	<i>I. Guatemalensis</i>
<b>HORA DE CORTE:</b>	8:45 am	<b>EDAD DE LA PLANTA:</b>	1er. Año
<b>PESO HOJA:</b>	4 Lb	<b>No CORTE:</b>	Primer Corte
	<b>DIMENSIONES DE BANDEJA:</b> 10 x 10 x 2 cm		

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	12.56	25.052	0		25.052	12.49	12.491	73.640	0.371	71	2.034	25.424
	12.31	24.805			24.805	12.5	12.497					
	12.3	25.836			25.836	13.53	13.533					
	12.65	25.159			25.159	12.51	12.509					
						51.03	51.03					
2	12.56	25.081	10	3:13 a 3:23 p.m.	23.429	12.52	10.868	60.622	0.281	68	2.406	30.072
	12.31	24.825			23.338	12.52	11.032					
	13.3	25.801			24.065	12.5	10.761					
	12.65	25.146			23.508	12.49	10.856					
					$\Sigma$	50.03	43.517					
3	12.48	24.94	20	2:51 a 3:11 p.m.	22.745	12.47	10.27	54.612	0.183	71	2.108	26.354
	12.18	24.693			22.596	12.51	10.414					
	12.42	24.959			22.448	12.54	10.027					
	13.35	25.896			23.173	12.55	9.826					
					$\Sigma$	50.06	40.537					
									70.5			

Continuación...

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	12.56	25.073	30	2:16 a 2:46 p.m.	21.307	12.51	8.744	45.088	0.314	73	1.662	20.776
	12.31	24.815			21.266	12.51	8.958			74		
	13.3	25.831			22.506	12.53	9.203			73.5		
	12.65	25.159			21.508	12.51	8.856					
					$\Sigma$	50.05	35.761					
5	12.48	24.952	40	1:29 a 2:10 p.m.	20.279	12.48	7.803	39.888	0.376	71	1.885	23.565
	12.18	24.69			21.234	12.51	9.052			73		
	12.42	24.938			20.652	12.52	8.233			72		
	12.35	24.873			20.402	12.53	8.055					
					$\Sigma$	50.03	33.143					
6	12.56	25.045	50	12:36 a 1:26 p.m.	20.337	12.48	7.776	33.865	0.298	72	1.736	21.705
	12.31	24.915			19.256	12.61	6.949			74		
	13.3	25.798			21.349	12.5	8.046			73		
	12.65	25.198			20.073	12.55	7.422					
					$\Sigma$	50.13	30.193					
7	12.48	25.028	60	11:31 a 12:31 p.m.	19.397	12.55	6.921	34.247	0.27	78.5	0.881	11.015
	12.18	24.683			20.481	12.5	8.299			79		
	12.42	24.92			20.054	12.5	7.635					
	12.35	24.84			19.823	12.5	7.478					
					$\Sigma$	50.05	30.333			78.75		

Continuación...

**CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA**

FECHA: sabado 24 de mayo de 2003

VARIEDAD: *I. Guatemalensis*

VELOCIDAD DE AIRE: 1.7 m/s

HORA	TBS1 °C	TBS2 °C	% HUMEDAD RELATIVA
11:31 a.m.	36.0	34.8	50.5
11:40 a.m.	36.0	35.2	51.0
11:47 a.m.	37.2	35.2	50.5
12:00 m	37.5	36.0	49.0
12:10 m	38.0	37.0	48.0
12:16 m	37.2	36.0	47.5
12:21 m	37.0	36.0	47.0
12:31 m	38.0	36.5	46.0
12:36 m	38.0	36.5	46.0
12:43 m	37.8	36.0	45.5
12:51 m	38.0	36.5	46.0
1:00 p.m.	38.0	36.5	45.0
1:11 p.m.	39.0	38.0	43.0
1:21 p.m.	38.0	36.8	42.5
1:26 p.m.	38.8	38.0	42.0
1:29 p.m.	38.0	37.0	42.0
1:38 p.m.	39.2	37.9	42.0
1:47 p.m.	38.0	37.0	41.5
1:55 p.m.	39.0	37.0	41.0
2:04 p.m.	39.0	37.0	41.0
2:08 p.m.	38.5	37.5	40.5
2:16 p.m.	39.0	38.0	38.5
2:22 p.m.	40.0	39.0	38.0
2:28 p.m.	38.5	37.0	37.8
2:34 p.m.	39.5	38.0	37.5
2:40 p.m.	40.0	38.8	37.5
2:47 p.m.	39.2	38.0	37.7
2:51 p.m.	39.0	38.0	37.5
2:56 p.m.	40.0	39.0	37.7
3:03 p.m.	40.0	38.0	38.0
3:08 p.m.	38.8	38.0	38.0
3:11 p.m.	38.8	38.0	38.0
PROMEDIO	38.4	37.2	42.5

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

**Cuadro III.18 HOJA DE RECOLECCION DE DATOS**

METODO: Secado con Circulacion de aire (Secador de Bandejas por lotes)		
FECHA: sabado 31 de Mayo de 2003	VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>	
HORA DE CORTE: 9:00 am	EDAD DE LA PLANTA: 1er. Año	No CORTE: Primer Corte
PESO HOJA: 4 Lb	DIMENSIONES DE BANDEJA: 10 x 10 x 2 cm	

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
1	12.56	25.191	0		25.191	12.63	12.63	73.640	0.211	63.5	3.164	39.554
	12.56	25.064			25.064	12.51	12.506					
	12.56	25.197			25.197	12.64	12.638					
	12.56	25.096			25.096	12.54	12.537					
						50.31	50.311					
2	12.31	24.808	10	3:00 a 3:10 p.m.	22.326	12.5	10.018	56.935	0.175	75	1.513	18.917
	12.18	24.687			22.642	12.51	10.464					
	12.36	24.744			22.932	12.39	10.574					
	12.66	25.142			23.148	12.49	10.493					
					$\Sigma$	49.88	41.549					
3	12.56	25.08	20	2:30 a 2:50 p.m.	21.764	12.52	9.205	40.011	0.182	69	2.220	27.748
	12.47	25.025			20.737	12.56	8.268					
	12.43	24.996			20.066	12.57	7.641					
	13.31	25.795			21.47	12.49	8.16					
					$\Sigma$	50.13	33.274					
									74.5			
										70.5		
										69.75		

Continuación...

SECADO DE HOJA									EXTRACCION	CONTENIDO DE INDIGOTINA		
Muestra	t (g)	t + Wo (g)	$\theta$ (min)	Hora	t+Wf (g)	Wo (g)	Wf (g)	%H	Wc (g)	%T	[ppm]	%I
4	12.31	24.863	30	1:50 a 2:20 p.m.	18.615	12.56	6.308	30.111	0.152	70.5	2.071	25.889
	12.18	24.686			19.726	12.51	7.547			71		
	12.4	24.879			19.9	12.48	7.502			70.75		
	12.66	25.14			19.55	12.49	6.895					
					$\Sigma$	50.03	28.252					
5	12.56	25.177	40	1:00 a 1:40 p.m	17.618	12.62	5.061	20.167	0.15	78	1.141	14.268
	12.47	25.037			18.549	12.57	6.078			76		
	12.42	24.964			18.363	12.54	5.941			77		
	13.31	25.844			19.615	12.54	6.306					
					$\Sigma$	50.26	23.386					
6	12.31	24.879	50	12:03 a 12:53 m	17.054	12.57	4.748	17.797	0.137	82	0.472	5.902
	12.18	24.759			18.304	12.58	6.122			81		
	12.35	24.865			18.361	12.52	6.012			81.5		
	12.65	25.204			17.946	12.55	5.292					
					$\Sigma$	50.22	22.174					
7	12.58	25.08	60	11:00 a.m a 12:00 a.m.	16.626	12.5	4.05	15.761	0.308	83.6	0.018	0.231
	12.47	24.726			17.632	12.26	5.162			85.5		
	12.42	24.922			18.47	12.5	6.05			84.55		
	13.31	25.838			19.019	12.53	5.711					
					$\Sigma$	49.79	20.973					

Continuación...

**CONDICIONES AMBIENTALES. MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA**

FECHA: sabado 31 de mayo de 2003  
VELOCIDAD DE AIRE: 1.7 m/s

VARIEDAD: *I. Guatemalensis*

HORA	TBS1 °C	TBS2 °C	% HUMEDAD RELATIVA
11:00 a.m.	53.0	49.0	30.0
11:10 a.m.	54.0	50.0	30.0
11:20 a.m.	54.0	49.5	29.8
11:30 a.m.	54.0	50.0	30.0
11:40 a.m.	54.0	50.0	30.0
11:50 a.m.	55.0	51.0	31.0
12:00 m	55.0	50.5	31.5
12:10 m	56.0	52.0	28.0
12:20 m	55.0	51.5	29.5
12:30 m	56.0	52.0	28.0
12:40 m	56.0	52.0	27.5
12:50 m	56.0	52.0	27.5
1:00 p.m.	56.0	52.0	27.5
1:10 p.m.	56.0	52.0	27.5
1:20 p.m.	56.0	52.0	27.5
1:30 p.m.	57.0	53.0	27.5
1:40 p.m.	57.0	53.0	27.5
1:50 p.m.	56.5	52.0	28.0
2:00 p.m.	56.5	52.0	28.0
2:10 p.m.	56.0	54.0	29.0
2:20 p.m.	57.0	53.0	29.0
2:30 p.m.	57.0	53.0	29.0
2:40 p.m.	57.0	53.0	29.5
2:50 p.m.	56.0	53.0	29.0
3:00 p.m.	56.0	53.5	29.0
3:10 p.m.	55.6	52.5	29.5
<i>PROMEDIO</i>	<i>55.7</i>	<i>51.8</i>	<i>28.9</i>

ANEXO IV

**ANEXO IV**

Curvas de Secado

**Curvas de Secado**

## **A. CONDICIONES DE TRABAJO PARA LA ELABORACION DE CURVAS DE SECADO**

La presente sección describe la metodología, resultados obtenidos e interpretación de las curvas de secado elaboradas para cada variedad de la hoja de añil.

Las condiciones de trabajo utilizadas fueron:

- ✓ EQUIPO: Secador de bandejas por lotes.
- ✓ VELOCIDAD DEL AIRE DEL VENTILADOR: 1.7 m / s
- ✓ TEMPERATURA: las mismas descritas en la sección 7.5.3., es decir que se elaboraron 2 curvas de secado por variedad.
- ✓ BANDEJAS UTILIZADAS: Bandeja de lámina galvanizada, con las siguientes dimensiones: 12.3 x 9.0 x1.5 cm

## **B. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

*a) Calibración del equipo:*

1. Encender el ventilador y los termostatos, llevándolos a los niveles especificados en la sección 7.5.3, dependiendo de la temperatura de trabajo.
2. Colgar las bandejas con la malla de tela (colocadas sobre las bandejas) dentro del equipo desde el inicio del proceso de calibración. Asimismo, montar sobre el equipo las balanzas granatarias ,termómetros de inmersión y medidor de humedad relativa del aire, tal como se muestra en la figura IV.1
3. Esperar a que el sistema se estabilice hasta la temperatura de trabajo.



**Figura IV.1** Vista de la distribución de las bandejas y accesorios en el secador, para elaboración curvas de secado.

*b) Obtención de datos experimentales.*

1. Cortar las hojas de las ramas manualmente , tal como se describe en la sección 6.2.4.
2. Pesarse las bandejas suspendidas junto con la malla de tela cuando el sistema se encuentre totalmente calibrado, reportando como peso de bandeja ( $W_b$ ).
3. Sacar rápidamente las bandejas con la malla y llenarlas con la muestra de hoja, procurando dejarla totalmente llena y al ras.
4. Colocar sobre las bandejas con muestra la malla de tela , para evitar que el flujo de aire disperse las hojas. Colgar rápidamente en suspensión las bandejas con la muestra en la parte inferior de las balanzas.
5. Registrar el peso inicial de la bandeja + malla metálica + muestra a tiempo cero ( $W, a \theta=0$ ).
6. Efectuar mediciones de pérdida de peso ( $W$ ) , temperatura de bulbo seco antes ( $TBS_1$ ) y después ( $TBS_2$ ) de la zona de bandejas y humedad relativa del aire circulante al final del secador, por medio de un higrómetro.
7. Efectuar las mediciones, inicialmente a intervalos de 2 minutos, y cuando las variaciones en el peso sean muy pequeñas entonces aumentar el intervalo de tiempo.

8. Detener el proceso de secado cuando se alcanzan las condiciones de equilibrio, es decir, cuando el peso sea constante.
9. Obtener el peso seco de la hoja de añil utilizando el peso de la muestra inicial y el porcentaje de humedad parcial para dicha planta.
10. Apagar el sistema, dejando el ventilador encendido hasta que se enfríe el equipo. Apagar el ventilador y desconectar el equipo.

## **B. RESULTADOS OBTENIDOS**

En los siguientes cuadros se tabulan todas las variables antes mencionadas. Es importante definir el cálculo de la humedad de la muestra en base seca (X):

$$X = \frac{W - W_s}{W_s - W_b} \frac{gH_2O}{gSS} \quad ec.(IV.1)$$

Donde:

W: pérdida de peso monitoreada en un instante  $\theta$ .

$W_s$ : peso de bandeja con sólido seco.

$W_b$ : peso de bandeja.

## **Indigofera Guatemalensis.**

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION  
DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)



### **HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. CURVA DE SECADO**

**CUADRO IV.1**

FECHA: Sábado 17 de Mayo de 2003		VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>			
DIMENSIONES DE BANDEJA: 12.3 x 9.0 x1.5 cm			PESO DE BANDEJA (Wb): 77.85 g		
PESO DE BANDEJA CON SÓLIDO SECO (Ws): 83.385 g					
VELOCIDAD DE AIRE (V m/s): 1.7					
$\theta$ (min)	W (gr)	X (g Agua/g Ss)	TBS1 (°C)	TBS2 (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%Hr)
0	93.30	1.791	37.0	37.0	46.5
2	93.09	1.753	39.0	38.0	45.0
4	92.98	1.734	38.1	37.1	44.5
8	92.78	1.697	38.0	37.8	44.0
12	92.50	1.647	38.2	37.9	44.5
16	92.29	1.609	39.0	38.0	43.0
20	92.09	1.573	39.0	38.0	43.0
24	91.82	1.524	38.9	38.0	44.0
28	91.65	1.493	41.0	39.5	42.5
32	91.40	1.448	40.0	39.0	42.5
36	91.18	1.408	40.0	39.0	42.3
40	90.98	1.372	40.0	39.1	42.3
44	90.82	1.343	40.0	39.0	41.6
50	90.20	1.231	41.0	40.0	41.0
56	90.10	1.213	41.0	40.0	40.0
64	89.70	1.141	41.0	40.0	40.5
72	89.28	1.065	40.0	39.0	40.0
80	88.80	0.978	40.0	39.0	40.0
88	88.39	0.904	40.0	39.0	42.0
96	88.00	0.834	39.8	38.8	42.0
104	87.69	0.778	40.0	39.0	42.3
112	87.26	0.700	39.0	39.0	42.3
120	86.90	0.635	40.3	39.7	41.0
128	86.40	0.545	39.2	39.0	39.5
136	86.10	0.491	39.5	39.0	39.5
144	85.70	0.418	40.5	40.0	39.0
154	85.45	0.373	41.0	40.0	39.0
164	84.90	0.274	40.0	39.0	39.0
176	84.41	0.185	40.0	39.0	42.5
188	84.10	0.129	40.0	39.2	44.0
		PROMEDIO	39.7	38.9	42.0

## Indigofera Guatemalensis

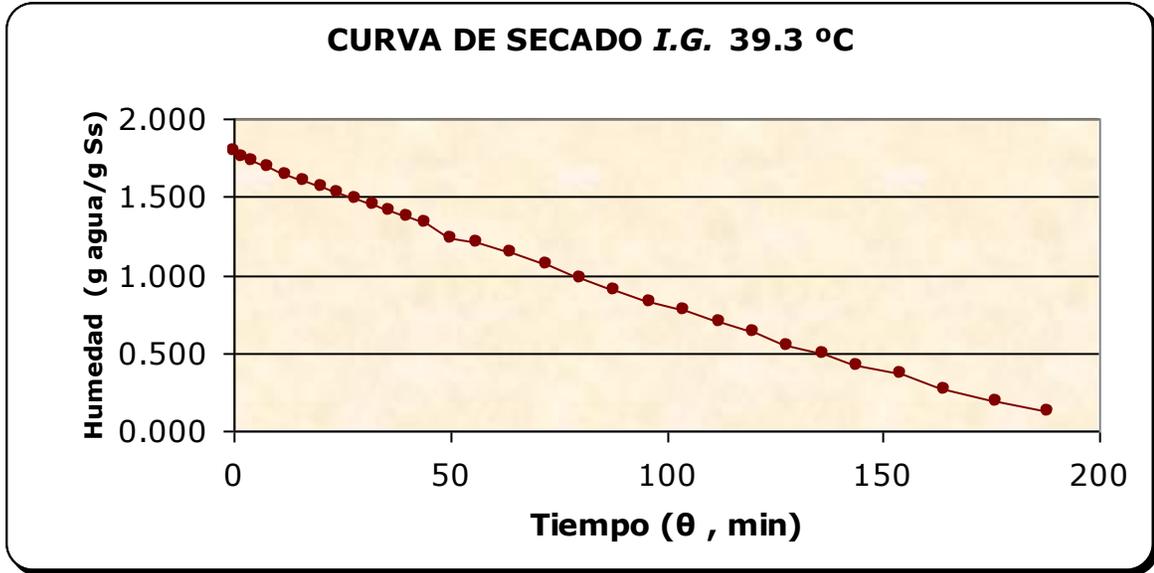
EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)



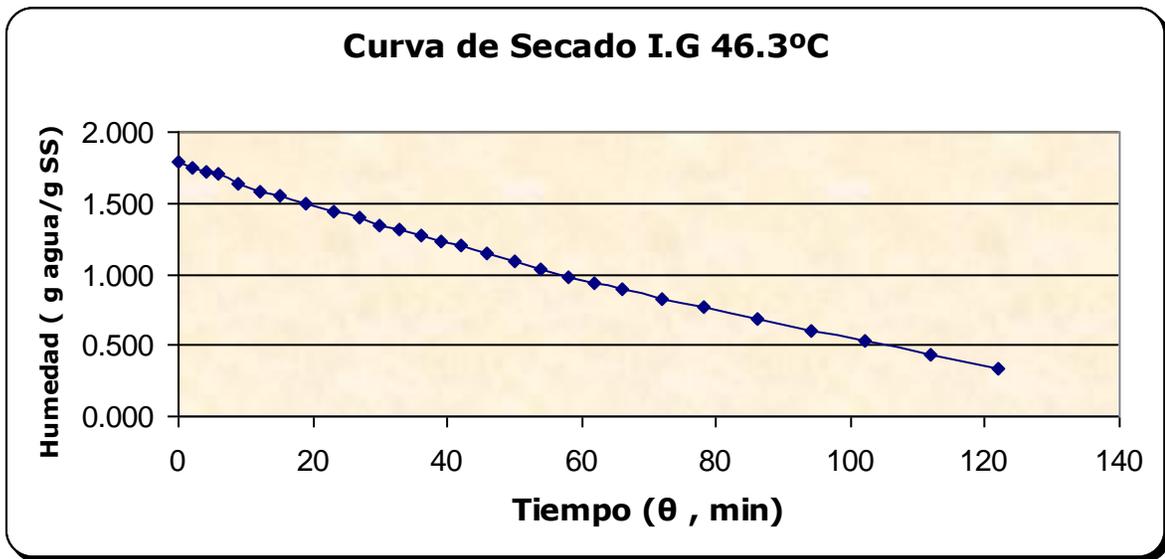
### HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. CURVA DE SECADO

#### CUADRO IV.2

FECHA: Sábado 17 de Mayo de 2003			VARIEDAD: <i>I. Guatemalensis</i>		
DIMENSIONES DE BANDEJA: 12.3 x 9.0 1.5 cm			PESO DE BANDEJA (Wb): 77.85 g		
PESO DE BANDEJA CON SÓLIDO SECO (Ws): 84.657 g					
VELOCIDAD DE AIRE (V m/s): 1.7					
θ (min)	W (gr)	X (g Agua/g Ss)	TBS1 (°C)	TBS2 (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%Hr)
0	96.85	1.791	47.0	46.0	34.0
2	96.53	1.744	47.0	46.0	32.5
4	96.33	1.715	49.0	47.0	32.5
6	96.25	1.703	47.0	46.0	32.0
9	95.81	1.638	47.0	46.0	31.5
12	95.46	1.587	46.5	45.9	31.0
15	95.25	1.556	46.0	45.0	31.0
19	94.80	1.490	47.0	46.0	31.0
23	94.45	1.439	47.0	46.0	32.0
27	94.15	1.395	47.0	46.0	32.0
30	93.82	1.346	47.0	46.0	32.0
33	93.60	1.314	47.5	46.5	32.5
36	93.30	1.270	47.0	46.0	32.3
39	93.00	1.226	47.0	46.0	31.5
42	92.82	1.199	47.0	46.0	32.0
46	92.45	1.145	46.0	45.0	32.5
50	92.10	1.093	46.0	45.0	32.5
54	91.72	1.038	47.0	46.0	32.5
58	91.35	0.983	47.0	46.0	33.0
62	91.05	0.939	47.0	46.0	32.5
66	90.75	0.895	46.0	45.0	33.0
72	90.30	0.829	47.0	46.0	34.0
78	89.92	0.773	46.0	45.0	34.0
86	89.28	0.679	47.0	46.0	35.0
94	88.78	0.606	47.5	46.0	34.0
102	88.25	0.528	47.0	46.0	35.0
112	87.62	0.435	46.0	45.0	35.0
122	86.95	0.337	46	45.0	36.0
<i>PROMEDIO</i>			46.8	45.8	32.8



(a)



(b)

**Figura IV.2** Curvas de secado para la variedad *I. Guatemalensis*: (a) 39.3° C (b) 46.3 °C.

Para las condiciones planteadas, puede decirse que la velocidad de secado es prácticamente constante, alcanzándose las condiciones de equilibrio aproximadamente a 0.1 g agua / g Ss.

## **Indigofera Suffruticosa**



EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION  
DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

### **HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. CURVA DE SECADO**

#### **CUADRO IV.3**

FECHA: Sábado 17 de Mayo de 2003			VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>		
DIMENSIONES DE BANDEJA: 12.3 x 9.0 1.5 cm			PESO DE BANDEJA (Wb): 77.0 g		
PESO DE BANDEJA CON SÓLIDO SECO (Ws): 83.757 g					
VELOCIDAD DE AIRE (V m/s): 1.7					
q (min)	W (gr)	X (g Agua/g Ss)	TBS1 (°C)	TBS2 (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%Hr)
0	97.90	2.093	37.0	37.0	46.5
2	97.77	2.074	39.0	38.0	45.0
4	97.61	2.050	38.1	37.1	44.5
8	97.40	2.019	38.0	37.8	44.0
12	97.20	1.989	38.2	37.4	44.5
16	96.98	1.957	39.0	38.0	43.0
20	96.70	1.915	39.0	38.0	43.0
24	96.47	1.881	38.9	38.0	44.0
28	96.27	1.852	41.0	39.5	42.0
32	96.00	1.812	40.0	39.0	42.5
36	95.80	1.782	40.0	39.0	42.3
40	95.61	1.754	40.0	39.1	42.3
44	95.39	1.722	40.0	39.0	41.6
48	95.10	1.679	40.1	39.8	41.8
52	94.90	1.649	40.0	39.0	41.0
56	94.70	1.620	40.0	39.0	40.0
60	94.40	1.575	40.1	39.1	40.5
64	94.22	1.548	41.0	40.0	40.5
68	94.12	1.534	41.0	40.0	40.5
72	93.90	1.501	40.0	39.0	40.0
76	93.70	1.472	40.0	40.0	40.0
80	93.50	1.442	40.0	40.0	40.0
84	93.31	1.414	39.0	39.0	41.0
88	93.10	1.383	40.0	40.0	42.0
98	92.70	1.324	41.0	41.0	42.0
106	92.10	1.235	40.0	40.0	42.3
114	92.00	1.220	39.0	39.0	42.4
120	91.70	1.176	40.3	40.3	41.0
128	91.35	1.124	39.2	39.1	39.5
136	90.95	1.065	40.0	40.0	40.0
144	90.60	1.013	41.0	41.0	40.0
152	90.20	0.954	41.0	41.0	39.0
160	90.00	0.924	42.0	42.0	40.0
168	89.90	0.909	40.0	40.0	39.0
176	89.60	0.865	40.0	40.0	42.5
186	89.15	0.798	40.0	40.0	44.0
		PROMEDIO	39.8	39.3	41.8

## **Indigofera Suffruticosa**

EVALUACION DE LAS VARIABLES DE SECADO PARA LA CONSERVACION  
DE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE AÑIL (*Indigofera Sp.*)

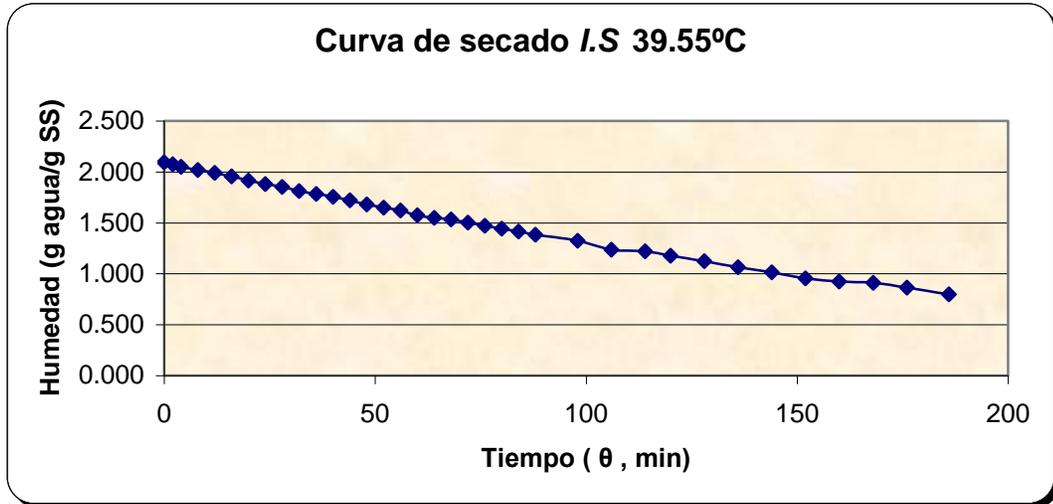


### **HOJA DE RECOLECCION DE DATOS. CURVA DE SECADO**

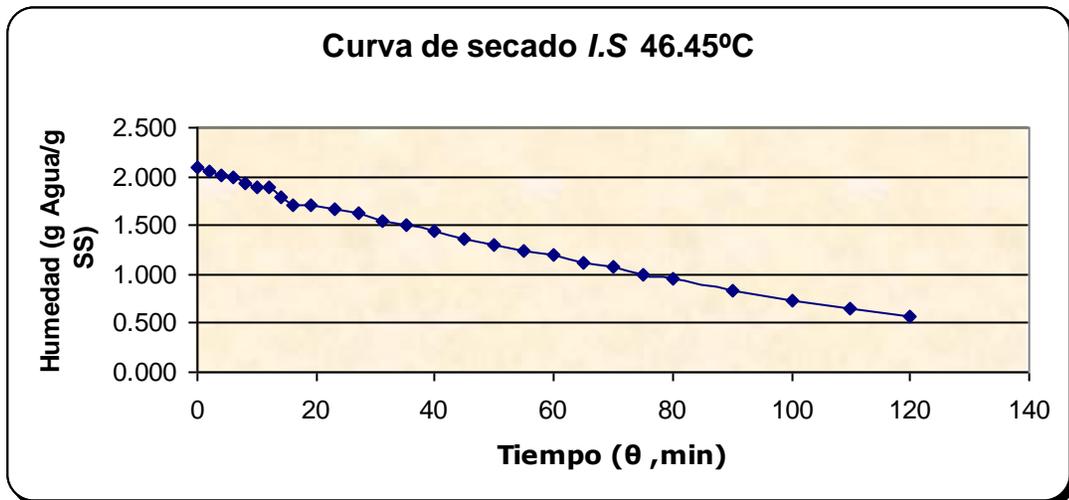
#### **CUADRO IV.4**

FECHA: Sábado 17 de Mayo de 2003	VARIEDAD: <i>I. Suffruticosa</i>
DIMENSIONES DE BANDEJA: 12.3 x 9.0 1.5 cm	PESO DE BANDEJA (Wb): 77.0 g
PESO DE BANDEJA CON SÓLIDO SECO (Ws): 82.657 g	
VELOCIDAD DE AIRE (V m/s): 1.7	

$\theta$ (min)	W (gr)	X (g Agua/g Ss)	TBS1 (°C)	TBS2 (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%Hr)
0	94.50	2.094	47.0	46.0	34.0
2	94.30	2.058	47.0	46.0	32.5
4	94.02	2.009	48.0	46.0	32.5
6	93.88	1.984	47.0	46.0	32.0
8	93.60	1.934	47.0	46.0	31.5
10	93.40	1.899	48.0	47.0	30.5
12	93.30	1.881	46.5	45.9	31.0
14	92.80	1.793	46.0	45.0	31.0
16	92.30	1.705	47.0	46.0	31.0
19	92.30	1.705	47.0	46.0	31.0
23	92.11	1.671	49.0	48.0	31.0
27	91.90	1.634	47.0	46.0	32.0
31	91.40	1.546	47.5	46.5	32.5
35	91.15	1.501	47.0	46.0	32.3
40	90.85	1.448	47.0	46.0	31.5
45	90.35	1.360	46.0	45.0	32.5
50	90.00	1.298	47.0	46.0	32.5
55	89.65	1.236	46.0	45.0	32.5
60	89.39	1.190	47.0	46.0	32.5
65	89.00	1.121	46.0	45.0	33.0
70	88.70	1.068	48.0	46.0	34.0
75	88.33	1.003	46.0	45.0	34.0
80	88.10	0.962	46.0	45.0	34.5
90	87.40	0.838	47.0	46.0	34.0
100	86.75	0.724	47.0	46.0	35.0
110	86.30	0.644	48.0	46.0	35.0
120	85.85	0.564	46.0	45.0	36.0
		PROMEDIO	47.0	45.9	32.7



(a)



(b)

**Figura IV.3** Curvas de secado para la variedad *I. Suffructicosa*: (a) 39.55° C (b) 46.45 °C.

Puede notarse que para esta especie, se necesita mayor inversión de tiempo para llegar a las condiciones de equilibrio, las cuales se alcanzan a niveles de humedad más altos que las de la variedad anterior. Esto parece indicar que la variedad *I. Suffructicosa* es un poco más resistente a la pérdida de humedad.