



Institución Universitaria

**EVALUACIÓN DEL SECADOR MECÁNICO
PARA EL SECADO DE TOMILLO (*THYMUS
VULGARIS*) Y SU CONTRIBUCIÓN EN LAS
CARACTERÍSTICAS FINALES DEL
PRODUCTO PARA OBTENER EL
CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NTC 4423
(ICONTEC, 1998)**

FRAY HUBER DE JESÚS CAMPO SEPÚLVEDA

Instituto Tecnológico Metropolitano

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2014

**EVALUACIÓN DEL SECADOR MECÁNICO
PARA EL SECADO DE THYMUS VULGARIS Y
SU CONTRIBUCIÓN EN LAS
CARACTERÍSTICAS FINALES DEL
PRODUCTO PARA OBTENER EL
CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NTC 4423
(ICONTEC, 1998)**

FRAY HUBER DE JESÚS CAMPO SEPÚLVEDA

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Gestión Energética Industrial

Director:
PhD. Carlos Alberto Acevedo Álvarez

Codirector:
Msc. Carlos Osvaldo Velásquez

Línea de Investigación:
Energía Térmica

Grupo de Investigación:
Materiales avanzados y Energía

Instituto Tecnológico Metropolitano
Facultad De Ingenierías
Medellín, Colombia

2014

*No desesperes, ni en las más terribles
aflicciones, pues de las nubes negras, cae
agua limpia y fecundante.*

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

A Dios mi padre, que me dio la oportunidad de hacer la maestría.

A mis padres que me dieron la vida.

PhD. Carlos Alberto Acevedo Álvarez por su aporte metodológico para la realización de este proyecto.

Msc. Carlos Osvaldo Velásquez por su colaboración.

A Paola Andrea Roldan Villada.

Resumen

Este proyecto de investigación evaluó el secador mecánico para el secado del tomillo (*Thymus vulgaris*) que posee el Instituto Tecnológico Metropolitano y así contribuir a que el producto cumpla con la norma técnica NTC 4423 (ICONTEC, 1998), la cual se refiere a la industria alimentaria, especias y condimentos. Con esto se contribuyó en el aumento de la eficiencia del proceso de secado y mejora de la calidad del producto a comercializar. Para ello se evaluaron las propiedades Organolépticas del producto tales como: color, sabor, olor y propiedades Físicas y Químicas, esta evaluación fue realizada en el laboratorio de materiales del Centro Para el Desarrollo del Hábitat y La Construcción del SENA de Pedregal, posteriormente se realizó la caracterización del secador de tomillo (*Thymus vulgaris*), tanto neumática como térmica, para determinar las curvas características del sistema de secado. Luego, se determinó el caudal óptimo teniendo en cuenta la humedad la temperatura y el tiempo de secado mediante un diseño de Superficie de Respuesta 2^k . Por último, se validó el caudal óptimo encontrado para el secado, utilizando el modelo matemático de Page. La temperatura se presenta como el factor más significativo sobre la humedad final del tomillo (*Thymus vulgaris*) deshidratado con valor $p=0,638$ con un nivel de significancia del 90%. A las condiciones de temperatura halladas se observa que el mejor caudal se ajusta a la región entre 2050 – 2100 RPM $\left(34.26 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} - 35.09 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)$ que corresponden con la mejor región de temperaturas de 52 – 53°C.

Palabras clave: deshidratación, tomillo (*Thymus vulgaris*), gas propano, secador mecánico, temperatura, flujo de aire, modelo de Page.

Abstract

This research project goal is to evaluate the mechanical dryer used to dry the thyme. The Institute Technologic Metropolitan contributed with testing and evaluations of the product to insure it met the technical standard set forth in NTC 4423 (ICONTEC, 1998), for foods, spices and condiments. This has helped to increase the efficiency of the drying process and improved the quality of edible products. This evaluation assessed the product's physical properties such as color, taste, smell and chemical properties; the assessments were made in the laboratory of the Center for Habitat Development and Construction Pedregal SENA. Subsequently it was performed using pneumatically heated drying process to dry the thyme, and determined the characteristic curves of the drying systems. Then, we determined the optimum flow rate by taking into account temperature, humidity and drying time by Response Surface Design^{2k}. Finally, we validated the found optimum flow for drying, using the mathematical model of Page. Temperature is reported as the most significant factor for the final humidity of thyme (*Thymus vulgaris*) dehydrated with $p = 0.638$ with significance level of 90%. A temperature conditions encountered is observed that the best flow rate is adjusted to the region between 2050 - 2100 RPM $\left(34.26 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} - 35.09 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)$ corresponding to the best temperature region of 52 - 53 ° C.

Keywords: dehydration, thymus, propane gas, mechanical dryer, temperature, air flow, Page model.

CONTENIDO

Agradecimientos	7
Resumen	V
Abstract	VI
Lista de símbolos y Abreviaturas	XIII
1. Capítulo 1 CONTEXTO DE LA TESIS	4
1.1 Planteamiento del problema.	4
1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	10
1.3 HIPÓTESIS.....	15
1.4 OBJETIVOS	15
1.4.1 Objetivo General.....	15
1.4.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Capítulo 2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1 MARCO TEÓRICO	16
2.1.1 El estado del agua en los alimentos.....	17
2.1.2 Propiedades termodinámicas del aire atmosférico.....	18
2.1.3 Movimiento de calor y humedad en un alimento durante el proceso de secado.	19
2.1.4 Curvas de velocidad de secado.....	19
2.1.5 Secado de hierbas aromáticas y medicinales	21
2.1.1 Secado Natural.....	23
2.1.6 Secado Mecánico.	23
2.2 ESTADO DEL ARTE	24
2.2.1 Aplicaciones. Propiedades del tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>).....	26
2.2.2 Panorama Internacional.....	27
2.2.3 Panorama Latinoamericano	31
2.2.4 Panorama Nacional	33
3. Capítulo 3. METODOLOGÍA.....	35
3.1 DISEÑOS ESTADÍSTICOS APLICADOS	35
3.2. MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y EQUIPOS.....	36
3.2.1. Localización	36
3.2.2. Insumos	36
3.2.3. Equipos.....	37
3.2.4 Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del Tomillo	39
3.2.5 Caracterización experimental del secador del laboratorio de ciencias térmicas del MATYER.....	42
3.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ÓPTIMO	46
3.3.1Diseño de experimentos	46
4. Capítulo 4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	51
4.1 CARACTERIZACIÓN NEUMÁTICA Y TÉRMICA DEL SECADOR	51

4.1.1	Caracterización Neumática.....	51
4.1.2	Caracterización térmica del secador	60
4.2	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ÓPTIMO.....	62
4.2.1	Secado de Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) secuencia inicial.....	62
4.2.2	Secado de Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) secuencia final.....	68
4.3	VALIDACIÓN DEL CAUDAL ÓPTIMO	74
4.3.1	Modelo de Page Aplicado al Secado de Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	74
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		75
5.1	CONCLUSIONES.....	75
5.2	RECOMENDACIONES	94
CAPÍTULO 6: AGENDA DE INVESTIGACIÓN		79
CAPITULO 7: Bibliografía		79
CAPITULO 8: ANEXOS		88
ANEXO A: Características de las especias o condimentos vegetales		88
ANEXO B. Código de prácticas de higiene para especias y plantas aromáticas desecadas.....		116
ANEXO C: Microscopia electrónica de barrido (SEM) para el Tomillo, hojas y tallo....		130
ANEXO D: Resumen de datos y tablas de secado obtenidas experimentalmente para las diferentes variables que intervienen en el secado del tomillo.....		138

Lista de Figuras

Figura 1-1: Área sembrada en Colombia con plantas aromáticas durante el periodo 2004 al 2008. Fuente: (MADR, 2009)	4
Figura 1-2: Exportaciones de tomillo y laurel en Colombia durante el periodo de 1990 al 2009. Fuente: (Agronet, 2010)	5
Figura 1-3: Países de destino e la exportación de plantas medicinales. Fuente: Compañía Castro Suarez y Consultores, información tomada del acuerdo de competitividad de las (PAMC) en Cundinamarca, 2006 elaborado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	6
Figura 1-4: Mapa rural del municipio de Cocorná	7
Figura 1-5: Pancarta en la entrada del secadero	8
Figura 1-6: Cultivo de Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	8
Figura 1-7. Cámara de secado, donde van ubicadas las bandejas del deshidratador de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) de APAMCA	9
Figura 1-8. Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) seco para el proceso de trituración	9
Figura 1-9. Exportación de plantas aromáticas y medicinales en Colombia	12
Figura 1-10: Producción de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) en el departamento de Antioquia 2008 al 2010	13
Figura 1-11: Producción de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) en Colombia, 2008-2010	13
Figura 2-12: Curvas de secado de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>), tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) y Menta inglesa (<i>mentha piperita</i>)	20
Figura 2-13: Curvas de secado de la pimienta gorda (<i>Pimienta dioica</i>) a 60, 70 y 80 °C	21
Figura 2-14: a) Detalle de fragmento tallo	24
Figura 2-15: Distribución geográfica del género <i>thymus</i>	25
Figura 3-16: Diseños estadísticos aplicados a los ensayos de la investigación	36
Figura 3-17. Secador de plantas aromáticas del grupo de investigación de Materiales avanzados y Energía	39
Figura 3-18: Equipo para la destilación Azeotrópica	40
Figura 3-19. Diagrama de Bloques del prototipo de secado	43
Figura 3-20: Diagrama de SHEED para Granos	44
Figura 3-21. Revoluciones por minuto vs caudal en m ³ /min	48
Figura 4-1: Motor a 3600 RPM	52
Figura 4-2: Perdida de presión estática y caudal a 3600 RPM	56
Figura 4-3: Pérdida de presión estática y caudal a 2100 RPM	59
Figura 4-4: Curvas de secado de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) a diferentes RPM y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 1 a 5 primera secuencia)	64
Figura 4-5. Curvas de secado de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) a diferentes RPM y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 6 a 10 primera secuencia)	65
Figura 4-6. Superficie de respuesta para humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	66
Figura 4-7. Contorno de la respuesta para humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>).	67

Figura 4-8: Gráfico de probabilidad normal para la humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*). 67

Figura 4-9: Gráfico de residuos para la humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) 68

Figura 4-10. Curvas de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes rpm y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 1 a 5 segunda secuencia) 70

Figura 4-11. Curvas de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes rpm y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 6 a 10 segunda secuencia) 71

Figura 4-12: Gráfico de Pareto para humedad en función de la temperatura del aire y el caudal 72

Figura 4-13: Superficie de respuesta para secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) en función de la temperatura del aire y del caudal 73

Figura 4-14: Contorno de la Respuesta para humedad del tomillo (*Thymus vulgaris*) en función de la temperatura del aire y el caudal 73

Figura 4-15: Grafica de $\ln RH$ vs $\ln t$ para transformaciones lineales, para determinar la pendiente (Def) a 45oC..... 75

Figura 4-16: Grafica de $\ln RH$ vs $\ln t$ para transformaciones lineales, para determinar la pendiente (Def) a 52oC..... 76

Figura 4-18: Relación de tipo Arrhenius entre el coeficiente de la difusividad efectiva y la temperatura absoluta del aire de secado del tomillo (*Thymus vulgaris*). 82

Figura 4-19: $\ln \left[-\ln \left\{ \frac{x_t - x_e}{x_0 - x_e} \right\} \right]$ Vs $\ln(t)$ para 45°C 85

Figura 4-20: $\ln \left[-\ln \left\{ \frac{x_t - x_e}{x_0 - x_e} \right\} \right]$ Vs $\ln(t)$ para 52°C 85

Figura 4-21 : Curva experimental y simulada utilizando el modelo de Page para 52°C.... 88

Figura 4-22 : Curva experimental y simulada utilizando el modelo de Page para 59oC ... 89

Figura 4-19 : Curva experimental y simulada utilizando el modelo de Page para 52°C.... 88

Figura 4-20 : Curva experimental y simulada utilizando el modelo de Page para 59oC ... 89

Lista de tablas

Tabla 1-1: Características de composición del tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) en forma natural.....	11
Tabla 1-2: Materia extraña e impurezas.....	11
Tabla 1-3: Dinámica de las importaciones de tomillo. Periodo 2000-2006.....	14
Tabla 1-4: Dinámica de las exportaciones de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>). Periodo 2000-2006.....	14
Tabla 2-5 Porcentaje de humedad exigido por Alemania.....	22
Tabla 3-6: Descripción de los equipos usados.....	37
Tabla 3-7: Propiedades organolépticas antes del secado.....	41
Tabla 3-8: escala de 1 a 5 en grado amargo para efectos de comparación. Fuente: elaboración propia.....	41
Tabla 3-9 Variables independientes y niveles utilizados en el diseño experimental factorial completo.....	47
Tabla 3-10. Tabla de pruebas de caudal a diferentes revoluciones del motor.....	48
Tabla 3-11 Diseño experimental factorial completo 22 para secado de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) primera secuencia.....	49
Tabla 3-12: Variables independientes y niveles utilizados en el diseño experimental factorial completo para la segunda secuencia.....	49
Tabla 3-13: Diseño experimental factorial completo 22 para secado de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) (segunda secuencia).....	50
Tabla 4-14: Caída de presión para un lecho de hojas de tomillo a 3600 RPM.....	54
Tabla 4-15: Presión estática a 3600 RPM.....	55
Tabla 4-16: Caída de presión para un lecho de hojas de tomillo a 2100 RPM.....	57
Tabla 4-17: Cálculo del caudal y pérdidas de presión a 2100 RPM.....	58
Tabla 4-18: Análisis de Varianza para Humedad de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>).....	66
Tabla 4-19: Análisis de Varianza para Humedad.....	72
Tabla 4-20: Propiedades organolépticas después del secado.....	74
Tabla 4-21: Escala para el sabor de 1 a 5 en grado amargo para efectos de comparación después del secado.....	74
Tabla 4-22: Datos obtenidos experimentalmente para relacionar humedad y tiempo de secado.....	77
Tabla 4-23: Valores de difusividad efectiva del agua a las temperaturas experimentales.....	78
Tabla 4-24: valores a graficar entre el $\ln(t)$ vs $\frac{1}{T}$	79
Tabla 4-25: valores de la energía de activación, para las diferentes temperaturas de trabajo.....	80
Tabla 4-26: valores del factor de Arrhenius, para las diferentes temperaturas de trabajo.....	81
Tabla 4-27: Valores calculados en el anexo D, para ajuste de un modelo lineal.....	81
Figura 4-18: Relación de tipo Arrhenius entre el coeficiente de la difusividad efectiva y la temperatura absoluta del aire de secado del tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>).....	82
Tabla 4-28: Tabla de cálculo para los parámetros $n \ln(t) + \ln(k)$ y $\ln(t)$	84

Tabla 4-29: Valores estimados de los parámetros para el modelo de Paige para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes temperaturas de aire 86

Tabla 4-30: Valores calculados y estimados de la humedad tanto experimentales como predichas, como también los valores de las constantes del modelo de Page n y K 87

Tabla 4-31 Resumen de datos obtenidos experimentalmente para las diferentes variables que intervienen en el secado del tomillo 91

Lista de símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad	Definición
A	Área	m^2	
a_w	Actividad de agua termodinámica	adimensional	Ec. 2-1
BHP	Potencia entregada al eje del ventilador	W	Ec. 4-4
$C_{p_{aire}}$	Calor específico del aire	$\frac{Kj}{kg \cdot ^\circ C}$	Ec. 3-5
D_{we}	Difusividad efectiva del agua	$\frac{m^2}{s}$	Ec. 4-8
D_o	Factor de Arrhenius o de frecuencia	$\frac{m^2}{s}$	Ec. 4-8
E_a	Energía de activación	$\frac{KJ}{mol}$	Ec. 4-8
H	Altura de la capa de grano	m	Ec. 3-5
H	Humedad absoluta del aire	$\frac{g}{m^3}$	Ec. 2-1
HR	Humedad relativa del aire	%	Ec. 4-12
I	Corriente del motor	A	Ec. 4-4
m_a	Masa Molecular del aire	uma o g	Ec. 2-2
\dot{m}_{comb}	Flujo masico del combustible	$\frac{m^3}{h}$	Ec. 3-5
\dot{m}_{aire}	Flujo masico del aire	$\frac{m^3}{h}$	Ec. 3-5
m_w	Masa Molecular del agua	uma o g	Ec. 2-2
n_t	Eficiencia termica %	%	Ec. 3-5
P	Presión parcial	Pa	Ec. 2-2
PCI_{comb}	Poder calorifico inferior del comb	$\frac{Kj}{kg}$	Ec. 3-5
Q	Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Ec. 4-7

Q	Caudal de aire	$\frac{m^3}{min}$	Ec. 3-5
R	Constante universal de los gases	$0.81 \frac{atm * l}{mol * K}$	Ec. 2-1
T	Temperatura absoluta	K	Ec. 2-1
Taa	Temperatura del aire ambiente	K	Ec. 4-3
Tas	Temperatura del aire de secado	K	Ec. 4-3
Tau	Temperatura del aire usado	K	Ec. 4-3
Ti	Temperatura del medio ambiente	°C	Ec. 3-5
Tf	Temperatura a la cual se deshidrata el producto	°C	Ec. 3-5
V	Voltaje de alimentacion del motor	v	Ec. 4-4
WHP	Potencia del ventilador	W	Ec. 4-4
γ	Peso especifico del agua	$\frac{N}{m^3}$	Ec. 4-4

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad	Definición
ΔP	Perdida de presion	mm. c. a	Ec. 4-1
ΔT_{aire}	Cambio de Temperatura del aire	°C	Ec. 3-5
η_{neu}	Eficiencia neumatica,	%	Ec. 4-4
η_s	Eficiencia de secado en	%	Ec. 4-3
n_t	Eficiencia termica	%	
ρ_{aire}	Densidad del aire	$\frac{kg}{m^3}$	Ec. 3-5
ρ_{comb}	Densidad del combustible (propano)	$\frac{kg}{m^3}$	Ec. 3-5
μ_1	Potencial quimico del agua	$\frac{J}{mol}$	Ec. 2-1
μ_0	Potencial quimico estandar del agua	$\frac{J}{mol}$	Ec. 2-1
γ	Peso especifico del agua	$\frac{N}{m^3}$	Ec. 4-4

INTRODUCCIÓN

El tomillo (*Thymus vulgaris*), es una planta que tiene muchos usos que van desde su utilización en comidas exóticas, pasando por su aplicación en medicina popular (dispepsia y afecciones gastrointestinales) hasta ser un suplemento en alimentación animal, además de producir un aceite esencial, cuyo componente es el timol, que es el responsable de todas las posibles aplicaciones y usos de este producto, considerado además por la FDA (*Food and Drug Administration, EEUU*) como alimento apto para el consumo humano, y también como aditivo alimentario.

En el municipio de Cocorná, Antioquia, Colombia, existen cultivadores de este producto, el cual hace parte de sus ingresos, al vender tomillo (*Thymus vulgaris*) en verde y también deshidratado pero sin cumplir la normatividad técnica.

Estos, además de manejar buenas prácticas agrícolas, tienen que estar atentos al cultivo porque cualquier fitopatología presente o la falta de abono en el cultivo hace que el producto sea rechazado para su venta.

Esto conlleva a la necesidad de entregar un valor agregado a este producto para hacerlo más atractivo comercialmente, para ello la corporación APANCA, ubicada en el municipio de Cocorná, deshidrata tomillo (*Thymus vulgaris*) en un secador de bandejas que utiliza aire caliente. En este proceso, se requiere tener un control más preciso sobre el tiempo de secado, la temperatura del aire y el caudal de aire (propiedad fluidodinámica), lo cual daría como resultado un producto más adecuado, para su comercialización, y así lograr mejores beneficios para dicha corporación. El contenido de aceites esenciales, se podría afectar debido a problemas con el control de la temperatura. La norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998), y la resolución 4241 de 1991 del Ministerio de Salud Pública no se aplican lo que implica un producto que pierde competitividad en su comercialización.

Ante el análisis de este panorama, se identificó el problema del deshidratado de tomillo (*Thymus vulgaris*) y se propone el control de las variables fundamentales (temperatura y caudal) que influyen, utilizando para ello, el secador de especias aromáticas del Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM, Medellín, Colombia que contribuirá a mejorar la eficiencia tecnológica de este proceso, además de difundir las normas que existen para el producto en el proceso de deshidratado. Esto contribuye a obtener un producto de mejor

calidad con mayor rendimiento y generándole un valor agregado para la venta del producto a nivel nacional e internacional.

El propósito principal de este proyecto es evaluar la temperatura y el flujo de aire óptimo, para obtener un tomillo (*Thymus vulgaris*) que cumpla los requerimientos de la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998), para alcanzar el objetivo propuesto, se utilizara un prototipo de secado, el cual contiene una cámara de secado, un ventilador centrífugo y un intercambiador de calor con su respectivo quemador de gas, ubicado en las instalaciones. Se espera que después de la optimización de estas variables, se implementen en la corporación APANCA del municipio de Cocorná, Antioquia.

Para llegar a la solución de este problema, en primer lugar se identificó éste y se toma como referencia la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998), así se esboza y describe en el capítulo 1.

Luego en el capítulo 2 se profundiza en el estado del arte acerca del deshidratado del tomillo a nivel mundial, latinoamericano, nacional y regional para terminar este capítulo con las bases teóricas del secado de los alimentos.

El capítulo 3 trata en detalle sobre la metodología, que incluye el diseño experimental, que se seleccionó para el análisis de los resultados. Para este diseño se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) o *Response Surface Methodology (RSM)* que es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para el desarrollo, mejoramiento y optimización de procesos. Se utilizó hoja electrónica de Microsoft Excel® para tabular los datos y calcular el porcentaje de humedad, la masa del agua, la masa total, el agua evaporada y el peso del tomillo con sus respectivas bandejas. Para cerrar este capítulo se le realizó al tomillo unas pruebas de microscopía electrónica de barrido (SEM).

Los datos fueron tabulados en hoja electrónica de Microsoft Excel® 2010 y el análisis se llevó a cabo mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurion v15.1 (Statpoint, USA).

El análisis de resultados se puede observar en el capítulo 4, el cual establece como se realizó la evaluación neumática, la eficiencia de secado y como se hicieron las pruebas de deshidratación además se muestran las curvas de secado y las tablas donde se obtuvieron estas curvas. También se observa en este capítulo, el cálculo de la eficiencia térmica y neumática, como también se muestra la determinación del caudal óptimo y se realiza la validación matemática de la mejor curva de secado (temperatura y caudal óptimo) con el modelo de Page.

Las conclusiones se encuentran en el capítulo 5 y la agenda investigativa se consigna en el capítulo 6.

Capítulo 1: CONTEXTO DE LA TESIS

Este capítulo muestra la necesidad de optimizar importantes variables tales como la temperatura y el aire de secado, que influyen en el secado del tomillo, para contribuir en el aumento de la eficiencia del proceso de deshidratación lo cual daría como resultado, un producto mucho más adecuado para su comercialización, que es un valor agregado a este, y así beneficiar en este caso al municipio de Cocorná dado que se cumple con la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

1.1 Planteamiento del problema.

En Colombia no existen grandes volúmenes de exportación de tomillo cumpliendo con la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998) en cuanto al porcentaje de secado (12%) prácticamente esta se hace en verde. (Castro, 2004)

Actualmente en la vereda San Vicente del municipio de Cocorná-Antioquia, Colombia, se deshidrata tomillo, pero sin tener un adecuado control sobre ciertas variables como son la temperatura y el caudal de aire que intervienen en el proceso de deshidratación afectando la calidad del producto y por ende el no cumplimiento de la normatividad técnica vigente, que implica que el producto pierda competitividad en su comercialización el cual se realiza en Medellín. Un buen control sobre estas variables (temperatura y flujo de aire) implicaría un incremento en la eficiencia energética lo que a su vez aumentaría la competitividad de este producto en esa zona, el cual también se destina para exportación. En este proyecto de investigación se pretende hallar experimentalmente el caudal óptimo de aire de secado para el tomillo a una determinada temperatura, contribuyendo a que el producto obtenido cumpla con la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

Cuanto mayor es la temperatura y mayor el flujo del aire, más rápido es el secado. (Brooker, Baker-Arkema, & Hall, 1992). El aumento de la temperatura del aire de secado acelera el proceso de deshidratación, reduciendo la humedad relativa del aire que adquiere entonces, una gran capacidad secante. Este aumento se consigue con una mayor inyección de combustible al quemador. Es de anotar los efectos nocivos para la planta a secar que tiene un aumento de temperatura sobre todo en sus propiedades organolépticas. Se debe apreciar que la velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar

la humedad saliente dentro del material, por lo que un aumento en la velocidad de calentamiento sería inapropiado para el cumplimiento de estas funciones por parte de este.

Durante las primeras etapas del secado la velocidad de calentamiento del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material (tomillo) contiene un alto contenido de humedad ya que a mayor velocidad de calentamiento, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire de calentamiento disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. En la práctica, la economía del proceso determina la velocidad de calentamiento del aire, pero teniendo en cuenta su funcionalidad. Se trata entonces de buscar el mejor caudal que permita una mayor eficiencia de secado a una determinada temperatura.

En Colombia las hierbas aromáticas constituyen un renglón con creciente importancia económica. Desde el año 2006 el Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural reconoció que el sector como cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines dentro de la cual, el tomillo, de uso culinario en el sector alimenticio hace parte de la partida arancelaria 0910.99 (MADR, 2009). Según las estadísticas anuales durante el periodo 2004 al 2008 para Colombia, los años 2005 y 2006 presentaron las mayores áreas sembradas de plantas aromáticas ver figura 1-1 (MADR, 2009).

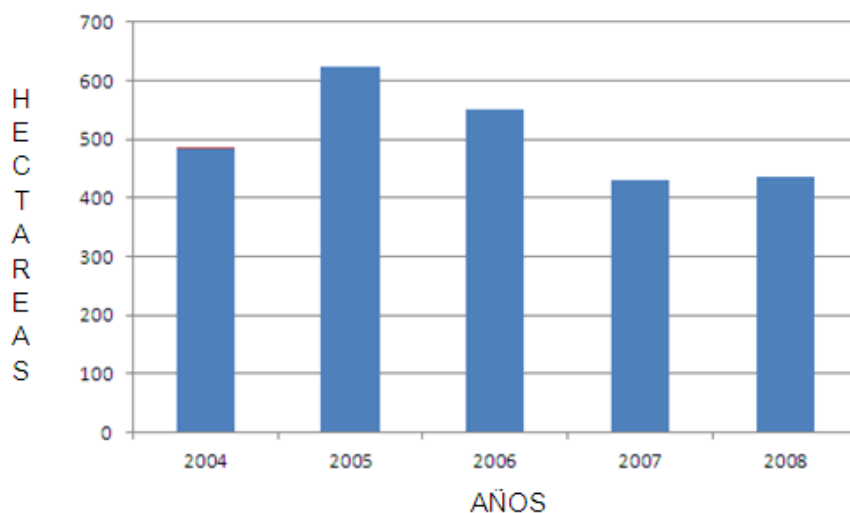


Figura 1-1: Área sembrada en Colombia con plantas aromáticas durante el periodo 2004 al 2008. Fuente: (MADR, 2009).

Durante el periodo de 1990 al 2009, las exportaciones de tomillo (*Thymus vulgaris*) y laurel (*Laurus nobilis*) aumentaron de manera importante alcanzando para el 2006 los mayores valores y volúmenes, sin embargo, en el periodo 2007 al 2009 no se registra ninguna actividad para estas especies como lo muestra la figura 1-2, esto debido básicamente a que en Colombia el sector de las plantas aromáticas es incipiente, y se presenta ausencia de información oficial. Los departamentos en donde se registra mayor

producción para la exportación de plantas aromáticas son Cundinamarca (80%), Tolima (10%), Antioquia (9%) y Valle del cauca (1%).

El mercado exportador va dirigido especialmente a los Estados Unidos (75%), Canadá (10%) e Inglaterra (10%). (Ver figura 1-3). Las principales variedades de plantas aromáticas que se exportan son: albahaca (*basil*), tomillo (*Thymus vulgaris*), eneldo (*dill*), orégano (*orégano*), cebollín (*chives*), salvia (*sage*), romero (*rosemary*), estragón francés (*french tarragon*) y perifolio (*chervil*).

El tomillo tiene un rendimiento de $20.8 \frac{t}{ha}$ y su producción de aceites esenciales es de 1 a 2.5% del peso seco. Cuando se trata deshidratado, se pueden obtener unas $3 \frac{t}{ha}$ de tomillo seco y cerca de $50 \frac{Kg}{ha}$ de aceite esencial. Se reporta que alcanza a tener seis cortes por año. (Stahl y Venskutonis & UNAL y CID, 2004, 2008) (Barreño, P., 2003)

Los países que más producen tomillo son España y Francia. España produce 2000 toneladas anuales. México, Colombia, Perú e Israel son los principales exportadores de tomillo al mercado estadounidense (COSMOS, 2012). Estados unidos y Europa, especialmente Francia, Alemania y Reino Unido, son los principales consumidores de tomillo a nivel mundial (Sotomayor, 1998).

Es un cultivo altamente rentable. En Colombia, se paga por cada planta US\$ 0.17 y se comercializan bolsas de 50 g de producto fresco por valor de US\$ 0.40, siendo el costo unitario de producción en agricultura orgánica, de US\$ 0.15 por kilo, lo que lo hace económicamente atractivo (TIR=95%) en los mercados internacionales. Actualmente, el tomillo continúa siendo una mercancía de gran valor comercial y la demanda de material seco procedente de esta planta sigue creciendo.

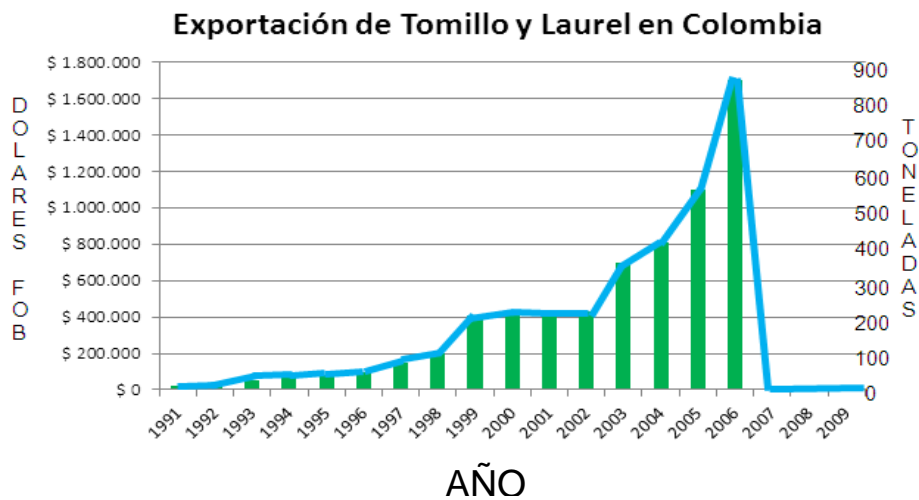


Figura 1-2: Exportaciones de tomillo y laurel en Colombia durante el periodo de 1990 al 2009. Fuente: (Agronet, 2010).

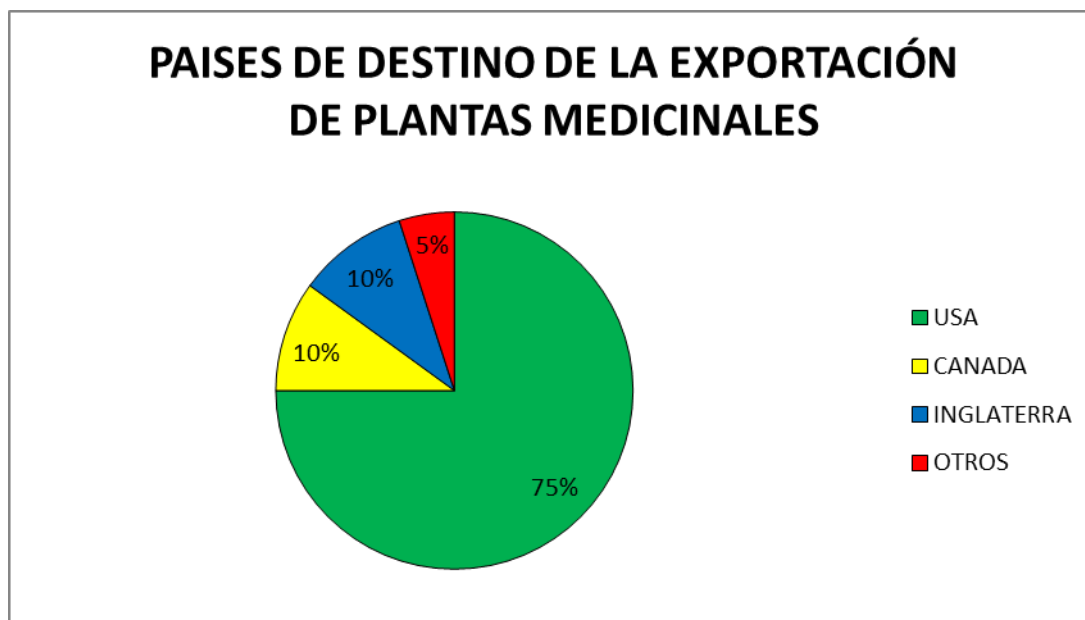


Figura 1-3: Países de destino e la exportación de plantas medicinales. Fuente: Compañía Castro Suarez y Consultores, información tomada del acuerdo de competitividad de las (PAMC) en Cundinamarca, 2006 elaborado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

En la figura 1-4 se muestra el mapa rural del municipio de Cocorná y en él se ubica a la vereda San Vicente, lugar donde se encuentra la asociación de plantas aromáticas del municipio de Cocorná "APAMCA" (Ver figura 1-5). Ésta consiste en una planta deshidratadora de tomillo (*Thymus vulgaris*). Se construyó para contribuir a la solución de los problemas de orden social producto del desempleo y falta de desarrollo de esa zona.

En la figura 1-6 se presenta un cultivo de tomillo (*Thymus vulgaris*), el cual sirve de insumo para el secado, se puede notar que no hay un control especial en su cultivo, tales como carpas o viveros que lo protejan del agua u otros problemas ambientales. En la figura 1-7 se muestra la cámara de secado donde se depositan las bandejas, es un compartimento revestido con unos plásticos, que tienen la finalidad de almacenar el calor mientras entra el aire caliente, proveniente de una caldera que funciona con GLP, que recircula por dichos espacios. Por último en la figura 1-8 se presenta el producto seco listo para su trituración.



Figura 1-4: Mapa rural del municipio de Cocorná. **Fuente:** Base de datos http://Cocorná-antioquia.gov.co/apc-aa-356637376135356333663332653637/MAPA_ZONA_RURAL.pdf. Consultado en febrero 20 del 2012



Figura 1-5: Pancarta en la entrada del secadero. **Fuente:** Elaboración propia.



Figura 1-6: Cultivo de Tomillo (*Thymus vulgaris*). **Fuente:** Elaboración propia.



Figura 1-7.Cámara de secado, donde van ubicadas las bandejas del deshidratador de tomillo (*Thymus vulgaris*) de APAMCA. **Fuente:** Elaboración Propia.



Figura 1-8.Tomillo (*Thymus vulgaris*) seco para el proceso de trituration. **Fuente:** Elaboración propia.

1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El Instituto Tecnológico Metropolitano tiene un secador mecánico de especias y condimentos aromáticos, en el Laboratorio de Ciencias Térmicas del Instituto Tecnológico Metropolitano, sede Fraternidad. Este secador se utilizó en un nuevo proyecto de investigación, el cual consiste en estudiar las variables termodinámicas que influyen en el secado del tomillo y su contribución en las características finales del producto con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso. El líder del proyecto es el Ingeniero de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia Fray Huber De Jesús Campo Sepúlveda. Se trata de un proyecto que impulsa el deshidratado de plantas aromáticas, ya que permite tener un mayor control sobre las variables que influyen en el proceso, especialmente sobre la influencia del caudal de aire y la temperatura.

La forma más extendida de secado solar es el secado directo al sol, secado al aire libre o secado solar natural, consistente en exponer el material vegetal a las corrientes naturales del aire y a la radiación solar, directamente sobre el suelo o bien sobre plásticos, láminas u otros. Su mayor ventaja es el bajo costo que incide en su amplia aplicación y difusión rural. Sin embargo, tiene sus desventajas que afectan la calidad del material, como la falta de higiene del proceso, la alteración de las características organolépticas, el riesgo de putrefacción y la variación del tiempo de secado con las condiciones del clima, entre otras (Reyes & Pedro, 2004). El secado al sol tiene como objetivo disminuir los porcentajes de humedad en el material vegetal hasta niveles que garanticen su posterior almacenamiento y conservación por el mayor tiempo posible sin deterioro de su calidad (Pérez, 2002). Este proyecto es importante para los cultivadores de plantas aromáticas en cuanto a que pueden tener un control sobre las variables que influyen en el secado de la planta para convertirla en un producto competitivo. En Colombia no existen grandes volúmenes de exportación de tomillo (*Thymus vulgaris*) cumpliendo con la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998), prácticamente esta se hace en verde. A nivel regional el secado en bandejas se hace directamente con la exposición a la radiación solar, no teniéndose ningún control sobre la temperatura y la humedad del aire de secado disminuyéndose así sus propiedades organolépticas además de convertirse en un producto no apto para el mercado interno por la presencia de materiales no deseados como insectos o contaminantes presentes en el ambiente ya que estos son abiertos y sin ninguna barrera física. También existen pequeñas plantas de secado que no tienen un control efectivo sobre la temperatura y el flujo de aire lo que finalmente determina un producto no competitivo.

La norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998) establece los requisitos y los ensayos a los cuales debe ser sometido el tomillo (*Thymus vulgaris*) y otras especias. Según esta norma, este debe de cumplir los requisitos establecidos en las tablas 1-1 y 1-2. En la tabla 1-1 se registran las características de composición en forma natural y en la tabla 1-2 se muestra

la cantidad de materia extraña e impurezas permitidas. El olor es aromático y el sabor fuerte, algo amargo y con cierta sensación a alcanfor (Medicines, 2000).

La figura 1-9, por otra parte, muestra la situación del comercio en verde de las plantas aromáticas y medicinales. El 98% se está exportando en verde y solo el 1% deshidratado, lo cual refleja claramente que no hay ninguna tecnología, como tampoco una cultura de deshidratado en Colombia (Castro, 2004), situación que pone en desventaja el mercado colombiano con respecto a otros países

Tabla 1-1: Características de composición del tomillo (*Thymus vulgaris*) en forma natural. **Fuente:** NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

Humedad, %m/m máx.	Cenizas, %m/m máx.	Cenizas insolubles en HCL, %m/m máx.	Aceite volátil % m/m mín.	Fibra bruta, %m/m máx.	Extracto etéreo fijo, %m/m mín.
12	12	4	0.8	-	-

Tabla 1-2: Materia extraña e impurezas. **Fuente:** NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

Insectos muertos, enteros	Excrementos de mamíferos	Otros excrementos	Fragmentos mohosos	Infestación	Materia extraña
Por recuento	mg/kg	mg/kg	%m/m	% m/m	% m/m
4	2	10	3	2.5	0.5

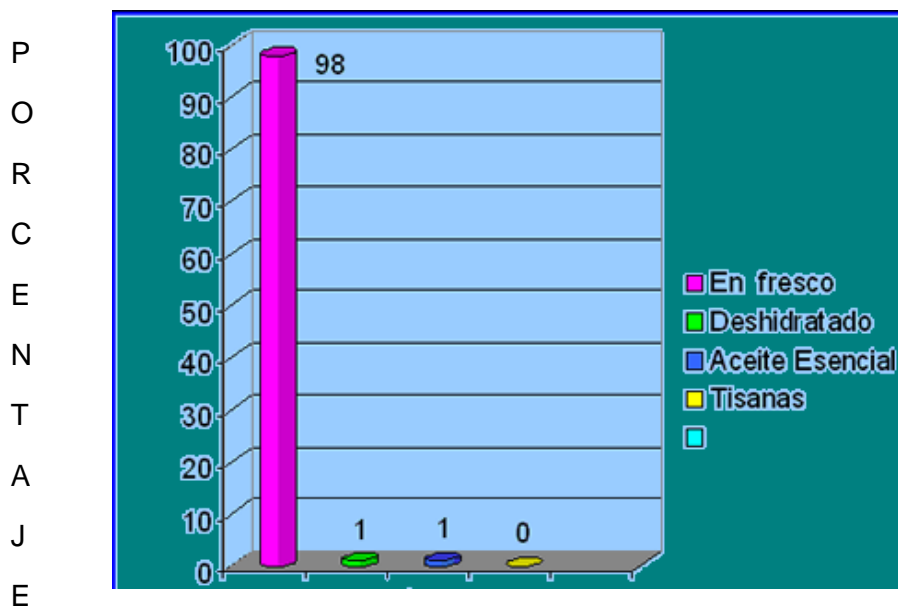


Figura 1-9.Exportación de plantas aromáticas y medicinales en Colombia. Fuente: (Castro, 2004).

En la figura 1-10, se muestra como la producción de tomillo (*Thymus vulgaris*) en Antioquia creció tanto a nivel de área cultivada como en su producción a partir del 2008 hasta el 2009, año en el cual permanece constante hasta el año 2010. No ocurre lo mismo con dicha producción en Colombia, la cual cae drásticamente en este mismo periodo de tiempo como lo muestra la figura 1-11, debido básicamente a que en Colombia, el sector de las plantas aromáticas es incipiente, y no se cuenta con información oficial. Por esta razón no existen datos consolidados sobre las especies comercializadas a nivel nacional o internacional, los volúmenes transados, o la distribución y el estado de conservación de las mismas. Nada de esto se conoce ni se encuentra registrado en la literatura de una forma sistematizada (Díaz, 2006).



Figura 1-10: Producción de tomillo (*Thymus vulgaris*) en el departamento de Antioquia 2008 al 2010. **Fuente:** (Agronet, 2010).

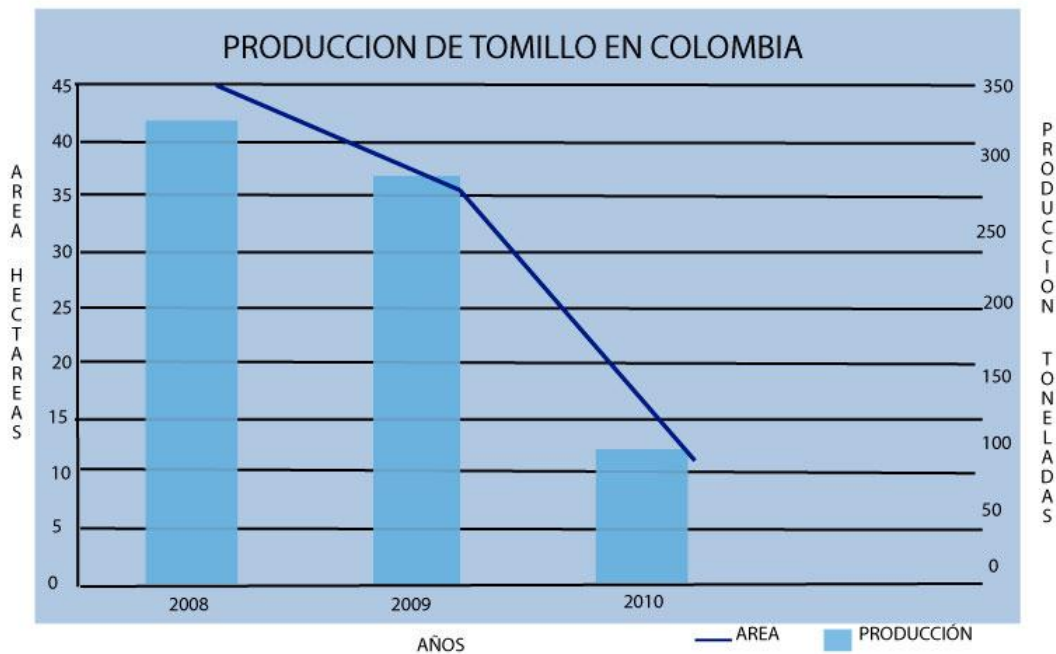


Figura 1-11: Producción de tomillo (*Thymus vulgaris*) en Colombia, 2008-2010. **Fuente:** (Agronet, 2010).

De las tablas 1-3 y 1-4 se puede observar que las exportaciones de tomillo (*Thymus vulgaris*) son mayores que las importaciones, lo que hace rentable la producción de este producto, pero teniendo en cuenta que hay un mayor valor agregado si este se exporta deshidratado, lo cual beneficia directamente al cultivador. Para que el deshidratado sea eficiente este se debe realizar en el sitio donde se cultiva la planta aromática, además de tener un buen control y manejo de las variables termodinámicas que influyen en el secado del producto, con el propósito de que éste cumpla la normatividad técnica respectiva. Las tablas 1-3 y 1-4 muestran la dinámica de las importaciones y exportaciones del tomillo (*Thymus vulgaris*) entre los años 2000-2006 y el valor en dólares por tonelada.

Tabla 1-3: Dinámica de las importaciones de tomillo. Periodo 2000-2006. **Fuente:** DANE. Cálculos Corporación Colombia Internacional. Base de datos www.cci.org.co/cci/cci_x/datos/.../7%20PHN_cap_7_o18_tomillo.pdf. Consultado en febrero 20 del 2012.

Año	Toneladas	US\$ CIF	US \$/ton
2000	14,842	18,238	1,228
2001	22,914	41,372	1,805
2002	12,152	23,734	1,953
2003	12,656	35,724	2,822
2004	22,299	55,443	2,486
2005	34,305	65,083	1,897
2006	16,662	48,977	2,939

Tabla 1-4: Dinámica de las exportaciones de tomillo (*Thymus vulgaris*). Periodo 2000-2006. **Fuente:** DANE. Cálculos Corporación Colombia Internacional. Base de datos www.cci.org.co/cci/cóccix/datos/.../7%20PHN_cap_7_o18_tomillo.pdf. Consultado en febrero 20 del 2012

Año	Toneladas	US\$ FOB	US \$/ton
2000	166.388	408,798	2,456
2001	143.147	325,603	2,274
2002	165.369	438,572	2,652
2003	213.84	703,996	3,292
2004	250.59	878,276	3,504
2005	342.6	1,361,743	3,973
2006	510.5	1,879,471	3,681

1.3 HIPÓTESIS

Mediante la deshidratación mecánica de tomillo (*Thymus vulgaris*), utilizando el caudal óptimo de aire encontrado, es posible obtener un producto con una humedad final del 15% en base humedad (b.h) que cumpla la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el secador mecánico para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) y su contribución en las características finales del producto para obtener el cumplimiento de la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar experimentalmente el sistema de secado neumática y térmicamente.
- Encontrar el caudal óptimo de aire en función de la humedad y el tiempo para determinar las curvas de secado.
- Validar el caudal óptimo de aire encontrado para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) mediante el modelo de Page.

En este capítulo se manifiesta la importancia de optimizar ciertas variables como son la temperatura y el flujo de aire de secado para la deshidratación del tomillo (*Thymus vulgaris*), lo cual traerá como beneficio, un incremento en su comercialización, al cumplir este proceso con la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998), beneficiando así a los cultivadores de este producto en el municipio de Cocorná. En el siguiente capítulo se hace una breve descripción de las propiedades fisicoquímicas que se presentan en el secado de las plantas aromáticas y medicinales, se explica en qué consiste el proceso de secado y, las curvas de secado que representan el deshidratado de estas plantas, las cuales son consideradas como alimentos, terminando con una descripción detallada del origen de este, las características fisicoquímicas, la comercialización a nivel mundial, su producción y sus múltiples aplicaciones y usos. Se describirá a nivel internacional, latinoamericano y nacional las últimas tendencias en la forma y el tipo de deshidratado de las plantas aromáticas y medicinales en las cuales se incluye el tomillo (*Thymus vulgaris*).

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

A continuación se registra una breve descripción de las propiedades fisicoquímicas que se presentan en el secado de las plantas aromáticas y medicinales, entre ellas el estado del agua en los alimentos, las propiedades termodinámicas del aire atmosférico, el flujo de calor y humedad en un alimento (sólido) durante el proceso de secado, que da lugar a las curvas de secado; como también a los diferentes tipos de secado y se considera también el secado de plantas aromáticas y medicinales. En el estado del arte, se describirá el origen del tomillo (*Thymus vulgaris*), sus características fisicoquímicas, su comercialización a nivel mundial, su producción y sus múltiples aplicaciones y usos. Por último se describirá a nivel internacional, latinoamericano y nacional las últimas tendencias en la forma y el tipo de deshidratado de las plantas aromáticas y medicinales entre ellas el tomillo (*Thymus vulgaris*).

2.1 MARCO TEÓRICO

En términos generales puede decirse que son dos las etapas por las que transita el secado de sólidos húmedos. La etapa de velocidad de secado constante que se produce a consecuencia del equilibrio que se establece entre la velocidad de flujo de calor, desde el aire hacia la superficie del sólido, con la velocidad de transferencia de masa desde la superficie del sólido hacia la masa de aire de secado. En tanto la superficie del sólido permanezca húmeda, la velocidad de evaporación permanecerá constante. En estas condiciones, la temperatura de la superficie del sólido en contacto con el aire de secado, región que constituye lo que se conoce como la interface, adoptará el valor de la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado, mientras que la humedad en esa zona de contacto adoptará el valor de la humedad de saturación del aire a esa temperatura. El proceso descrito, desde el punto de vista del gas, es esencialmente uno de humidificación adiabática (McCabe et al., 1965).

Cuando la superficie del sólido no está completamente mojada, punto que define lo que se conoce como contenido crítico de humedad, inicia el proceso denominado etapa de velocidad decreciente. Aquí el agua fluye a la superficie del sólido a una velocidad menor a la cual el calor es transferido a la misma, dando por consecuencia que la temperatura del sólido se incremente.

La velocidad de evaporación ya no es controlada por la velocidad de flujo de calor sino por los mecanismos, difusivos, capilares o de presión, entre otros los cuales hacen que la humedad fluye del interior del sólido hacia su superficie.

El término secado se aplica tan fácil e incongruentemente que es necesario restringir su significado a una clasificación más detallada con base en los procedimientos por los cuales se elimina el agua siendo los principales: evaporación de la humedad, sublimación y eliminación por medios mecánicos. Sin embargo es importante destacar que algunos autores no consideran esta última operación como un proceso de secado (Treybal, 1998).

En general se puede afirmar que el proceso de secado es un proceso de masa y calor y como tal puede ser estudiado desde un punto de vista de relaciones de equilibrio o a través de ecuaciones de flujo de calor y masa, que son los fenómenos dominantes. La fuerza impulsora fundamental para la deshidratación está asociada al potencial químico del agua en el material. El grado en el cual el agua interactúa con los componentes y contribuye a la textura de un alimento se encuentra determinado por la cantidad de la misma presente en él y se define por la actividad de agua y su estado termodinámico que es determinado por la ecuación de potencial químico ecuación 2-1, (Labuza, 1975).

$$\mu_1 = \mu_0 + RT \ln a_w \quad \text{(Ecuación 2-1)}$$

Dónde:

μ_1 = Potencial químico del agua, $\frac{J}{mol}$

μ_0 = Potencial químico estandar del agua, $\frac{J}{mol}$

R = Constante universal de los gases $0.81 \frac{atm * l}{mol * K}$

T = Temperatura absoluta , K

a_w = Actividad de agua termodinamica (adimensional)

2.1.1 El estado del agua en los alimentos

El contenido de humedad en un alimento es una variable, ya que fluctúa en función de numerosos factores, en tanto que la materia seca permanece constante durante la deshidratación (Welti, 2001)

Bajo diversas presiones y temperaturas, el agua puede asumir una combinación de los tres estados: sólido, líquido o vapor. La mayoría de los procesos de secado para los alimentos implican cambiar del agua de un estado líquido a un estado gaseoso para después remover este vapor haciendo circular aire sobre la superficie del alimento. Esto puede ocurrir a presión atmosférica o en condiciones de vacío.

La humedad contenida en un alimento se puede dividir ampliamente en tres categorías:

- **Agua superficial**, conservada en el contorno del alimento debido a la tensión superficial. Su comportamiento es similar al del agua libre.
- **Agua adsorbida en capilares**, existe dentro del sólido en poros y vacíos intersticiales donde la presión de vapor del agua sufre una depresión ya que se encuentra en capilares de radio pequeño. El agua perteneciente a esta zona participa en reacciones deteriorativas y es más fácil de eliminar que el agua atada.
- **Agua atada o ligada**, que es agua fuertemente unida a constituyentes del alimento tales como: proteínas o polisacáridos, por puentes de hidrogeno o interacciones ion-dipolo.

Un alimento en un ambiente a temperatura y humedad relativa constante eventualmente alcanzara el equilibrio y puede perder humedad hacia a la atmosfera o captar de la misma (Argaiz, 2000).

Por comodidad, humedades relativas de entre 0 y 20% consideran que el agua está fuertemente ligada y no participa en reacciones, humedades entre 20 y 80% consideran que el agua esta débilmente ligada y humedades mayores de 80% que el agua se encuentra libre para reaccionar.

2.1.2 Propiedades termodinámicas del aire atmosférico

En el secado y almacenamiento, uno de los aspectos más importantes es el contenido de humedad de equilibrio W_e , definido como el intercambio reciproco de humedad entre materiales higroscópicos. La condición de intercambio reciproco de humedad indica la condición de equilibrio que existe entre el aire y el producto. Dicho equilibrio se alcanza cuando la presión de vapor que corresponde a la humedad del alimento es igual a la presión de vapor de la humedad presente en el aire, a condiciones constantes de temperatura. Por tanto, es de fundamental importancia el estudio termodinámico de las propiedades del aire húmedo (Geankoplis, 1993).

La cantidad máxima de vapor de agua que puede presentarse en el aire depende de la temperatura del vapor mismo. Cuanto mayor es la temperatura, más vapor puede contener el aire. La humedad absoluta del aire, entendida como la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco a determinada presión y temperatura puede calcularse con la ecuación 2-2 (gas ideal):

$$H = \left(\frac{m_w}{m_a} \right) \left(\frac{p}{p-p} \right) \quad (\text{Ecuación 2-2})$$

Dónde:

$H =$ Humedad absoluta del aire, $\frac{g}{m^3}$

$m_a =$ masa molecular del aire, uma o g

$m_w =$ masa molecular del agua, uma o g

$m_w =$ masa molecular del agua, uma o g

$p =$ presión parcial de vapor de agua, en Pa.

P = presión parcial de la mezcla, en Pa.

Otra propiedad termodinámica de la mezcla aire y vapor de agua es la humedad contenida, definida como la cantidad de calor requerida (J) para elevar la temperatura de un kilogramo de aire seco más el vapor de agua que lo acompaña en $1\text{ }^\circ\text{K}$ o $1\text{ }^\circ\text{C}$.

También se puede mencionar el volumen húmedo del aire, expresado como el volumen total en m^3 de un kilogramo de aire seco más el vapor que contiene a 101325 Pa de presión (absoluta) y a la temperatura del gas (SI).

Una última propiedad termodinámica por mencionar es la entalpía total de una mezcla de aire y vapor de agua, siendo esta la entalpía de un kilogramo de aire seco más su vapor de agua.

2.1.3 Movimiento de calor y humedad en un alimento durante el proceso de secado.

La transferencia del calor y de la humedad ocurre cuando un medio de secado, típicamente aire caliente entra en contacto con un material higroscópico. El calor se transfiere desde el medio de secado hacia el material, y la humedad se mueve dentro del material hacia la superficie del mismo para evaporarse al medio. El calor se transfiere a la superficie material por convección, mientras que la conducción es el modo predominante del traspaso térmico dentro del material. Para el transporte de humedad dentro de un material, se cree que el agua se mueve dentro del alimento hacia la superficie del mismo por difusión (Welti, 2001).

El secado de un sólido se puede teóricamente considerar un proceso adiabático. Es decir el intercambio de calor ocurre enteramente entre el sólido y el medio de secado en un sistema cerrado donde no se transfiere calor del sistema del sólido-aire al ambiente o viceversa. La energía necesaria para evaporar la humedad es provista por calor sensible del aire de secado.

En la sicrometría de un proceso de secado se sigue aproximadamente una curva constante de temperatura de bulbo húmedo. Cuando el aire de secado pasa a través del material a secar, la temperatura de bulbo seco del aire disminuye y su humedad relativa y absoluta aumenta. La diferenciación de los datos de la curva de secado genera la velocidad de secado, que al ser graficado contra una variable de tiempo o de contenido de humedad, genera una curva típica con 4 periodos característicos: Periodo inicial, periodo de velocidad constante, primer periodo de velocidad decreciente y segundo periodo de velocidad decreciente (Welti, 2001).

2.1.4 Curvas de velocidad de secado.

Para reducir el contenido de humedad en los materiales durante el proceso de secado se realizan una serie de cálculos y consideraciones que generalmente involucran el tamaño del secador, las condiciones de humedad, la temperatura del aire empleado y el tiempo necesario para lograr el contenido de humedad deseado (Treybal, 1998).

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones de secado casi siempre produce curvas de formas variables en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado; el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente.

A manera de ilustración se presentan en las figuras 2-1 y 2-2, las curvas de secado de romero (*rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y menta inglesa (*mentha piperita*), como también las curvas de secado de la pimienta gorda (*Pimienta dioica*) a diferentes temperaturas. Estas curvas son características de una velocidad de secado con periodo decreciente controlado por difusión.

De la figura 2-1 se puede concluir que el romero (*rosmarinus officinalis*), tiene un contenido de humedad de 60%, el tomillo (*Thymus vulgaris*) tiene un contenido de humedad de un 65%, la menta inglesa (*mentha piperita*) tiene 70% de humedad, el tiempo de secado al que se sometieron las muestras fue de 8 h, se observa que el romero (*rosmarinus officinalis*), alcanzó una humedad en base húmeda de un 50%, el tomillo (*Thymus vulgaris*) una humedad de 55% y la menta inglesa (*mentha piperita*) una humedad de 58%.

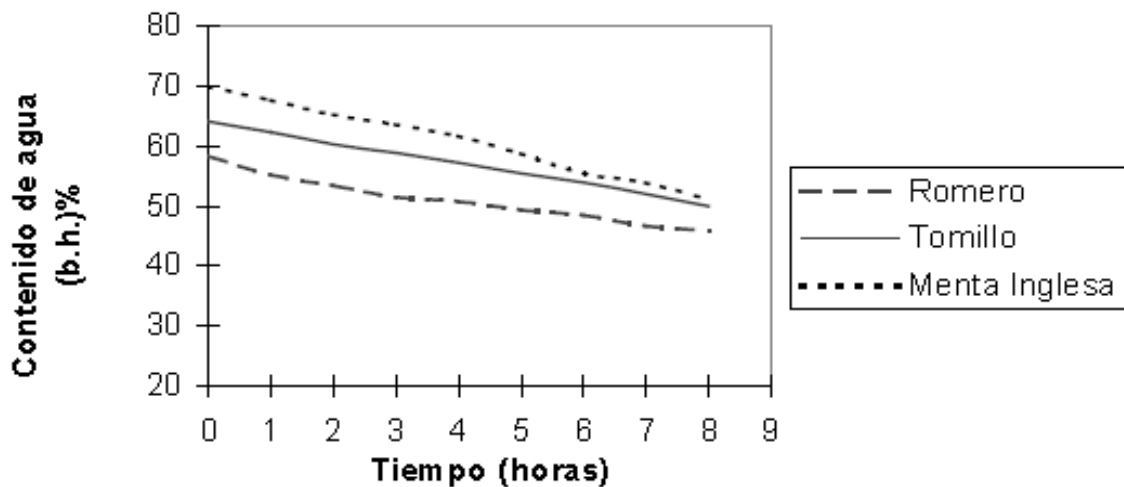


Figura 2-12: Curvas de secado de romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y Menta inglesa (*mentha piperita*). **Fuente:** (Curioni, Righini, Antelo, & Alfonso, 1999).

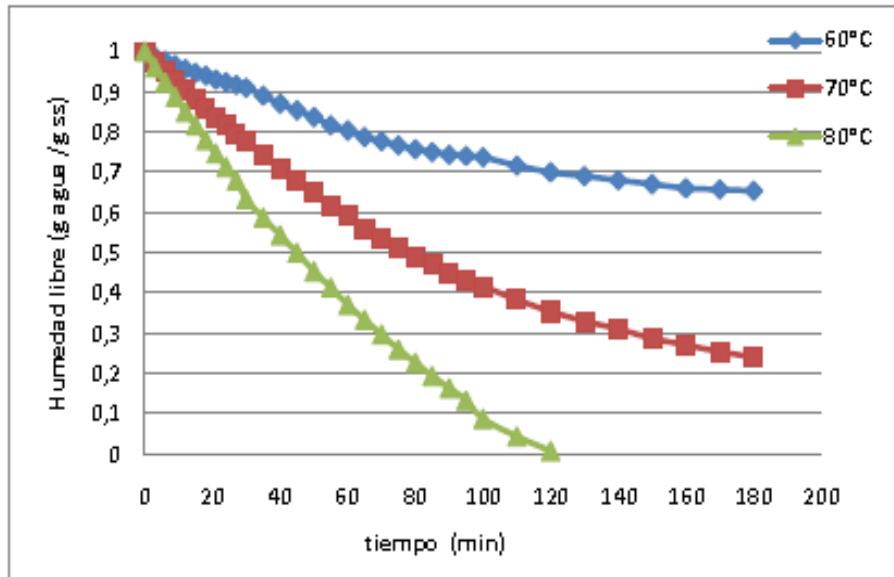


Figura 2-13: Curvas de secado de la pimienta gorda (Pimienta dioica) a 60, 70 y 80 °C. Fuente: (FLORES, 2009).

De la figura 2-2 se puede concluir que la pimienta gorda sometida a una temperatura de secado de 80°C demora 2 h en llegar a una humedad libre del 0%, a 70°C durante un tiempo de 3 h se llega a un contenido de humedad de 23%, a una temperatura de 60°C durante un tiempo de 3 h se llega a un contenido de humedad de un 65%.

2.1.5 Secado de hierbas aromáticas y medicinales

La razón más importante desde el punto de vista técnico por la cual se secan las hierbas es su conservación; mediante este método es promovido 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, demandadas y, sobre todo, mejor pagadas.

En la tabla 2-1 se observan diferentes porcentajes de humedad exigidos por Alemania.

Tabla 2-5 Porcentaje de humedad exigido por Alemania. Fuente: Base de datos <http://www.herbotecnia.com> consultado noviembre 20 del 2012.

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

La cantidad de agua a extraer en un proceso de deshidratación, no debe superar los valores exigidos por la norma NTC 4324 (ICONTEC, 1998). Además, debe entregarse al cliente en estado adecuado para evitar que presente resequeidad y otros defectos. 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 el tomillo (*Thymus vulgaris*) o sus partes.

La humedad del aire del sitio donde se realiza el secado debe ser inferior al 70% ya sea 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, 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, entre otros.

Se pueden usar diversos métodos para el secado, el secado se puede realizar en horno natural o mecánico; de éste último, el más utilizado es el secado por aire caliente forzado. Siempre convendrá realizarlo en condiciones que no permitan la contaminación del vegetal ni la disminución de su calidad terapéutica y comercial (Castro, 2004).

2.1.1 Secado Natural

Si se cuenta con condiciones climáticas adecuadas, baja humedad relativa menor del 70% y temperaturas elevadas, mayores de 30°C, el secado natural requiere poca inversión económica y es sencillo de realizar (Compañía, Castro, S., & Consultores., 2004).

Se puede realizar colocando el material sobre el suelo, al sol y removiendo cada tanto con una horquilla, pero así se obtendrá un producto de mala calidad, contaminado y de bajo valor comercial.

Es conveniente disponer las hierbas en capas delgadas sobre catres que se exponen al aire libre durante algunos días, teniendo la precaución de removerlos frecuentemente y de cubrirlos o guardarlos bajo techo durante la noche para evitar que el rocío ennegrezca el producto. Las medidas de los catres deben ser adecuadas para su manejo por una persona y dependen del tipo de secador que se va a construir y el volumen de material a secar. No hay datos precisos de estos catres, cada diseñador los aporta o calcula. En la producción casera, de pequeña cantidad, las hierbas pueden ser colgadas en manojos con los extremos de los tallos hacia abajo.

El tiempo de secado dependerá de las condiciones climáticas y de la naturaleza del material a secar. Una hierba, compuesta por hojas y delgados tallos leñosos, en condiciones apropiadas, demorará alrededor de 3 o 4 días en alcanzar condiciones de humedad tales que pueda ser almacenada.

El principal inconveniente del secado natural es que no se pueden controlar las condiciones climáticas y así, al momento de cosechar puede tocar días de alta humedad, lluvia, baja temperatura, etc. que no permitirán un buen secado y conservación. (Castro, 2004).

2.1.6 Secado Mecánico.

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:

- Desecación por aire caliente.
- Desecación por contacto directo con una superficie caliente.
- Desecación por aporte de energía de una fuente radiante de microondas
O dieléctrica.
- Liofilización.¹

¹La liofilización es una forma de desecado en frío que sirve para conservar materiales biológicos, el proceso consiste en congelar primero el material y luego eliminar el hielo por sublimación.

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

Al secar una hierba húmeda con aire caliente, el aire que aplicamos aporta el calor para la evaporación de la humedad y actúa como transporte para eliminar el vapor de agua que se forma en la cercanía de la superficie de evaporación.

2.2 ESTADO DEL ARTE

Este género, perteneciente a la familia *Labiatae* o *Lamiaceae*, comprende plantas típicamente mediterráneas, adaptadas a periodos de sequía y pluviosidad alternantes. En los periodos más secos suelen perder las hojas como mecanismo para protegerse de la pérdida de agua. Son en su mayoría plantas heliófilas y pioneras, que colonizan rápidamente los lugares abiertos y desprovistos de vegetación.

La planta del tomillo (*Thymus vulgaris*) se caracteriza por poseer ramas leñosas entre 15 y 30 cm de altura, alcanzando los 0.5 m en zonas protegidas. Sus tallos de sección cuadrada están repletos de pequeñas hojas entre 4 y 5 mm en forma de racimos ver figura 2-3 y con tonalidades verdes, recubiertas de aceite esencial, presentan un aspecto vellosos que le confiere un peculiar tacto. Posee numerosas ramas leñosas, erectas compactas, parduscas o blanco aterciopeladas.

Las hojas son opuestas, simples, enteras, generalmente alargadas, y varían en forma, tamaño, pilosidad, presencia de cilios en su borde y glándulas esenciales esferoidales en su superficie. Su tamaño oscila entre 4 y 10 mm de longitud. En la figura 2-3 también se aprecia el fragmento del tallo y el envés de una hoja de *Thymus vulgaris*. En la hoja se aprecian las glándulas productoras de aceite esencial.



Figura 2-14: a) Detalle de fragmento tallo. b) Envés de hoja de thymus vulgaris.
Fuente:(**Morales, 1986**).

Las glándulas esenciales que aparecen sobre estas hojas, donde se almacena el aceite, tienen un tamaño aproximado entre **0.1 y 0.2 mm** (Morales, 1986).

Respecto a la distribución de dichas glándulas, Letchamo (Letchamo et al., 1996), trabajando con plantas de *Thymus vulgaris* en Canadá, determinaron que el número de estas estructuras es mayor en el envés que en el haz de las hojas.

El género *Thymus* está compuesto alrededor de 150 géneros, con cerca de 2800 especies que se extienden por Europa, Asia, parte de África y Groenlandia, como se muestra en la figura 2-4. Se ha diversificado extraordinariamente en la Península Ibérica, donde aparecen numerosas especies endémicas.

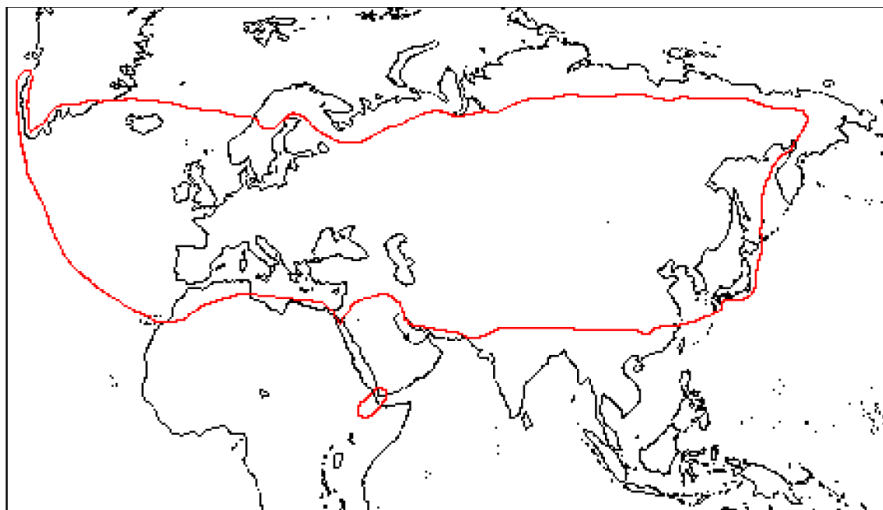


Figura 2-15: Distribución geográfica del género thymus. **Fuente:** (Morales, 1986).

El tomillo crece a una altitud de 0 a 2800 msnm (metros sobre el nivel del mar) en climas templados, templado-cálido y de montaña. Se ha reportado que resisten a las heladas, las sequías y puede ser sembrado tanto en campo abierto como en condiciones protegidas bajo invernadero (Barreño, P., 2006); (López, 2006). Crece en zonas que tengan temperaturas anuales de 7 a 20°C y la acumulación de aceites esenciales depende directamente de la luz (Stahl y Venskutonis & UNAL y CID, 2004, 2008). El tomillo (*Thymus vulgaris*) tiene un rendimiento de $20.8 \frac{t}{ha}$ y su producción de aceites esenciales es de 1 a 2.5% del peso seco. Cuando se trata deshidratado, se pueden obtener unas $3 \frac{t}{ha}$ de tomillo seco y cerca de $50 \frac{kg}{ha}$ de aceite esencial. Se reporta que alcanza a tener seis cortes por año (Stahl y Venskutonis & UNAL y CID, 2004, 2008).

Los países que más producen tomillo (*Thymus vulgaris*) son España y Francia. España produce 2000 toneladas anuales. México, Colombia, Perú e Israel son los principales exportadores de tomillo (*Thymus vulgaris*) al mercado estadounidense (COSMOS, 2012). Estados Unidos y Europa, especialmente Francia, Alemania y Reino Unido, son los principales consumidores de tomillo a nivel mundial (Sotomayor, 1998).

Es un cultivo altamente rentable. En Colombia, se paga por cada planta unos US\$ 0.17 y se comercializan bolsas de 50 gramos de producto fresco por valor de US\$ 0.40, siendo el

costo unitario de producción bajo agricultura orgánica, de US\$ 0.15 por kilo, lo que lo hace económicamente atractivo (TIR=95%) en los mercados internacionales. Estos valores tienen vigencia del 24 de enero del 2012 Actualmente, el tomillo (*Thymus vulgaris*) continúa siendo una mercancía de gran valor comercial y la demanda de material seco procedente de esta planta sigue creciendo. (Ingeniería agrícola.com, plantas aromáticas, el tomillo http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/aromatic_tomillo.htm. Consultado noviembre 24 del 2012).

2.2.1 Aplicaciones. Propiedades del tomillo (*Thymus vulgaris*)

La importancia de este género es conocida desde la antigüedad, siendo el tomillo (*Thymus vulgaris*) una planta comúnmente utilizada en medicina popular. Sus propiedades, que determinan las posibles aplicaciones de este género, se deben mayoritariamente a su aceite esencial.

Entre sus muchos usos, tomillo (*Thymus vulgaris*) se emplea para tratar la dispepsia y otros problemas gastrointestinales (Who, 1999), ya que tiene propiedades eupépticas, coléricas, carminativas y antihelmínticas.

Tradicionalmente es una planta muy empleada en las afecciones del aparato respiratorio gracias a su capacidad para actuar como espasmolítico y antitusivo (Who, 1999), características que se atribuyen a los compuestos timol y carvacrol, fenoles simples que se encuentran en el aceite esencial de muchas de estas plantas (Reiter et al., 1985).

Tanto el aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) como su constituyente timol se emplean como antisépticos. Este aceite presenta, además, acción tónica y estimulante del sistema inmunológico, del apetito y de la memoria, y favorece la circulación sanguínea.

El timol tiene también actividad antiinflamatoria, ya que disminuye la liberación de metabolitos como prostaglandinas, interleuquinas y leucotrienos (Skold et al. & Yucel-Lindberg et al., 1998, 1999).

Una importante aplicación de estas plantas es su utilización como suplemento en alimentación animal. En este sentido, actualmente se está desarrollando en España un Proyecto de Investigación basado en el empleo de material destilado procedente de distintas plantas aromáticas, entre las que se encuentra el tomillo (*Thymus vulgaris*), como fuente natural de antioxidantes endógenos según el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Se pretende sustituir en parte la alimentación de cabras y ovejas con dicho material, con el fin de comprobar la transferencia a la carne y a la leche de las sustancias antioxidantes presentes en el mismo. (agrodigital.com, <http://www.agrodigital.com/PIArtStd.asp?CodArt=85803> Consultado noviembre 24 del 2012).

Urbanczyk et al (2012) analizan el efecto de una mezcla de dichas plantas, entre las que se encuentra el *Thymus vulgaris*, como suplemento alimentario (Urbanczyk et al., 2012).

Los resultados muestran que los animales a los que se suministran esta mezcla presentan el mejor promedio de ganancia de peso corporal, sin que se vea afectada la calidad de la carne, lo que confirma la posibilidad de usar estas plantas como una alternativa a los antibióticos como promotores del crecimiento en alimentación animal.

Es importante destacar que el timol, así como el aceite esencial y la hoja seca de tomillo (*Thymus vulgaris*), están catalogados por la *Food and Drug Administration* de los EEUU como alimentos aptos para el consumo humano, y también como aditivos alimentarios. Asimismo, el timol fue evaluado por el Comité de Expertos en Sustancias Aromatizantes del Consejo de Europa en 1992, y se encuentra entre las sustancias cuyo uso como condimento está permitido.

2.2.2 Panorama Internacional

Radünz, Amaral, Mossi, Melo, & Rocha utilizaron seis temperaturas de aire de secado (40, 50, 60, 70, 80 y 90°C), (Radünz, Amaral, Mossi, Melo, & Rocha, 2011), con el objetivo de estudiar la cinética de secado de carqueja (*Baccharis trimera*). Los autores ajustaron los datos experimentales a doce modelos matemáticos, determinando que el modelo de Midilli presentó el mejor ajuste a los datos para el rango de temperatura estudiado (40 a 90°C), y el modelo de Page presentó un ajuste adecuado a los datos experimentales para el rango de temperatura de 60 a 90°C. Como observación a este trabajo de investigación, se puede considerar un aspecto negativo al no tener control sobre el flujo de aire de secado, ya que este es un parámetro muy importante en el deshidratado de plantas aromáticas, como también el no tener en cuenta el rango de temperaturas tan elevado, ya que esto afecta las propiedades organolépticas.

El secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) fue realizado por Doymaz (DOYMAZ, 2010) utilizando temperatura del aire de secado en el rango de 40 a 60°C, velocidad del aire de $2 \frac{m}{s}$ y la humedad relativa de 14 a 45%. Fueron utilizados varios modelos matemáticos ajustados a los datos experimentales, mostrándose como el modelo de Midilli, fue el que mejor se aproximó a los datos experimentales. Una de las características que se debe tener presente en este desarrollo experimental y casi en todos los demás que se relacionan en este estado del arte, es la ausencia de un control efectivo del flujo de aire ya que este es un factor decisivo en el secado de las plantas aromáticas, como también un control riguroso sobre la temperatura de secado, porque muchas veces se sobrepasan ciertos límites de temperaturas que pueden afectar las propiedades organolépticas. Es de anotar entonces que estos serán aspectos repetitivos como observaciones, a estos trabajos de investigación.

Arslan et al., utilizaron 3 métodos de secado (sol, microondas y aire a 50°C) en hojas de *Mentha* y piperita (Arslan D. O., 2010). Fueron estudiados doce modelos matemáticos, de los cuales verificaron que los que mejores se ajustaron a los datos experimentales fueron los de Midilli, Page y Page modificado. En el desarrollo de este trabajo de investigación, lo más importante que consideraron los autores fue la parte cinética del secado en función de la temperatura, sin tener en cuenta la influencia del flujo de aire de secado.

Otros como Therdthai (Therdthai & Zhou, 2009) estudiaron el secado de *Mentha cordifolia* utilizando microondas al vacío y aire a 60 y 70°C. Los autores utilizaron los modelos de Lewis, Page y Fick a los datos experimentales de secado y concluirían que el modelo de Page fue el que mejor describe esos datos. No es prioritario en el desarrollo de estos proyectos de investigación, dar importancia al estudio de la influencia del caudal óptimo de aire en el proceso de secado de las plantas aromáticas, ya que consideran que el factor más decisivo en este proceso es la temperatura de secado, sin tener en cuenta que el flujo de aire también es un factor predominante.

Doymaz utilizó temperaturas de 50, 60, 70 y 80°C y una velocidad de aire de $1.2 \frac{m}{s}$ con el objetivo de estudiar el secado de las hojas de espinafre (*Spinacia oleracea L.*) (DOYMAZ, TUGRUL, & PALA, Drying characteristics of dill and parsley leaves., 2006). Los datos experimentales fueron ajustados a 4 modelos (Henderson y Pabis, Lewis, Page y logarítmico), siendo el modelo logarítmico el que mejor se ajustó a los datos experimentales. Tal vez el no considerar otros factores importantes como el flujo de aire de secado hace que muchos trabajos similares en el secado de las plantas aromáticas, arrojen diferentes aproximaciones a los diferentes modelos muchas veces para los mismos rangos de temperatura, ya que es precisamente este factor el más tenido en cuenta.

En el estudio realizado con hojas de alecrim (*Rosmarinus officinalis L.*), Arslan (Arslan & Ozcan, 2008) utilizaron 3 métodos de secado (a sol con temperaturas en un rango de 20 a 30°C, estufa a 50°C y en microondas a 700W). Los autores verificaban que el modelo logarítmico, Midilli y Kuçuk fueron los más adecuados para describir el proceso de secado realizado mediante el sol y en la estufa, mientras que los modelos de Page, Page Modificado, Midilli y Kuçuk fueron los que mejor se ajustaban a los datos experimentales de secado con el microondas. En el desarrollo de este trabajo de investigación, lo más importante que consideraron los autores fue la parte cinética del secado en función de la temperatura, sin tener en cuenta la influencia del flujo de aire de secado.

Dissa, Bathievo, Savadogo, Desmorieux y Koulidiati de la Universidad Ouagadougou en Francia, en 2008, modelaron y validaron un secador solar indirecto de rodajas de mango, en el cual la radiación solar máxima fue de $855 \frac{W}{m^2}$ sobre la superficie de captación de $1.87 m^2$ y de una eficiencia máxima del secador de 35.04%. Temperatura máxima de 65.33°C, 4 bandejas cada una con superficie de $0.3564 m^2$ longitud de capa de 8 mm alcanzando una humedad relativa de 13.76% respecto a las iniciales de 61.1 % y 60.06 % (Dissa, 2008). Se utiliza tecnología avanzada para la adquisición de los datos y se realiza un balance de energía en el secador. Se debe tener en cuenta que en este tipo de secado a pesar de ser de muy bajo costo hay desventajas que limitan este proceso, tales como: son procesos muy lentos, puede haber contaminación del alimento en muchos casos, se deben de tener en cuenta los cambios climáticos además de que los alimentos están sometidos a la radiación solar directa, ya sea en estas dosis.

Al estudiar el secado de las hojas de endro (*Anethum graveolens L.*) y salsina (*Petroselinum crispum L.*), Doymaz (DOYMAZ, TUGRUL, & PALA, 2006) emplearon 3 temperaturas de aire de secado (50, 60 y 70°C) y una velocidad del aire de $1.1 \frac{m}{s}$. Los

valores fueron ajustados a los modelos de Midilli, Kuçuk, Page, Pabis, Lewis y Henderson. Concluirían que el modelo Midilli y Kuçuk describían satisfactoriamente la cinética de secado para ambas plantas. Se debe tener en cuenta que en la realización de este proyecto no se tuvo en cuenta el flujo de aire de secado, como tampoco el control de las altas temperaturas y sus consecuencias negativas en las propiedades organolépticas.

Vega et al., de la Universidad Politécnica de Valencia en España, estudiaron y modelaron la cinética del secado del pimiento (*cv Lamuyo*) a diferentes temperaturas de trabajo (50, 60, 70 y 80°C), mediante aire caliente. (VEGA Y ANDRÉS, 2005) la velocidad de aire se mantuvo constante a $2.5 \frac{m}{s}$ igual que la densidad de carga en $7 \frac{kg}{m^2}$. Las experiencias se

llevaron a cabo en un secadero de laboratorio que permite registrar la masa de la muestra en tiempo real. Con los resultados se observa que durante el proceso de secado pueden distinguirse tres etapas; una corta primera etapa de inducción; una segunda etapa hasta humedades de producto cercana a $1 g$ de agua por gramo de materia seca y en la que la

velocidad de secado disminuye linealmente con la humedad libre del producto; y una tercera etapa de secado más lenta, donde la velocidad de secado se modela con las ecuaciones difusionales de Fick. La comparación de los valores de humedad experimentales con los calculados según el modelo propuesto demuestra que las ecuaciones utilizadas describen adecuadamente el proceso y sirven de base para el cálculo del tiempo de secado de este producto. El estudio de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso de secado que permita además obtener un producto de calidad, si a este aspecto se le añade también el estudio de la variable flujo de secado, sería mucho más exacto el conocimiento del proceso de deshidratación de las plantas aromáticas, lo que permitiría salvar obstáculos tales como, daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o la disminución del rendimiento (Olivas, 1999).

Kavak, Bicer y Cetinkaya de la Universidad de Firat Turquía, en 2005, hicieron un modelado de un secador convectivo de capa fina para hojas de perejil, utilizando energía solar. Los parámetros fueron: velocidad del aire de $1 \frac{m}{s}$, temperaturas entre 56, 67, 85 y 93°C utilizando convección natural bajo el sol, los datos de secado se ajustaron a los diferentes modelos matemáticos tales como: Newton, Page, Henderson y Pabis. La radiación solar fue de $195 \frac{W}{m^2}$ a $796 \frac{W}{m^2}$ el modelo más ajustado al secado fue el de Pages. (Kavak, 2006). Los adelantos son buenos en cuanto a que ajustan los datos obtenidos a los modelos matemáticos del secado, además trabajan en un túnel de secado en laboratorio. Hay que anotar que en el desarrollo de este proyecto de investigación, no se tiene en cuenta las condiciones climáticas desfavorables, el flujo de aire de secado, como también el control de las altas temperaturas y sus consecuencias negativas en las propiedades organolépticas.

Xavier Cipriano Lindes investigador del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería CIMNE presenta un informe de la aplicación de la energía solar en plantas secadoras a pequeña y mediana escala publicado por la Universidad Politécnica de Cataluña en el año 2005. El objetivo principal del informe fue el uso de secadores en

zonas rurales utilizando energía solar como fuente de calor para ayudar a mejorar los procesos agrícolas, las velocidades del aire oscilan entre $0.4 \frac{m}{s}$ a $1 \frac{m}{s}$. Tiempo de secado 40 horas para alcanzar una humedad del 10%. Temperatura entre $55^{\circ}C$ y $65^{\circ}C$ (Cipriano, X.L (n.d.), 2005). En este informe sobre la aplicación de la energía solar en plantas secadoras faltó profundizar más en los secadores mecánicos ya que solo se ilustra uno pero no determinan sus características relevantes como: Eficiencia del secador, caudal de aire, temperatura de la cámara de secado, calentador del aire, si es con resistencias eléctricas o con cuál tipo de combustible, tampoco se tuvo en cuenta que las altas temperaturas pueden llevar a la pérdida de los compuestos químicos de los aceites esenciales por volatilización o degradación.

Para el secado de las hojas de Louro (*Laurus nobilis L.*), Demir (Demir, Gunhan, K., & Degirmencioglu, 2004) utilizan diferentes métodos de secado (aire a $40,50$ y $60^{\circ}C$, secado a sol y sombra). Entre los diversos modelos matemáticos ajustados a los datos experimentales, tenían como resultado que el modelo de Page fue el que mejor describía el proceso de secado para las condiciones estudiadas. Se debe tener en cuenta que en este tipo de secado a pesar de ser de muy bajo costo hay desventajas que limitan este proceso, tales como: son procesos muy lentos, puede haber contaminación del alimento en muchos casos, se deben de tener en cuenta los cambios climáticos además de que los alimentos están sometidos a la radiación solar directa.

Se han estudiado diferentes tipos de mentas respecto a su secado. En el secado de *Mentha crispa L.*, usando temperaturas de aire de $30, 40$ y $50^{\circ}C$ Park (Park, Vohnikova, & Brod, 2002) obtuvieron el mejor ajuste de los datos con el modelo de Page. Como características negativas de muchos trabajos de este tipo, es la ausencia de un controlador de temperatura y un control de caudal para el ventilador, y es precisamente en este aspecto donde se dirige este proyecto de grado.

Turquía es uno de los países que más ha trabajado a nivel mundial el secado de plantas. En el año 2001 la Universidad de Cukurova, el departamento de Agricultura y Maquinaria de la Facultad de Agricultura publicó un artículo sobre el desarrollo técnico y económico de un secador mecánico que utiliza bandejas para el secado de plantas medicinales y aromáticas. Utilizaron un calentador de aire con quemador de gas, ventilador y cámara de secado con temperaturas entre $42^{\circ}C$ y $50^{\circ}C$, tiempo de secado 9 horas, con una humedad del 10% para la menta. Como combustible utilizaron gas licuado del petróleo con una potencia del quemador de 33.3 KW (Soysal Y; Öztekin, 2001). Una de las características negativas de este proyecto es la ausencia de un controlador de temperatura que pueda ver el usuario y un control de caudal para el ventilador, además no aparece el registro de la eficiencia del ventilador.

En 1971 Ramachandra y colaboradores publicaron los resultados de un estudio realizado en el Instituto Tecnológico de Mysore, India, sobre el secado de semilla descascarada (descuticulizada) de ajonjolí (*sesamum indicum*) en el lecho fijo de un secador rotatorio (Ramachandra et al., 1971). La experimentación exploró, entre otros, tres niveles de flujo descendente de aire de secado con velocidades de: $1 \frac{m}{s}$, $0.9 \frac{m}{s}$ y $0.3 \frac{m}{s}$ y tres temperaturas del aire de secado: $60^{\circ}C$, $70^{\circ}C$ y $80^{\circ}C$. Los resultados de la experimentación fueron presentados en gráficas de humedad contra tiempo. Es de anotar que dentro de las

deficiencias que presenta este trabajo de investigación, está la de no tener control sobre la temperatura que el usuario pueda medir con exactitud y ver, como la medición del flujo de aire óptimo para el proceso de secado.

2.2.3 Panorama Latinoamericano

En el Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos (CEDIT) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Lima-Perú (Sivipaucar et al., 2008) diseñaron, calcularon y construyeron un secador solar indirecto por convección natural para el secado de plantas medicinales aromáticas no tradicionales (Sivipaucar, 2008). Este equipo térmico, consta de tres partes: colector solar, cámara de secado y chimenea; aprovecha simultáneamente el fenómeno de radiación solar térmica con el proceso de convección natural. Las plantas medicinales aromáticas no tradicionales seleccionadas para los ensayos experimentales, para demostrar el funcionamiento del secador solar indirecto, inicialmente son: muña (*minthostachys mollis*), toronjil (*melissa officinalis*), eucalipto (*eucalyptus*) y santa hierba (*piper auritum*). Éstas fueron pesadas antes y después del proceso de secado para cada ensayo, para obtener la pérdida de humedad, que permitirá evaluar la calidad del proceso de secado; se miden las temperaturas en distintos puntos del secador solar y en cada etapa de secado de las plantas medicinales no tradicionales; se monitorean las condiciones climáticas del medio ambiente. A pesar de que hay un monitoreo en las condiciones climáticas, se debe tener en cuenta que en este tipo de secado a pesar de ser de muy bajo costo hay desventajas que lo limitan, ya que son procesos muy lentos y pueden generar contaminación del alimento además de que se deben de considerar los cambios climáticos y considerar que los alimentos están sometidos a la radiación solar directa.

En la Universidad Federal de Vicosa en Brasil, Aspurz evaluó 5 modelos matemáticos diferentes (Henderson y Page, Henderson y Page modificado, aproximación de la difusión, Thompson, y Wang & Sing) para determinar la curva de secado del tomillo (*Thymus vulgaris*), utilizando un secador de aire con un ventilador que sopla el aire de secado con flujo de aire hacia arriba y cinco bandejas de dimensiones de 0.25x0.25x0.15 m, y la malla de fondo, en posición horizontal (Aspurz, 2011). El calentamiento del aire se realiza mediante resistencias eléctricas. El secado del tomillo (*Thymus vulgaris*) se realiza con aire caliente a diferentes temperaturas: 30, 40, 50, 60 y 70°C con tres repeticiones. La velocidad de secado se determina mediante la reducción de la masa de la planta durante el proceso de secado. Para todos los tratamientos, la velocidad de secado del aire es constante, con un valor de $1 \frac{m}{s}$, para ajustar los modelos matemáticos a los datos experimentales se utiliza análisis de regresión no lineal. El modelo de Page fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales para describir la cinética de secado de las hojas de tomillo (*Thymus vulgaris*). Hay que anotar que en este proyecto de investigación no se tuvo en cuenta el flujo de aire de secado, que es un parámetro fundamental en el deshidratado de las plantas aromáticas como tampoco la no presencia de un controlador de temperatura que permita un control visual de esta.

García, Schmalko y Tanzariello de la Agencia de Extensión Rural Oberá-INTA en Argentina, en 2007, presentaron un proyecto cuyo objetivo fue desarrollar o adaptar un

sistema de secado para la obtención de hortalizas y plantas aromáticas deshidratadas. Se determinaron las isotermas de adsorción y la cinética de secado de las hortalizas: cebollita de verdeo (*Allium cepa L.*), puerro (*Allium porrum L.*) y pimiento verde (*Capsicum annuum L.*), y las plantas aromáticas: orégano (*origanum vulgare L.*) y perejil (*petroselinum sativus Hoffm.*). Las isotermas de adsorción se determinaron utilizando el método estático, exponiendo las muestras a atmósferas generadas con soluciones salinas saturadas a 30°C hasta alcanzar el equilibrio másico. Para determinar la cinética de secado, se utilizó una capa delgada de material que fue secada en un secadero de flujo transversal a 60°C. Los datos de la cinética de secado se ajustaron a 10 modelos matemáticos. El modelo de Midilli presentó el mejor ajuste para el orégano (*origanum vulgare*) y perejil (*petroselinum crispum*) (García, Schmalko, & Tanzariello, 2007).

Curioni, Righini y Antelo de la Universidad Nacional de Lujan en Buenos Aires Argentina año 1999, estudiaron la producción de especias aromáticas y la factibilidad técnica y económica para el empleo de un secador solar indirecto por convección forzada en el procesamiento de las siguientes especies: menta inglesa (*mentha piperita*), romero (*rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*), albahaca (*ocimum basilicum*), orégano (mendoza y criollo) y menta japonesa. Los resultados obtenidos permitieron concluir que es factible en principio, secar estas especies empleando energía solar con un mínimo costo por kg producido, utilizando una tecnología simple y de impacto ambiental mínimo. Propusieron una alternativa de secado solar con una técnica convencional, apuntando a la disminución de gastos y disponer de una alternativa en el caso de que las condiciones climáticas para el secado solar sean desfavorables. (Curioni, Righini, Antelo, & Alfonso, 1999). Se debe tener en cuenta que en este tipo de secado a pesar de ser de muy bajo costo hay desventajas que limitan este proceso, tales como: son procesos muy lentos, puede haber contaminación del alimento en muchos casos, se deben tener en cuenta los cambios climáticos además de que los alimentos están sometidos a la radiación solar directa.

En la Universidad Nacional de Río Cuarto en Argentina, Lema et al., estudiaron la cinética de secado en capa delgada para hojas y tallos de perejil (*petroselinum sativus Hoffm*) bajo diferentes condiciones de temperatura del aire de secado (35°C, 45°C, 55°C y 65°C) y a una velocidad fija de $1.0 \frac{m}{s} \pm 0.1$. Se realizaron experiencias en un equipo de secado de laboratorio diseñado y construido para tal fin (Morsetto, 2008). Se ajustaron doce modelos matemáticos teóricos empíricos para ajustar los datos experimentales. Un análisis de regresión no lineal fue usado para determinar las constantes de los modelos evaluados. Si bien para cada temperatura existió un modelo diferente que optimizaba el ajuste, el modelo de Midilli-Kuçük, describió más adecuadamente la cinética de secado en el rango de temperaturas estudiado. Sobre la base de estas experiencias, se evaluaron modelos de solución para la ley de Fick, determinándose una relación para la difusividad efectiva. La difusividad efectiva mostró una dependencia tipo Arrhenius con la temperatura, permitiendo de este modo obtener un valor aceptable para la energía de activación. El estudio de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso de secado que permita además obtener un producto de calidad, si a este aspecto se le añade también el estudio de la variable flujo de secado, sería mucho más exacto el conocimiento del proceso de deshidratación de las plantas aromáticas, lo que permitiría salvar

obstáculos tales como, daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o la disminución del rendimiento (Olivas, 1.999).

Con el objetivo de ajustar diferentes modelos matemáticos a los datos experimentales de secado, Barbosa (Barbosa, y otros, 2007) sometieron a las hojas de erva – cidreira (*Lippia alba*) ha secado con temperaturas de aire de secado de 40, 50, 60, 70, y 80°C y una velocidad de $0.29 + 0.03 \frac{m}{s}$. Los autores concluirían que los modelos de Page y Midilli, fueron los que representaban mejor la cinética de esta especie medicinal. En este proceso de deshidratación no se tiene en cuenta que las altas temperaturas pueden llevar a la pérdida de los compuestos químicos de los aceites esenciales por volatilización o degradación (Venskutonis & al., 1997; 1998).

2.2.4 Panorama Nacional

La Universidad Nacional de Colombia sede de Bogotá, produce hierbas aromáticas en el invernadero de la facultad de agronomía y por medio de comercializadoras las exporta en fresco, a diferentes países entre los que están Canadá, Estados Unidos e Inglaterra recibiendo ingresos brutos anuales de casi 100 millones de pesos. Las hierbas aromáticas tienen gran demanda en el mercado internacional debido a sus usos culinarios tanto en fresco como en seco y en gran parte por sus aromas y sabores especiales. En cuanto al secado no hay proyectos existentes (Barreño, P., 2003). En Colombia se sigue exportando prácticamente en verde.

La empresa Arcoíris con sede en Medellín actualmente seca sus hierbas aromáticas entre ellas el tomillo (*Thymus vulgaris*) en bandejas al sol no teniendo control sobre la temperatura y la humedad del proceso, disminuyéndose las propiedades organolépticas, teniéndose como resultado un producto no apto para el mercado interno. Esto hace que los principios activos se pierdan o se disminuya la concentración de estos y el secado no sea el adecuado, no existe un procedimiento de secado que cumpla la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998). Tampoco existen cálculos del secador ni rendimiento, todo se hace empíricamente.

En la vereda San Vicente del municipio de Cocorná - Antioquia – Colombia, la corporación APANCA deshidrata tomillo (*Thymus vulgaris*) por medio de unas bandejas de 2 x 1 x 0.05 m confinadas en una cámara cerrada. El aire caliente proviene de una caldera que utiliza como combustible GLP y es forzado a circular a través de la cámara por medio de un ventilador donde están dispuestas las bandejas. En la cámara de secado se registran temperaturas entre 40°C y 50°C. Al no existir un control riguroso de la temperatura y debido a que el producto final no presenta las características requeridas por la NTC 4423 (ICONTEC, 1998) se hace necesario un control efectivo de la temperatura y del flujo de aire para poder cumplir los requisitos y así obtener un producto económicamente rentable. En este proceso de deshidratación no se tiene en cuenta que las altas temperaturas pueden llevar a la pérdida de los compuestos químicos de los aceites esenciales por volatilización o degradación (Venskutonis & al., 1997; 1998).

De lo expuesto en este capítulo, se concluye, que en la actualidad hay un alto porcentaje (hasta el 40%) de los productos cosechados entre ellos el tomillo (*Thymus vulgaris*), que nunca llegan al consumidor. Este comportamiento se presenta principalmente en los países en vías de desarrollo debido a la descomposición y la contaminación del producto (Esper & Muhlbauer, 1998, December). Para tratar de subsanar este problema se debe de conocer los aspectos más importantes de las plantas que se cosechan (entre ellas el tomillo (*Thymus vulgaris*)) en lo que tiene que ver con sus características físico químicas como también sus propiedades organolépticas. Existe también una diversa gama de tecnologías pos cosecha aplicada a la preservación de los alimentos perecederos. Sin embargo, siendo uno de los métodos más antiguos, el método de secado es uno de los más prácticos, extendiendo la vida útil del producto y garantizando las propiedades físicas, químicas y nutricionales de los alimentos (Balladin & Headley, 1999).

El siguiente capítulo, describirá detalladamente los diseños estadísticos aplicados a este trabajo de investigación. Se denotaran y listaran los materiales insumos y equipos utilizados en el desarrollo del proyecto, habrá una caracterización de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del tomillo (*Thymus vulgaris*). Para este trabajo de investigación se contempló el uso de la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), la cual es una herramienta de alta utilidad en procesos experimentales cuyo objeto es el desarrollo, mejoramiento y la optimización de procesos (Barros Neto, Scarminio, & Bruns, 2001) (Myers & Montgomery, 2002) (Rodrigues & Lemma, 2005).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Este capítulo, se describirá detalladamente los diseños estadísticos aplicados a este trabajo de investigación. Se denotaran y listaran los materiales insumos y equipos utilizados en el desarrollo del proyecto, habrá una caracterización de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del tomillo (*Thymus vulgaris*), esto a través de la realización de una microscopia electrónica de barrido (SEM), el análisis de humedad, un panel de degustadores para la identificación del color, olor y sabor. Se caracterizará neumática y térmicamente el secador y por último para la generación de los diseños experimentales se realizaron varias corridas a modo de ensayo y error, buscando encontrar con ello las variables independientes más significativas y los niveles de observación a tener en cuenta para terminar con la validación del caudal óptimo.

3.1 DISEÑOS ESTADÍSTICOS APLICADOS

Para la generación de los diseños experimentales aplicados a este trabajo de investigación se realizaron varias corridas a modo de ensayo y error, buscando encontrar con ello las variables independientes más significativas y los niveles de observación a tener en cuenta. La figura 3-1 muestra la ruta de diseños planteados para esta investigación. El tipo de investigación es de tipo experimental y se llevó a cabo en los siguientes lugares: Laboratorio de Materiales del Centro Para el Desarrollo del Hábitat y La Construcción del SENA de Pedregal, Medellín, y las instalaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín – ITM.

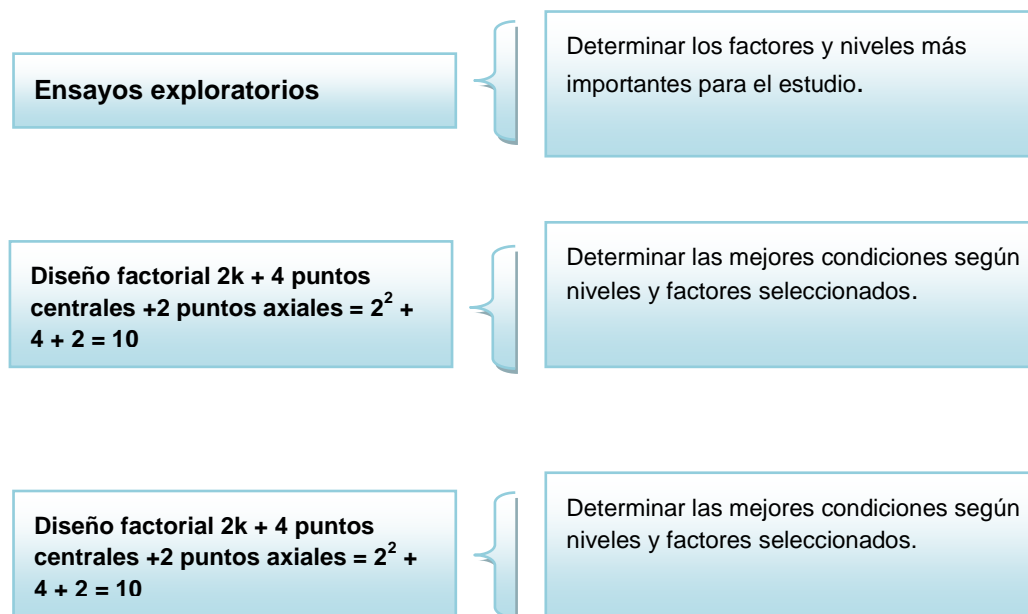


Figura 3-16: Diseños estadísticos aplicados a los ensayos de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y EQUIPOS

3.2.1. Localización

Se utilizó como materia prima el secado las hojas y tallos del Tomillo (*Thymus vulgaris*) procedentes de cultivos ubicados en la vereda San Vicente del municipio de Cocorná-Antioquia, Colombia, suministrados por Asociación de Plantas Aromáticas del Municipio de Cocorná “APAMCA”.

3.2.2. Insumos

Bolsas de polietileno con cierre hermético Ziploc® (26,8cmx27, 9cm) y bolsas de polietileno de 64,0cm x 100cm.

3.2.3. Equipos

Tabla 3-6: Descripción de los equipos usados. **Fuente:** elaboración propia.

EQUIPO	DESCRIPCION
Secador mecánico de especias y condimentos aromáticos del Instituto Tecnológico Metropolitano	Compuesto por: Intercambiador de calor, cámara de secado, Ventilador, pipeta de gas propano y un medidor de sello seco.
Termohigrómetro Extech Advantage Instrumnts.	Este dispositivo mide humedad relativa, temperatura del aire (con sonda) y temperatura de superficie (con la función infrarroja). La pantalla grande retro iluminada, fácil de leer, incluye indicadores primario y secundario además de numerosos indicadores de estado. La función infrarroja incluye un conveniente puntero laser.
Balanza analítica OHAUS ARC-120	Capacidad 3100 g, lectura 0.1 g.
Balanza analítica OHAUS Explorer®	Capacidad 6100 g, lectura 0.01 g.
Analizador de humedad OHAUS MB45 x 0,001g (50 – 200°C incremento de 1°C).	Compacto, perfecto para el medio ambiente, control de calidad, alimentos y bebidas, industria química, farmacéutica, analizador robusto rápido, de alta precisión para ofrecer un método más rápido y preciso de análisis de humedad.
Anemómetro de tubo de pitot.	Indica simultáneamente la presión, velocidad del aire o flujo del aire más la temperatura. Alcance de ±0.051 psi. 5 unidades seleccionables para medir la presión. Grabación de lecturas. Pantalla LCD grande y retro iluminada, puerto USB.
Manómetro diferencial marca Extech HD350.	Diseñado para medir la velocidad y el flujo de aire, la temperatura y la medición simultánea de la presión diferencial.

<p>Rota vapor: Equipo de destilación Azeotropica.</p>	<p>Unidad de motor que hace girar el matraz de evaporación que contiene la muestra del usuario. Un conducto de vapor que es el eje de rotación de la muestra, y es un conducto de prueba de vacío para el vapor que se extrae de la muestra. Un sistema de vacío, para reducir sustancialmente la presión en el evaporador. Una unidad de calefacción (baño maría) para calentar la muestra. Un condensador, ya sea un serpentín refrigerante, o un "dedo frío" en los que se colocan las mezclas del refrigerante como hielo seco y acetona. Un frasco de recolección de condensado en la parte inferior del condensador, para atrapar el disolvente destilado después de que se re-condensa. Un mecanismo motorizado o mecánico para levantar rápidamente el matraz de evaporación del baño de calefacción.</p>
<p>Motor Baldor de 0.5 HP y 3450 RPM</p>	<p>Estos motores se pueden utilizar en aplicaciones que incluyen compresores, bombas, ventiladores, transportadores, manejo de materiales, máquinas herramientas y muchos otros. Voltaje 115/230, Hertz 60, utilizable a 208 voltios.</p>
<p>Variador General Electric Fuji AF-300Mini.</p>	
<p>Cronómetro Extech Instruments HW30(Nashua, New Hampshire, USA)</p>	<p><i>Alarma de índice calorífico ajustable por el usuario. Modo cronógrafo/cronómetro con una resolución de 1/100 segundos.</i></p>

En la figura 3-2, se muestra el prototipo del secador de plantas aromáticas y medicinales del ITM.

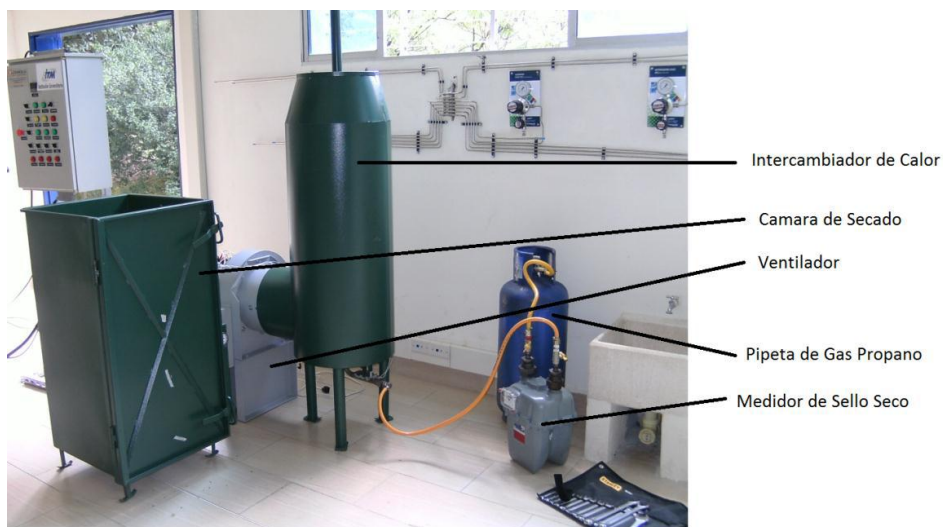


Figura 3-17. Secador de plantas aromáticas del grupo de investigación de Materiales avanzados y Energía. **Fuente:** Elaboración propia.

3.2.4 Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del Tomillo

Se realizó la selección y clasificación de la materia prima de forma manual, las hojas y tallos de Tomillo (*Thymus vulgaris*) se inspeccionaron excluyendo aquellas que presentaban coloraciones oscuras o cuya apariencia visual indicaba que no estaban aptas para ser procesadas. Luego se procedió a determinar la humedad del tomillo proveniente del municipio de Cocorná, posteriormente por medio de un panel de degustadores se determinaron unas propiedades organolépticas como son: el color, olor y sabor.

3.2.4.1 Humedad

Para determinar el porcentaje de humedad de la muestra se utilizó el método de la estufa, que consiste en determinar la humedad en base húmeda de la muestra por calentamiento a 105°C.

Se pesó una muestra de tomillo (*Thymus vulgaris*) en una balanza analítica marca OHAUS, con una resolución de 0.001g, el peso fue de 29.999 g, se calentó la muestra por 4 horas a 105°C, hasta que diera peso constante, el cual fue de 4.798 g, con este valor y el del peso inicial de la muestra se calculó el porcentaje de humedad de la muestra con la ecuación 3-1, el cual fue del 84.00 % de humedad en base húmeda.

$$\%h = \frac{\text{Peso de la muestra} - \text{peso deshidratado}}{\text{peso de lamuestra}} * 100 \quad (\text{Ecuación 3-1})$$

Según (Nollet, 1996) los métodos de deshidratación en estufa son inadecuados para productos como las especias, ricas en productos volátiles distintas del agua. Se utilizó entonces el método de destilación Azeotropa, el método se basa en la destilación

simultánea con un líquido inmiscible en proporciones constantes. El agua es destilada en un líquido inmiscible de alto punto de ebullición como son tolueno o xileno.

Para el caso del tomillo (*Thymus vulgaris*), la asociación americana de comercio de especias, en sus métodos oficiales analíticos recomienda el uso del Benceno en lugar del tolueno. Fuente: <http://es.scribd.com/doc/15487269/Bromatologia-analisis-humedad> Consultado noviembre 30 del 2012.

Siguiendo el procedimiento se tomó una cantidad de 100ml de benceno cuyo punto de ebullición es de 80°C, se vertió en la muestra de 29.999 g de tomillo (*Thymus vulgaris*), luego se realizó el proceso de destilación, y se recolectó el volumen de líquido destilado, como puede verse en la figura 3-4. La fórmula para el cálculo del porcentaje de agua en la muestra es:

$$\% \text{ de agua de la muestra} = \frac{v}{w} * 100 \quad (\text{Ecuación 3-2})$$

Donde v es el volumen en **ml** después de la destilación, para este caso $v = 24.002$ ml w es el peso de la muestra de tomillo (*Thymus vulgaris*), $w = 29.999$ g.

Remplazando en la ecuación 3-2, se obtiene el siguiente resultado:

$$\% \text{ de agua de la muestra} = 80.009 \% \quad (\text{Ecuación 3-3})$$



Figura 3-18: Equipo para la destilación Azeotrópica. **Fuente:** Elaboración propia.

Es decir la humedad real de la muestra es del **80.00 %**, en comparación con el método de la estufa, donde la humedad de la muestra arrojó un resultado de **84.00 %**.

Es de anotar que en el proceso descrito anteriormente donde se utilizó benceno y el equipo de destilación azeotrópica para determinar la humedad del tomillo, se realizaron 2 pruebas para efectos de obtener un promedio estadístico. Este promedio corresponde practicamente al 80% de humedad para el tomillo (b.h).

3.2.4.2 Panel de degustadores

El panel se realizó durante las pruebas de secado, en el participaron cinco personas, los resultados se muestran en la tabla 3-2.

Según la tabla 3-2 el color de la muestra es verde seco, este color se identificó según las observaciones de la tabla y también se utilizó una paleta de colores con la cual se llegó a la conclusión de que es verde seco.

No se tienen instrumentos avanzados para la identificación del color en la institución universitaria ITM, por ejemplo espectrofotómetro o colorímetros, por fines económicos se utilizó la selección del color mediante inspección visual.

Tabla 3-7: Propiedades organolépticas antes del secado. **Fuente:** Elaboración propia.

Nombre	color	Olor
Paola Roldan Villada	Verde seco	Aromático fuerte
Consuelo Campo S	Verde seco	Aromático intenso
Julio Cesar Del Rio	Verde seco	Fuerte
Giovanni Espinosa	Verde seco	Aromático
Fray Huber Campo S	Verde seco	Aromático intenso

Tabla 3-8: escala de 1 a 5 en grado amargo para efectos de comparación. Fuente: elaboración propia.

Nombre	Sabor				
	Leve	Ligero	Moderado	Fuerte	Intenso
Paola Roldan Villada		x			
Consuelo Campo	x				
Julio Cesar del Rio			x		
Giovanni Espinosa	x				
Fray Huber Campo S	x				

3.2.4.3 Identificación del Color de la Muestra

El color de la muestra se identificó por medio de una paleta de colores según las observaciones realizadas en la tabla 3-1.

3.2.5 Caracterización experimental del secador del laboratorio de ciencias térmicas del MATYER

3.2.5.1 Caracterización Neumática

La evaluación neumática se realizó para obtener la pérdida de carga en el sistema de secado y calcular la eficiencia neumática del sistema. Esta prueba se realizó con un Anemómetro de tubo de pitot y un manómetro diferencial marca Extech HD350.

Para obtener los valores de pérdidas de presión para el sistema de secado, se instaló una lámina deslizante en la salida del ventilador. Con esta lámina se generaron 10 posiciones diferentes que van desde completamente cerrada (flujo de aire restringido), hasta completamente abierta (flujo libre de aire de secado), con el fin de obtener 10 valores de caudal de aire, cada uno asociado a un valor de presión diferente.

Los valores de caudal (variable dependiente), se estimaron en función de las siguientes variables independientes: el área de la sección transversal de la columna de grano, altura de la capa de grano de maíz en el compartimiento inferior de la cámara de secado y las pérdidas de presión estática generada por la columna de grano utilizando la ecuación 4-1. Los valores obtenidos de las variables independientes se estimaron de la siguiente manera: antes de encender el sistema de secado y una vez colocada la masa de maíz en el silo, se midieron y registraron las variables: altura de la capa de maíz, y área de secado.

Los valores de pérdida de presión en el intercambiador de calor se obtuvieron de la misma manera que el proceso descrito para cada posición de la lámina (10 posiciones).

La figura 3-5 muestra los puntos de medición de la presión en el secador de plantas aromáticas del grupo de investigación de Materiales avanzados y Energía del ITM por medio del tubo de pitot, en la cual los puntos utilizados para la prueba neumática son: El punto P-1 es el orificio para medir la presión a la salida del intercambiador de calor, el punto P-2 es el orificio a la entrada del ventilador o flujo libre, el punto P-3 es el orificio de lectura de presión a la salida del ventilador, el cual contiene una lámina deslizante, el punto P-4 es el orificio para la medición de descarga del flujo restringido.

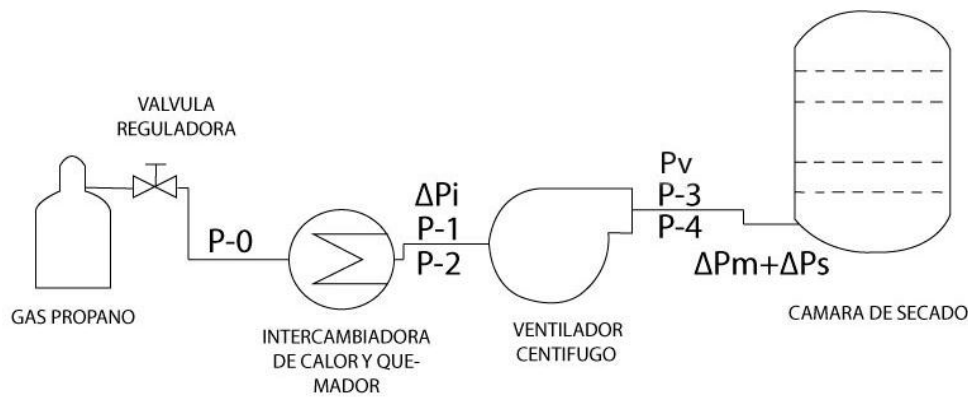


Figura 3-19. Diagrama de Bloques del prototipo de secado. **Fuente:** (Velásquez, 2012).

La presión ΔP_i que corresponde a las pérdidas de presión del intercambiador de calor, es medida antes del ventilador y es negativa, porque es inferior a la presión atmosférica. La presión P_v corresponde a la presión del ventilador y se mide a la salida de éste. La presión ΔP_m corresponde a la diferencia entre la presión antes y después de la capa de Maíz y la presión $\Delta P_m + \Delta P_s$ corresponde a la pérdida de presión causada por la capa de Maíz más la del secador, medida inmediatamente después de la compuerta de la lámina deslizante.

Para el Tomillo (*Thymus vulgaris*) no existe en la literatura una ecuación de pérdida de carga, por lo tanto esta pérdida se halló utilizando la ecuación para el maíz (Ospina, 2002).

Con esta ecuación y con el diagrama de Sheed ver figura 3-6 se determina la pérdida de carga en el sistema de secado (Ospina, 2002). Para la utilización del diagrama, se procede de la siguiente manera: con el valor del caudal de aire en $\frac{m^3}{min}$ por m^2 previamente calculado y fijado en el diagrama se lee este en el eje de las ordenadas, proyectándose este valor horizontalmente hasta que intercepte la curva característica determinada (la del maíz desgranado con una humedad del 12%), este punto de intersección se proyecta verticalmente sobre el eje de las abscisas en donde se lee la pérdida de presión por metro de altura de la capa de grano en mm.c.a.

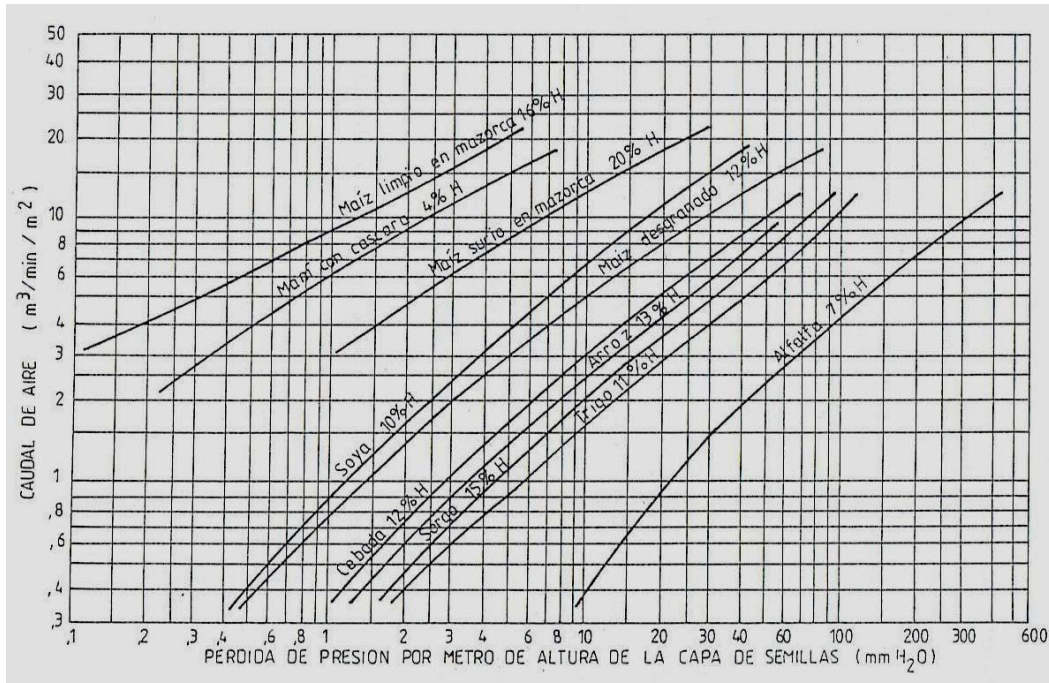


Figura 3-20: Diagrama de SHEED para Granos. (Ospina, 2002)

3.2.5.2 Caracterización térmica del secador

Para calcular la eficiencia térmica de secado η_{ts} , la cual se definen como la relación de la energía aprovechada (por el aire de secado) respecto de la energía entregada (agua removida), expresada como un porcentaje, se hará un balance de masa y energía para el secado (agua a remover y aire de secado).

Para la aplicación de esta fórmula se utilizara las condiciones de secado donde se registran las condiciones óptimas de secado: temperatura de 52°C y 2100 RPM.

3.2.5.2.1 Balances de masa y energía para el secado (agua a remover)

Para calcular la masa de agua a retirar, se tiene:

$$m_{\text{agua}} = m_{\text{th}} - m_{\text{ts}} \quad (\text{Ecuación 3-4})$$

Dónde:

m_{agua} = masa del agua kg

m_{th} = masa del tomillo humedo kg, 80% bh

m_{ts} = masa del tomillo seco a 52°C

Para el balance de Energía, se asume que la temperatura del tomillo es de 22°C, y se debe llevar hasta 52 °C, debido a que esta es la temperatura de secado (mejor condición), y para lo cual se calcula el calor necesario para evaporar esta cantidad de agua. Para secar el tomillo primero se debe calentar el mismo desde la temperatura ambiente (24°C para Medellín) hasta 52 °C y seguidamente mantenerlo a esta temperatura durante todo el

tiempo de secado. Con ello, se estima el calor necesario para evaporar el agua contenida en el tomillo para el proceso de secado, a través de las siguientes ecuaciones:

$$q_{sa} = m_{\text{agua}} C_{p\text{agua}} \Delta T \quad (\text{Ecuación 3-5})$$

$$q_{va} = m_{\text{agua}} h_{fg} \quad (\text{Ecuación 3-6})$$

$$q_{\text{agua}} = q_{sa} + q_{va} = m_{\text{agua}} C_{p\text{agua}} \Delta T + m_{\text{agua}} h_{fg} \quad (\text{Ecuación 3-7})$$

Dónde:

q_{agua} = Calor total necesario para evaporarla masa de agua KJ

q_{sa} = Calor de saturacion del agua en el tomillo KJ

q_{va} = Calor de vaporizacion del agua a la temperatura de secado KJ

h_{fg} = Entalpía de vaporizacion $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Para calcular las propiedades del agua se calcula el siguiente promedio:

$$T_p = \frac{(52 - 22)}{2} = 30^\circ\text{C}$$

3.2.5.2.2 Balance de masa y energía para el secado (Aire de secado)

Realizando los balances de masa y energía para el flujo de aire de secado, y utilizando el caudal de aire específico óptimo que se obtenga en el proceso de secado del tomillo dado en (metros cúbicos por minuto por kilogramo de tomillo), se calcula el caudal de aire necesario. En la sección de análisis de resultados, se considerara este valor.

Para estimar el flujo de calor que se necesita para calentar el caudal de aire de secado desde 24°C hasta 52 °C, se aplica la Ecuación 3-8.

$$P_T = Q_{\text{aire}} \rho_{\text{aire}} C_{p\text{aire}} \Delta T \quad (\text{Ecuación 3-8})$$

Dónde:

P_T = Potencia termica o flujo de calor kW

Q_{aire} = Caudal de aire de secado $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

ρ_{aire} = Densidad del aire $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Para estimar la eficiencia térmica de secado η_{ts} se utiliza la Ecuación 3-9.

$$\eta_{ts} = \frac{Q_{\text{agua}} \rho_{\text{agua}} (C_{p\text{agua}} \Delta T + h_{fg})}{\dot{m}_{\text{combustible}} * PCI_{\text{combustible}} * P_{\text{combustible}}} \quad (\text{Ecuación 3-9})$$

Dónde:

η_{ts} = Eficiencia termica de secado %

$C_{p\text{agua}}$ = Calor especifico del agua $\frac{\text{Kj}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$

T_i = Temperatura del medio ambiente °C

T_f = Temperatura a la cual se deshidrata el producto °C

$\Delta T_{\text{aire}} = (T_f - T_i)$ °C

t = Tiempo de secado

h_{fg} = Entalpía de vaporizacion del agua $\frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$

$\rho_{\text{combustible}}$ = Densidad de combustible $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$\text{PCI}_{\text{combustible}}$ = poder calorifico inferior del combustible $\frac{\text{Kj}}{\text{m}^3}$

$\dot{m}_{\text{combustible}}$ = flujo masico del combustible $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

3.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ÓPTIMO

Para la determinación del caudal óptimo se emplearon dos secuencias de diseños factoriales completos siguiendo la metodología de superficie de respuesta y empleando para ello el Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR).

3.3.1 Diseño de experimentos

Con el objetivo de obtener las condiciones óptimas de operación y con ello conseguir un producto que cumpla las especificaciones para su comercialización, en este trabajo de investigación se contempló el uso de la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), la cual es una herramienta de alta utilidad en procesos experimentales cuya intención es el desarrollo, mejoramiento y la optimización de procesos (Barros Neto, Scarminio, & Bruns, 2001) (Myers & Montgomery, 2002) (Rodrigues & Lemma, 2005).

Dentro de las técnicas estadísticas que conforman la MSR se seleccionó el Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR) como la estrategia de planeamiento experimental.

3.3.1.1 Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR)

El diseño empleado corresponde a un DCCR o factorial completo, este diseño fue esencial para realizar las corridas experimentales respectivas ya que permitió obtener información confiable, para este trabajo de investigación, se realizaron experimentos de secado siguiendo el diseño factorial completo con dos niveles en dos variables independientes (temperatura del aire y caudal), generando así $2^2 = 4$ puntos factoriales, con $2 \times k$ puntos axiales, es decir, $(2 \times 2 = 4)$, y se agregaron 2 puntos centrales buscando con ello detectar el error o desviación del modelo, teniendo así 10 corridas en total, los factores y niveles para el diseño planteado se observan la tabla 3-3. La determinación de los niveles de cada variable independiente fue realizada de acuerdo con las condiciones de proceso, para ello se realizaron pre ensayos en los cuales fueron encontrados los niveles máximo y mínimo.

Los datos de secado se tabularon en hoja electrónica de Microsoft Excel 2010 ® y los obtenidos para cada corrida experimental se analizaron con el paquete estadístico Statgraphics Centurion v. 15.2.06 (Statpoint Inc., USA) utilizando la metodología de superficie de respuestas a un nivel de significancia del 10% según lo propuesto por Rodríguez & Lema para planeamiento de experimentos con funciones industriales (Rodrigues & Lemma, 2005).

Tabla 3-9 Variables independientes y niveles utilizados en el diseño experimental factorial completo. **Fuente:** Elaboración propia.

Variables Independientes	Niveles				
	$-\alpha^{**}$	-1	0	+1	$+\alpha^{**}$
X1 = Temperatura nominal del aire (°C)	37,93	40	45	50	52,07
X2 = Caudal (RPM)*	1517,16	1600	1800	2000	2082,84

*Para cada rpm se calculó su respectivo valor de velocidad del aire en m/s.

**El nivel $\pm\alpha$ se calculó como $\pm(2^n)^{\frac{1}{4}}$, donde n es el número de variables o factores independientes. En este estudio el valor es de $\pm 1,41$.

Las velocidades mínima y máxima del aire dependen única y exclusivamente del variador y son respectivamente (0 – 3600 RPM), debido a que el caudal puede ser definido y ajustado por el variador de frecuencia, los niveles de velocidad del aire fueron definidos de acuerdo a la frecuencia del mismo, asumiendo una relación lineal.

De acuerdo con la figura 3-7 a partir de la tabla 3-5 de RPM vs caudal, se puede apreciar que en la regresión lineal, el factor de correlación $R^2=1$, ósea que se puede asumir una relación lineal entre las RPM y el caudal sin incurrir en errores apreciables. Sabiendo que el caudal está dado por el área multiplicada por la velocidad lineal del fluido y el área es constante durante todas las pruebas de secado implica que el único cambio es el de la velocidad lineal, por esto se puede asumir también linealidad entre las RPM del motor y la velocidad lineal del fluido.

Tabla 3-10. Tabla de pruebas de caudal a diferentes revoluciones del motor. **Fuente:** Elaboración propia.

REVOLUCIONES POR MINUTO RPM	CAUDAL EN m3/min
1517,2	25,35
2000	33,42
1800	30
2082,8	34,8
1600	26,72
1700	28,4
1900	31,75
2100	35,09
2200	36,75
2300	38,44
2400	40,11
2500	41,78

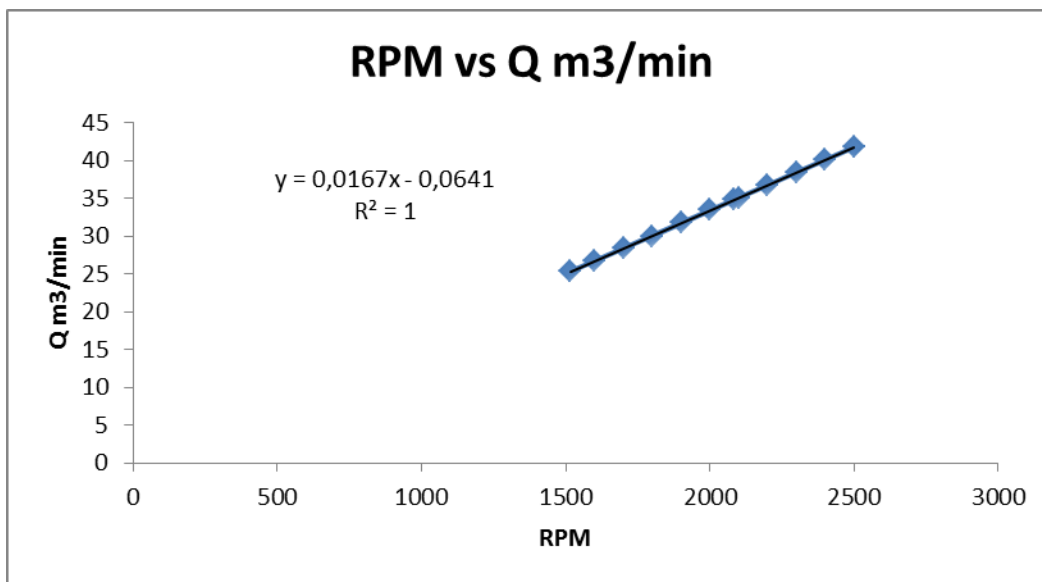


Figura 3-21. Revoluciones por minuto vs caudal en m3/min. **Fuente:** elaboración propia

La tabla 3-6 presenta la primera secuencia de experimentos aleatorizados.

Tabla 3-11 Diseño experimental factorial completo 22 para secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) primera secuencia. **Fuente:** Elaboración propia.

Ensayo	Caudal (RPM)	Temperatura (°C)	Caudal (RPM)	Temperatura (°C)
1	-α	0	1517,16	45
2	+1	+1	2000	50
3	0	- α	1800	37,93
4	0	0	1800	45
5	0	+ α	1800	52,07
6	+ α	0	2082,84	45
7	-1	+1	1600	50
8	+1	-1	2000	40
9	0	0	1800	45
10	-1	-1	1600	40

La tabla 3-7 presenta la segunda secuencia de experimentos planteada a partir de las observaciones llevadas a cabo en la primera secuencia y el comportamiento expresado en las curvas de secado.

Tabla 3-12: Variables independientes y niveles utilizados en el diseño experimental factorial completo para la segunda secuencia. **Fuente:** Elaboración propia.

Variables Independientes	Niveles				
	-α**	-1	0	+1	+α**
X1 = Temperatura nominal del aire (°C)	44,93	47	52	57	59,07
X2 = Caudal (RPM)*	1817,16	1900	2100	2300	2382,84

*Para cada rpm se calculó su respectivo valor de velocidad del aire en m/s.

**El nivel ±α se calculó como $\pm(2^n)^{\frac{1}{4}}$, donde n es el número de variables o factores independientes. En este estudio el valor es de ±1,41.

La tabla 3-8 presenta el segundo diseño de experimentos planteado, ubicando en forma aleatoria los códigos de experimentación y los respectivos niveles de los factores de estudio.

Cabe aclarar que para cada secuencia experimental se realizaron las curvas de secado en función del tiempo, con las variables de control caudal (RPM) y temperatura del aire (°C), siguiendo los planeamientos anteriormente descritos. Estas curvas de secado se tabularon y graficaron en hoja electrónica de Microsoft Excel 2010 ®.

Tabla 3-13: Diseño experimental factorial completo 2² para secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) (segunda secuencia). **Fuente:** Elaboración propia.

corrida	Temperatura (°C)	Caudal (RPM)	Temperatura (°C)	Caudal (RPM)
1	-1	+1	47	2300
2	+1	-α	52	1817,16
3	+α	0	59,07	2100
4	- α	0	44,93	2100
5	-1	-1	47	1900
6	0	+α	52	2382,84
7	0	0	52	2100
8	+1	-1	57	1900
9	0	0	52	2100
10	+1	+1	57	2300

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN NEUMÁTICA Y TÉRMICA DEL SECADOR

4.1.1 Caracterización Neumática

La evaluación neumática se realiza con el intercambiador de calor fuera de operación, el motor del ventilador encendido a 2100 RPM y a 3600 RPM y la cámara de secado con 20 kg de Maíz en grano con 12% en base húmeda, se miden presiones y caudales con el tubo pitot, Para el tomillo (*Thymus vulgaris*) no se encontró en la literatura las pérdidas de presión, por lo tanto estas se hicieron para el Maíz en grano. Según (Ospina, 2002) se propuso la siguiente ecuación para el maíz. Ecuación 4-1.

$$\frac{Q}{A} = a * \left(\frac{\Delta P}{H}\right)^b \quad (\text{Ecuación 4-1})$$

Dónde:

Q = Caudal de aire $\frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

A = Area de la seccion transversal de la columna de grano m^2

ΔP = Perdida de presion en mm.c.a

H = Altura de la capa de grano, m

a y b = Constantes para cada tipo de grano

En este caso para el Maíz:

$$a = 0.5829 \frac{\text{mm} \cdot \text{min}^2}{\text{m}^5} \text{ y } b = 0.5117 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{min}}{\text{m}^5}$$

Estos valores de a y de b son tomados de (Ospina, 2002). Con la ecuación 4-1, se obtuvo la pérdida de presión para el intercambiador de calor y la presión estática, utilizando un motor trifásico de 3600 RPM a 220 V y 0.5 HP, esta prueba se realizó para los caudales correspondientes a 2100 y 3600 RPM respectivamente, estas últimas para salvar el obstáculo si se presenta del vencimiento de la carga de maíz correspondiente a 20 kg. Este motor se puede observar en la figura 4-1.



Figura 4-1: Motor a 3600 RPM. **Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados para la pérdida de presión en el sistema secado utilizando un anemómetro de tubo de pitot y el motor a 3600 RPM, se registran en la tabla 4-1.

Para realizar una comparación con el tipo de lecho que se tendría, ya que el tipo de partícula se diferencia al tener granos de maíz y hojas de tomillo, se calculó la caída de presión de un lecho empacado de tomillo a partir de los datos usados para la caracterización con maíz y así poseer una aproximación mejor a lo que sucede realmente en el proceso de secado de tomillo.

Para el cálculo de la caída de presión se toma la ecuación para lechos empacados de Ergun (Calleja, 1999), ecuación 4-2 y 4-3.

$$\Delta P = \rho \cdot \sum F \quad (\text{Ecuación 4-2})$$

Dónde:

$$\sum F = \frac{150 \cdot \mu \cdot u_0 \cdot L \cdot (1-\varepsilon)^2}{d_p^2 \cdot \rho \cdot \varepsilon^3} + \frac{1,75 \cdot u_0^2 \cdot L \cdot (1-\varepsilon)}{d_p \cdot \varepsilon^3} \quad \left[\frac{J}{kg} \right] (\text{Ecuación 4-3})$$

En el cual:

ΣF = la pérdida friccional para el flujo a través del lecho relleno

ρ = densidad del fluido

μ = viscosidad del fluido

d_p = diámetro de partícula

L = altura de lecho

ε = porosidad del lecho

u_o = velocidad superficial del fluido.

El primer término de la expresión hace referencia a las pérdidas viscosas y el segundo a las pérdidas turbulentas; según la literatura, cuando el número de Reynolds es menor de 20, el término de pérdida viscosa domina y puede utilizarse solo con error despreciable, pero cuando Re es mayor de 1000, solo se necesita utilizar el término de pérdida turbulenta.

Para fluidos que circulan a través de un lecho relleno de sólidos, el número de Reynolds de la partícula está dado por la expresión: ecuación 4-4.

$$Re_p = \frac{d_p \cdot u_o \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Ecuación 4-4})$$

El término u_o se calcula a partir de la velocidad que tendría el fluido si el recipiente no contuviera sólidos o sea: ecuación 4-5.

$$u_o = \frac{Q}{S} \quad (\text{Ecuación 4-5})$$

Donde

S = al área transversal del recipiente

Para el cálculo del diámetro de partícula, cuando esta no es esférica, se debe de calcular la esfericidad ϕ la cual está dada por ecuación 4-6 y 4-7.

$$\phi = \left(\frac{\text{superficie de una esfera}}{\text{superficie de la partícula}} \right)_{\text{igual volumen}} \quad (\text{Ecuación 4-6})$$

$$d_p = \phi \cdot d_{esf} \quad (\text{Ecuación 4-7})$$

Donde d_{esf} es el diámetro equivalente de esfera (diámetro de una esfera de igual volumen).

Según Brito y do Carmo (Brito Lima & do Carmo Ferreira, 2011) la porosidad de un lecho de hojas está dada por la ecuación 4-8.

$$\varepsilon = 1 - \frac{m_p}{SL\rho_p} \quad (\text{Ecuación 4-8})$$

Dónde:

m_p = masa del lecho de hojas
 ρ_p = masa específica de las hojas

En la siguiente tabla 4-1 y en la tabla 4-3 se puede observar el cálculo detalladamente de la porosidad del lecho, las pérdidas friccionales y la caída de presión del lecho.

Tabla 4-14: Caída de presión para un lecho de hojas de tomillo a 3600 RPM. **Fuente:** Elaboración propia.

<i>Variable</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>				<i>Unidad</i>
<i>longitud partícula</i>	$l=$	0,05				M
<i>espesor partícula</i>	$t=$	0,000581				M
<i>superficie de la partícula</i>	$sp=$	0,0025				m ²
<i>volumen partícula</i>	$vp=$	0,000125				m ³
<i>diámetro de la esfera</i>	$desf=$	0,062035049				M
<i>superficie de esfera</i>	$se=$	0,01208994				m ²
<i>esfericidad</i>	$\phi=$	4,835975862				adimensional
<i>diámetro de partícula</i>	$dp=$	0,3				M
<i>densidad del fluido</i>	$\rho=$	1,272				kg/m ³
<i>viscosidad</i>	$\mu=$	1,95E-05				Ns/m ² o PI
<i>masa del lecho</i>	$mp=$	3,055				Kg
<i>masa específica de las hojas</i>	$\rho_p=$	182,6				kg/m ³
<i>altura de lecho</i>	$L=$	0,07				M
<i>porosidad del lecho</i>	$\epsilon=$	0,317120057				
<i>área transversal</i>	$S=$	0,35				m ²
		valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4	
<i>flujo</i>	$Q=$	0,428333333	0,423333333	0,42	0,41166667	m ³ /s
<i>velocidad superficial del fluido</i>	$uo=$	1,223809524	1,20952381	1,2	1,17619048	m/s
<i>Reynolds</i>	$Re=$	2,39E+04	2,37E+04	2,35E+04	2,30E+04	
<i>perdida friccional</i>	$F=$	13,09530792	12,7913653	12,5907195	12,0960445	J/kg
<i>caída de presión</i>	$\Delta P=$	16,65723167	16,2706166	16,0153952	15,3861686	Pa
		0,34	0,33	0,33	0,31	cm H ₂ O

Tabla 4-15: Presión estática a 3600 RPM. **Fuente:** Elaboración propia.

Toma	Pérdidas de Presión por el Maíz				Pérdida de presión calculada para el tomillo [cm.c.a]	Caudal [m ³ /min]
	P1 [in.c.a]	P2 [in.c.a]	Promedio [in.c.a]	Promedio Corregido [cm.c.a]		
1. Flujo Libre	2.23	2.23	2.23	5.66	0.17	25.70
	2.11	2.11	2.11	5.36	0.17	25.40
	2.00	2.00	2.00	5.08	0.16	25.2
2. Flujo Restringido	1.90	1.90	1.90	4.82	0.16	24.70

De la tabla 4-2 se infiere que el caudal de $25.7 \frac{m^3}{min}$ corresponde a la mayor presión, en flujo libre debido a que el caudal es mayor, lo que implica que el caudal aumenta a medida que aumenta la resistencia al paso del aire en flujo restringido.

El promedio corregido, es una totalización de las presiones y su promedio, para evitar errores por medición, esto se pondera para poder ser introducido en la ecuación. Ver figura 3-4

Como se puede observar en la tabla 4-2, la caída de presión calculada para un lecho de tomillo es mucho menor a la presentada por el lecho de maíz, esto se debe a su gran porosidad y baja densidad; al no existir cinéticas para este tipo de plantas fue necesaria caracterizar el secador con granos de maíz. Estos resultados de caída de presión, se tendrán en cuenta para la fase experimental y evitar la fluidización de los lechos, lo que terminaría en que el tomillo se escapara de las bandejas que lo soportan.

Uno de los factores que afectan dicha caída de presión es el tamaño de partícula, al tener una partícula más pequeña estas se coaccionan más y forman un lecho menos poroso, por lo tanto una caída de presión menor.

De la figura 4-2, en el intercambiador de calor se puede decir que la pérdida de presión estática es mínima del orden de 0.54 cm de columna de agua, se puede restringir la

entrada de flujo de aire en el intercambiador de calor para aumentar su eficiencia. El

caudal a 3600 RPM es de $25.70 \frac{m^3}{min}$.

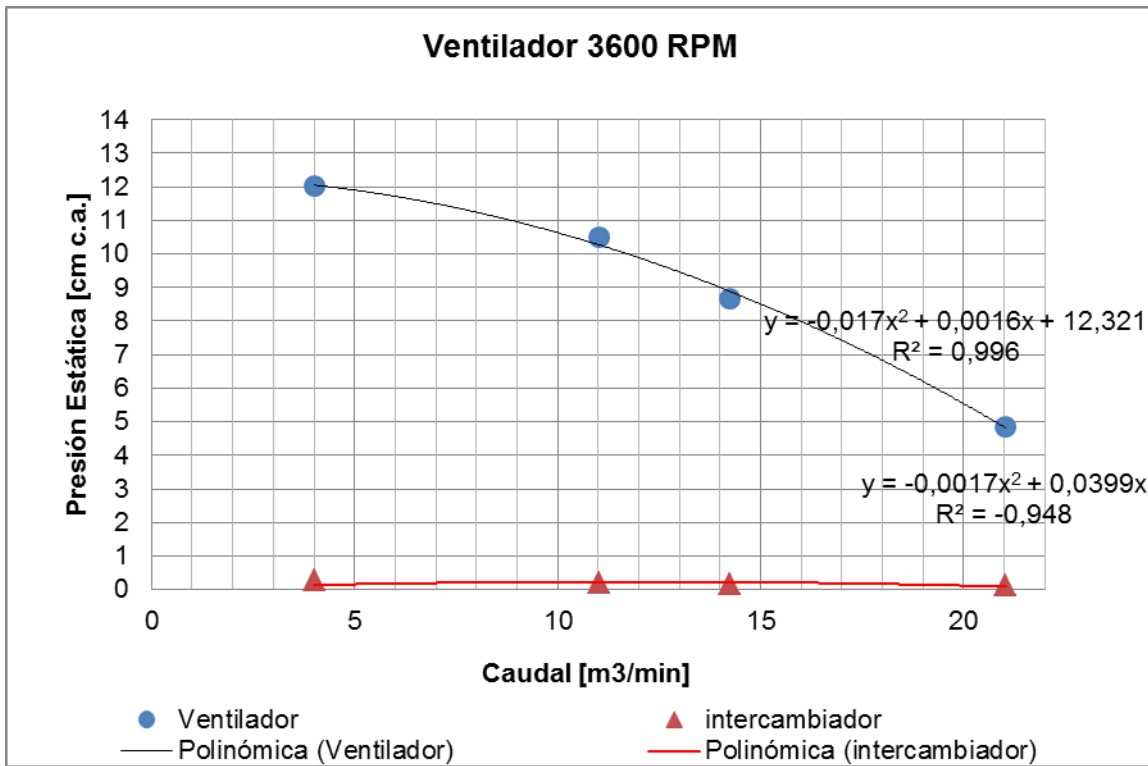


Figura 4-2: Pérdida de presión estática y caudal a 3600 RPM. **Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4-4, se pueden observar los datos de pérdida de presión y caudal a 2100 RPM.

Tabla 4-16: Caída de presión para un lecho de hojas de tomillo a 2100 RPM. **Fuente:** Elaboración propia.

variable	Símbolo	Valor				unidad
longitud partícula	l=	0,05				M
espesor partícula	t=	0,000581				M
superficie de la partícula	sp=	0,0025				m ²
volumen partícula	vp=	0,000125				m ³
diámetro de la esfera	desf=	0,062035049				M
superficie de esfera	se=	0,01208994				m ²
Esfericidad	φ=	4,835975862				adimensional
diámetro de partícula	dp=	0,3				M
densidad del fluido	ρ=	1,272				kg/m ³
Viscosidad	μ=	1,95E-05				N,s/m ² o PI
masa del lecho	mp=	3,055				Kg
masa especifica de las hojas	ρp=	182,6				kg/m ³
altura de lecho	L=	0,07				M
porosidad del lecho	ε=	0,317120057				
área transversal	S=	0,35				m ²
		valor 1	valor2	valor3	valor4	
Flujo	Q=	0,2235	0,21416667	0,16616667	0,063	m ³ /s
velocidad superficial del fluido	uo=	0,638571429	0,61190476	0,4747619	0,18	m/s
Reynolds	Re=	1,25E+04	1,20E+04	9,29E+03	3,52E+03	
perdida friccional	F=	3,565389849	3,27382698	1,97078743	0,28329119	J/kg
caída de presión	ΔP=	4,535175888	4,16430792	2,50684162	0,36034639	Pa
		0,046	0,042	0,026	0,0037	cm H ₂ O

Tabla 4-17: Cálculo del caudal y pérdidas de presión a 2100 RPM. **Fuente:** Elaboración propia

Pérdidas de Presión por el Maíz						
Toma	P1 [in.c.a]	P2 [in.c.a]	Promedio [in.c.a]	Promedio Corregido [cm.c.a]	Caída calculada para el tomillo [cm.c.a]	Caudal [m³/min]
1. Flujo Libre	0,82	0,82	0,82	2.08	0.046	13.41
	0,77	0,77	0,77	1.96	0.042	12.85
	0,53	0,53	0,53	1.34	0.026	9,97
2. Flujo Restringido	0,13	0,13	0,13	0,33	0.037	3,78

Presión de Descarga del Ventilador					
Toma	P1 [in.c.a]	P2 [in.c.a]	P3 [in.c.a]	Promedio [in.c.a]	Presión Descarga [cm c.a.]
1. Flujo Libre	1,20	1,20	1,20	1.20	3.55
	1,41	1,41	1,41	1.41	4.18
	1,69	1,69	1,69	1.69	5.03
2. Flujo Restringido	2,10	2,10	2,10	2.10	6.26

Presión de Succión del Ventilador					
Toma	P1 [in.c.a]	P2 [in.c.a]	P3 [in.c.a]	Promedio [in.c.a]	Presión Succión [cm c.a.]
1. Flujo Libre	0,09	0,09	0,09	0,09	0,27
	0,07	0,07	0,07	0,07	0,21
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15
2. Flujo Restringido	0,04	0,04	0,04	0,04	0,12

La tabla 4-4 representa los valores obtenidos con el tubo de pitot, para los datos de flujo restringido y libre a 2100 RPM. Interviene un flujo de caudal mucho menor que a 3600 RPM, lo que implica que a mayor presión mayor caudal, si se disminuye la presión, el caudal aumenta. En flujo libre la presión de descarga del ventilador aumenta. Para la presión de descarga del ventilador a mayor presión, mayor presión de descarga, para la presión de succión, entre mayor presión, mayor presión de succión. Se observa que para 2100 RPM, si el caudal disminuye, la presión del intercambiador de calor disminuye porque esta presión tiende a ser negativa, no ocurriendo lo mismo con la presión total del

sistema la cual aumenta a medida que se disminuye el caudal, las pérdidas de presión en el sistema, en cambio, presentan un comportamiento cuadrático, que depende del caudal que pasa a través de los elementos que conforman el sistema de secado.

Con los datos anteriores, se obtuvo la gráfica de pérdida de presión del sistema con respecto al caudal, para el motor a 2100 RPM, esto se observa en la figura 4-3.

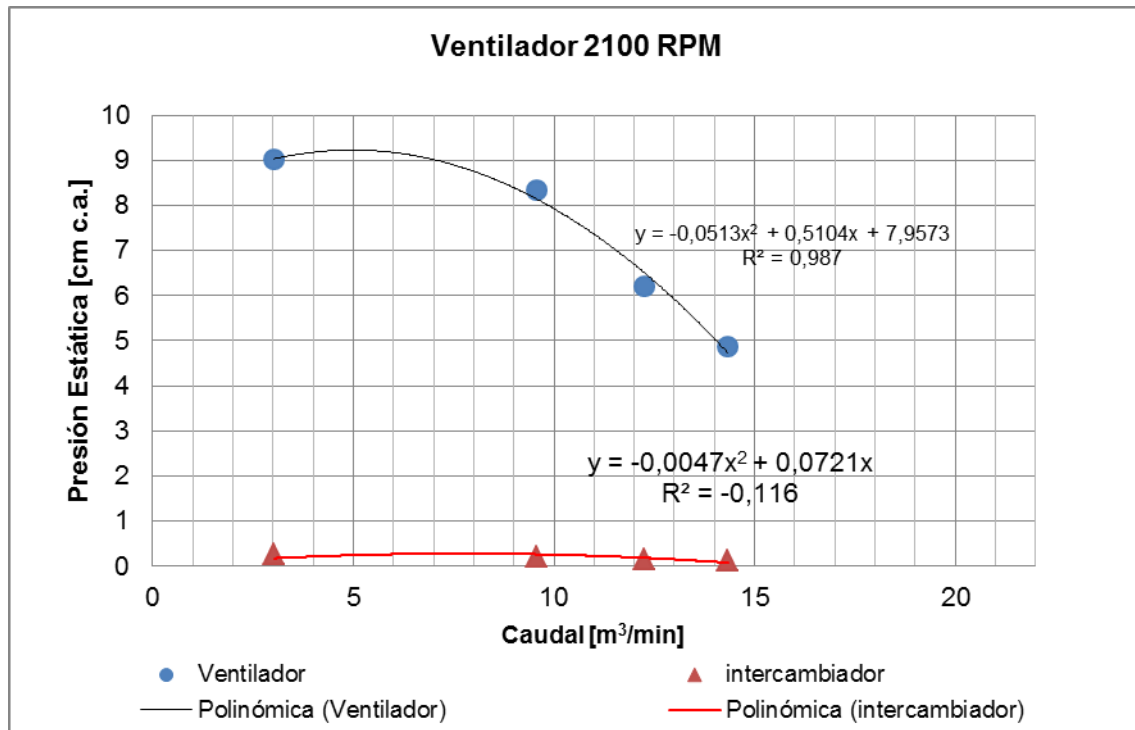


Figura 4-3: Pérdida de presión estática y caudal a 2100 RPM. **Fuente:** Elaboración propia.

De la figura 4-3, se puede inferir que el caudal a 3600 RPM para los 20 kg de Maíz en grano, es mayor porque debe vencer la presión ejercida por el Maíz sobre la bandeja de secado, en este caso se utilizó solo una bandeja de secado, el caudal a 2100 RPM es más bajo y, entre mayor sea el valor del número de revoluciones por minuto, mayor es el valor de la presión estática. La pérdida de presión en el intercambiador de calor es mínima en ambos casos, pero el caudal en el intercambiador de calor a 2100 RPM que es de $13.41 \frac{m^3}{min}$ es menor que el caudal a 3600 RPM que es de $25.70 \frac{m^3}{min}$.

4.1.2 Caracterización térmica del secador

Las eficiencias que a continuación se calcularán, serán para la condición donde se obtuvo la temperatura y el flujo de aire óptimo, para el secador motivo de investigación perteneciente al ITM, estos valores corresponden a: 52°C y 2100 RPM ($0.584 \frac{m^3}{s}$).

4.1.2.1 Eficiencia de secado

El rendimiento de un secador podemos definirlo en términos de humedad absoluta, es decir la relación entre los kg de agua eliminados por kg de aire seco y los kg de agua que eliminaría un kg de aire seco si lo saturáramos (Fito, 2001). También puede expresarse el rendimiento en términos de temperatura, el cual se calcula de la misma forma pero utilizando la temperatura del aire a la entrada del secador, la temperatura a la salida y la temperatura de saturación adiabática que sería la que alcanzaría el aire si lo lleváramos a saturación. La fórmula para medir la eficiencia con la que está trabajando una secadora es midiendo las temperaturas del aire de secado, del aire usado y del aire ambiente (AGUILAR, 1966). La ecuación 4-9 relaciona estos términos:

$$\frac{T_{as} - T_{au}}{T_{as} - T_{aa}} * 100 = \eta_s(\%) \quad (\text{Ecuación 4-9})$$

Dónde:

T_{as} = Temperatura del aire de secado, K.

T_{au} = Temperatura del aire usado, K.

T_{aa} = Temperatura del aire ambiente, K.

η_s = Eficiencia de secado en %.

Utilizando la ecuación 4-3 y teniendo las siguientes temperaturas: $T_{as} = 52^\circ\text{C}$, $T_{au} = 46^\circ\text{C}$ y $T_{aa} = 24^\circ\text{C}$, se tiene $\eta_s = 22.22\%$.

La eficiencia de secado se puede expresar en términos de temperatura, este valor de 22% está dentro del rango permitido para un secador de bandejas, Según (Perry, 1999) esta eficiencia térmica es muy aceptable para este secador de características semi-industriales.

4.1.2.2 Eficiencia térmica de secado

Para hallar la eficiencia térmica de secado η_{ts} se aplica la Ecuación 3-9. Los datos a reemplazar son los siguientes:

$$\rho_{comb} = 1.85 \frac{kg}{m^3}, \dot{m}_{comb} = 0.314, PCI_{comb} = 46350 \frac{Kj}{kg}, \Delta T = 52^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}.$$

$$\dot{m}_{agua} = 0.1343 \frac{kg}{min}, C_{p_{agua}} = 4.22 \frac{kJ}{kg K}, h_{fg} = 2382.9 \frac{kJ}{kg}, \rho_{agua} = 987.09 \frac{kg}{m^3}$$

Obteniéndose una eficiencia térmica de secado del 45%.

4.1.2.3 Eficiencia de calentamiento del aire de secado

Para calcular la eficiencia de calentamiento del aire de secado η_{as} , se utiliza la siguiente fórmula ecuación 4-0, tomada de (Kohan, 2000), (Rein, 2007), estos autores definen la eficiencia térmica como la relación de la energía aprovechada respecto de la energía entregada, expresada como un porcentaje.

$$\eta_{as} = \frac{\dot{m}_{aire} * C_{p_{aire}} * \Delta T_{aire} * \rho_{aire}}{\dot{m}_{comb} * PCI_{comb} * \rho_{comb}} \quad (\text{Ecuación 4-10})$$

Dónde:

η_{as} = Eficiencia de calentamiento del aire de secado %

\dot{m}_{aire} = Flujo masico del aire $\frac{m^3}{h}$.

$C_{p_{aire}}$ = Calor especifico del aire $\frac{Kj}{kg * ^\circ C}$.

ρ_{aire} = Densidad del aire $\frac{kg}{m^3}$.

\dot{m}_{comb} = Flujo masico del combustible $\frac{m^3}{h}$

PCI_{comb} = Poder calorifico inferior del comb $\frac{Kj}{kg}$

ρ_{comb} = Densidad del combustible (propano) $\frac{kg}{m^3}$

T_i = Temperatura del medio ambiente $^\circ C$

T_f = Temperatura a la cual se deshidrata el producto $^\circ C$

$\Delta T_{aire} = (T_f - T_i) ^\circ C$

Si tenemos que: $\dot{m}_{Aire} = 6 \frac{m^3}{min} = 360 \frac{m^3}{h}$, $C_{p_{Aire}} = 1.007 \frac{Kj}{Kg * ^\circ C}$, $\rho_{aire} = 1.272 \frac{Kg}{m^3}$,

$\rho_{comb} = 1.85 \frac{Kg}{m^3}$, $\dot{m}_{comb} = 0.314$, $PCI_{comb} = 46350 \frac{Kj}{kg}$, $\Delta T_{aire} = 52^\circ C - 22^\circ C = 30^\circ C$.

Y reemplazando estos valores en la ecuación 4-10 nos arroja una eficiencia de calentamiento del aire de secado $\eta_t = 48\%$.

Según (Perry, 1999) la eficiencia térmica de un secador de bandejas está entre 20 y 50%.

4.1.2.4 Eficiencia neumática

Para calcular la eficiencia mecánica se utiliza la ecuación 4-11. **Fuente:** <http://depa.fquim.unam.mx/IQ/iq/practica5n.htm>. Consultado diciembre 11 del 2012.

$$\eta_{neu} = \frac{WHP}{BHP} = \frac{\gamma * Q * P}{\sqrt{3} * V * I * \cos \phi} \quad (\text{Ecuación 4-11})$$

Dónde:

η_{neu} = Eficiencia neumatica, %

WHP = Potencia del ventilador, W

BHP = Potencia entregada al eje del ventilador, W

γ = Peso especifico del agua $\frac{N}{m^3}$

Q = Caudal de aire $\frac{m^3}{s}$

P = Presion total, cmca.

V = Voltaje de alimentacion del motor, v

I = Corriente del motor, A

$\cos \varphi$ = fcator de potencia del motor.

Con los siguientes datos y la ecuación 4-4: $Q = 35.09 \frac{m^3}{min} = 0.584 \frac{m^3}{s}$. $\gamma = 9810 \frac{N}{m^3}$,

$P = 7.59$ cmca, $V = 220$ v, $I = 3.5$ A, $\cos \varphi = 0.63$, Se calcula la eficiencia neumática:

$\eta_{neu} = 51.75\%$

Con respecto a este resultado es de anotar que en la literatura, no se encuentran datos sobre la eficiencia neumática de secadores para tomillo (*Thymus vulgaris*). También se debe de considerar que la presión total utilizada en la formula anterior fue tomada de: (Velásquez, 2012).

4.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ÓPTIMO

Para la determinación del caudal óptimo se emplearon dos secuencias de diseños factoriales completos siguiendo la metodología de superficie de respuesta y empleando para ello el Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR).

Una vez planteado la secuencia inicial de experimentos se procedió a realizar las respectivas curvas de secado del tomillo (*Thymus vulgaris*) para cada condición, buscando con ello identificar los efectos significativos del caudal y la temperatura del aire sobre la respuesta, que en este caso es la humedad del tomillo, hasta llegar a una condición final de contenido de humedad según las especificaciones de la norma técnica NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

4.2.1 Secado de Tomillo (*Thymus vulgaris*) secuencia inicial

La figura 4-4 presenta las diferentes curvas de secado realizadas en función del tiempo con caudales expresados en términos de revoluciones por minuto (RPM) y temperatura del aire de secado ($^{\circ}C$), distribuidas desde la corrida 1 hasta la 5. Para todas las curvas se

denota un comportamiento similar de pérdida de humedad en función del tiempo similar a los reportes que se hallan en la literatura sobre el secado de tomillo (Da Rocha, et al., 2012), (Doymaz I. , 2011) para el secado de romero (Reyes Bala, 2004); (Fatouh, Metwally, Helali, & Shedid, 2006) para el secado de menta verde, perejil y malva judía. Se presentan además cambios sustanciales en función del caudal y la temperatura del aire. según el diseño experimental DCCR planteado para la primera secuencia de corridas experimentales, se observa que las condiciones 1800 RPM; 52°C y 2000 RPM; 50°C presentan la mayor reducción del contenido de humedad en función del tiempo, alcanzando valores menores o igual al 10% entre 4 y 6 horas, estos resultados son similares a los reportados por (Da Rocha, et al., 2012) para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a 50°C, quienes reportan valores de 4 horas (250 minutos); (Ruiz Celma, Cuadros, & López-Rodríguez, 2012) para el secado de subproductos de industrias de tomate con valores entre 5 y 11 horas a temperaturas de 30 a 50°C; (Kaymak-Ertekin, 2002) con valores de 4 y 8 horas para el secado de ají verde y rojo a temperaturas de 40 y 50°C.

Los elevados tiempos presentados en la curva 1800 RPM; 38°C concuerdan con lo reportado por (Da Rocha, et al., 2012) en el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a 30 y 40°C; (Reyes Bala, 2004) para el secado de romero a 35°C, (Balladin & Headley, 1999) para el secado solar de tomillo (*Thymus vulgaris*) a temperatura menor de 50°C; (Venskutonis P. R., 1997) para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) y salvia a 30 y 60°C. (Doymaz, 2004) para el secado de zanahorias a 50°C; por (Kaya, Aydin, Demirtas, & Akgün, 2007) para el secado de membrillo a 35°C y (Alibas, 2006) para el secado de hojas de acelga a 50°C.

Pese a que la condición 1800 RPM; 52°C presentó la mayor tasa de reducción del contenido de humedad del tomillo (*Thymus vulgaris*) en el menor tiempo (3 a 4 horas), al validar con repeticiones se presentaron inconsistencias por tal motivo esta condición no se toma en cuenta para plantear una segunda secuencia de experimentación, sin embargo, debido a que la temperatura resulta ser el factor más significativo se toma la temperatura de 50°C como referencia.

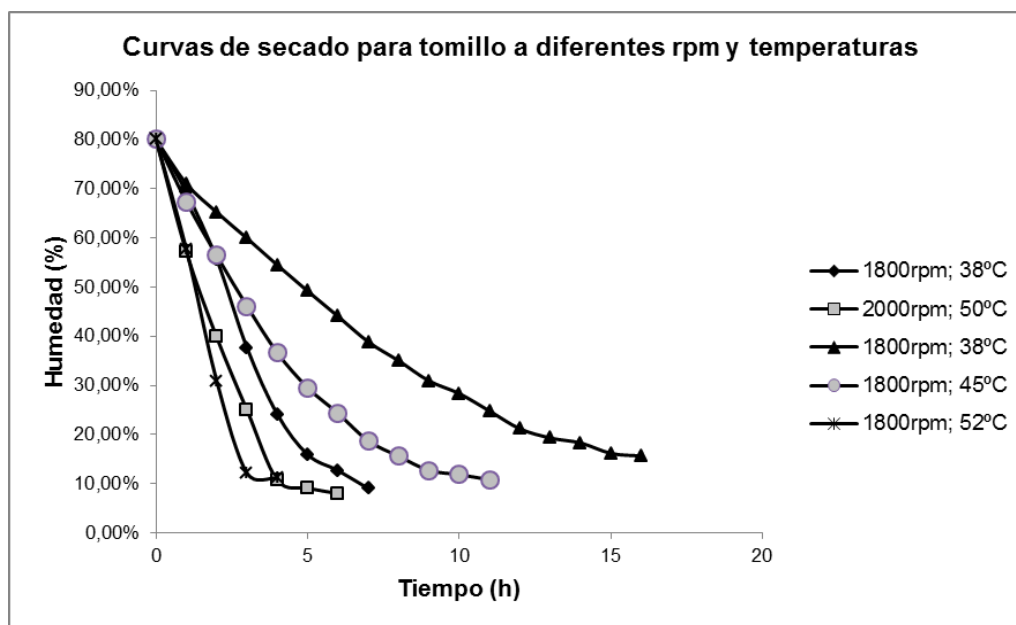


Figura 4-4: Curvas de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes RPM y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 1 a 5 primera secuencia). **Fuente:** Elaboración propia.

ç La figura 4-5 presenta las diferentes curvas de secado realizadas en función del tiempo con caudales expresados en términos de revoluciones por minuto (RPM) y temperatura del aire de secado (°C). Para esta serie de corridas (6 a 10), se observa un comportamiento similar que en las corridas 1 a 5, de pérdida de humedad en función del tiempo, dicho comportamiento se puede comprar con los reportes hallados en la literatura. En esta serie de corridas (6 a 10), se observa que la condición 1600 RPM; 50°C utiliza el menor tiempo (4 horas) de operación para reducir la humedad inicial del tomillo (*Thymus vulgaris*) hasta un valor próximo al 10%, similar a lo descrito por (Wankhade, Sapkal, & Sapkal, 2013) para el secado de rodajas de quimbombó; (Roberts, Kidd, & Padilla-Zakour, 2008) para el secado de semillas de uva a 40 y 50°C; este tiempo es comparable con el obtenido por (Doymaz I. , 2011) para secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a 50°C.

La condición de secado 1517 RPM; 45°C le sigue en orden de reducción de tiempo con tiempos ente 6 y 8 horas, son similares a los obtenidos por (Doymaz I. , 2011) para el secado de tomillo a 40°C; (Santos-Sánchez, Pérez-Herrera, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, & Gómez-Gómez, 2012) para el secado de rodajas de tomate a 50°C (5,8 horas).

Las curvas correspondientes a las condiciones 1600 RPM; 40°C y 2000 RPM; 40°C presentaron el mayor tiempo de secado en función del tiempo, este comportamiento ya ha sido descrito por otros autores como (Da Rocha, et al., 2012) (Balladin & Headley, 1999) (Doymaz I. , 2004) (Roberts, Kidd, & Padilla-Zakour, 2008), indicando que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la tasa de reducción de la humedad del tomillo (*Thymus vulgaris*).

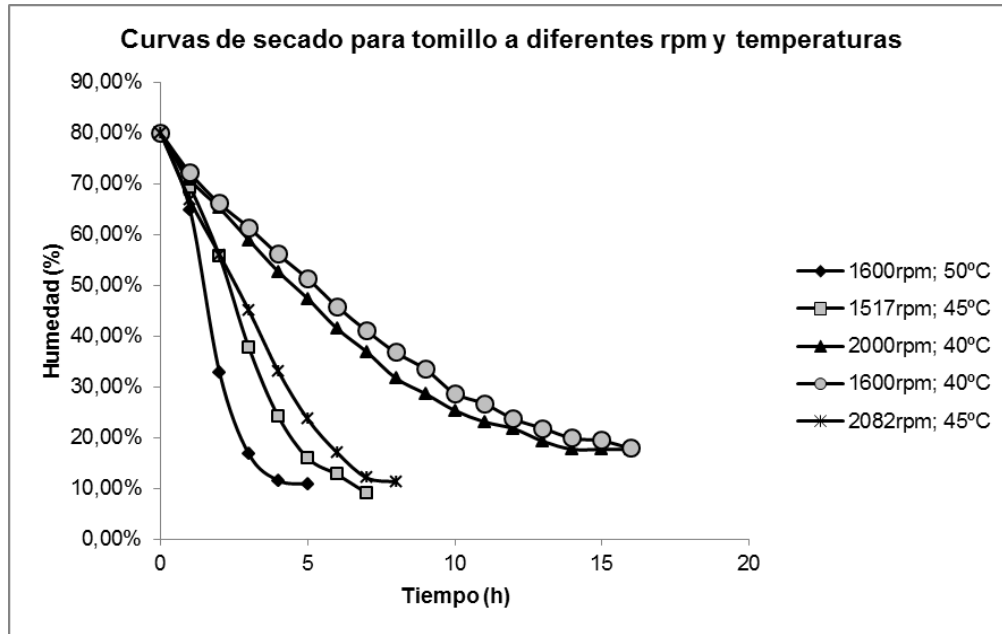


Figura 4-5. Curvas de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes RPM y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 6 a 10 primera secuencia).
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.1 Análisis de Varianza para la secuencia inicial del secado de tomillo (*Thymus vulgaris*).

La tabla 4-5 presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) para la primera secuencia de diseños factoriales completos desarrollada en este estudio. En ella se observa que la temperatura posee un efecto significativo sobre la variable de respuesta humedad ($p=0,0124$). En este caso, 1 efecto tiene un valor-P menor que 0,1, indicando que es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza del 90,0%.

Se toma un valor de significancia estadística del 90% siguiendo lo propuesto por (Rodrigues & Lemma, 2005) donde indican que al utilizar diseños factoriales completos en el tratamiento de procesos con proyección industrial, en los cuales se incluyen operaciones unitarias con una amplia variación implícita, es factible asumir errores del 10% evitando con ello caer en el descarte o supresión de factores con significancia a una mayor escala.

Tabla 4-18: Análisis de Varianza para Humedad de tomillo (*Thymus vulgaris*).
Fuente: Elaboración propia.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Caudal	0,1117851703	1	0,1117851703	0,02	0,8933
B:Temperatura	102,6662512	1	102,6662512	18,74	0,0124
AA	0,560000013	1	0,560000013	0,10	0,7652
AB	1,575025	1	1,575025	0,29	0,6203
BB	8,239114316	1	8,239114316	1,50	0,2874
Error total	21,91746366	4	5,479365914		
Total (corr.)	134,79404	9			

Las figuras 4-6 y 4-7 presentan la superficie y el contorno de la respuesta para la primera secuencia de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) y la evaluación del efecto que la temperatura y el caudal tienen sobre la humedad final. Los resultados indican que el mayor efecto es aportado por la temperatura del aire, aportando los menores valores de humedad entre 44 y 50°C sin dependencia del caudal, sin embargo, al evaluar los tiempos de secado para este rango de condiciones se encuentra que para obtener humedades inferiores al 10% se emplean tiempos de operación que alcanzan las 16 horas en función de bajas temperaturas y bajos caudales.

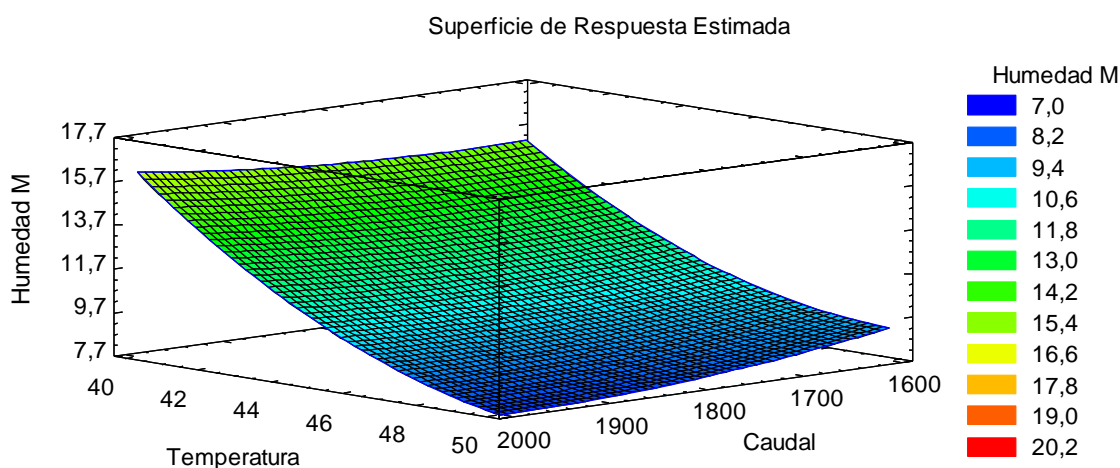


Figura 4-6. Superficie de respuesta para humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*). **Fuente:** Elaboración propia.

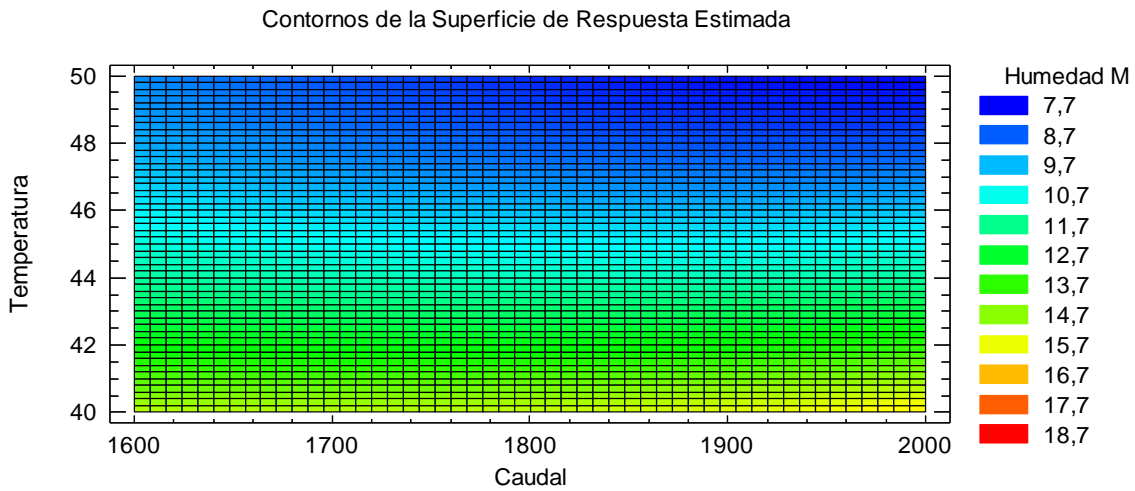


Figura 4-7. Contorno de la respuesta para humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*). **Fuente:** Elaboración propia.

La figura 4-8 presenta el gráfico de probabilidad normal para la variable respuesta humedad en función de los factores o variables independientes (temperatura y caudal), en esta figura se observa que la variable independiente temperatura se aleja de forma significativa de la recta normal corroborando con ello el efecto significativo expresado en la superficie y el contorno de la respuesta he indicado anteriormente en la tabla ANOVA.

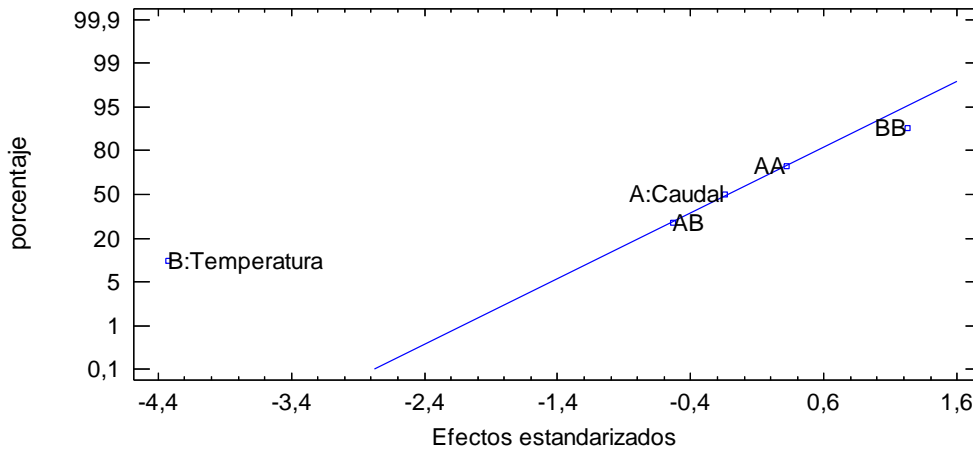


Figura 4-8: Gráfico de probabilidad normal para la humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*). **Fuente:** Elaboración propia.

La figura 4-9 presenta el análisis de residuos para la humedad en función de la temperatura del aire y del caudal (velocidad del aire). Allí se observa que los datos colectados no presentan ningún rasgo de tendencia con lo cual aportan al cumplimiento

del supuesto de independencia, esto se debe a que la distribución de los errores es homogénea y se debe a una aleatorización previa de los ensayos.

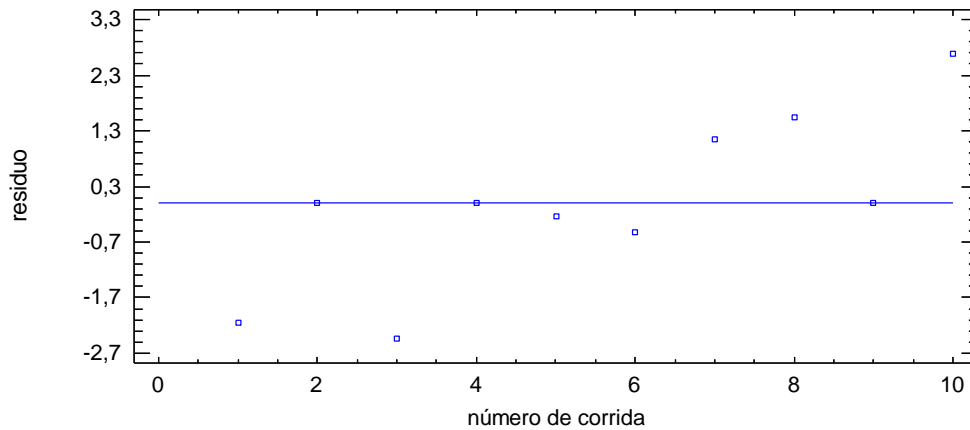


Figura 4-9: Gráfico de residuos para la humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*). **Fuente:** Elaboración propia.

La ecuación 4-12 presenta el modelo de regresión obtenido, el cual presenta un coeficiente $R^2=83,74\%$, lo cual indica que es propicio la presentación de superficies y contornos de la respuesta, según lo indicado por el modelo explica en un porcentaje mayor al 70% la variabilidad del fenómeno aquí analizado.

En la ecuación 4-12 se observa que existe un efecto lineal decreciente causado por los factores temperatura y caudal, sin embargo, se logra apreciar que la temperatura tiene un efecto de 4,42 veces sobre el caudal. Es decir por cada cambio en el caudal la temperatura cambiará en 4,42 puntos. Los efectos cuadráticos no son significativos.

$$H = 129,91 - 0,004Q - 4,42T + Q^2 - 0,0005QT + 0,0547T^2 \quad (\text{Ecuación 4-12})$$

Dónde:

H = Humedad %

T = Temperatura K

Q = Caudal $\frac{m^3}{s}$

4.2.2 Secado de Tomillo (*Thymus vulgaris*) secuencia final

Luego de efectuar la primera secuencia de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) en función de los factores implicados (humedad y caudal) se procede a plantear un segundo diseño factorial de experimentos completo de tipo Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR)

con el fin de observar las mejores condiciones de operación para el secado en función de la humedad final del producto.

Esta segunda secuencia o etapa de secado se plantea al observar los elevados tiempos de secado requeridos en las condiciones que alcanzaron los valores más bajos de humedad final y según lo planteado en la norma técnica NTC 4423 (ICONTEC, 1998) se indica que valores de humedad del 12% son recomendables para la comercialización de tomillo (*Thymus vulgaris*) deshidratado. Por tal motivo los experimentos siguientes son planeados bajo una estructura de un diseño DCCR con el objeto de hallar la combinación de factores independientes que permiten alcanzar una humedad final del 12% teniendo en cuenta menores tiempos de operación, puesto que mayores tiempos implican un gasto energético proporcional y por ende un incremento en el costo final del producto deshidratado.

La figura 4-10 presenta las diferentes curvas de secado para la segunda secuencia del diseño DCCR, realizadas en función del tiempo con caudales expresados en términos de revoluciones por minuto (RPM) y temperatura del aire de secado (°C), distribuidas desde la corrida 1 hasta la 5. Las curvas presentan un comportamiento de pérdida de humedad en función del tiempo similar a los reportes que se hallan en la literatura sobre el secado hierbas aromáticas (Da Rocha, et al., 2012), (Doymaz I. , 2011); (Reyes Bala, 2004); (Fatouh, Metwally, Helali, & Shedid, 2006).

Las condiciones que implican temperaturas del aire de 52 y 59°C a 1817 y 2100 RPM presentan las mayores tasas de disminución de la humedad del tomillo (*Thymus vulgaris*) en aproximadamente 6 horas, indicando que un aumento en la temperatura genera un efecto significativo sobre la reducción del contenido de agua. Se observa que al variar el caudal la variación no causa cambios significativos en la curva cuando se manejan menores temperaturas como es el caso de las condiciones 2300 RPM; 47°C y 2100 RPM; 45°C. La condición que menor efecto sobre la disminución del contenido de humedad presenta es 1900 RPM; 47°C la cual requiere de 11 horas para alcanzar a humedad requerida según especificaciones. Estos resultados pueden ser comparados con los presentados por diversos autores (Da Rocha, et al., 2012); (Doymaz I. , 2011) (Roberts, Kidd, & Padilla-Zakour, 2008).

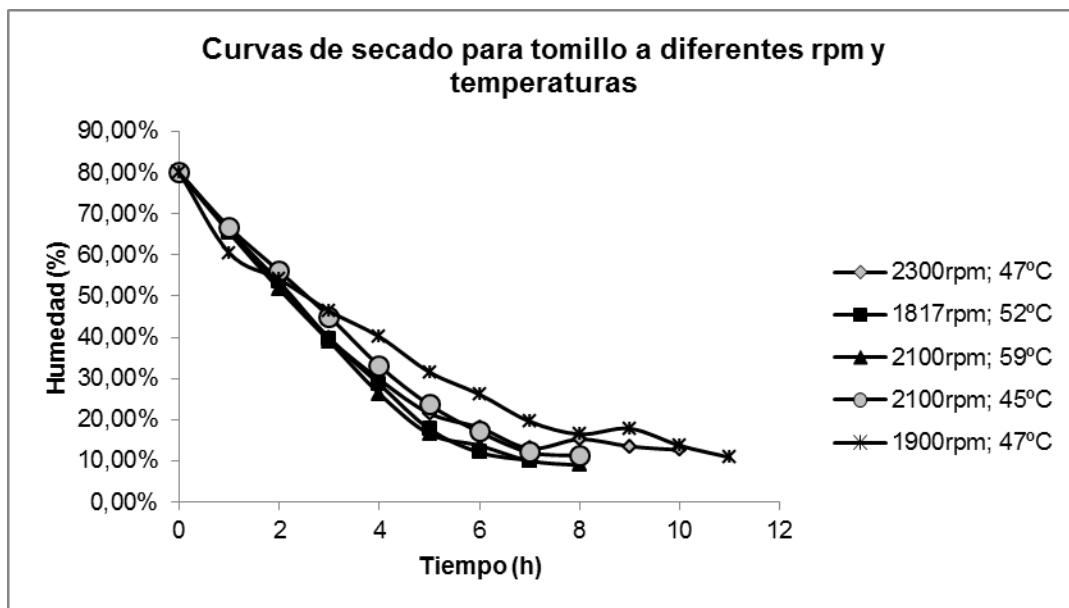


Figura 4-10.Curvas de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes rpm y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 1 a 5 segunda secuencia).

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4-11 presenta las diferentes curvas de secado realizadas en función del tiempo para la segunda secuencia experimental (corridas 6 a 10), se observa un comportamiento similar que en las corridas 1 a 5, de pérdida de humedad en función del tiempo, dicho comportamiento se puede comprar con los reportes hallados en la (Doymaz I. , 2011).

Esta secuencia de experimentos presenta las condiciones con mayores incrementos en la temperatura del aire, evidenciando la reducción del contenido de humedad en función del tiempo de forma significativa con respecto a las corridas anteriores. Las secuencias 2300 RPM; 57°C y 2100 RPM; 52°C presentan la mayor reducción del contenido de agua presente en el tomillo (*Thymus vulgaris*) con leves diferencias luego de alcanzar las 6 horas de operación. La repetición de la condición 2100 RPM; 52°C presenta una mayor consumo de tiempo para alcanzar la humedad deseada (12%) (ICONTEC, 1998) y ocurre a una tasa un poco más lenta, esta duplicidad se presenta a raíz de estar utilizando un diseño DCCR en el cual las repeticiones en el punto central cumplen la función de establecer la desviación estándar del modelo estadístico (Rodrigues & Lemma, 2005).

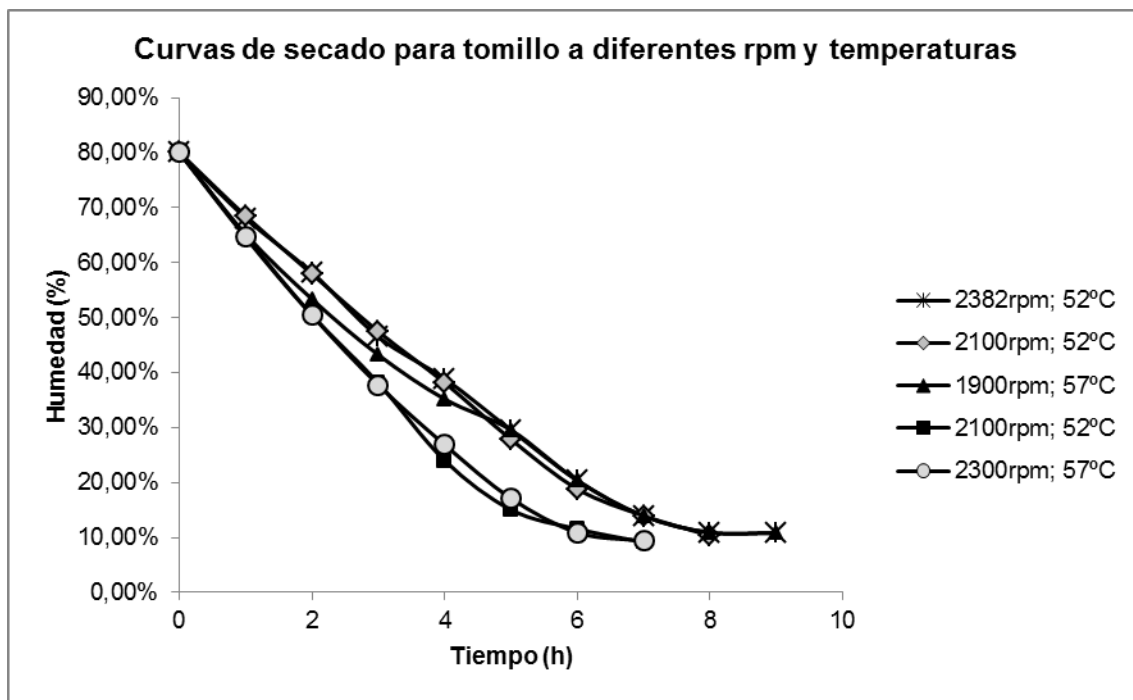


Figura 4-11. Curvas de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes rpm y temperaturas según diseño experimental DCCR (corridas 6 a 10 segunda secuencia).
Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, para una selección adecuada de la condición óptima para el secado del tomillo a parte de las curvas de secado se tiene en cuenta la metodología de superficie de respuesta con la cual se ha basado esta serie de experimentos.

La tabla 4-6 presenta el análisis de varianza ANOVA para la variable humedad en la segunda secuencia de secados. Esta tabla presenta a la variable independiente temperatura como la más significativa (valor $p=0,0638$) a un nivel de significancia del 90% siguiendo lo propuesto por (Rodriguez & Lemma, 2005) para procesos industriales.

Tabla 4-19: Análisis de Varianza para Humedad. **Fuente:** Elaboración propia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	19,12934823	1	19,12934823	6,46	0,0638
B:Caudal	5,086835989	1	5,086835989	1,72	0,2600
AA	2,550044642	1	2,550044642	0,86	0,4058
AB	11,4921	1	11,4921	3,88	0,1201
BB	5,792144668	1	5,792144668	1,96	0,2344
Error total	11,83777826	4	2,959444564		
Total (corr.)	61,80061	9			

La figura 4-12 presenta el gráfico de Pareto estandarizado para la variable de respuesta humedad del tomillo (*Thymus vulgaris*) en función de los factores experimentales temperatura del aire y caudal. En esta figura se observa como la temperatura es el factor más significativo sobre la humedad del tomillo (*Thymus vulgaris*), corroborando con ello lo planteado en la tabla ANOVA.

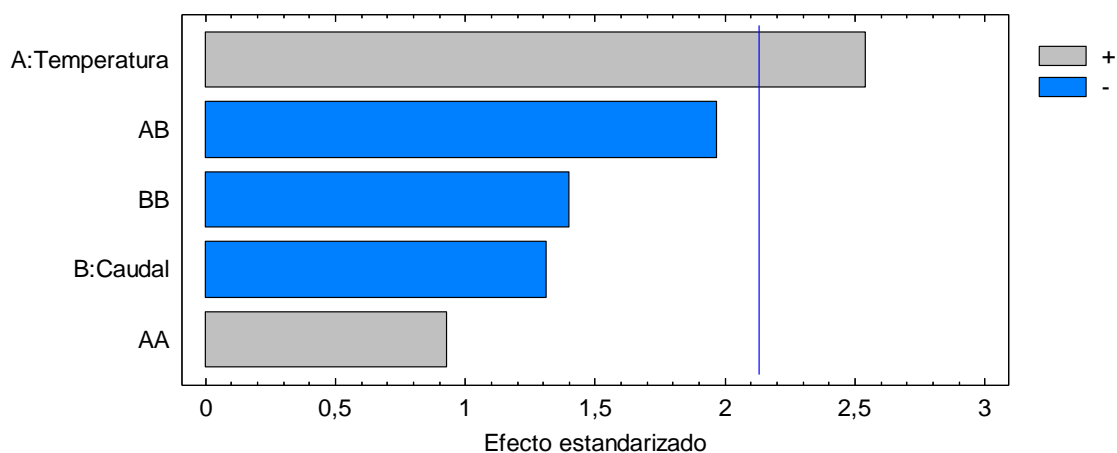


Figura 4-12: Gráfico de Pareto para humedad en función de la temperatura del aire y el caudal. **Fuente:** Elaboración propia.

Las figuras 4-13 y 4-14 presentan la superficie y el contorno de la respuesta para la variable de respuesta humedad final del tomillo (*Thymus vulgaris*) en función de los factores temperatura del aire y caudal. En ambas figuras se denota como las combinaciones de los factores revelan la mejor condición para el secado del tomillo

(*Thymus vulgaris*) siguiendo lo establecido por la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998) (ICONTEC, 1998).

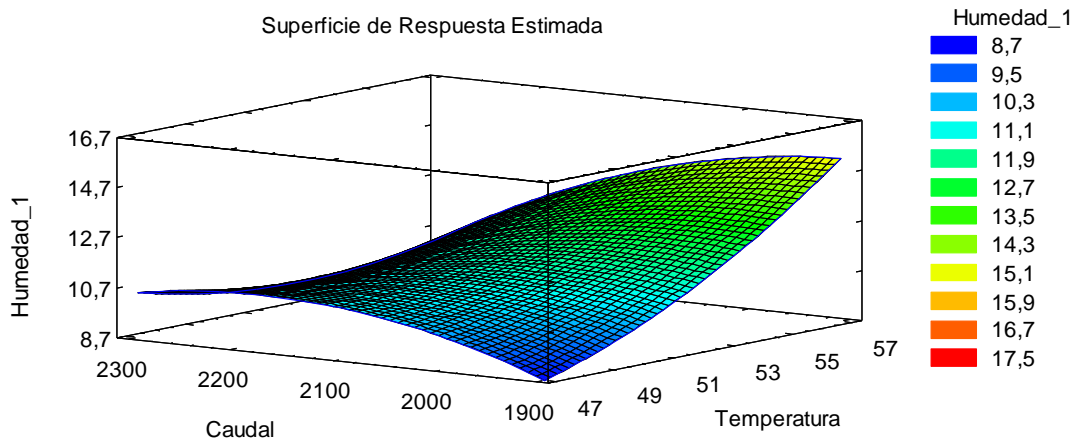


Figura 4-13: Superficie de respuesta para secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) en función de la temperatura del aire y del caudal. **Fuente:** Elaboración propia.

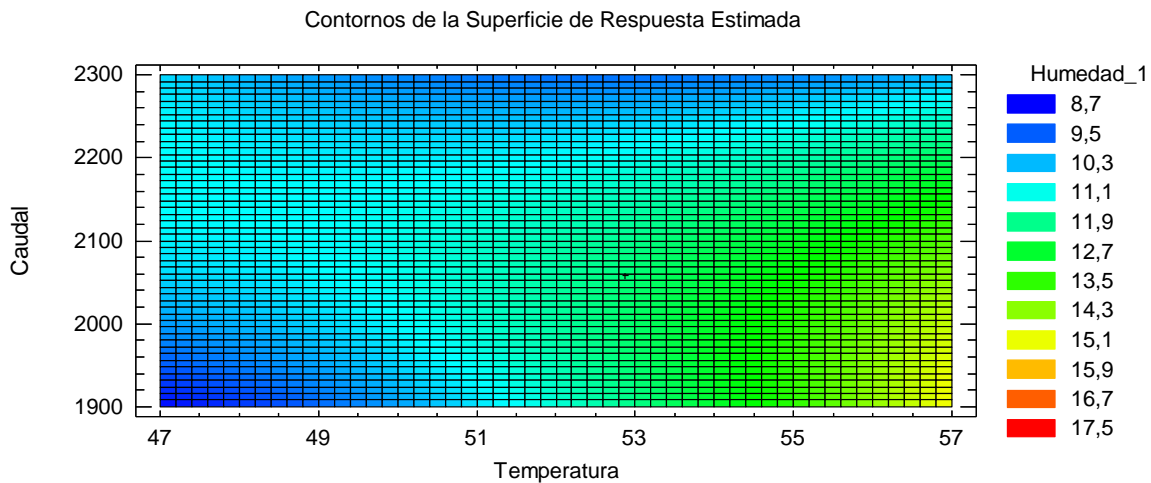


Figura 4-14: Contorno de la Respuesta para humedad del tomillo (*Thymus vulgaris*) en función de la temperatura del aire y el caudal. **Fuente:** Elaboración propia.

La figura 4-15 presenta el mejor punto de experimentación o condición óptima de operación para obtener tomillo deshidratado a un 12% de humedad según lo expresado en la NTC 4423 (ICONTEC, 1998), siguiendo las condiciones experimentales propuestas para este trabajo de investigación. El contorno aquí presentado se encuentra distribuido por regiones que resultan de las combinaciones experimentales establecidas y que permiten observar de una forma mucho más clara la mejor condición.

Tabla 4-20: Propiedades organolépticas después del secado. **Fuente:** Elaboración propia.

Nombre	color	Olor
Paola Roldan Villada	Verde seco y opaco	Característico a tomillo
Consuelo Campo S	Verde seco y opaco	Característico a tomillo
Julio Cesar Del Rio	Verde seco y opaco	Característico a tomillo
Giovanni Espinosa	Verde seco y opaco	Característico a tomillo
Fray Huber Campo S	Verde seco y opaco	Característico a tomillo

Tabla 4-21: Escala para el sabor de 1 a 5 en grado amargo para efectos de comparación después del secado. **Fuente:** Elaboración propia.

Nombre	Sabor				
	Leve	Ligero	Moderado	Fuerte	Intenso
Paola Roldan Villada		x			
Consuelo Campo	x				
Julio Cesar del Rio		x			
Giovanni Espinosa	x				
Fray Huber Campo S	x				

4.3 VALIDACIÓN DEL CAUDAL ÓPTIMO

4.3.1 Modelo de Page Aplicado al Secado de Tomillo (*Thymus vulgaris*)

Durante este experimento se observa solamente el periodo de velocidad decreciente. La migración por difusión de la humedad contenida en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría de los alimentos, tal es el caso de los vegetales. Es por ello que el método tradicional para el estudio de la transferencia de masa en estado no estacionario para el secado de productos agrícolas, considerados como sólidos húmedos, es la aplicación de la segunda ley de Fick ecuación 4-14.

$$RH = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (\text{Ecuación 4-14})$$

Dónde:

RH = relación de humedad (adimensional)

$X_t = \text{humedad de la muestra para cada tiempo } \left(\frac{g \text{ agua}}{g \text{ m.s.}}\right)$

$X_o = \text{humedad inicial } \left(\frac{g \text{ agua}}{g \text{ m.s.}}\right)$

$X_e = \text{humedad en equilibrio } \left(\frac{g \text{ agua}}{g \text{ m.s.}}\right)$

$D_{ef} = \text{difusividad efectiva } \frac{m^2}{s}$

$L = \text{Espesura del producto} = 0.000851 \text{ m para el tomillo}$

$t = \text{tiempo de secado min}$

La ecuación propuesta para una geometría plana semi-infinita y tiempos largos se halla reemplazando $i=0$ en la Ecuación 4-14 dando como resultado el primer término del desarrollo de la serie: Ecuación 4-15.

$$RH = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right) \quad (\text{Ecuación 4-15})$$

La linealización matemática de esta ecuación da como resultado: Ecuación 4-16.

$$\ln RH = \ln \frac{8}{\pi^2} - \left(\frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right) \quad (\text{Ecuación 4-16})$$

Al graficar el logaritmo de la relación de humedad ($\ln RH$) en función del tiempo se obtiene una línea recta, de cuya pendiente se obtiene la difusividad efectiva (D_{ef}). Las figuras 4-17, 4-18 y 4-19 muestran el $\ln RH$ vs el t para temperaturas de 45, 52 y 59°C.

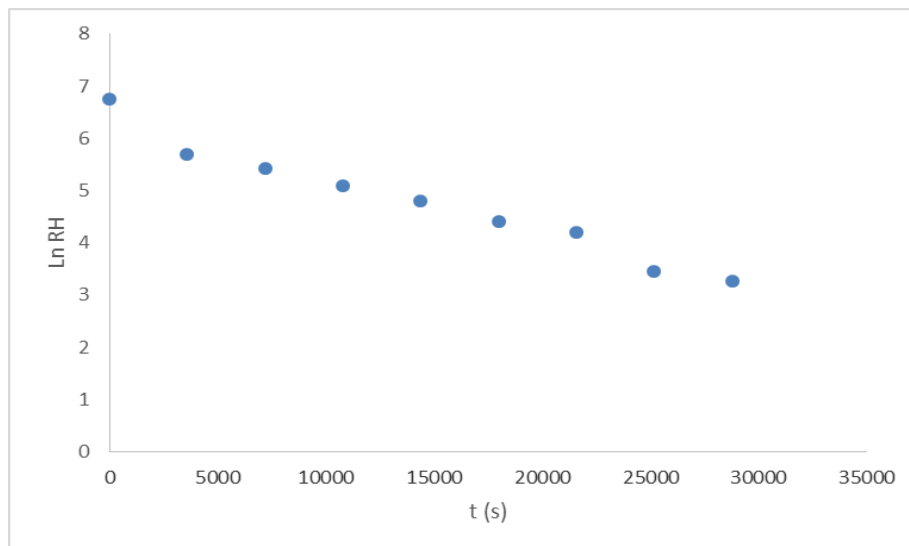


Figura 4-15: Grafica de $\ln RH$ vs el t para transformaciones lineales, para determinar la pendiente (D_{ef}) a 45°C. **Fuente:** Elaboración propia.

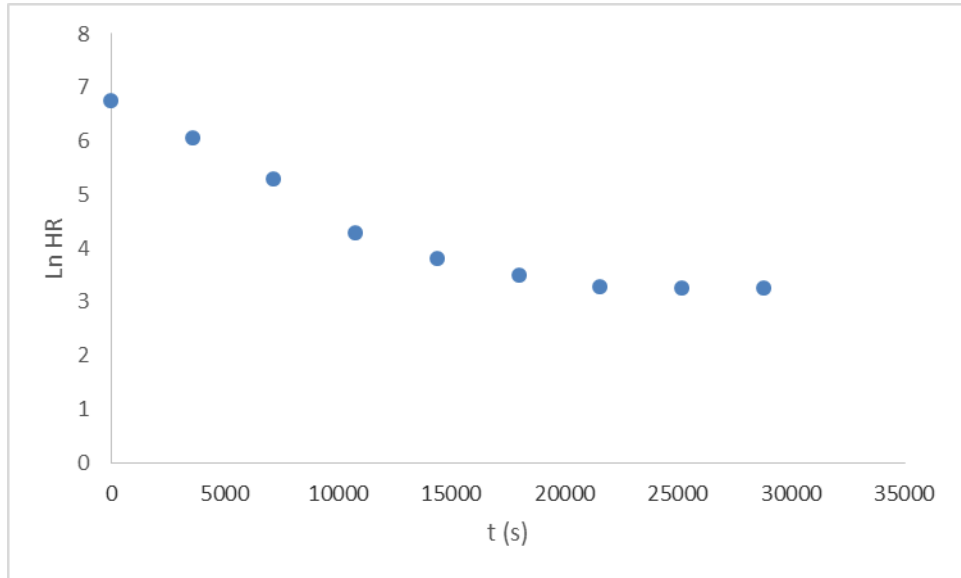


Figura 4-16: Grafica de $\ln RH$ vs t para transformaciones lineales, para determinar la pendiente (D_{ef}) a 52°C. **Fuente:** Elaboración propia.

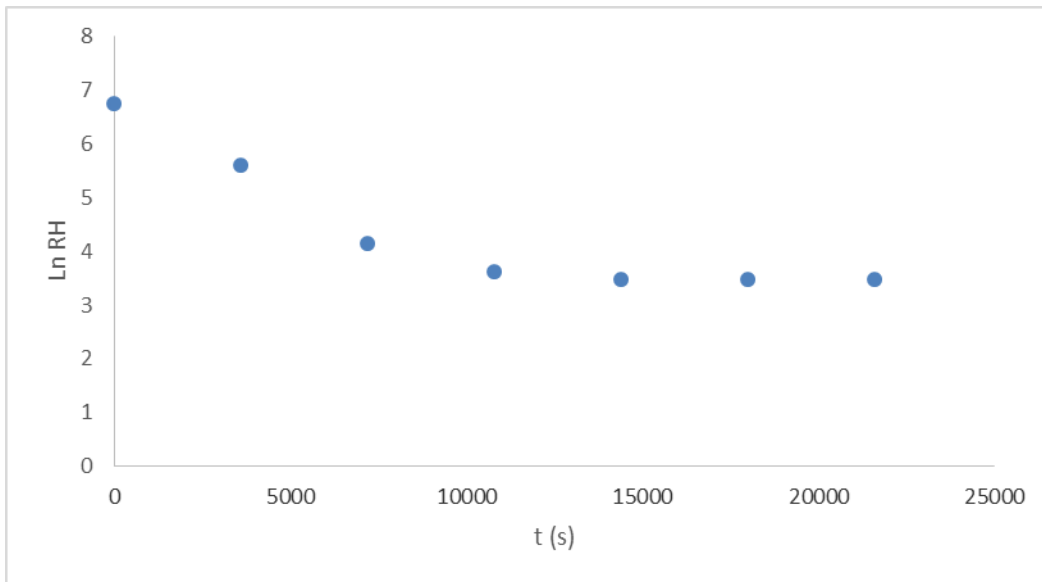


Figura 4-17: Grafica de $\ln RH$ vs t para transformaciones lineales, para determinar la pendiente (D_{ef}) a 59°C. **Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 4-9 fue obtenida experimentalmente para relacionar la RH y el tiempo de secado a diferentes temperaturas (45, 52 y 59°C).

Tabla 4-22: Datos obtenidos experimentalmente para relacionar humedad y tiempo de secado. **Fuente:** Elaboración propia.

Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Humedad	Ln (Humedad)
0	52	854,666667	6,750711529
3600	52	419,666667	6,039460745
7200	52	194,666667	5,271288694
10800	52	71,33333333	4,267363726
14400	52	44,6666667	3,799227511
18000	52	33	3,496507561
21600	52	26,33333333	3,270835564
25200	52	26	3,258096538
28800	52	26	3,258096538
0	45	856	6,752270376
3600	45	296	5,690359454
7200	45	226	5,420534999
10800	45	161	5,081404365
14400	45	121	4,795790546
18000	45	81	4,394449155
21600	45	66	4,189654742
25200	45	31	3,433987204
28800	45	26	3,258096538
0	59	852	6,747586527
3600	59	267	5,587248658
7200	59	62	4,127134385
10800	59	37	3,610917913
14400	59	32	3,465735903
18000	59	32	3,465735903
21600	59	32	3,465735903

En la tabla 4-10 se observan los valores calculados de la difusividad efectiva. Ver anexo D.

Tabla 4-23: Valores de difusividad efectiva del agua a las temperaturas experimentales. **Fuente:** Elaboración propia.

Temperatura (°C)	Difusividad (m ² /s)
45	1,7x10 ⁻⁹
52	2,3x10 ⁻⁹
59	3,85x10 ⁻⁹

Según los datos anteriores, se observa dependencia de la temperatura, es decir, la difusividad es directamente proporcional al rango de temperaturas estudiadas, indicando con ello una fuerte dependencia con Arrhenius y la reducción de las resistencias internas de difusión de agua con la elevación de la temperatura (Doymaz I. , 2004). Evidenciando que la difusividad efectiva se incrementa con el aumento en la temperatura de secado, estos resultados concuerdan con lo expresado en la literatura (Ruiz Celma, Cuadros, & López-Rodríguez, 2012).

Estos valores obtenidos de difusividad en el rango de 1,7x10⁻⁹ – 3,85x10⁻⁹m²/s son comparables con 1,097x10⁻⁹m²/s, 3,342x10⁻⁹m²/s, 5,991x10⁻⁹m²/s los cuales fueron obtenidos para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a 40, 50 y 60°C, respectivamente (Doymaz I. , 2011), 1,26x10⁻⁹ a 8,156x10⁻⁹m²/s obtenidos para el secado de papa dulce en cubos (Singh, 2012).

Los valores de difusividad obtenidos en este trabajo de investigación son superiores a 2,01x10⁻¹⁰ y 6,85x10⁻¹⁰m²/s para manzana secada en lecho fluidizado empleando temperaturas de 40, 50, 60, 70 y 80°C y una velocidad de aire de 6m/s (Kaleta, 2013), iguales valores fueron reportados para el secado de tomate orgánico (Sacilik, 2006), 1,028 x10-9m²/s, 1,427x10-9 m²/s, 2,541x10-9 m²/s para el secado de lodos generados en industrias procesadoras de tomate a 30, 40 y 50°C, respectivamente y 1,3 m/s de velocidad del aire (Ruiz Celma, Cuadros, & López-Rodríguez, 2012), 1,31x10-9 y 1,07x10-9m²/s, respectivamente para el secado de rodajas de tomate a temperaturas de 45, 50 y 60°C (Santos-Sánchez, Pérez-Herrera, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, & Gómez-Gómez, 2012), 3,69x10⁻¹² e 1,19x10⁻¹⁰ m²/s para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a 30, 40, 50, 60 y 70°C (Da Rocha, et al., 2012).

Para la determinación de la energía de activación (Ea), la cual hace referencia a la energía necesaria para iniciar la difusión a través del producto en estudio, es preciso obtener la pendiente (m) ecuación 4-17:

$$m = \frac{E_a}{R} \quad (\text{Ecuación 4-17})$$

Para la determinación de esta pendiente fue necesaria la representación gráfica entre el tiempo y la temperatura absoluta de la tabla 4-11, ello permitió determinar además el grado de reacción ecuación 4-18.

$$\ln(t) \text{ vs } \frac{1}{T} \quad (\text{Ecuación 4-18})$$

Tabla 4-24: valores a graficar entre el $\ln(t) \text{ vs } \frac{1}{T}$ Fuente: elaboración propia.

TEMPERATURA (K)	1000/T (K)	Tiempo (horas)	Ln (t)
325,15	3,0755036	0	***
		1	0
		2	0,6931472
		3	1,0986123
		4	1,3862944
		5	1,6094379
		6	1,7917595
		7	1,9459101
		8	2,0794415
318,15	3,1431715	0	***
		1	0
		2	0,6931472
		3	1,0986123
		4	1,3862944
		5	1,6094379
		6	1,7917595
		7	1,9459101
		8	2,0794415
332,15	3,0106879	0	***
		1	0
		2	0,6931472
		3	1,0986123
		4	1,3862944
		5	1,6094379
		6	1,7917595

La tabla 4-12 registra los valores de la energía de activación para cada temperatura de trabajo. Este valor se obtuvo mediante el software Matlab versión 9. Ver anexo D.

Tabla 4-25: valores de la energía de activación, para las diferentes temperaturas de trabajo. **Fuente:** Elaboración propia.

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Energía de Activación, Ea KJ/mol</i>
45	14,1338
52	19,1222
59	32,0089

Según los valores de energía de activación (E_a) observados en la tabla 4-8, estos pueden ser comparados con lo reportado por (Doymaz I. , 2007) con una E_a para tomate de 17,40 – 32,94 kJ/mol; por (Kaya, Aydin, Demirtas, & Akgün, 2007) para el secado de membrillo (*cidonya*) a 35, 45 y 55°C con $E_a=$ 33,83 – 41,52 kJ/mol; por (Togrul, 2006) para el secado de zanahorias a temperaturas entre 50 a 80°C con una $E_a=$ 22,43kJ/mol; por (Roberts, Kidd, & Padilla-Zakour, 2008) para el secado de semillas de uva a 40, 50 y 60°C con $E_a=$ 30,45 – 40,14kJ/mol; por (Senadeera, 2003) para el secado de frijol verde, papa y arveja con $E_a=$ 39, 12,87 y 45,13 47kJ/mol, respectivamente; por (Kaymak-Ertekin, 2002) para el secado de ají verde y rojo a 40, 50, 60 y 70°C con $E_a=$ 51,4 y 42,80kJ/mol, respectivamente; por (Ruiz Celma, Cuadros, & López-Rodríguez, 2012) para el secado de lodos generados en en industrias procesadoras de tomate a 30, 40 y 50°C con una $E_a=$ 30,15 – 36,70kJ/mol.

El efecto de la temperatura sobre la difusividad efectiva se describe utilizando la relación de Arrhenius para obtener el mejor grado de predicción de la curva con los datos experimentales (Madamba, 1996) (Ozdemir, 1999).

Para observar si existe influencia de la temperatura de secado sobre la difusividad del agua desde el interior del tomillo hacia la superficie del mismo, se utilizó la ecuación de Arrhenius ecuación 4-19.

$$D_{ef} = D_o * e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (\text{Ecuación 4-19})$$

Dónde:

D_{ef} = Difusividad efectiva del agua, $\frac{m^2}{s}$

D_o = Factor de Arrhenius o de frecuencia, $\frac{m^2}{s}$

E_a = Energía de activacion, $\frac{KJ}{mol}$

T = Temperatura de trabajo, K

R = Constante de los gases $\left(8,314 \frac{J}{mol * K}\right)$

En la tabla 4-13 se registran los valores del factor de Arrhenius o de frecuencia, calculados mediante un script de Matlab versión.

Tabla 4-26: valores del factor de Arrhenius, para las diferentes temperaturas de trabajo. **Fuente:** elaboración propia.

Temperatura (°C)	Ln D _o m ² /s
45	0,53597164
52	0,83998278
59	1,3596643

Luego de calcular los valores de difusividad efectiva para cada una de las temperaturas de trabajo, es necesario determinar la cantidad de agua de equilibrio del tomillo (*Thymus vulgaris*) y para ello se aplicó la ecuación de Halsey modificado propuesta por (Soysal Y; Öztekin, 2001), ecuación 4-20.

$$X_e = \left(\frac{\text{Ln}(\text{HR})}{-\exp(a+b \cdot T^d)} \right)^{-\frac{1}{c}} \quad (\text{Ecuación 4-20})$$

Dónde:

HR = Humedad relativa del aire %

a, b, c y d = Constantes que dependen de la naturaleza del producto

Para el tomillo (*Thymus vulgaris*) a= 2,97977; b= -0,00258; c= 1,44139 y d= 1,37743

Con el objeto de establecer el grado de correlación existente entre los datos obtenidos, se planteó un modelo de regresión lineal, empleando para ello el software Statgraphics Centurion v. 15.1 (Statpoint Inc., USA). La tabla 4-14 muestra los datos de L_n D_{ef} y de 1/T, calculados en el anexo D. En la figura 4-20 se observan los resultados de ajustar estos datos a un modelo lineal para describir esta relación.

Tabla 4-27: Valores calculados en el anexo D, para ajuste de un modelo lineal. **Fuente:** Elaboración propia.

Dwe	Ln Dwe	T	1/T
1,7	0,5306283	318,15	0,0031432
2,3	0,8329091	325,15	0,0030755
3,85	1,3480731	332,15	0,0030107

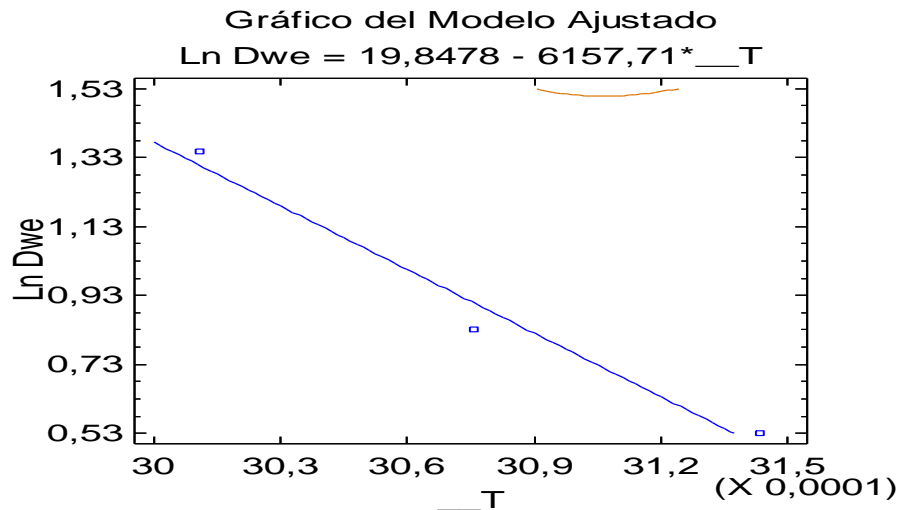


Figura 4-18: Relación de tipo Arrhenius entre el coeficiente de la difusividad efectiva y la temperatura absoluta del aire de secado del tomillo (*Thymus vulgaris*). **Fuente:** elaboración propia.

En el anexo D, se muestra el algoritmo y cálculo de la ecuación que representa el modelo ajustado, con un $R^2 = 0,9740$ ecuación 4-10.

La ecuación 4-21 presenta el modelo ajustado, con un $R^2 = 0,9740$.

$$\ln(D_{ef}) = 19,8478 - 6157,71 \left(\frac{1}{T}\right) \quad \text{(Ecuación 4-21)}$$

El coeficiente de correlación es del 97,40% y para el modelo ajustado con los grados de libertad, el coeficiente de correlación es de 94,81%.

De los análisis estadísticos en donde se optimizó el proceso de secado y se seleccionaron las mejores condiciones de proceso, se tomaron dichos resultado como referencia para realizar el modelo de Page. Para ello, inicialmente, se partió de las mejores condiciones de secado, las cuales se dieron a 2100 RPM, se retomó el comportamiento del producto a las diferentes temperaturas (45, 52 y 59°C).

Este modelo, el cual es difusional de tipo exponencial con dos parámetros n y k , lo representa la ecuación 4-22, el cual ha sido una buena herramienta para el modelado de la cinética de deshidratado de muchas plantas así como para el cálculo del tiempo de secado a diferentes temperaturas.

$$HR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-kt^n) \quad \text{(Ecuación 4-22)}$$

Dónde:

k = parametro del modelo de Page

n = parametro del modelo de Page

La linealización matemática del modelo queda simplificada en la Ecuación 4-23.

$$\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left\{ \frac{x_t - x_e}{x_o - x_e} \right\} \right] = \text{Ln}(k) + n \text{Ln}(t) \quad (\text{Ecuación 4-23})$$

En la tabla 4-15, se registran los datos para la representación gráfica que resulta de la linealización de esta ecuación para poder obtener los parámetros de la ecuación de Page. A si mismo las gráficas 4-21, 4-22 representan dichas líneas para las diferentes temperaturas de trabajo incluyendo la temperatura optima de 52°C.

Tabla 4-28: Tabla de cálculo para los parámetros $n \ln(t) + \ln(k)$ y $\ln(t)$.

T(K)	HR	A	b	C	d	Xt	X0	Xe	$n \ln(t) + \ln(k)$	$\ln(t)$
318,15	0,1085					0,662416	0,8	0,03023873	-1,6250052	0
						0,47596			-0,6044271	0,69314718
						0,249801			0,22669119	1,09861229
						0,172648			0,52317561	1,38629436
						0,133272			0,69864799	1,60943791
						0,109494			0,82128127	1,79175947
325,15	0,1034	2,97977	-0,00258	1,44139	1,37743	0,513636	0,8	0,02557746	-1,098162	0
						0,429333			-0,77287994	0,69314718
						0,361194			-0,42877383	1,09861229
						0,274576			-0,1789493	1,38629436
						0,235714			0,12634143	1,60943791
						0,55625			0,26571155	1,79175947
332,15	0,1667					0,225455	0,8	0,02583901	-0,97252333	0
						0,148			0,30408677	0,69314718
						0,130612			0,61325951	1,09861229
									0,69313794	1,38629436

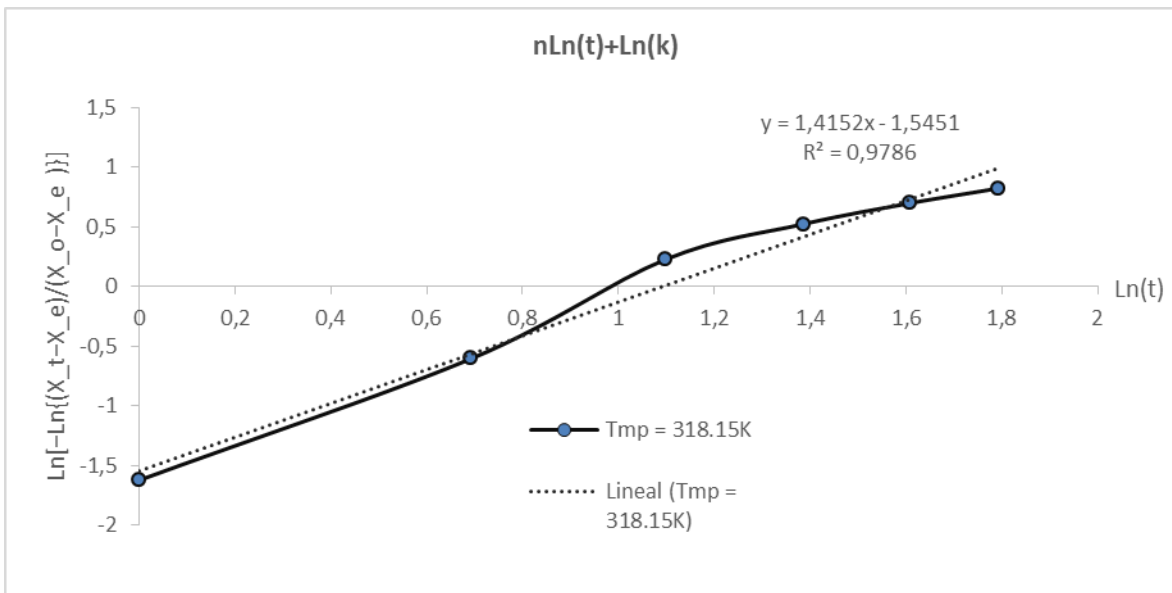


Figura 4-19: $\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left(\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} \right) \right]$ Vs $\text{Ln}(t)$ para 45°C. Fuente: Elaboración propia.

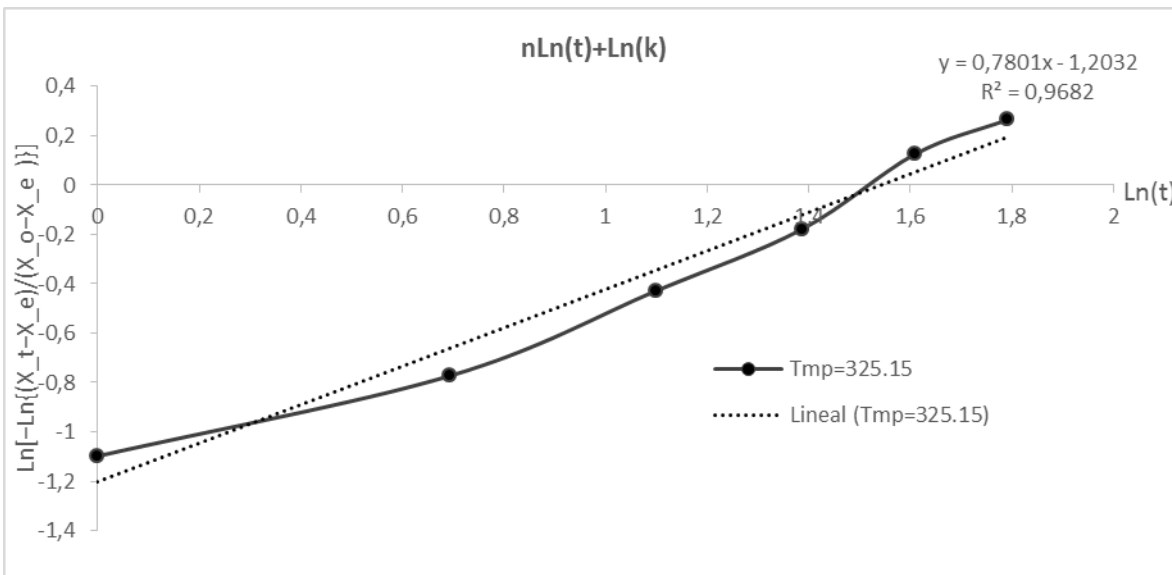


Figura 4-20: $\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left(\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} \right) \right]$ Vs $\text{Ln}(t)$ para 52°C. Fuente: Elaboración propia.

La representación de $\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left\{ \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \right\} \right]$ versus $\text{Ln}(t)$ permite identificar el tramo que corresponde con el periodo de velocidad de secado decreciente observado en las correspondientes curvas. Por consiguiente en la linealización de esta ecuación la pendiente de la recta representada por la Ecuación 4-23 permite obtener el parámetro n de Page, mientras que la ordenada en el origen corresponde a $\text{Ln}(k)$.

En la tabla 4-16 se presentan los valores calculados mediante el software Excel de los parámetros para el modelo de Page, para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes temperaturas de aire y caudal de aire a 2100 RPM.

Tabla 4-29: Valores estimados de los parámetros para el modelo de Paige para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a diferentes temperaturas de aire. **Fuente:** Elaboración propia.

Temperatura °C	Coeficientes	
	n	K
45	1,4152	0,063456541
52	0,7801	0,300231931
59	1,2346	0,439815482

Se observa en la tabla 4-16 que los valores de “n” y “k” aumentan en función de la temperatura para 45 y 59°C. El parámetro “n” depende de la naturaleza del producto y de las condiciones de secado, evidenciando la resistencia interna del producto al proceso de secado. Para la temperatura 52°C se presenta un “n” inferior. De acuerdo con (Senadeera, 2003) y (Karathanos, 1999) los valores de n incrementan con la existencia de algunas capas o piel externa en el material vegetal. En este caso debido a la heterogeneidad de las muestras de tomillo (*Thymus vulgaris*) en cuanto a la presencia de tallos (de diferentes grosores) y hojas, esta variación no es de un incremento ya que se puede presentar por una mayor presencia de estos tallos en las muestras secadas a 52°C.

Para el parámetro “k” es un parámetro para modelos de secado en capa delgada, para este trabajo de investigación aplica adecuadamente debido a que durante el secado se genera una lecho fijo con las muestras de tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre las bandejas de secado. Este parámetro presentó un comportamiento en función de los incrementos de la temperatura sometidas a 45 y 59°C. Estos resultados son similares a lo reportados por (Da Rocha, et al., 2012) para secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) a 40, 50 y 60°C; (Doymaz I. , 2011) para el secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) entre 40 y 60°C; resultados parecidos fueron encontrados por (Azzouz, 2002) para el secado de uvas. Estos autores concluyeron que el parámetro “n” estaba en función de la velocidad del aire y la el contenido de humedad inicial mientras que el parámetro “k” estaba en función de la temperatura del aire y de el contenido inicial de humedad en las uvas.

Al hacer la corrección de la ecuación de Halsey modificado para la realización del modelo de Page se encuentran grandes variaciones de estos resultados de acuerdo con otros trabajos presentes en la literatura, ante esta situación yo me pregunto “¿cuántos de estos desarrollos aplican en forma errónea esta ecuación?”, pues la exactitud sospechosa del ajuste de las curvas tanto experimental como predichas que se observa cuando se utiliza erróneamente la ecuación antes descrita y que deja entrever las posibles inconsistencias que pueden ocurrir en un diseño experimental.

Tales inconsistencias pueden ser debidas a los cambios de materia prima como los explicados anteriormente y que presentan efectos sobre el parámetro “n”. Otra explicación que puede surgir está directamente relacionada con el equipo de secado y con la distribución espacial entre las bandejas de secado, esta contribución sobre el parámetro “k” no está en función las variables tradicionales de temperatura, humedad y velocidad del aire y ha sido reportada por (Santos-Sánchez, Pérez-Herrera, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, & Gómez-Gómez, 2012), (Khatab, 1997) y (Simal, Femenia, Garau, & Rosello, 2005).

En la tabla 4-17 se consignan los valores calculados, para los diferentes valores de la tasa de humedad tanto experimentales como predichas, para el secado de tomillo a 45, 52 y 59°C como también los valores de las constantes de Page n y k.

Tabla 4-30: Valores calculados y estimados de la humedad tanto experimentales como predichas, como también los valores de las constantes del modelo de Page n y k.
Fuente: Elaboración propia.

<i>Tiempo (horas)</i>	<i>Humedad [bh] (%)</i>	<i>n</i>	<i>K</i>	<i>RH ADIMENSIONAL (Page)</i>
0	0,8	1,4152	0,063456541	1
1	0,662415957	1,4152	0,063456541	0,738514905
2	0,47595967	1,4152	0,063456541	0,644309197
3	0,249801463	1,4152	0,063456541	0,540522738
4	0,172647675	1,4152	0,063456541	0,436769093
5	0,133271642	1,4152	0,063456541	0,338507137
6	0,109493656	1,4152	0,063456541	0,248810705
7	0,108333333	1,4152	0,063456541	0,169184659
8	0,108333	1,4152	0,063456541	0,100072633
0	0,8	0,7801	0,300231931	1
1	0,580392157	0,7801	0,300231931	0,740646422
2	0,513636364	0,7801	0,300231931	0,597158174
3	0,429333333	0,7801	0,300231931	0,492928861
4	0,36119403	0,7801	0,300231931	0,412562274

5	0,274576271	0,7801	0,300231931	0,348639958
6	0,235714286	0,7801	0,300231931	0,296779418
7	0,126530612	0,7801	0,300231931	0,254109129
8	0,108333333	0,7801	0,300231931	0,218624789
0	0,8	1,2346	0,439815482	1
1	0,55625	1,2346	0,439815482	0,644155269
2	0,225454545	1,2346	0,439815482	0,355241792
3	0,148	1,2346	0,439815482	0,1813444
4	0,130612245	1,2346	0,439815482	0,087561008

Con el fin de comprobar la funcionabilidad del modelo de Page, se obtuvieron las curvas de secado teóricas empleando los valores de los parámetros de las ecuaciones ajustadas y se representaron junto con las curvas de secado experimentales, para cada tratamiento.

En las figuras 4-23 y 4-24 se visualizan los datos de la tabla anterior, para las temperaturas 52 y 59°C, tanto experimental como predicha.

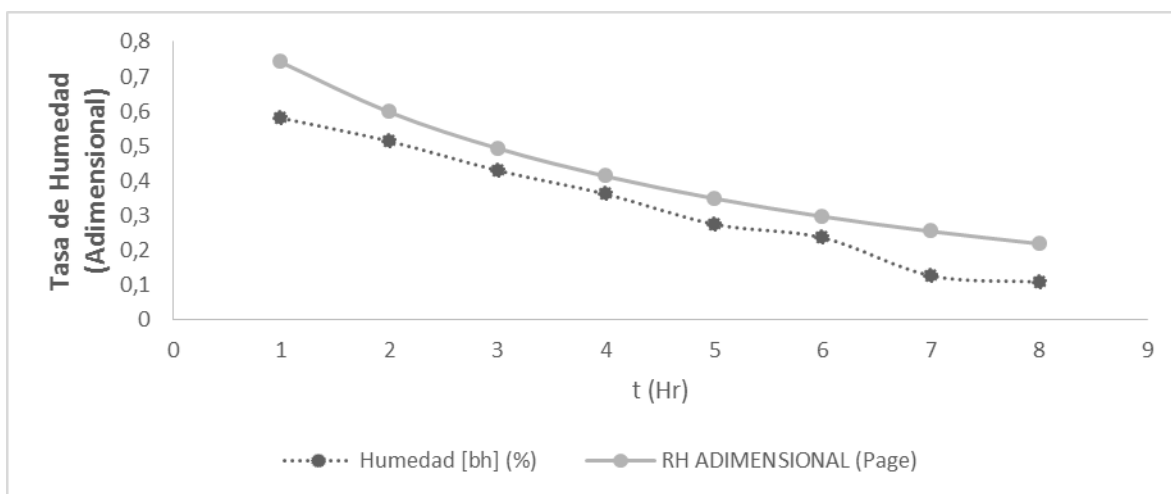


Figura 4-21 : Curva experimental y simulada utilizando el modelo de Page para 52°C
Fuente: Elaboración propia.

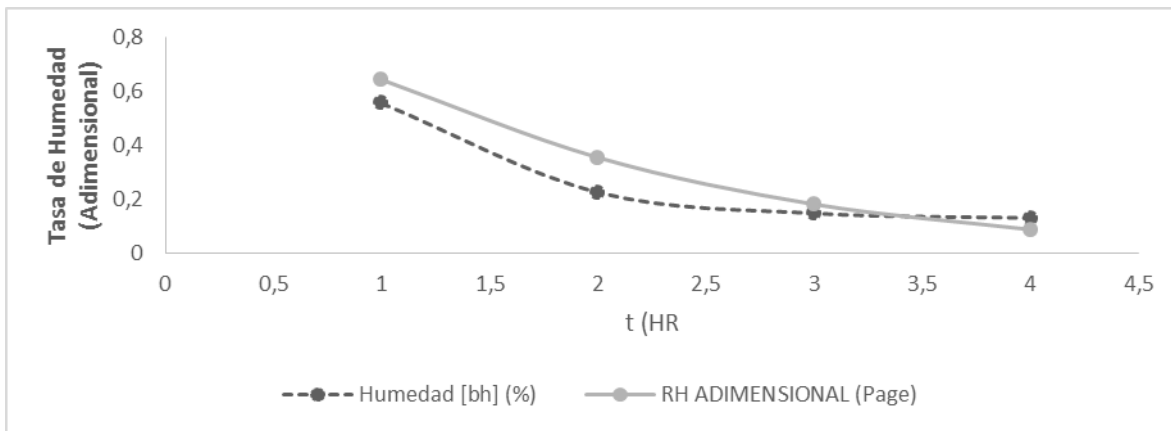


Figura 4-22 : Curva experimental y simulada utilizando el modelo de Page para 590C
Fuente: Elaboración propia.

Para poder observar que tanto se aproxima cada una de las curvas calculadas a las curvas experimentales, se realizó el cálculo del error estándar SE, utilizando la ecuación 4-24.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(X_{t \text{ exp}} - X_{t \text{ cal}})^2}{i}} \quad \text{(Ecuación 4-24)}$$

Dónde:

$X_{t \text{ exp}}$ = observación experimental

$X_{t \text{ cal}}$ = observación calculada

i = número de observaciones

El error estándar (SE) para cada una de las curvas fue de:

$SE_1 = 0,031714$, $SE_2 = 0,042756$, $SE_3 = 0,014725$.

Se puede notar que el modelo propuesto provee una buena conformidad entre los valores predichos y los valores experimentales para la tasa de humedad, además los valores obtenidos para el error estándar entre 0.014 y 0.041 son bajos, lo que valida la confiabilidad del modelo utilizado, ya que un ajuste por encima del 95% de los datos experimentales frente a los datos calculados se considera una aproximación fiable al modelo propuesto.

En la figura 4-25 se observa la variación de las tasas de humedad tanto experimentales como predichas para el secado de muestras de tomillo (*Thymus vulgaris*) a 45, 52 y 59°C. Resultados similares fueron reportados por (Doymaz I. , 2011) para el secado de tomillo; (McMinn W, 2006) para polvo de lacotsa; (Hacihafizoglu, 2008) para el secado de arroz rugoso; (Santos-Sánchez, Pérez-Herrera, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, & Gómez-Gómez, 2012) para el secado de rodajas de tomate; (Janjaia, 2011) para el secado de lychee (*liches*); (Kouchakzadeh, 2013) para el secado de pistachos; (Guinea, 2011) para

el secado de calabaza; (Ramalloa, 2012) quienes emplearon el modelo de Page para estudiar la rehidratación de piña deshidratada; (Chakraborty, 2011) para el secado de aloe vera mediante liofilizado asistido por infrarojo; (Senadeera, 2003) quein afirmó en su trabajo sobre el secado de papa, arveja y frijol verde, que el modelo de Page describió de una forma más precisa el comportamiento de secado; (Reyes A. M., 2013) para el secado de champiñones reportaron el modelo de Page como el más ajustado a los datos experimentales; (Ngcobo, 2013) reportaron el modelo de Page como un modelo que se ajusta al estudio de la difusividad del agua en los tallos de uva durante el almacenamiento a baja temperatura, resultado que puede emplearse para predecir la deshidratación durante el almacenamiento en frío; (Sahua, 2013). reportaron el modelo de Page como el modelo superior en la predicción de la cinética de soplado de miel mezclada a 65 – 75°C.

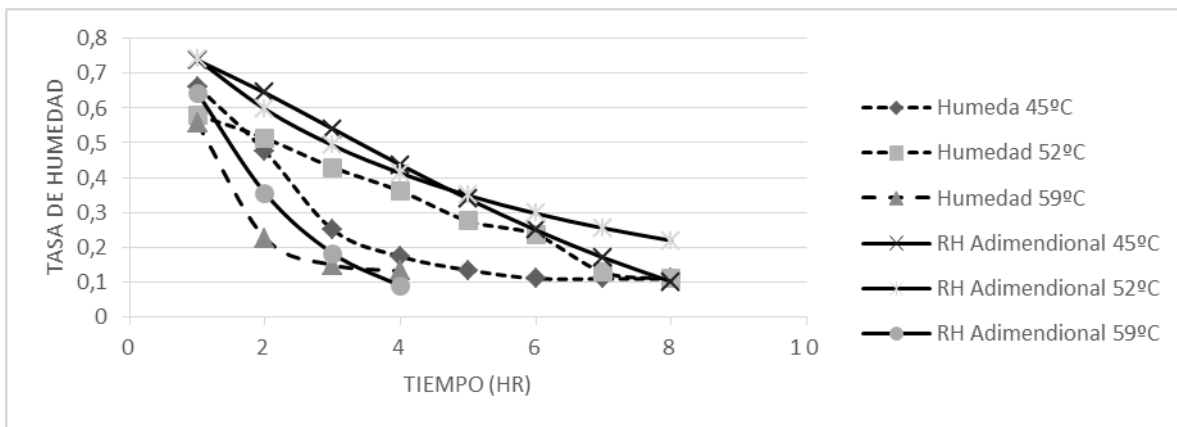


Figura 4-23: Curvas experimentales y simuladas utilizando el modelo de Page para diferentes temperaturas. **Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4-18 se muestra un resumen de los datos obtenidos experimentalmente para las diferentes variables que intervienen en el secado del tomillo. En el anexo D, se consignan varios registros de tablas y fórmulas que se realizaron para la obtención de los resultados que arroja el modelo de Page, para la validación del caudal óptimo.

Tabla 4-31 Resumen de datos obtenidos experimentalmente para las diferentes variables que intervienen en el secado del tomillo.

Fuente: Elaboración propia. Ver anexo D.

<i>TEMPERATURA (K)</i>	<i>1000/ T (K)</i>	<i>Tiempo (horas)</i>	<i>Ln (t)</i>	<i>Peso de la muestra [g]</i>	<i>Humedad [bh] (%)</i>	<i>Mt [g]</i>	<i>Ma [g]</i>	<i>Agua Evapo- rada</i>	<i>n</i>	<i>K</i>	<i>RH ADIMENSIONAL (Page)</i>
325,15	3,075 50361	0	***	3055	0,8	1068, 33333	854,6 66667	0	1,4152	0,063456 54	1
		1	0	2620	0,662415957	633,3 33333	419,6 66667	435	1,4152	0,063456 54	0,738514905
		2	0,69314718	2395	0,47595967	408,3 33333	194,6 66667	225	1,4152	0,063456 54	0,644309197
		3	1,09861229	2271,66667	0,249801463	285	71,33 33333	123,3 33333	1,4152	0,063456 54	0,540522738
		4	1,38629436	2245	0,172647675	258,3 33333	44,66 66667	26,66 66667	1,4152	0,063456 54	0,436769093
		5	1,60943791	2233,33333	0,133271642	246,6 66667	33	11,66 66667	1,4152	0,063456 54	0,338507137
		6	1,79175947	2226,66667	0,109493656	240	26,33 33333	6,666 66667	1,4152	0,063456 54	0,248810705
		7	1,94591015	2225	0,108333333	240	26	5	1,4152	0,063456 54	0,169184659
		8	2,07944154	2225	0,108333	240	26	0	1,4152	0,063456 54	0,100072633
318,15	3,143 17146	0	***	3055	0,8	1070	856	0	0,7801	0,300231 93	1
		1	0	2528,33333	0,580392157	510	296	560	0,7801	0,300231 93	0,74064642
		2	0,69314718	2453,33333	0,513636364	440	226	70	0,7801	0,300231 93	0,59715817

	3	1,09861229	2386,66667	0,429333333	375	161	65	0,7801	0,300231 93	0,49292886
	4	1,38629436	2345	0,36119403	335	121	40	0,7801	0,300231 93	0,41256227
	5	1,60943791	2300	0,274576271	295	81	40	0,7801	0,300231 93	0,34863996
	6	1,79175947	2276,66667	0,235714286	280	66	15	0,7801	0,300231 93	0,29677942
	7	1,94591015	2253,33333	0,126530612	245	31	35	0,7801	0,300231 93	0,25410913
	8	2,07944154	2243,33333	0,108333333	240	26	5	0,7801	0,300231 93	0,21862479
	0	***	3055	0,8	1065	852	0	1,2346	0,439815 48	1
	1	0	2470	0,55625	480	267	585	1,2346	0,439815 48	0,64415527
	2	0,69314718	2265	0,225454545	275	62	205	1,2346	0,439815 48	0,35524179
332,15	3	1,09861229	2240	0,148	250	37	25	1,2346	0,439815 48	0,1813444
3,010 68794	4	1,38629436	2235	0,130612245	245	32	5	1,2346	0,439815 48	0,08756101
	5	1,60943791	2235	0,130612245	245	32	0	1,2346	0,439815 48	0,04044203
	6	1,79175947	2235	0,130612245	245	32	0	1,2346	0,439815 48	0,01799455

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La temperatura se presenta como el factor más significativo sobre la humedad final del tomillo (*Thymus vulgaris*) deshidratado con valor $p=0,638$ con un nivel de significancia del 90%. A las condiciones de temperatura halladas se observa que el mejor caudal se ajusta a la región entre 2050 – 2100 RPM $\left(34.26 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} - 35.09 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)$ que corresponden con la mejor región de temperaturas de 52 – 53°C.

Las condiciones más bajas en términos de temperatura de secado permiten obtener un producto con menor humedad final (7 -10%), sin embargo, los tiempos requeridos para alcanzar estas humedades superan las 16 horas, los que los hace inviables en términos de escalamiento industrial por el alto costo energético que implican.

Los resultados obtenidos en este estudio donde se evalúa el efecto de la temperatura del aire y el caudal sobre la humedad final del tomillo (*Thymus vulgaris*) deshidratado indican que se puede obtener un producto que cumple los estándares de calidad exigidos en la normatividad (NTC 4423 (ICONTEC, 1998)) razones que permiten que pueda ser comercializado o introducido en la cadena de valor de especias y condimentos de la industria de alimentos.

El tomillo (*Thymus vulgaris*) deshidratado en las condiciones óptimas alcanza una humedad final del 12% cumpliendo lo establecido en la norma técnica NTC 4423 (ICONTEC, 1998) y siguiendo un planeamiento experimental basado en un Diseño Central Compuesto Rotable DCCR con factores y niveles establecidos para un secador de fabricación nacional.

El tomillo (*Thymus vulgaris*) deshidratado a 45, 52 y 59°C presentó buen ajuste entre los datos experimentales obtenidos y los valores predichos mediante el modelo matemático de Page con un error estándar por debajo del 5% y además pueden ser comparables con varios resultados que se encuentran reportados en la literatura más reciente.

De acuerdo a los datos estadísticos aplicados, el modelo de Page presenta un buen ajuste de los datos experimentales y representa una buena herramienta para el cálculo del tiempo de secado del tomillo (*Thymus vulgaris*).

El modelo de Page puede ser utilizado para modelar el secado del tomillo (*Thymus vulgaris*) a las condiciones indicadas en este trabajo de investigación.

El tiempo de secado se redujo al aumentar la temperatura del aire, sin embargo, donde 59°C arrojó el menor tiempo de secado (6 horas) y la tasa de pérdida de agua más acelerada frente a las otras temperaturas (45 y 52°C), puesto que luego de 2 horas de proceso a 59°C se alcanza una tasa de humedad cercana al 20% mientras que para las otras temperaturas e igual tiempo sólo se alcanzan valores cercanos al 50% de humedad. La difusividad efectiva del agua fue computada a partir de la ley de Fick y los valores variaron entre $1,7 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ y $3,85 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$. La difusividad efectiva del agua se encontró que incrementa con el incremento en la temperatura del aire, lo cual se puede comparar con los reportes hallados en la literatura.

Las energías de activación para la difusión de la humedad fueron: 14.13, 19.12 y 32.00 $\frac{\text{Kj}}{\text{mol}}$, para las condiciones estudiadas respectivamente, estos resultados son comparables con los valores reportados para varios materiales alimentarios en la literatura.

En la deshidratación mecánica de tomillo (*Thymus vulgaris*), utilizando el caudal óptimo de aire encontrado el cual se ajusta a la región $34.26 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} - 35.09 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$, es posible obtener un producto con una humedad final del 12% en base humedad (b.h) que cumple la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998).

5.2 RECOMENDACIONES

Al realizar secado de hierbas aromáticas u otros productos en el secador empleado en este trabajo de investigación, se recomienda realizar repeticiones de las curvas de secado con el objeto de establecer claramente los efectos que la temperatura y el caudal presentarán sobre la variable de respuesta, ya que por ser un equipo con características semi-industriales presenta una alta variabilidad durante el proceso.

El Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR) es un tipo de diseño experimental que puede aplicarse en numerosos procesos de investigación y desarrollo con fines de escalamiento industrial. Se recomienda su uso como estrategia para futuros trabajos de investigación relacionados con hierbas aromáticas en los que se haga uso del equipo empleado en este proyecto.

Realizar una distribución homogénea entre tallos y hojas de tomillo (*Thymus vulgaris*) en la operación de secado ya que la presencia superior de tallos puede afectar los coeficientes “k” y “n” de Page, al aumentar las resistencias internas de movilidad de la humedad durante la deshidratación.

Realizar un estudio de rotación de bandejas durante el secado y evaluar si existe algún efecto significativo con el modelo de Page con el fin de garantizar un secado más eficiente. Realizar la comparación con otro modelo como el de Midilli, siguiendo algunos reportes que se han encontrado en la literatura donde se indica que es otro modelo que se ajusta bien al secado por aire caliente de plantas aromáticas como el tomillo (*Thymus vulgaris*).

Realizar una prueba sensorial entre las muestras sometidas a secado a 52 y 59°C luego de transcurridas 6 horas de secado, con el fin de observar si existen cambios organolépticos en función de la temperatura puesto que a este tiempo ambas muestras alcanzan igual tasa de humedad.

Realizar un análisis mediante Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas entre las muestras sometidas a secado a 52 y 59°C luego de transcurridas 6 horas de secado, con el fin de cuantificar las posibles variaciones en el componente mayoritario del tomillo (timol) y con ello observar si existen cambios que afecten el principio activo en función de la temperatura.

CAPÍTULO 6: AGENDA DE INVESTIGACIÓN

Según el Ministerio de Agricultura, Colombia exporta anualmente cerca de 1200 toneladas de plantas aromáticas por un valor de US\$2,6 millones, siendo Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea los principales destinos. En ese orden de ideas, las variedades que más se venden al extranjero son albahaca (*Ocimum basilicum*), hierbabuena (*Mentha sativa*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y romero (*Rosmarinus officinalis*). Sin embargo, para los productores las barreras sanitarias que impiden acceder a los mercados internacionales se convierte en el palo en la rueda de su competitividad, especialmente en lo que se refiere al deshidratado de la planta. Y es por eso la importancia que tienen proyectos que apuntan a solucionar este tipo de problemas.

Con miras a posteriores trabajos de investigación se pueden hacer mejoras para aumentar la eficiencia del intercambiador de calor, que consistiría en restringir la entrada de aire, al intercambiador de calor.

Utilizando un variador de velocidad anexo a un motor trifásico, se podrían obtener diferentes flujos de aire asociados, a diferentes especies, obteniéndose mejores resultados en el deshidratado de cada especie, lo que permitiría salvar obstáculos tales como, daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o la disminución del rendimiento.

Para mostrar los resultados de deshidratado en línea con el computador, se podría adquirir una tarjeta de datos. También se podría automatizar el proceso colocando un control de temperatura y un control de gas que no sea manual.

Se puede utilizar el secador plantas aromáticas del ITM, para secar diferentes especias, entre las cuales están, albahaca (*Ocimum basilicum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), cebolla (*Allium cepa*), cebollín (*Allium schoenoprasum*), estragón (*Artemisia dracunculus*), menta (*Mentha piperita*) y otras especies promisorias para nuestra economía complementando este proceso, con la extracción de los aceites esenciales, utilizando diferentes tecnologías.

CAPITULO 7: Bibliografía

- Agronet. (2010). *Análisis estadísticas. Importaciones y exportaciones del sector agropecuario por cadena productiva*. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural.
- Agronet. (2010). *Análisis estadísticas. Importaciones y exportaciones del sector agropecuario por cadena productiva*. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural.
- AGUILAR, C. y. (1966). *Temperature ratios for measuring efficiency and for the*.
- Alibas, I. (2006). Characteristics of Chard Leaves during Microwave, Convective, and Combined Microwave-Convective Drying, *Drying Technology: An International Journal*, 24(11), 1425-1435.
- Argaiz, A. (2000). *Apuntes de Curso de Fisicoquímica de Alimentos*. UDLAP. Sin publicar.).
- Arslan, D. O. (2010). Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita L.*). *Energy Conversion and Management*, Vol. 51.
- Arslan, D., & Ozcan, M. M. (2008). Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. *Energy Conversion and Management*. v.49, p.1258-1264.
- Aspurz, J. (2011). *Obtención de curvas de secado de tomillo*. . Brasil: , (). Universidad Federal de Vicosá. Minas Gerais. Brasil.
- Azzouz, S. G. (2002). Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. *Journal of Food Engineering*, 323-330.
- Balladin, D. A., & Headley, O. (1999). Evaluation of solar dried thyme (*Thymus vulgaris Linne*) herbs. *Renewable Energy*, 17, 523-531.
- Barbosa, F. F., Melo, E. C., Santos, R. H., Rocha, R. P., Martinazzo, A. P., Radünz, L. L., & Gracia, L. M. (2007). *Evaluation of mathematical models for prediction of thinlayer drying of brazilian lemon-scented verbena leaves*.
- Barreño, P. (2003). *Hiervas aromáticas culinarias para exportación en fresco manejo agronómico, producción y costos*. En: Barreño P. y Guido (Eds.). p. 6-14. *Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco*. Edición. Facultad de .

- Barreño, P. (2003). *Memorias del curso de hierbas aromáticas (informe)*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia: Facultad de Agronomía.
- Barreño, P. (2003). *Memorias del curso de hierbas aromáticas (informe)*. Universidad Nacional de Colombia: Facultad de Agronomía.
- Barreño, P. (2006). *Hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco manejo agronómico, producción y costos*. En: Clavijo, J.; Barreno, P; Guido, C. y Chaparro, L. (Eds.). p. 65-72. *Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación*.
- Barros Neto, B., Scarminio, I., & Bruns, R. (2001). *Como fazer experimentos - Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. Campinas, SP: Unicamp.
- Brito Lima, R. d., & do Carmo Ferreira, M. (2011). Fluidized and vibrofluidized shallow beds of fresh leaves. *Particuology*, 139-147.
- Brooker, D. B., Baker-Arkema, F., & Hall, C. (1992). *Drying and storage of grains and oil seeds*. New York: AVI Book Pub.
- Brooker, D. B.; Baker-Arkema, F.W.; Hall, C.W. (1992). *Drying and storage of grains and oil seeds*. New York: AVI Book Pub., 1992, 450 p.
- Calleja, G. (1999). *Introducción a la ingeniería Química*. Madrid: Síntesis.
- Castro, S. &. (2004). *Apuesta Productiva de plantas aromáticas y medicinales* . Cundinamarca.
- Cipriano, X.L (n.d). (2005). *La aplicación de la energía solar térmica en plantas secadoras de alimentos a pequeña y mediana escala. (Informe)*. España: Grupo de cooperación del Campus de Terrassa. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Compañía, Castro, S., & Consultores. (2004). *Apuesta Productiva de plantas aromáticas y medicinales (informe)*. Cundinamarca: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Compañía, R., Castro, S., & Consultores. (2004). *Apuesta Productiva de plantas aromáticas y medicinales (informe)*. Cundinamarca: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rura.
- COSMOS. (2012). "Generalidades del tomillo" (en línea) (16/02/2012) Disponible en: (<http://www.cosmos.com.mx/f/tec/43zv.htm>).
- Curioni, A., Righini, R., Antelo, O., & Alfonso, W. (1999). *Secado de especies aromáticas en la provincia de Buenos Aires. Factibilidad del recurso solar*. Universidad Nacional de Lujan. Argentina.

- Chakraborty, R. B. (2011). Prediction of optimal conditions of infrared assisted freeze-drying of aloe vera (*Aloe barbadensis*) using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 80, 375.
- Da Rocha, R. P., Melo, E. d., Corbín, J. B., Berbet, P. A., Donzeles, S. M., & Tabar, J. A. (2012). Cinética del secado de tomillo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(6), 675-683.
- Demir, V., Gunhan, T., K., Y. A., & Degirmencioglu, A. (2004). *Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves*.
- Díaz, J. A. (2006). *Estrategia para tres Sectores de Biocomercio con estudios de mercado específicos. CAF. IAvH. Volumen VII*. Bogotá, Colombia.
- Díaz, J. A. (2006). *Estrategia para tres Sectores de Biocomercio con estudios de mercado específicos. CAF. IAvH. Volumen VII.2006. Bogotá, Colombia, pág. 89*.
- Dissa, A. B. (2.008). *Modelling and experimental Validation of thinlayerindirect solar drying of mango slices*.
- DOYMAZ, I. (2.010). *Drying of thyme (thymus vulgaris L.) and selection of a suitable thinlayerdrying model*.
- Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.
- Doymaz, I. (2007). Air drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78 (4), 1291-1297.
- Doymaz, I. (2011). Drying of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and selection of a suitable thin-layer drying model. *Journal of Food and Preservation*, 35, 458-465.
- DOYMAZ, I., TUGRUL, N., & PALA, M. (2.006). *Drying characteristics of dill and parsley leaves*.
- Esper, A., & Muhlbauer, W. (1998, December). Solar drying an effective means of food preservation. *Renewable Energy* 15 , 95-100.
- Fatouh, M., Metwally, M. N., Helali, A. B., & Shedid, M. H. (2006). Herbs drying using a heat pump dryer. *Energy Conversion and Management*, 47, 2629-2643.
- Fito, P. M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. España: Universidad Politécnica de Valencia .

- FLORES. (2.009). *Evaluación de la calidad bioquímica de la pimienta gorda deshidratada con ciclos de atemperado*. Colombia.
- García, S., Schmalko, M. E., & Tanzariello, A. (2007). *Isotermas de Adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en Misiones*.
- García, S.V.; Schmalko, M. E.; Tanzariello, A. (2007). *Isotermas de Adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en Misiones*.
- Geankoplis. (1993). (*GEANKOPLIS C.J. 1993. Proceso de transporte y operaciones unitarias. 3a Ed. CECSA. México*).
- Guinea, R. P. (2011). Study of the convective drying of pumpkin (*Curcubita maxima*). *Food and Bioproducts Processing*, 89, 422-428.
- Hacihafizoglu, O. C. (2008). Mathematical modeling of drying of thin layer rough rice. *Food Bioproducts Processing*, 86, 268-275.
- ICONTEC. (26 de 08 de 1998). Norma Técnica Colombiana 4423. *Industria Alimentaria. Especies y Condimentos*, 18. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: ICONTEC.
- Janjaia, S. P. (2011). Thin-layer drying of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Food and bioproducts processing*, 89, 194-201.
- Kaletka, A. G. (2013). Evaluation of drying models of apple (var. Ligo) dried in a fluidized bed dryer. *Energy Conversion and Management*, 179-185.
- Karathanos, V. T. (1999). Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. . *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74, 355-361.
- Kavak, E. B. (2006). 2006. *Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun.*, 308-315.
- Kaya, A., Aydin, O., Demirtas, C., & Akgün, M. (2007). An experimental study on the drying kinetics of quince. *Desalination*, 212, 328-343.
- Kaymak-Ertekin, F. (2002). Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science*, 67, 168-175.
- Khattab, N. M. (1997). Novel design of an agricultural dryer. *Energy Sources*, 417-426.
- Kohan, A. L. (2000). *Manual de calderas*. Madrid, España.: Mc Graw Hill, .
- Kouchakzadeh, A. (2013). The effect of acoustic and solar energy on drying process of pistachios. . *Energy Conversion and Management*, 67, 351-356.

- Kuehl, R. O. (2000). *Diseño de experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. (2 ed.). México D.F., México: Thomsom Learning.
- Labuza. (1975). (LABUZA, T.P., 1975. *Interpretation of Sorption Data in Relation to the State of Constituent Water; en Duckworth, R., Water Relations in Foods; Academic press., New York, NY.*)
- Letchamo et al. (1996). (Letchamo, W., S. Mukhopadhyay, and A. Gosselin. 1996. *Variability in herb yield and potentials of horehound in North America. Acta Horticulturae. 426: 601-613.*)
- López. (2.006). *Tomillo. Propiedades farmacológicas e indicaciones*.
- Madamba, P. S. (1996). The thin layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29, 75-77.
- MADR. (2009). *Anuario estadístico de Frutas y Desarrollo Rural*. Colombia.
- MADR, I. A. (2008). *Definición de la agenda prospectiva de investigación para la cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines con énfasis en ingredientes naturales para la industria cosmética de Colombia*. Bogotá D.C.
- Mccabe et al. (1965). (. MCCABE, W. L., SMITH, J. C. (1965). *Unit Operations of Chemical Engineering*. México, D. F.: Novaro, p.888.)
- McMinn W, A. M. (2006). Thin-layer modelin of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*, 72, 113-123.
- Medicines. (2000). *PDR for Herbal, 2 edición*. USA: Editorial Medica Economics Comp.
- Morales. (1986). (MORALES VALVERDE, R. -1986- *Taxonomía de los géneros Thymus (excluida la Sec. Serpyllum) y Thymbra en la Península Ibérica*. Ruizia 3.)
- Morsetto, J. L. (2008). ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA CINÉTICA DE SECADO PARA PEREJIL EN CONDICIONES DE SECADO SOLAR. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. , Vol. 12.
- Myers, R., & Montgomery, D. (2002). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiment*. USA: Willey-Interscience Publication.
- Ngcobo, M. E. (2013). Moisture diffusivity of table grape stems during low temperature storage conditions. . *Biosystems Engineering*, 115, 346-353.

- Nollet, L. L. (1996). *Handbook of food Analysis*. Nueva York : M.Dekker.
- NTC 4423,. (1998). *Industria alimentaria. Especies y condimentos, 1-16, Bogotá, Colombia*.
- Olivas, R. F. (1.999). *Develoment of mathematical model for drying of jalapeño peppers in batch process*. New York, U.S.A.
- Ospina, E. (2002). *Secado y deshidratación de productos agrícolas*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ozdemir, M. &. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. . *Journal of Food Engineering*, 42, 225-233.
- Park, K. J., Vohnikova, Z., & Brod, F. P. (2.002). *Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (Mentha crispa L.)*.
- PDR for Herbal Medicines. (2000). *2edición. Editorial Medicar Economics Comp. USA*.
- Pérez, V. A. (2002). *Secador solar móvil de estructura metálica para plantas medicinales. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 7(1), 23-6*.
- Perry, R. a. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. USA: Seventh Edition, Editorial McGraw Hill, Section 12. .
- Radünz, L. L., Amaral, A. S., Mossi, A. J., Melo, E. C., & Rocha, R. P. (2011). *Avaliação da cinética de secagem de carqueja. Engenharia na Agricultura*.
- Ramalloa, L. A. (2012). Quality evaluatio of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 275-283.
- Rein, P. (2007). *Cane Sugar Engineering*. Berlín - Alemania.
- Reiter et al. (1985). (Reiter, M., Brandt, W. (1985). *Relaxant effects on tracheal and ileal smooth muscles of the guinea pig. Arzneimittel-Forschung, vol. 35: 408-414.*).
- Reyes Bala, P. (2004 йил Enero). Evaluación del proceso de secado de romero (*Rosmarinus officinalis L*) utilizando un secador eléctrico de flujo transversal de bandejas. *Evaluación del proceso de secado de romero (Rosmarinus officinalis L) utilizando un secador eléctrico de flujo transversal de bandejas*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Reyes, A. M. (2013). Mushroom dehydration in a hybrid-solar dryer. . *Energy Conversion and Management*, 70, 31-39.

- Reyes, N., & Pedro. (2004). *Evaluación del proceso de secado de romero (rosmarinusofficinalis) utilizando un secador eléctrico de flujo transversal de bandejas*. de Guatemala: Universidad de San Carlos. Facultad de ingenierías. .
- Reyes, Pedro. (2004). *Evaluación del proceso de secado de romero (rosmarinusofficinalis) utilizando un secador eléctrico de flujo transversal de bandejas*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ingenierías. Guatemala.
- Roberts, J. S., Kidd, D. R., & Padilla-Zakour, O. (2008). Drying kinetics of grape seeds. *Journal of Food Engineering*, 89, 460-465.
- Rodrigues, M., & Lemma, A. (2005). *Planejamento de experimentos e otimizacao de processos*. Campinas, SP, Brasil: Casa do Pao.
- Rodrigues, M., & Lemma, A. (2005). *Planejamento de experimentos e otimizao de processos*. Campinas, SP, Brasil: Casa do Pao.
- Ruiz Celma, A., Cuadros, F., & López-Rodríguez, F. (2012). Convective drying characteristics of sludge from treatment plants in tomato processing industries. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 224-234.
- Sacilik, K. K. (2006). Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 231-238.
- Sahua, J. K. (2013). Modeling of vacuum puffing characteristics and color change of liquid honey. . *Industrial Crops and Products*, 48, 118-123.
- Santos-Sánchez, N. F., Pérez-Herrera, A., Salas-Coronado, R., Valadez-Blanco, R., & Gómez-Gómez, M. S. (2012). Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. *LWT - Food Science and Technology*, 46, 298-304.
- Senadeera, W. R. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidised bed drying. *Journal of Food Engineering*, 58, 277-283.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C., & Rosello, C. (2005). Use of expoencial, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66, 323-328.
- Singh, N. J. (2012). Convective air drying characteristics of sweet potato cube (Ipomea batatas L.). *Food and Bioproducts Processing*, 317-322.

- Sivipaucar, C. C. (2008). Cálculo y construcción de un secador solar por convección natural para el secado de plantas medicinales no tradicionales. *Revista de Investigación*.
- Skold et al., & Yucel-Lindberg et al. (1998, 1999). (22. Sköld K, Twetman S, Hallgren A, Yucel-Lindberg T, Modéer T. Effect of a chlorhexidine/timol-containing varnish on prostaglandin E2 levels in gingival crevicular fluid. *Eur J Oral Sci*. 1998 Feb;106(1):571.
- Sotomayor. (1998). (Sotomayor, J. A. (1998). Estudio sobre plantas aromáticas de los géneros *Salvia* y *Thymus*, espontáneas en el SE Ibérico, para su establecimiento como cultivo. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 272 pp.).
- Soysal Y; Öztekin. (2001). Technical and Economic Performance of a Tray Dryer for Medicinal and Aromatic Plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79, 73-79.
- Stahl, E. y Venskutonis, R. (2004). *Thyme*. P. 297-318. En: Peter, k (ed). *Handbook of herbs and spices. Volumen 2. First Edition. Woodhead Publishing Ltd and CRC press. United States. 374 p.*
- Stahl, E., & Venskutonis, R. (2004). *Thyme* (First Edition ed., Vol. Volumen 2). (k. Peter, Ed.) *Handbook of herbs and spices*. .
- Stahl y Venskutonis, & UNAL y CID. (2004, 2008). (Stahly y Venskutonis, R.2004. *Thyme*.p. 297-318. En: Peter, k(Ed).*Handbook of herbs and spices. Volumen 2. First Edition. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press. United States. 374 p. Universidad Nacional de Col.*
- Therdthai, N., & Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen).
- Togrul, H. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 77, 610-619.
- Treybal, R. (1998). *Operaciones de transferencia de masa* (2ª edición ed.). Madrid, España: McGRAW-HILL.
- Urbanczyk et al. (2012). (Urbanczyk H, McDonagh E, et al. (2012). Characterization of the effects of the FineView algorithm for full field digital mammography. *Phys Med Biol* 57 (7): 1987-2003).
- VEGA, A., & ANDRÉS, A. y. (2005). Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annum* L. cv lamuyo). *Inf. Tecnol.*, V. 16, n.6.

- Velásquez, C. (2012). *Desarrollo de una Tecnología para secado de orégano tipo exportación* .
- Venskutonis, & al., L. e. (1997; 1998). (Venskutonis, P.R. *Effect of drying on the volatile constituents of thyme(Thymus vulgaris L.) and sage (Salvia officinalis L.)*. *Food Chemistry*, v.59, p.219-227, 1997.) (Lewinsohn, E.; Dudai, N.; Tadmor, Y.; Katzir.
- Venskutonis, P. R. (1997). *Effect of drying on the volatile constituents of thyme (Thymus vulgaris L.) and sage (Salvia officinalis L.)*. *Food Chemistry*, 59(2), 219-227.
- Wankhade, P. K., Sapkal, R. S., & Sapkal, V. S. (2013). *Drying characteristics of Okra slices on drying in hot air drayer*. *Procedia Engineering*, 51, 371-374.
- Welti. (2001). (Welti Chanes. J. 2001. *Novedades y alternativas para el procesamiento de frutas* .
- Who. (1999). (WHO (1999) *WHO Monographs on selected medicinal plants*. Geneva).

CAPITULO 8: ANEXOS

ANEXO A: Características de las especias o condimentos vegetales

Ministerio de Salud Pública

**RESOLUCIÓN NÚMERO 4241 DE 1991
(Abril 9)**

“Por la cual se definen las características de las especias o condimentos vegetales y se dictan normas sanitarias y de calidad de estos productos y de sus mezclas.

El Ministro de Salud, en ejercicio de las atribuciones que le confiere el artículo 588 la Ley 09 de 1979 y en desarrollo del artículo 3o del Decreto 2333 de agosto 2 de 1982, y

CONSIDERANDO:

Que es necesario expedir normas sobre especias o condimentos vegetales para establecer un adecuado control sobre esta clase de productos, así como para fijar las condiciones mínimas de calidad,

RESUELVE:

CAPÍTULO I Disposiciones generales, definiciones y clasificación

ART. 1º—Fábricas. Para los efectos de la presente resolución, las fábricas de alimentos donde se realice la limpieza, selección, procesamiento y empaque de especias o condimentos vegetales y sus productos, deberán cumplir los requisitos establecidos en el Decreto número 2333 de 1982 y las disposiciones que lo modifiquen, adicionen o sustituyan.

ART. 2º—Definiciones. Para efectos de la presente resolución, en materia de especias o condimentos vegetales y sus productos, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

a) Especias o condimentos vegetales. Son los productos constituidos por ciertas plantas o partes de ellas, que por tener sustancias saborizantes o aromatizantes se emplean para aderezar, aliñar o mejorar el aroma y sabor de los alimentos;

b) Especias puras, enteras o molidas. Es el producto constituido por una o más especias genuinas, el cual debe responder a las características propias de las mismas.

En caso de las especias molidas, para efectos de tecnología de molienda, se permite utilizar carbohidratos, proteínas comestibles, anticompactantes, grasas o aceites comestibles, en una proporción máxima de 10%.

Capítulo 8. ANEXOS

107

c) Aceites esenciales de especias. Son extractos aromáticos volátiles, preparados de las especias molidas, mediante destilación por vapor;

d) Oleorresinas de especias. Comprenden las resinas volátiles y no volátiles, extraídas mediante solventes, de las especias molidas en forma gruesa, utilizando solventes grado alimenticio, tales como hexano y dicloro-etileno;

e) Condimentos o aliños. Son aquellos productos constituidos por una o más especias, mezcladas con otras sustancias alimenticias, listos para su uso inmediato. Estos productos deberán tener un contenido mínimo del 50% de la especia que le otorga el poder condimentador característico. Se entiende que en este grupo de productos no está permitido el uso de esencias o extractos artificiales o sintéticos que refuercen el sabor de la(s) especia(s) pura(s). Como vehículos podrán utilizarse carbohidratos, proteínas, sal de cocina, grasas o aceites comestibles y se podrán emplear colorantes permitidos en alimentos;

f) Condimento en pasta. Es el producto pastoso constituido por una o más especias, mezcladas con otras sustancias alimenticias, listo para su consumo. Este producto deberá tener un contenido mínimo del 80% de la especia que le otorga el poder condimentador.

En estos productos no está permitido el uso de esencias o extractos artificiales o sintéticos que refuercen el sabor de la(s) especia(s) pura(s). Como vehículos podrán utilizarse carbohidratos, proteínas, sal de cocina, grasas o aceites comestibles y se podrán emplear colorantes y conservantes permitidos en alimentos;

g) Mezcla condimentada. Es el producto preparado con una o más especias puras, frescas o deshidratadas, con un contenido mínimo del 20% de la especia que le otorga el poder condimentador característico. Se entiende que en este grupo de productos no está permitido el uso de esencias o extractos artificiales o sintéticos que refuercen el sabor de la(s) especia(s) pura(s). Como vehículos podrán utilizarse carbohidratos, proteínas comestibles, sal de cocina, grasas o aceites comestibles y se podrán emplear colorantes permitidos en alimentos;

h) Sal con especias. Son mezclas de sal de cocina con especias, en las cuales la proporción de especia deberá ser de un 10% mínimo y la de sal de cocina de un 50% mínimo, mezcladas con agentes anticompactantes.

Se entiende que en este grupo de productos no está permitido el uso de esencias o extractos artificiales o sintéticos que refuercen el sabor de la(s) especia(s) pura(s). Como vehículos podrán utilizarse carbohidratos, proteínas comestibles, grasas o aceites comestibles y se podrán emplear colorantes permitidos en alimentos, e

i) Condimento o sazonador completo. Es el producto preparado con cuatro o más especias, puras, frescas o deshidratadas, con un contenido mínimo para la suma de ellas del 40%. Como vehículos podrán utilizarse carbohidratos, proteínas comestibles, grasas o aceites comestibles y colorantes permitidos en alimentos;

PAR. —Cuando se utilicen colorantes artificiales en los productos de qué trata este artículo, la cantidad máxima permitida es del 3%.

ART. 3º—Clasificación de las especias. Cada especia responderá a la denominación, característica y composición propias. Según la parte vegetal que la constituye se clasifican en:

a) Arilos: macis;

b) Bulbos: ajo y cebolla;

c) Corteza: canela;

d) Frutos: achiote o anato, alcaravea, apio, anís, badiana, cardamomo, cilantro, comino, enebro, fenogreco, hinojo, pimentón, pimienta blanca, pimienta de Cayena, pimienta de Jamaica, pimienta negra y vainilla;

e) Flores y partes florales: alcaparra, azafrán, clavo;

f) Hojas y sumidades: albahaca, artemisa, espliego, estragón, laurel, Levística, mejorana, menta, orégano, perejil, poleo, salvia y tomillo;

g) Rizomas y raíces: cálamo, cedoaria o cúrcuma, color, golanga y jengibre, y

h) Semillas: ajonjolí o sésamo, mostaza y nuez moscada.

Características y requisitos

a) Arilos

—Macis: Arilo desecado de la nuez moscada "*Myristicafragans*", H. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 17%; cenizas, máximo 3%; cenizas insolubles, máximo 0.5%; fibra bruta, máximo 10%; extracto etéreo 20 a 30%;

b) Bulbos

—Ajo: bulbos sanos y limpios del "*Allium sativus*", L., que pueden utilizarse desecados, deshidratados, pulverizados y liofilizados. Deben cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 6.75%; cenizas, máximo 8.5%; extracto etéreo 0.5 a 1.3%.

—Cebolla: bulbos sanos, limpios, desecados, deshidratados, pulverizados o liofilizados del "*Allium cepa*", L., y otras variedades comestibles. Deben cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 6%; cenizas, máximo 4%; extracto etéreo 0.5% a 2%;

c) Cortezas

—Canela: es la corteza desecada y privada en su mayor parte de la capa epidérmica, procedente del "*Cinnamomum zeylanicum*" Breyne. Toda canela que responda a los caracteres macro y microscópicos de la de Ceylán deberán denominarse canela común (canela de China, India, Malabar, etc.). Tanto la canela de Ceylán como las demás deben cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 14%; cenizas, máximo 6%; cenizas insolubles, máximo 2%; extracto etéreo volátil, mínimo 0.8%;

d) Frutos

—Achiote o anato: colorante para alimentos constituido por el pericarpio del fruto de la "*Bixa orellana*", L. El principio colorante principal es la bixina, por extracción oleosa y la norbixina por extracción acuosa. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 13%; cenizas, máximo 8%; cenizas insolubles, máximo 3%; fibra bruta, máximo 14%; grasa, máximo 4%; extracto etéreo 4%.

—Alcaravea: frutos sanos y limpios del "*Carum carvi*". Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 8%; cenizas insolubles, máximo 1.5%; aceite esencial, mínimo 3.5%.

—Apio: frutos sanos, limpios y desecados del "*Apium graveolens*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 10%; cenizas insolubles, máximo 2%; extracto etéreo 10%.

—Anís: frutos sanos, limpios y desecados del "*Pimpinella anisum*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 10%; cenizas insolubles, máximo 2%; fibra bruta, máximo 25%, aceite esencial, mínimo 1.5 a 4%.

—Badiana o anís estrellado: fruto limpios y desecados del "*Illicium verum*", H. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 5%; cenizas insolubles, máximo 1%; fibra bruta, máximo 30%; aceite esencial, mínimo 3.5%.

—Cardamomo: fruto sano, limpio y desecado del "*Elettaria damomum*", White y Matón y otras especias afines. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 12%; cenizas, máximo 10%; cenizas insolubles, máximo 2%; fibra bruta, máximo 30%; aceite esencial, mínimo 2%.

—Cilantro o coriandro: frutos sanos, maduros, limpios y desecados del "*Coriandrum sativum*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 7%; cenizas insolubles, máximo 1.5%; fibra bruta, máximo 30%; aceite esencial, mínimo 0.6%.

—Comino: frutos sanos, limpios y desecados del "*Cominum cyminum*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 14%; cenizas, máximo 12%; cenizas insolubles, máximo 4%; fibra bruta, máximo 30%; aceite esencial, mínimo 1.5%.

—Enebro: son los conos carnosos, maduros, sanos, limpios y desecados del "*Juniperus communis*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 30%; cenizas, máximo 3%; fibra bruta, máximo 22%; aceite esencial, mínimo 0.5%; extracto etéreo 3 a 10%.

—Fenogreco: frutos sanos, limpios de "*Trigonella xoeunum*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 5%; cenizas insolubles, máximo 2%; aceite esencial 6 a 10%.

—Hinojo: frutos sanos, maduros, limpios y desecados de "*Foeniculum vulgare*". Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 14%; cenizas, máximo 9%; cenizas insolubles, máximo 2%; fibra bruta, máximo 15%; aceite esencial, mínimo 3%.

—Pimentón: producto obtenido de la molienda de los frutos maduros, sanos, limpios y secos del pimiento "*Capsicum annuum*", L. o "*C. longum*", D. C. o parte de los mismos, exentos de materias extrañas. Se podrán distinguir los tipos dulce, agridulce y picante (ají). Deben cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 14%; cenizas, máximo 10%; cenizas insolubles, máximo 1%; fibra bruta, máximo 30%; extracto etéreo, máximo 25%.

—Pimienta blanca: es el fruto maduro y privado de la parte externa del "*Piper nigrum*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 18%; cenizas, máximo 3.5%; cenizas insolubles, máximo 0.3%; fibra bruta, máximo 9%; extracto etéreo fijo, mínimo 6%.

—Pimienta de Cayena: frutos enteros desecados del "*Capsicum frutescens*", L. y "*C. Baccatum*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 9%; cenizas, máximo 8%; cenizas insolubles, máximo 1.25%; fibra bruta, máximo 28%; extracto etéreo volátil, mínimo 15%.

—Pimienta de Jamaica: frutos desecados o molidos del "*Pimenta officinalis*", B. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 6%; cenizas insolubles, máximo 0.4%; fibra bruta, máximo 25%; extracto etéreo volátil, mínimo 3%; aceite esencial, mínimo 3%.

—Pimienta negra: fruto incompletamente maduro y seco, procedente del "*Piper nigrum*", L. Con no más del 5% de pedúnculos y granos abortados. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 14%; cenizas, máximo 7%; cenizas insolubles, máximo 1.5%; fibra bruta, máximo 14%; extracto etéreo no volátil, mínimo 5.5%, aceite esencial 0.5 a 2.5%.

—Vainilla: fruto inmaduro, fermentado y desecado de la "*Vainilla planifolia*", A. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 30%; cenizas, máximo 6%; cenizas insolubles, máximo 0.12%; extracto etéreo fijo 6 a 10; extracto alcohólico no menor del 46%; vainilla natural, no menor del 1.5%; aceite esencial, mínimo 1.5%.

No debe estar alterada, mal conservada, agotada ni contener bálsamo de Tolu o del Perú, ácido benzoico, vainilla artificial, azúcar, ni sustancias extrañas. No debe contener cumarina;

e) Flores y partes florales

—Alcaparras: son los botones florales del "*Capparis spinosa*", L. y "*C. ovata*", conservados en vinagre, salmuera o sal seca. Deben cumplir con los siguientes requisitos: extracto etéreo, mínimo 5%; materia grasa, máximo 5%.

—Azafrán: es el producto constituido por los filamentos de color rojo - anaranjado procedentes de los estigmas desecados de la flor del "*Crocus sativus*", L., acompañados o no de las extremidades del estilo. Debe cumplir con los siguientes requisitos: no debe presentar más del 10% de estilo y otros filamentos; humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 3%; cenizas insolubles, máximo 2%; fibra bruta, máximo 5%; extracto etéreo 3.5 a 14.5%. 05 gramos deberán colorear en amarillo 25 litros de agua destilada.

—Clavo de olor: es el botón floral maduro y desecado del "*Caryophyllus aromaticus*", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 3%; cenizas insolubles, máximo 2%; fibra bruta, máximo 10%; extracto etéreo volátil, mínimo 10%;

f) Hojas y sumidades

—Albahaca: hojas limpias y sanas del "Ocinum bacilicum". Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 5%; cenizas insolubles, máximo 0.3% y aceite volátil, mínimo 1.8%.

—Artemisa: hojas y sumidades sanas, limpias y secas de "Arthemisia vulgaris", L. Debe cumplir con el siguiente requisito: cenizas, máximo 8%.

—Espliego: hojas y sumidades sanas, limpias y desecadas de "Lavandulaspica", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: cenizas, máximo 8%; fibra bruta, máximo 25%.

—Estragón: hojas y sumidades sanas, limpias y secas de "Arthemisia dracuculus", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 15%; cenizas insolubles, máximo 1.5%; aceite esencial, mínimo 0.3%.

—Laurel: hojas sanas, limpias y secas de "Laurus nobilis", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 6%; cenizas insolubles, máximo 1%; fibra bruta, máximo 30%; aceite esencial, mínimo 1.6%

—Levística: hojas frescas sanas y limpias sin tallos de "Levisticum officinale", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 6%; cenizas, máximo 3%; y aceite volátil, mínimo 7%.

—Mejorana: hojas y sumidades floridas sanas, limpias, frescas o desecadas, del "Origanum majorana", L. y "Majorana cultivata", L. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 16%; cenizas insolubles, máximo 4%; extracto etéreo 4 a 6%; fibra bruta, máximo 25%.

—Menta: hojas y sumidades floridas sanas, limpias, frescas o secas de la "Menta piperita", L. "M. viridis", L. "M. acuática", L., "M. spicata" y "M. arvensis". El producto seco debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 0.5%; aceite esencial, mínimo 0.5 a 1%

—Orégano: hojas y sumidades floridas, sanas, limpias y secas del "Origanum vulgare", L. "O. virens", H. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 16%; cenizas insolubles, máximo 1.5%; fibra bruta, máximo 25%.

—Perejil: plantas sanas y limpias, frescas o desecadas del "Petroselinum sativum", H. y "P. crispum". Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 13%; extracto etéreo 2 a 5%.

—Poleo: hojas y sumidades floridas de "Menta pulegium", L., recogidas en el período de floración. El producto seco debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 7.5%; cenizas insolubles, máximo 10%; aceite esencial, 1.2%.

—Romero: hojas y sumidades floridas de "Rosmarinus officinalis", L. recogidas en el período de floración. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 12%; cenizas insolubles, máximo 3.5%.

—Salvia: plantas sanas, limpias, frescas y desecadas de la ``*Salvia officinalis*`, L. “*Salvia lavándula efolia*”, W. El producto seco debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 12%; cenizas, máximo 10%; cenizas insolubles, máximo 1%; fibra bruta, máximo 25%; aceites esenciales, mínimo 1%.

—Tomillo: plantas y sumidades floridas, sanas, limpias y secas del ``*Thymus vulgaris*`, L. ``*T. piperella*`, L. El producto seco, debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 12%; cenizas, máximo 12%; cenizas insolubles, máximo 4%; aceite esencial, mínimo 0.8%;

g) Raíces y rizomas

—Cálamo: rizoma sano, limpio y seco ``*Acorus calamus*`, L. entero o descortezado. El producto debe cumplir con los siguientes requisitos: entero: humedad, máximo 12%; cenizas, máximo 6%; cenizas insolubles, máximo 1%; fibra bruta, máximo 1%. Descortezado: humedad, máximo 13%; cenizas, máximo 3%; cenizas insolubles, máximo 0.3%; fibra bruta, máximo 4.5%.

—Cedoaria o cúrcuma: rizoma sano y desecado de la “*Cúrcuma zedoaria*”, R. o “*C. longa*”, L. El producto debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 8%; fibra bruta, máximo 5%.

—Color: raíz de color, azafrán. Es la raíz de la ``*Escobedia grandiflora*`, L. y de la *E. scabrifolia*.

—Galanga: rizoma sano de la ``*Alpinia officinarum*`. H. y otras especies del mismo género. El producto debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 15%; cenizas, máximo 6%; fibra bruta, máximo 17%.

—Jengibre: rizoma lavado y desecado del ``*Zingiber officinale*`, R. entero (gris) o descortezado (blanco). El producto debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 14%; cenizas, máximo 7.5% (gris) y 10% (blanco); cenizas insolubles, máximo 2% (blanco); aceite esencial, mínimo 1%; fibra bruta, 9%;

h) Semillas

—Ajonjolí o sésamo: semillas sanas y limpias del “*Sesamun orientale*” y del “*Sesamun indicum*”. Debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad máximo 7%; cenizas máximo 7%; cenizas insolubles, máximo 1%; fibra bruta, máximo 7%.

—Mostaza: semillas de la ``*Sinapis alba*`, L. (mostaza blanca), o de la ``*Brassicanigra*`, K. (mostaza negra) o de especies afines. Los productos desengrasados deben cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 14%; cenizas, máximo 6%; cenizas insolubles, máximo 1.5%; fibra bruta, máximo 17%; aceite esencial 0.5 a 1%.

—Nuez moscada: semillas desprovistas del arilo, de la ``*Myristicafragans*`, H. y recubiertas a veces de una delgada cobertura de cal. El producto debe cumplir con los siguientes requisitos: humedad, máximo 10%; cenizas, máximo 5%; cenizas insolubles, máximo 0.5%; fibra bruta, máximo 10%; extracto etéreo no volátil, mínimo 25%; aceite esencial, mínimo 2%.

CAPÍTULO II Normas de calidad

ART. 4º—Normas de calidad. Las especias deberán cumplir con las siguientes normas generales de calidad:

- a) Organolépticas. Las propias de cada especie o de sus mezclas;
- b) Genuinidad. En las especias puras y productos hechos a base de ellas, deberán identificarse los elementos histológicos característicos de cada una de ellas;
- c) Microbiológicas. Las especias y los productos hechos a base de ellas deberán ajustarse a los siguientes requisitos microbiológicos:

	n	m	M	C
NMP coliformes fecales	3	4	40	1
Esporaz clostridium sulfito reductor/g.	3	100	1.000	1
B. cereus/g	3	100	1.000	1
Hongos y levaduras	3	3.000	5.000	1

PAR. —Para efectos de identificación de los índices microbiológicos permisibles en los análisis de los productos a base de especias, se adoptan las siguientes convenciones:

- n = Número de muestras a examinar.
- m = índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad.
- M = índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.
- c = Número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M, y

d) Físicas y químicas. Las especias puras, enteras, sea como materias primas o como productos empacados para su expendio, deberán estar acordes con las características de composición dadas en la presente resolución.

ART. 5º—Las características de composición que deben tener las especias, son las contempladas en el Cuadro I de esta resolución.

CAPÍTULO III Rotulación y prohibiciones

ART. 6º—Condiciones especiales de rotulación. Además de las normas sobre rotulado y etiquetado señaladas en la Resolución 8688 de octubre 2 de 1979, se aplicarán las siguientes:

- a) Especia pura. Toda especia pura, entera o molida, deberá designarse con el nombre de la especia de procedencia, seguido de la palabra "Puro o Pura", según el caso, y se podrá anteponer o agregar al nombre de la especia, la palabra especia o condimento Vegetal.
Ejemplo: pimienta entera pura, comino molido puro.
- b) Mezcla de especias puras, enteras o molidas. Deberán designarse con la expresión "Mezcla de..." seguido del nombre de las especias utilizadas, agregando las palabras enteras o molidas, según el caso, y la palabra pura.
Ejemplo: mezcla de laurel y orégano, molidos puros.
- c) Condimento o aliño. Deberán designarse con la expresión condimento o aliño de... seguido del nombre de la especia que le otorga el poder condimentador.

Ejemplo: condimento de comino, aliño de nuez moscada.

d) Mezcla condimentada. Deberá designarse con la expresión mezcla condimentada con... seguido del nombre de la especia utilizada o que le otorga el poder condimentador.

Ejemplo: mezcla condimentada con pimentón.

e) Sal con especias. Deberá designarse con la expresión sal con .seguido del nombre de la especia utilizada.

Ejemplo: sal con ajo.

f) Condimento o sazónador completo. Deberá designarse con la expresión condimento o sazónador completo y en el listado de ingredientes deberán aparecer los nombres de las especias utilizadas.

g) Condimento en pasta. Deberá designarse con la expresión pasta de... seguido del nombre de la especia utilizada o con el nombre de la especia seguida de la expresión, en pasta.

Ejemplo: pasta de ajo, apio en pasta.

h) Aceites esenciales de especias. Deberá designarse con la expresión aceite esencial de... seguido del nombre de la especia de la cual se ha extraído.

Ejemplo: Aceite esencial de vainilla.

i) Oleorresinas de especias. Deberá designarse con la expresión oleorresina de... seguido del nombre de la especia de la cual se ha extraído.

Ejemplo: oleorresina de ajo.

PAR. —En los productos mencionados en este artículo deberá aparecer en el rótulo el nombre del producto y el de la especia utilizada o que le otorga el poder condimentador, en letras de igual tamaño y del mismo color.

ART. 7º—Prohibiciones. Quedan prohibidas las siguientes prácticas en la elaboración, molienda y comercialización de las especias y condimentos vegetales:

1. El empleo o mezcla de especias agotadas, por la extracción parcial o total de sus principios activos.

2. La venta de toda especia entera o molienda cuyas características no correspondan con el nombre bajo el cual se expendan o que este deteriorada o alterada.

3. La adición de materias colorantes minerales, sustancias oxidantes o reductoras, aceites minerales y en general sustancias perjudiciales para la salud.

4. La presencia de insectos en cualquiera de sus fases de desarrollo y otras impurezas que denoten deficiente estado higiénico sanitario.

ART. 8º—Materiales empleados. Todo material que entre en contacto con las especias o condimentos vegetales durante su elaboración y distribución no deberá ceder sustancias tóxicas al producto, ni alterar las características organolépticas ni de composición de éste.

El empaque debe hacerse bajo adecuadas condiciones higiénicas, para evitar la contaminación del producto.

ART. 9º—Control de infestaciones. En caso de presentarse infestación por insectos, ácoros o artrópodos en las especias o condimentos vegetales almacenados, se puede combatir la infestación mediante métodos de fumigación aprobados por la autoridad sanitaria. En estos casos, las áreas fumigadas deben ser cuidadosamente aseadas y desinfectadas.

ART. 10. —Concesión de plazo. Concédese un plazo de 18 meses, contados desde la publicación de esta resolución, para que los titulares de registros sanitarios vigentes cumplan con lo establecido en la misma, debiendo actualizar los registros sanitarios respectivos.

ART. 11. —De la vigencia, control y sanciones. El Ministerio de Salud y las autoridades sanitarias de los servicios seccionales de salud ejercerán las acciones de vigilancia y control para verificar el cumplimiento de lo exigido en la presente resolución. Para este efecto y para la aplicación de sanciones se sujetarán a los términos y requisitos previstos en el Decreto 2333/82 y demás normas legales que lo adicionen, modifiquen o sustituyan.

ART. 12. —Vigencia. La presente resolución rige a partir de la fecha de su publicación y deroga las disposiciones que le sean contrarias.

Comuníquese, publíquese y cúmplase.

Dada en Bogotá, D. E. a 9 de abril de 1991.

ANEXO B. Código de prácticas de higiene para especias y plantas aromáticas desecadas

CAC/RCP 42

Página 1 de 15

CODIGO DE PRACTICAS DE HIGIENE PARA ESPECIAS Y PLANTAS AROMATICAS DESECADAS

CAC/RCP 42-1995¹

INDICE

	Página
Sección I - Ambito de aplicación.....	2
Sección II - Definiciones	2
Sección III - Requisitos de higiene en la zona de producción y recolección	2
Sección IV - Establecimiento: Proyecto e instalaciones	4
Sección V - Establecimiento: Requisitos de higiene	7
Sección VI - Higiene del personal y requisitos sanitarios	9
Sección VII - Establecimiento: Requisitos de higiene en la elaboración	11
Sección VIII - Especificaciones de los productos terminados.....	14

¹ La Comisión del Codex Alimentarius, en su 21º período de sesiones, julio de 1995, adoptó el Código de Prácticas de Higiene para Especias y Plantas Aromáticas Desecadas. El Código de Prácticas se ha enviado a todos los Estados Miembros y Miembros Asociados de la FAO y de la OMS como texto orientativo y corresponde a cada uno de los gobiernos decidir qué uso desea hacer de él. La Comisión ha manifestado la opinión de que los códigos de prácticas podrían resultar útiles como listas de verificación de los requisitos por las autoridades nacionales competentes encargadas de vigilar la observancia de las disposiciones de las normas alimentarias.

**CODIGO DE PRACTICAS DE HIGIENE PARA
ESPECIAS Y PLANTAS AROMATICAS DESECADAS****Sección I - AMBITO DE APLICACION**

El presente Código de Prácticas de Higiene se aplica a las especias y las plantas aromáticas desecadas enteras, quebradas o molidas, o a las mezclas a base de especias. Regula los requisitos mínimos de higiene durante la cosecha, las técnicas aplicadas con posterioridad a la cosecha (curado, blanqueado, secado, lavado, clasificación, envasado, transporte y almacenamiento, incluida la desinfestación de microbios e insectos), el establecimiento de elaboración, las técnicas de elaboración (molienda, mezclado, congelación, liofilización, etc.), y el envasado y almacenamiento de los productos elaborados.

Sección II - DEFINICIONES**2.1 Especias y plantas aromáticas desecadas**

El término especias, que incluye las plantas aromáticas desecadas, se refiere a los componentes naturales desecados, o a las mezclas de los mismos, utilizados para sazonar, condimentar y dar aroma o sabor a los alimentos. Este término se aplica por igual a las especias enteras, quebradas o molidas.

2.2 Mezclas y productos a base de especias**2.2.1 Mezclas a base de especias**

Las mezclas a base de especias se obtienen después de haber mezclado y molido una selección de especias limpias, desecadas y en buen estado.

Sección III - REQUISITOS DE HIGIENE EN LA ZONA DE PRODUCCION Y RECOLECCION**3.1 Higiene del medio en las zonas donde se produce la materia prima****3.1.1 Zonas no apropiadas para el cultivo y la recolección**

No deberán cultivarse o recolectarse especias en lugares donde la presencia de sustancias potencialmente nocivas pueda dar lugar a un nivel inaceptable de dichas sustancias en el producto final.

3.1.2 Protección contra la contaminación por desechos

3.1.2.1 Las materias primas de las especias deberán protegerse contra la contaminación por desechos de origen humano, animal, doméstico, industrial y agrícola en niveles que puedan constituir un probable peligro para la salud. Deberán tomarse las debidas precauciones para que esos desechos no se utilicen ni evacuen de manera que puedan constituir, a través de los alimentos, un riesgo para la salud.

3.1.2.2 Para la evacuación de los desechos domésticos e industriales en las zonas de donde provengan las materias primas deberán aplicarse disposiciones que sean aceptables para el organismo oficial competente.

3.1.3 Control de los riegos

No deberán cultivarse ni producirse especias en lugares donde el agua que se utiliza para el riego pueda constituir, a través de ellas, un peligro para la salud del consumidor.

3.1.4 Control de plagas y enfermedades

Las medidas de control que entrañen un tratamiento con agentes químicos, físicos o biológicos deberán ser aplicadas solamente bajo la directa supervisión de personal que conozca perfectamente los posibles peligros que pueden representar para la salud. Dichas medidas se aplicarán exclusivamente de conformidad con las recomendaciones de la Comisión del Codex Alimentarius o, de no haber ninguna, con las del organismo oficial competente.

3.2 Desecación (curado)

Las plantas o partes de las plantas que se utilicen para la preparación de especias podrán desecarse natural o artificialmente, con tal de que se tomen medidas adecuadas para evitar que la materia prima pueda contaminarse o alterarse durante la elaboración. A fin de evitar el desarrollo de microorganismos, sobre todo del moho que produce micotoxinas, deberá alcanzarse un nivel de humedad inocuo.

En el caso de la desecación natural, las plantas o partes de las plantas en cuestión no deberán estar en contacto directo con la tierra. Habrán de colocarse en plataformas elevadas o bien en un suelo hecho de material idóneo.

Los suelos de hormigón reciente podrán utilizarse para la desecación sólo cuando exista la absoluta certeza de que el hormigón esté bien cuajado y exento de agua sobrante. Es más seguro colocar una cubierta de plástico aprobado que abarque todo el suelo de hormigón fresco como protección contra la humedad antes de usarlo para las especias.

Deberá evitarse el recalentamiento y la desecación excesivos del material para que éste mantenga sus propiedades aromáticas. Deberán tomarse las debidas precauciones para proteger las especias de la contaminación por animales domésticos, roedores, aves, ácaros y otros artrópodos o por sustancias objetables durante la desecación, la manipulación y el almacenamiento.

3.3 Limpiado

Las especias y condimentos deberán limpiarse de manera apropiada hasta que alcancen los niveles prescritos en las normas nacionales e internacionales.

3.4 Envasado

El envasado deberá proteger a las especias limpias y desecadas de la contaminación y de la entrada de agua o del exceso de humedad. En particular, habrá que evitar la reabsorción de humedad ambiental en los climas tropicales húmedos. La contaminación por los aceites minerales utilizados en la fabricación de los sacos de fibra natural deberá evitarse mediante el uso de forros, cuando sea necesario. Los envases reutilizables habrán de limpiarse y desinfectarse adecuadamente antes de volverse a usar.

3.5 Transporte

Los medios utilizados para transportar las especias cosechadas, limpiadas, desecadas y envasadas desde el lugar de producción al de almacenamiento para la elaboración deberán limpiarse y desinfectarse antes de la carga. Además, los medios de transporte a granel, como buques o vagones de ferrocarril, deben estar limpios y, según el caso, bien ventilados con aire seco para eliminar la humedad resultante de la respiración de las especias y evitar la condensación de la humedad cuando el vehículo pasa de una región cálida a otra más fría, o del día a la noche.

Sección IV - ESTABLECIMIENTO: PROYECTO E INSTALACIONES**4.1 Emplazamiento**

Los establecimientos deberán estar situados preferiblemente en zonas exentas de olores objetables, humo, polvo u otros contaminantes, y no expuestas a inundaciones.

4.2 Vías de acceso y zonas usadas para el tráfico rodado

Las vías de acceso y zonas utilizadas por el establecimiento que se encuentren dentro del recinto de éste o en sus inmediaciones deberán tener una superficie dura y pavimentada, apta para el tráfico rodado. Deberá disponerse de un desagüe adecuado, así como de medios de limpieza.

4.3 Edificios e instalaciones

4.3.1 Los edificios e instalaciones deberán ser de construcción sólida y habrán de mantenerse en buen estado. Los materiales de construcción utilizados deberán ser de tal naturaleza que no permitan la transmisión de sustancias indeseables al alimento, ni, una vez terminada la construcción, emitan vapores tóxicos.

4.3.2 Deberá disponerse de espacio suficiente para realizar de manera satisfactoria todas las operaciones.

4.3.3 El diseño deberá ser tal que permita una limpieza fácil y adecuada y facilite la debida supervisión de la higiene de los alimentos.

4.3.4 Los edificios y las instalaciones deberán proyectarse de tal manera que se impida la entrada o anidamiento de plagas y la entrada de contaminantes ambientales, como humo, polvo, etc.

4.3.5 Los edificios y las instalaciones deberán proyectarse de manera que sea posible separar, mediante compartimientos, lugares reservados u otros medios eficaces, las operaciones susceptibles de contaminar los productos.

4.3.6 Los edificios y las instalaciones deberán proyectarse de tal manera que faciliten la higiene de las operaciones, mediante un flujo regulado del proceso de elaboración desde la llegada de la materia prima a los locales hasta la obtención del producto terminado, y proporcionen las condiciones de temperatura adecuadas para el proceso y el producto.

4.3.7 Zonas de manipulación de las especias

4.3.7.1 **Suelos:** Cuando proceda, los suelos se construirán con materiales impermeables, inabsorbentes, lavables, antideslizantes y atóxicos; no tendrán grietas, y serán fáciles de limpiar y desinfectar. Según el caso, se les dará una pendiente suficiente para que los líquidos escurran hacia las bocas de los desagües.

4.3.7.2 **Paredes:** Cuando proceda, las paredes se construirán con materiales impermeables, inabsorbentes y lavables, estarán selladas y exentas de insectos, y serán de color claro. Hasta una altura apropiada para las operaciones, deberán ser lisas y sin grietas y fáciles de limpiar y desinfectar. Según el caso, los ángulos entre las paredes, entre ellas y el suelo y entre ellas y el techo deberán ser estancos y cóncavos para facilitar la limpieza.

4.3.7.3 **Techos:** Deberán proyectarse, construirse y acabarse de manera que se impida la acumulación de suciedad y se reduzca al mínimo la condensación, la formación de mohos y el desconchado; deberán ser fáciles de limpiar.

4.3.7.4 **Ventanas y otras aberturas:** Deberán construirse de manera que se evite la acumulación de

Deberá disponerse de instalaciones para el almacenamiento de los desechos y materias no comestibles antes de su remoción del establecimiento. Las instalaciones deberán proyectarse de manera que se impida el acceso de plagas a los desechos o materias no comestibles y se evite la contaminación de los alimentos, del agua potable, del equipo y de los edificios o vías de acceso a los locales.

4.4 **Equipo y utensilios**

4.4.1 **Materiales**

Todo el equipo y los utensilios empleados en las zonas de manipulación de los alimentos y que puedan entrar en contacto con éstos deberán ser de material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores, inabsorbente y resistente a la corrosión y capaz de resistir repetidas operaciones de limpieza y desinfección. Las superficies habrán de ser lisas y estar exentas de hoyos y grietas. Deberá evitarse el uso de madera y otros materiales que no puedan limpiarse y desinfectarse adecuadamente, a menos que se tenga la certeza de que su empleo no será una fuente de contaminación. Deberá evitarse todo empleo de metales diferentes que pueda producir corrosión galvánica.

4.4.2 **Diseño, construcción e instalación higiénicos**

4.4.2.1 Todo el equipo y los utensilios deberán estar diseñados y contruidos de modo que se eviten los riesgos contra la higiene y permitir una limpieza y desinfección fáciles y completas y, cuando sea factible, deberán ser visibles para facilitar la inspección. El equipo fijo deberá instalarse de modo que pueda accederse al mismo con facilidad y pueda limpiarse a fondo.

4.4.2.2 Los recipientes para los materiales no comestibles o los desechos deberán impedir toda fuga de desechos y estar contruidos de metal u otros materiales impermeables adecuados, fáciles de limpiar o de eliminar y que puedan cerrarse firmemente.

4.4.2.3 Todos los espacios refrigerados deberán disponer de instrumentos para medir o registrar la temperatura.

4.4.3 **Identificación del equipo**

El equipo y los utensilios que se utilicen para los materiales no comestibles o los desechos deberán estar marcados y no se emplearán para productos comestibles.

Sección V - ESTABLECIMIENTO: REQUISITOS DE HIGIENE

5.1 **Mantenimiento**

Los edificios, equipo, utensilios y todas las demás instalaciones del establecimiento, incluidos los desagües, deberán mantenerse en perfecto estado y en forma ordenada. En la medida de lo posible, las salas deberán estar exentas de vapor, humos y aguas residuales.

5.2 **Limpieza y desinfección**

5.2.1 La limpieza y desinfección deberán ajustarse a los requisitos de este Código. [Para más información sobre procedimientos de limpieza y desinfección, véase el Apéndice I del *Código Internacional Recomendado de Prácticas, Principios Generales de Higiene de los Alimentos* (Ref. N° CAC/RCP 1-1969, Rev. 2 - 1985).

5.2.2 Para impedir la contaminación de las especias, todo el equipo y los utensilios deberán limpiarse con la frecuencia necesaria y desinfectarse siempre que las circunstancias lo exijan.

Deberá impedirse la entrada en los establecimientos a cualesquiera animales sueltos o que puedan representar un peligro para la salud.

5.7 Lucha contra las plagas

5.7.1 Deberá aplicarse un programa eficaz y continuo de lucha contra las plagas. Los establecimientos y las zonas circundantes deberán inspeccionarse periódicamente para cerciorarse de que no exista infestación alguna.

5.7.2 En caso de que alguna plaga invada los establecimientos, deberán adoptarse medidas de erradicación. Las medidas de lucha que comprendan el tratamiento con agentes químicos, físicos o biológicos sólo deberán ser aplicadas por personal que conozca a fondo los riesgos que pueden entrañar para la salud los residuos retenidos en el producto, o bajo su directa supervisión. Tales medidas se aplicarán exclusivamente de conformidad con las recomendaciones del organismo oficial competente.

5.7.3 Se emplearán plaguicidas sólo cuando no puedan aplicarse con eficacia otras medidas de salvaguardia. Antes de aplicar plaguicidas se deberá tener cuidado de proteger todas las especies, el equipo y los utensilios contra la contaminación. Después de la aplicación, deberán limpiarse a fondo el equipo y los utensilios contaminados antes de que vuelvan a utilizarse.

5.8 Almacenamiento de sustancias peligrosas

5.8.1 Los plaguicidas y otras sustancias que puedan representar un riesgo para la salud deberán etiquetarse adecuadamente con un rótulo en que se informe sobre su toxicidad y empleo. Estos productos deberán almacenarse en salas o armarios cerrados con llave, destinados exclusivamente a ese efecto, y habrán de ser distribuidos o manipulados sólo por personal autorizado y debidamente adiestrado, o bajo la estricta supervisión de personal competente. Se pondrá el mayor cuidado en evitar la contaminación de los alimentos.

5.8.2 En las zonas destinadas a la manipulación de las especias no deberá utilizarse o almacenarse sustancia alguna que pueda contaminar los alimentos, salvo en casos de necesidad, cuando lo requieran la higiene o la elaboración.

5.9 Ropa y efectos personales

En las zonas de manipulación de especias no deberán dejarse ropa ni efectos personales.

Sección VI - HIGIENE DEL PERSONAL Y REQUISITOS SANITARIOS

6.1 Enseñanza de la higiene

Los directores de los establecimientos deberán adoptar disposiciones para que los trabajadores reciban una instrucción adecuada y continua en materia de manipulación higiénica de las especias y de higiene personal, a fin de que sepan adoptar las precauciones necesarias para evitar la contaminación de los alimentos. Tal instrucción deberá comprender las partes pertinentes del presente Código.

6.2 Examen médico

Las personas que han de entrar en contacto con los alimentos en el curso de su trabajo deberán ser sometidas a reconocimiento médico antes de que se les asigne tal empleo, si el organismo oficial competente, siguiendo el asesoramiento médico, lo considera necesario por razones epidemiológicas, por la naturaleza del alimento preparado en un determinado establecimiento, o por los antecedentes médicos de la persona que haya de manipular alimentos. El reconocimiento médico de los manipuladores de alimentos deberá efectuarse también en otras ocasiones en que esté indicado por razones clínicas o epidemiológicas.

Código.

6.10 Supervisión

La responsabilidad del cumplimiento, por parte de todo el personal, de los requisitos señalados en las subsecciones 6.1 - 6.9 deberá asignarse específicamente al personal supervisor competente.

Sección VII - ESTABLECIMIENTO: REQUISITOS DE HIGIENE EN LA ELABORACION

7.1 Requisitos aplicables a la materia prima

7.1.1 Criterios de aceptación

El establecimiento no deberá aceptar especias de las que se sepa que contienen parásitos, microorganismos, o sustancias descompuestas, tóxicas o extrañas que no puedan ser reducidas a niveles aceptables por los procedimientos normales, la clasificación o la preparación. Se tomarán precauciones especiales para evitar la contaminación.

Deberán rechazarse para el consumo humano las plantas, partes de plantas y especias de las que se sospeche que están contaminadas con materias fecales animales o humanas. Se tomarán precauciones especiales para rechazar las especias que muestren signos de haber sido dañadas por insectos o que tengan mohos, debido al peligro de que contengan micotoxinas tales como las aflatoxinas.

7.1.2 Inspección y clasificación

Las materias primas deberán inspeccionarse y clasificarse antes de proceder a su elaboración, y, cuando sea necesario, habrá que someterlas a exámenes de laboratorio. Esta inspección puede incluir:

- Inspección visual de materias extrañas
- Evaluación organoléptica: olor, aspecto y, de ser posible, sabor
- Análisis de contaminación con microbios o micotoxinas: vigilancia sistemática de materiales sensibles, vigilancia periódica de materiales menos sensibles.

Estos análisis deberán hacer referencia ya sea a reglamentos nacionales, a normas o recomendaciones internacionales, o a métodos consolidados utilizados en la industria.

7.1.3 Tratamiento

Para combatir la contaminación microbiológica o la infestación de plagas pueden emplearse métodos apropiados de tratamiento, de conformidad con el reglamento adoptado por el organismo oficial competente. Cuando las especias se hayan sometido a tratamiento, el tipo de tratamiento deberá especificarse claramente en un certificado de acompañamiento. Cuando se aplique la irradiación, deberá consultarse el Código de buenas prácticas de irradiación para el control de agentes patógenos u otra microflora en las especias, hierbas aromáticas y otros condimentos vegetales².

² Code of Good Irradiation Practice for the Control of Pathogens and Other Microflora in Spices, Herbs and Other Vegetable Seasonings (Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiación de los Alimentos (ICGFI), Documento N° 5).

**CODIGO DE PRACTICAS DE HIGIENE PARA
ESPECIAS Y PLANTAS AROMATICAS DESECADAS**

CAC/RCP 42-1995¹

INDICE

	Página
Sección I - Ambito de aplicación.....	2
Sección II - Definiciones	2
Sección III - Requisitos de higiene en la zona de producción y recolección	2
Sección IV - Establecimiento: Proyecto e instalaciones	4
Sección V - Establecimiento: Requisitos de higiene	7
Sección VI - Higiene del personal y requisitos sanitarios	9
Sección VII - Establecimiento: Requisitos de higiene en la elaboración	11
Sección VIII - Especificaciones de los productos terminados.....	14

¹ La Comisión del Codex Alimentarius, en su 21º período de sesiones, julio de 1995, adoptó el Código de Prácticas de Higiene para Especies y Plantas Aromáticas Deseccadas. El Código de Prácticas se ha enviado a todos los Estados Miembros y Miembros Asociados de la FAO y de la OMS como texto orientativo y corresponde a cada uno de los gobiernos decidir qué uso desea hacer de él. La Comisión ha manifestado la opinión de que los códigos de prácticas podrían resultar útiles como listas de verificación de los requisitos por las autoridades nacionales competentes encargadas de vigilar la observancia de las disposiciones de las normas alimentarias.

**CODIGO DE PRACTICAS DE HIGIENE PARA
ESPECIAS Y PLANTAS AROMATICAS DESECADAS****Sección I - AMBITO DE APLICACION**

El presente Código de Prácticas de Higiene se aplica a las especias y las plantas aromáticas desecadas enteras, quebradas o molidas, o a las mezclas a base de especias. Regula los requisitos mínimos de higiene durante la cosecha, las técnicas aplicadas con posterioridad a la cosecha (curado, blanqueado, secado, lavado, clasificación, envasado, transporte y almacenamiento, incluida la desinfestación de microbios e insectos), el establecimiento de elaboración, las técnicas de elaboración (molienda, mezclado, congelación, liofilización, etc.), y el envasado y almacenamiento de los productos elaborados.

Sección II - DEFINICIONES**2.1 Especias y plantas aromáticas desecadas**

El término especias, que incluye las plantas aromáticas desecadas, se refiere a los componentes naturales desecados, o a las mezclas de los mismos, utilizados para sazonar, condimentar y dar aroma o sabor a los alimentos. Este término se aplica por igual a las especias enteras, quebradas o molidas.

2.2 Mezclas y productos a base de especias**2.2.1 Mezclas a base de especias**

Las mezclas a base de especias se obtienen después de haber mezclado y molido una selección de especias limpias, desecadas y en buen estado.

Sección III - REQUISITOS DE HIGIENE EN LA ZONA DE PRODUCCION Y RECOLECCION**3.1 Higiene del medio en las zonas donde se produce la materia prima****3.1.1 Zonas no apropiadas para el cultivo y la recolección**

No deberán cultivarse o recolectarse especias en lugares donde la presencia de sustancias potencialmente nocivas pueda dar lugar a un nivel inaceptable de dichas sustancias en el producto final.

3.1.2 Protección contra la contaminación por desechos

3.1.2.1 Las materias primas de las especias deberán protegerse contra la contaminación por desechos de origen humano, animal, doméstico, industrial y agrícola en niveles que puedan constituir un probable peligro para la salud. Deberán tomarse las debidas precauciones para que esos desechos no se utilicen ni evacuen de manera que puedan constituir, a través de los alimentos, un riesgo para la salud.

3.1.2.2 Para la evacuación de los desechos domésticos e industriales en las zonas de donde provengan las materias primas deberán aplicarse disposiciones que sean aceptables para el organismo oficial competente.

3.1.3 Control de los riegos

No deberán cultivarse ni producirse especias en lugares donde el agua que se utiliza para el riego pueda constituir, a través de ellas, un peligro para la salud del consumidor.

3.1.4 Control de plagas y enfermedades

Las medidas de control que entrañen un tratamiento con agentes químicos, físicos o biológicos deberán ser aplicadas solamente bajo la directa supervisión de personal que conozca perfectamente los posibles peligros que pueden representar para la salud. Dichas medidas se aplicarán exclusivamente de conformidad con las recomendaciones de la Comisión del Codex Alimentarius o, de no haber ninguna, con las del organismo oficial competente.

3.2 Desecación (curado)

Las plantas o partes de las plantas que se utilicen para la preparación de especias podrán desecarse natural o artificialmente, con tal de que se tomen medidas adecuadas para evitar que la materia prima pueda contaminarse o alterarse durante la elaboración. A fin de evitar el desarrollo de microorganismos, sobre todo del moho que produce micotoxinas, deberá alcanzarse un nivel de humedad inocuo.

En el caso de la desecación natural, las plantas o partes de las plantas en cuestión no deberán estar en contacto directo con la tierra. Habrán de colocarse en plataformas elevadas o bien en un suelo hecho de material idóneo.

Los suelos de hormigón reciente podrán utilizarse para la desecación sólo cuando exista la absoluta certeza de que el hormigón esté bien cuajado y exento de agua sobrante. Es más seguro colocar una cubierta de plástico aprobado que abarque todo el suelo de hormigón fresco como protección contra la humedad antes de usarlo para las especias.

Deberá evitarse el recalentamiento y la desecación excesivos del material para que éste mantenga sus propiedades aromáticas. Deberán tomarse las debidas precauciones para proteger las especias de la contaminación por animales domésticos, roedores, aves, ácaros y otros artrópodos o por sustancias objetables durante la desecación, la manipulación y el almacenamiento.

3.3 Limpiado

Las especias y condimentos deberán limpiarse de manera apropiada hasta que alcancen los niveles prescritos en las normas nacionales e internacionales.

3.4 Envasado

El envasado deberá proteger a las especias limpias y desecadas de la contaminación y de la entrada de agua o del exceso de humedad. En particular, habrá que evitar la reabsorción de humedad ambiental en los climas tropicales húmedos. La contaminación por los aceites minerales utilizados en la fabricación de los sacos de fibra natural deberá evitarse mediante el uso de forros, cuando sea necesario. Los envases reutilizables habrán de limpiarse y desinfectarse adecuadamente antes de volverse a usar.

3.5 Transporte

Los medios utilizados para transportar las especias cosechadas, limpiadas, desecadas y envasadas desde el lugar de producción al de almacenamiento para la elaboración deberán limpiarse y desinfectarse antes de la carga. Además, los medios de transporte a granel, como buques o vagones de ferrocarril, deben estar limpios y, según el caso, bien ventilados con aire seco para eliminar la humedad resultante de la respiración de las especias y evitar la condensación de la humedad cuando el vehículo pasa de una región cálida a otra más fría, o del día a la noche.

Sección IV - ESTABLECIMIENTO: PROYECTO E INSTALACIONES**4.1 Emplazamiento**

Los establecimientos deberán estar situados preferiblemente en zonas exentas de olores objetables, humo, polvo u otros contaminantes, y no expuestas a inundaciones.

4.2 Vías de acceso y zonas usadas para el tráfico rodado

Las vías de acceso y zonas utilizadas por el establecimiento que se encuentren dentro del recinto de éste o en sus inmediaciones deberán tener una superficie dura y pavimentada, apta para el tráfico rodado. Deberá disponerse de un desagüe adecuado, así como de medios de limpieza.

4.3 Edificios e instalaciones

4.3.1 Los edificios e instalaciones deberán ser de construcción sólida y habrán de mantenerse en buen estado. Los materiales de construcción utilizados deberán ser de tal naturaleza que no permitan la transmisión de sustancias indeseables al alimento, ni, una vez terminada la construcción, emitan vapores tóxicos.

4.3.2 Deberá disponerse de espacio suficiente para realizar de manera satisfactoria todas las operaciones.

4.3.3 El diseño deberá ser tal que permita una limpieza fácil y adecuada y facilite la debida supervisión de la higiene de los alimentos.

4.3.4 Los edificios y las instalaciones deberán proyectarse de tal manera que se impida la entrada o anidamiento de plagas y la entrada de contaminantes ambientales, como humo, polvo, etc.

4.3.5 Los edificios y las instalaciones deberán proyectarse de manera que sea posible separar, mediante compartimientos, lugares reservados u otros medios eficaces, las operaciones susceptibles de contaminar los productos.

4.3.6 Los edificios y las instalaciones deberán proyectarse de tal manera que faciliten la higiene de las operaciones, mediante un flujo regulado del proceso de elaboración desde la llegada de la materia prima a los locales hasta la obtención del producto terminado, y proporcionen las condiciones de temperatura adecuadas para el proceso y el producto.

4.3.7 Zonas de manipulación de las especias

4.3.7.1 **Suelos:** Cuando proceda, los suelos se construirán con materiales impermeables, inabsorbentes, lavables, antideslizantes y atóxicos; no tendrán grietas, y serán fáciles de limpiar y desinfectar. Según el caso, se les dará una pendiente suficiente para que los líquidos escurran hacia las bocas de los desagües.

4.3.7.2 **Paredes:** Cuando proceda, las paredes se construirán con materiales impermeables, inabsorbentes y lavables, estarán selladas y exentas de insectos, y serán de color claro. Hasta una altura apropiada para las operaciones, deberán ser lisas y sin grietas y fáciles de limpiar y desinfectar. Según el caso, los ángulos entre las paredes, entre ellas y el suelo y entre ellas y el techo deberán ser estancos y cóncavos para facilitar la limpieza.

4.3.7.3 **Techos:** Deberán proyectarse, construirse y acabarse de manera que se impida la acumulación de suciedad y se reduzca al mínimo la condensación, la formación de mohos y el desconchado; deberán ser fáciles de limpiar.

4.3.7.4 **Ventanas y otras aberturas:** Deberán construirse de manera que se evite la acumulación de

Deberá disponerse de instalaciones para el almacenamiento de los desechos y materias no comestibles antes de su remoción del establecimiento. Las instalaciones deberán proyectarse de manera que se impida el acceso de plagas a los desechos o materias no comestibles y se evite la contaminación de los alimentos, del agua potable, del equipo y de los edificios o vías de acceso a los locales.

4.4 **Equipo y utensilios**

4.4.1 **Materiales**

Todo el equipo y los utensilios empleados en las zonas de manipulación de los alimentos y que puedan entrar en contacto con éstos deberán ser de material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores, inabsorbente y resistente a la corrosión y capaz de resistir repetidas operaciones de limpieza y desinfección. Las superficies habrán de ser lisas y estar exentas de hoyos y grietas. Deberá evitarse el uso de madera y otros materiales que no puedan limpiarse y desinfectarse adecuadamente, a menos que se tenga la certeza de que su empleo no será una fuente de contaminación. Deberá evitarse todo empleo de metales diferentes que pueda producir corrosión galvánica.

4.4.2 **Diseño, construcción e instalación higiénicos**

4.4.2.1 Todo el equipo y los utensilios deberán estar diseñados y contruidos de modo que se eviten los riesgos contra la higiene y permitir una limpieza y desinfección fáciles y completas y, cuando sea factible, deberán ser visibles para facilitar la inspección. El equipo fijo deberá instalarse de modo que pueda accederse al mismo con facilidad y pueda limpiarse a fondo.

4.4.2.2 Los recipientes para los materiales no comestibles o los desechos deberán impedir toda fuga de desechos y estar contruidos de metal u otros materiales impermeables adecuados, fáciles de limpiar o de eliminar y que puedan cerrarse firmemente.

4.4.2.3 Todos los espacios refrigerados deberán disponer de instrumentos para medir o registrar la temperatura.

4.4.3 **Identificación del equipo**

El equipo y los utensilios que se utilicen para los materiales no comestibles o los desechos deberán estar marcados y no se emplearán para productos comestibles.

Sección V - ESTABLECIMIENTO: REQUISITOS DE HIGIENE

5.1 **Mantenimiento**

Los edificios, equipo, utensilios y todas las demás instalaciones del establecimiento, incluidos los desagües, deberán mantenerse en perfecto estado y en forma ordenada. En la medida de lo posible, las salas deberán estar exentas de vapor, humos y aguas residuales.

5.2 **Limpieza y desinfección**

5.2.1 La limpieza y desinfección deberán ajustarse a los requisitos de este Código. [Para más información sobre procedimientos de limpieza y desinfección, véase el Apéndice I del *Código Internacional Recomendado de Prácticas, Principios Generales de Higiene de los Alimentos* (Ref. N° CAC/RCP 1-1969, Rev. 2 - 1985).

5.2.2 Para impedir la contaminación de las especias, todo el equipo y los utensilios deberán limpiarse con la frecuencia necesaria y desinfectarse siempre que las circunstancias lo exijan.

Deberá impedirse la entrada en los establecimientos a cualesquiera animales sueltos o que puedan representar un peligro para la salud.

5.7 **Lucha contra las plagas**

5.7.1 Deberá aplicarse un programa eficaz y continuo de lucha contra las plagas. Los establecimientos y las zonas circundantes deberán inspeccionarse periódicamente para cerciorarse de que no exista infestación alguna.

5.7.2 En caso de que alguna plaga invada los establecimientos, deberán adoptarse medidas de erradicación. Las medidas de lucha que comprendan el tratamiento con agentes químicos, físicos o biológicos sólo deberán ser aplicadas por personal que conozca a fondo los riesgos que pueden entrañar para la salud los residuos retenidos en el producto, o bajo su directa supervisión. Tales medidas se aplicarán exclusivamente de conformidad con las recomendaciones del organismo oficial competente.

5.7.3 Se emplearán plaguicidas sólo cuando no puedan aplicarse con eficacia otras medidas de salvaguardia. Antes de aplicar plaguicidas se deberá tener cuidado de proteger todas las especias, el equipo y los utensilios contra la contaminación. Después de la aplicación, deberán limpiarse a fondo el equipo y los utensilios contaminados antes de que vuelvan a utilizarse.

5.8 **Almacenamiento de sustancias peligrosas**

5.8.1 Los plaguicidas y otras sustancias que puedan representar un riesgo para la salud deberán etiquetarse adecuadamente con un rótulo en que se informe sobre su toxicidad y empleo. Estos productos deberán almacenarse en salas o armarios cerrados con llave, destinados exclusivamente a ese efecto, y habrán de ser distribuidos o manipulados sólo por personal autorizado y debidamente adiestrado, o bajo la estricta supervisión de personal competente. Se pondrá el mayor cuidado en evitar la contaminación de los alimentos.

5.8.2 En las zonas destinadas a la manipulación de las especias no deberá utilizarse o almacenarse sustancia alguna que pueda contaminar los alimentos, salvo en casos de necesidad, cuando lo requieran la higiene o la elaboración.

5.9 **Ropa y efectos personales**

En las zonas de manipulación de especias no deberán dejarse ropa ni efectos personales.

Sección VI - HIGIENE DEL PERSONAL Y REQUISITOS SANITARIOS

6.1 **Enseñanza de la higiene**

Los directores de los establecimientos deberán adoptar disposiciones para que los trabajadores reciban una instrucción adecuada y continua en materia de manipulación higiénica de las especias y de higiene personal, a fin de que sepan adoptar las precauciones necesarias para evitar la contaminación de los alimentos. Tal instrucción deberá comprender las partes pertinentes del presente Código.

6.2 **Examen médico**

Las personas que han de entrar en contacto con los alimentos en el curso de su trabajo deberán ser sometidas a reconocimiento médico antes de que se les asigne tal empleo, si el organismo oficial competente, siguiendo el asesoramiento médico, lo considera necesario por razones epidemiológicas, por la naturaleza del alimento preparado en un determinado establecimiento, o por los antecedentes médicos de la persona que haya de manipular alimentos. El reconocimiento médico de los manipuladores de alimentos deberá efectuarse también en otras ocasiones en que esté indicado por razones clínicas o epidemiológicas.

Código.

6.10 Supervisión

La responsabilidad del cumplimiento, por parte de todo el personal, de los requisitos señalados en las subsecciones 6.1 - 6.9 deberá asignarse específicamente al personal supervisor competente.

Sección VII - ESTABLECIMIENTO: REQUISITOS DE HIGIENE EN LA ELABORACION

7.1 Requisitos aplicables a la materia prima

7.1.1 Criterios de aceptación

El establecimiento no deberá aceptar especias de las que se sepa que contienen parásitos, microorganismos, o sustancias descompuestas, tóxicas o extrañas que no puedan ser reducidas a niveles aceptables por los procedimientos normales, la clasificación o la preparación. Se tomarán precauciones especiales para evitar la contaminación.

Deberán rechazarse para el consumo humano las plantas, partes de plantas y especias de las que se sospeche que están contaminadas con materias fecales animales o humanas. Se tomarán precauciones especiales para rechazar las especias que muestren signos de haber sido dañadas por insectos o que tengan mohos, debido al peligro de que contengan micotoxinas tales como las aflatoxinas.

7.1.2 Inspección y clasificación

Las materias primas deberán inspeccionarse y clasificarse antes de proceder a su elaboración, y, cuando sea necesario, habrá que someterlas a exámenes de laboratorio. Esta inspección puede incluir:

- Inspección visual de materias extrañas
- Evaluación organoléptica: olor, aspecto y, de ser posible, sabor
- Análisis de contaminación con microbios o micotoxinas: vigilancia sistemática de materiales sensibles, vigilancia periódica de materiales menos sensibles.

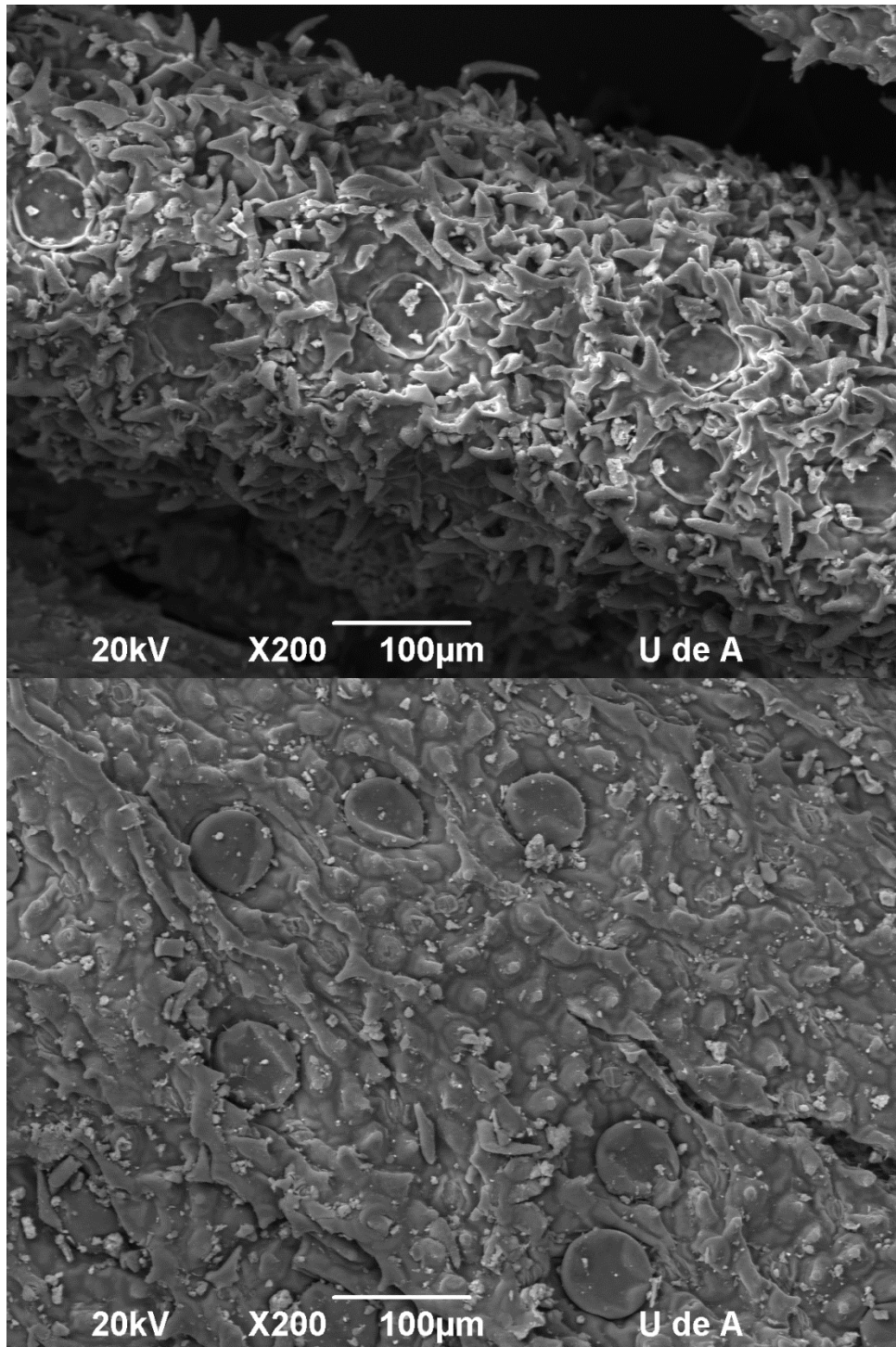
Estos análisis deberán hacer referencia ya sea a reglamentos nacionales, a normas o recomendaciones internacionales, o a métodos consolidados utilizados en la industria.

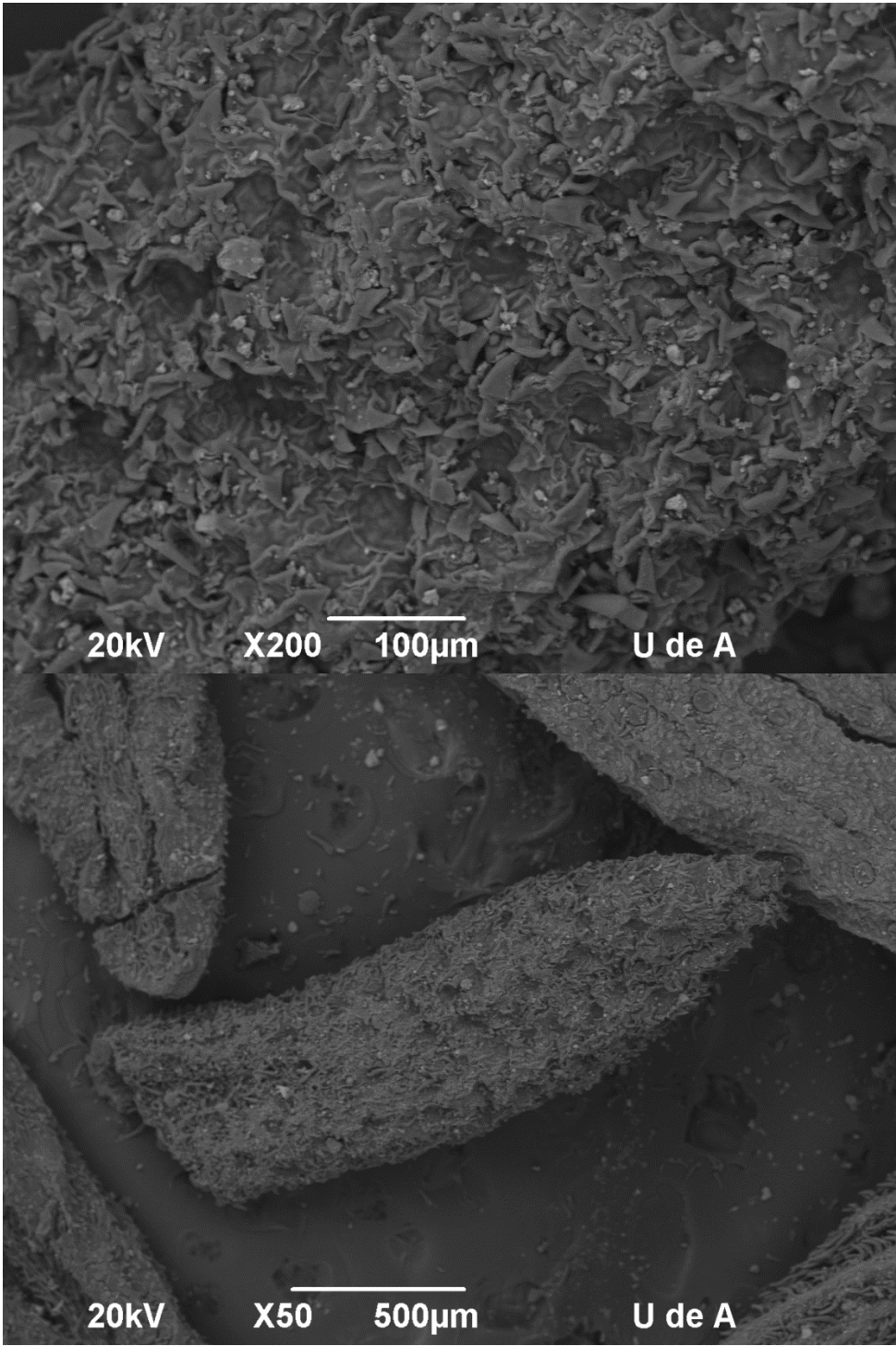
7.1.3 Tratamiento

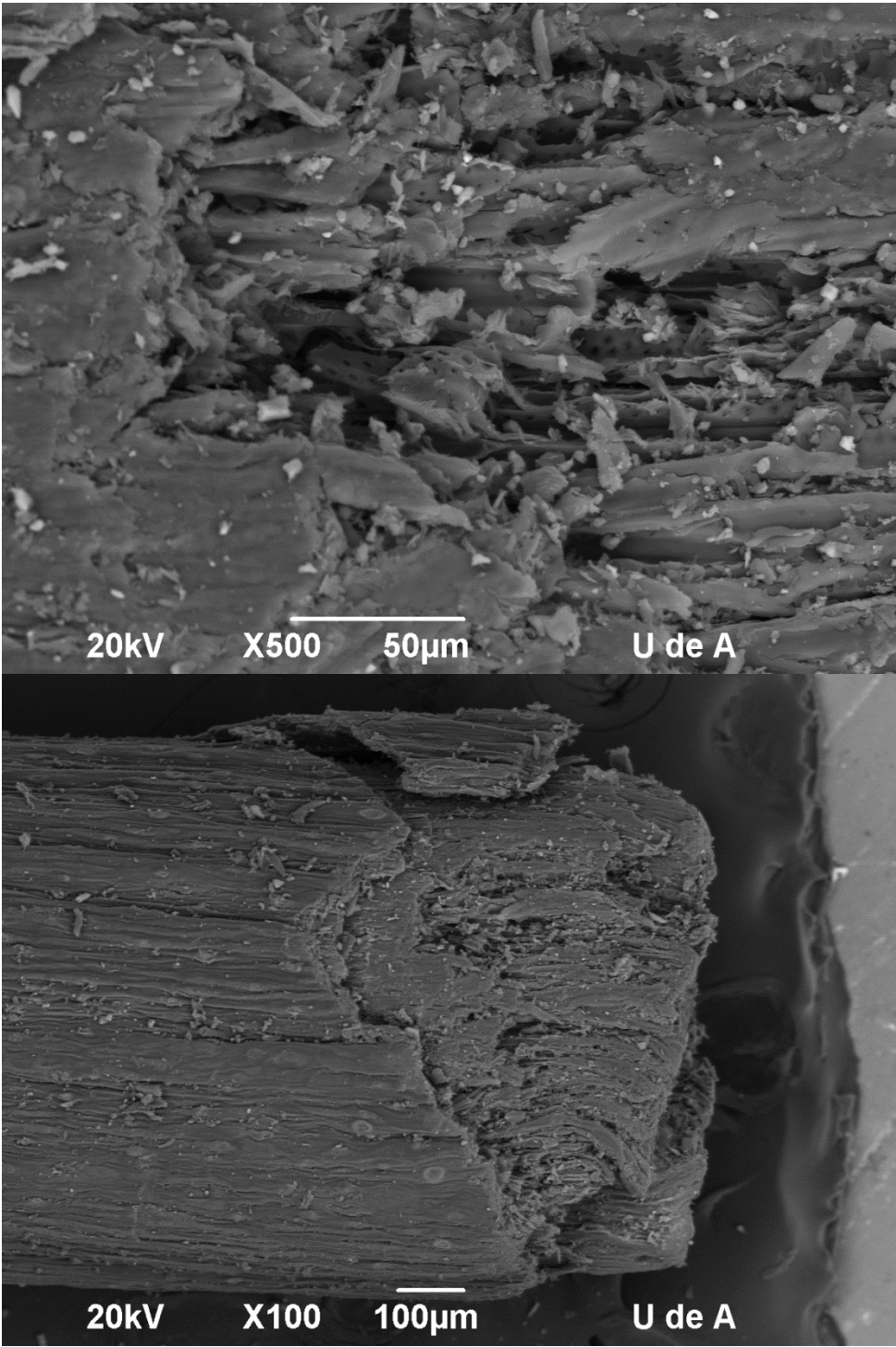
Para combatir la contaminación microbiológica o la infestación de plagas pueden emplearse métodos apropiados de tratamiento, de conformidad con el reglamento adoptado por el organismo oficial competente. Cuando las especias se hayan sometido a tratamiento, el tipo de tratamiento deberá especificarse claramente en un certificado de acompañamiento. Cuando se aplique la irradiación, deberá consultarse el Código de buenas prácticas de irradiación para el control de agentes patógenos u otra microflora en las especias, hierbas aromáticas y otros condimentos vegetales².

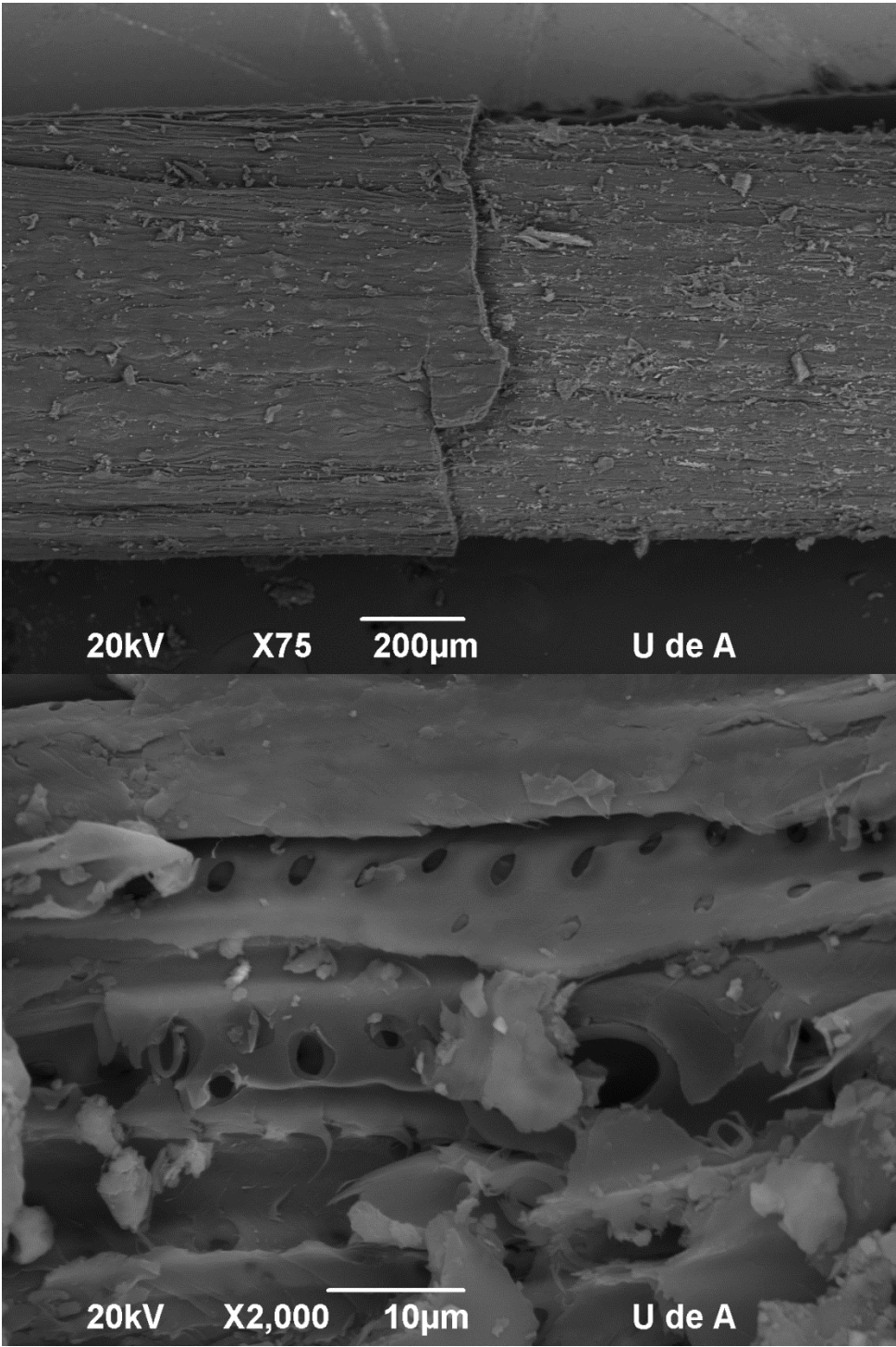
² Code of Good Irradiation Practice for the Control of Pathogens and Other Microflora in Spices, Herbs and Other Vegetable Seasonings (Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiación de los Alimentos (ICGFI), Documento N° 5).

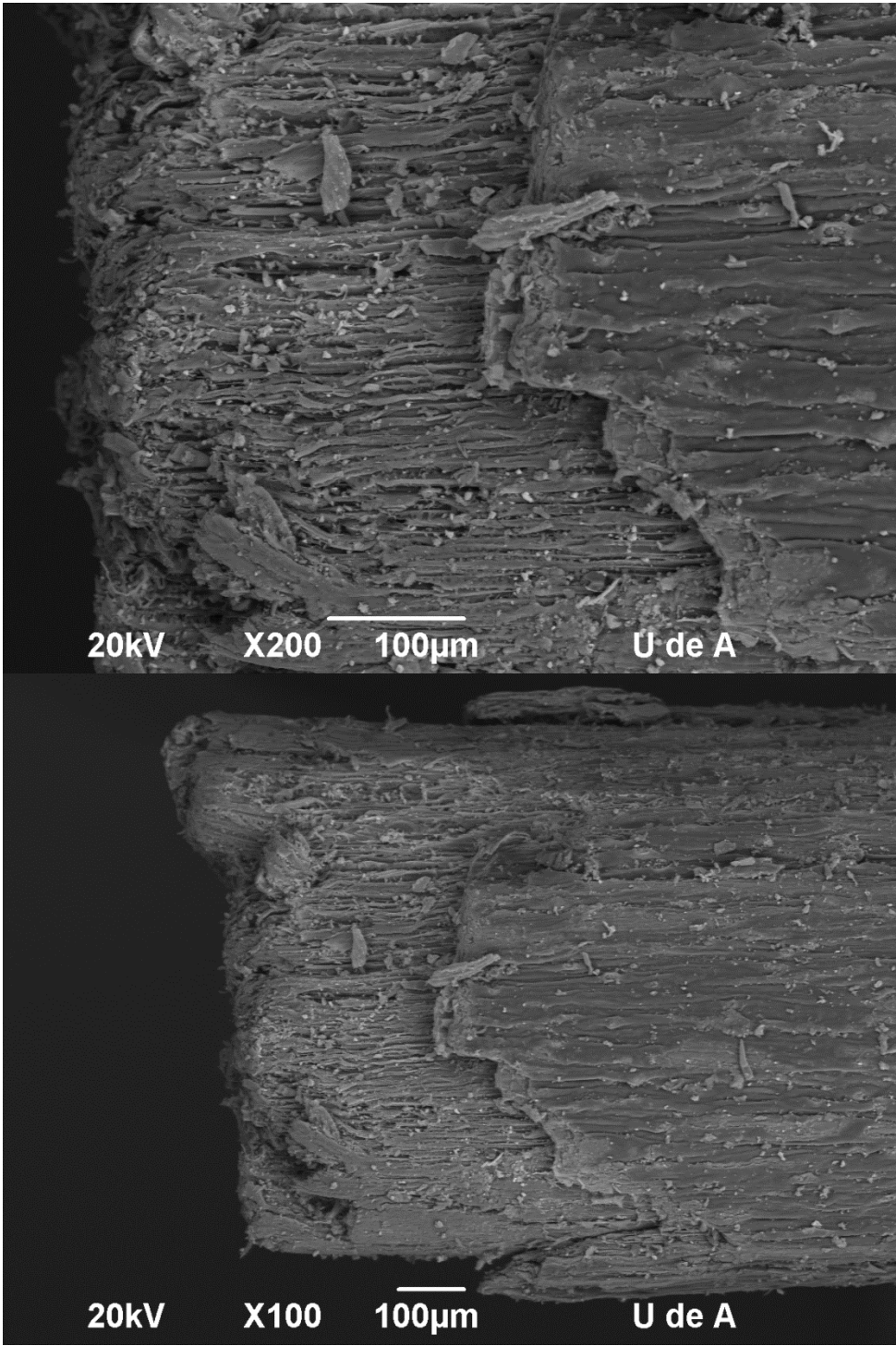
ANEXO C: Microscopia electrónica de barrido (SEM) para el Tomillo, hojas y tallo

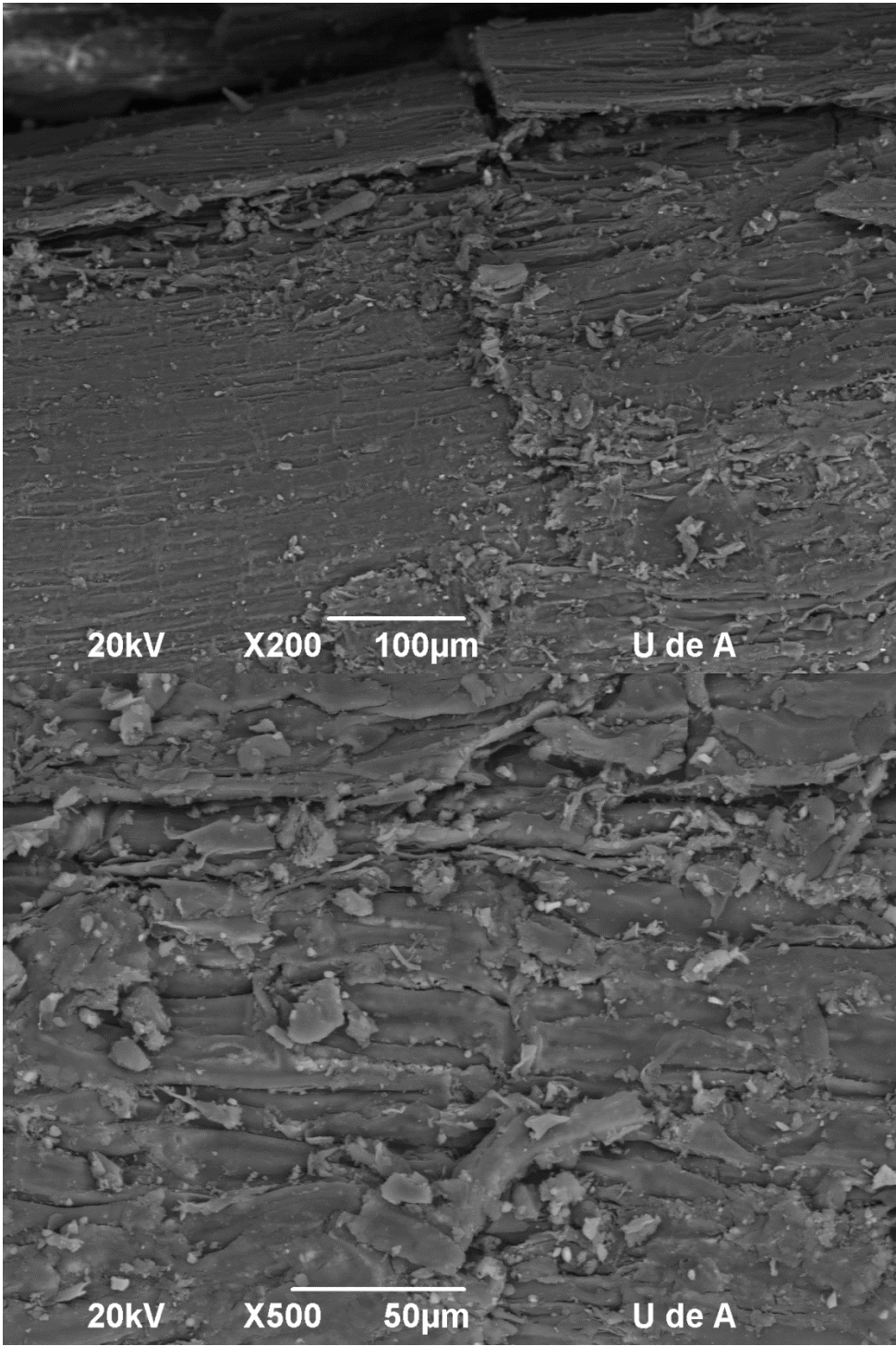


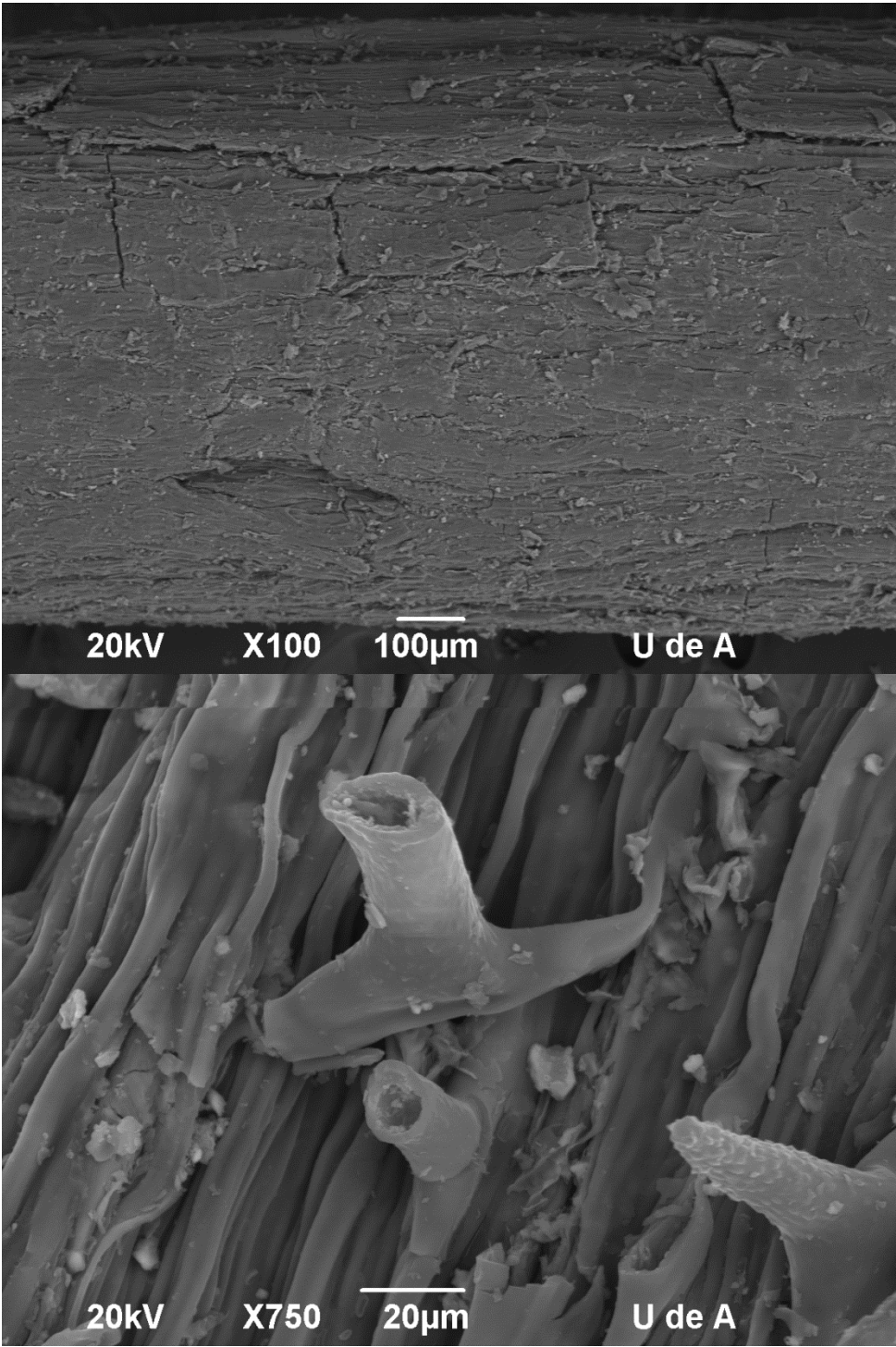


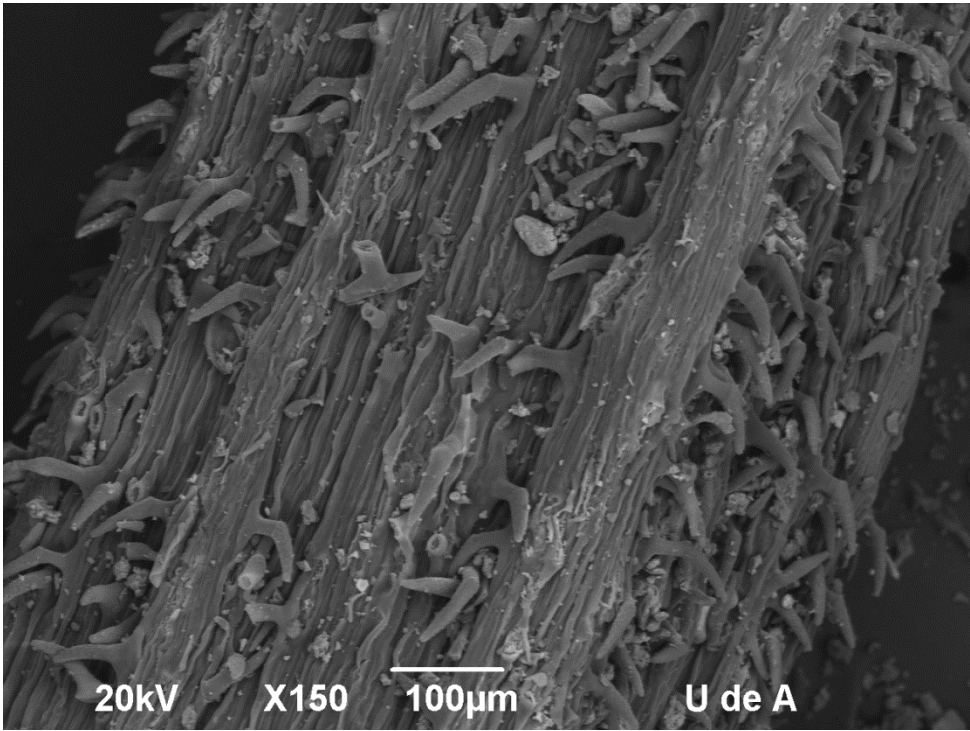












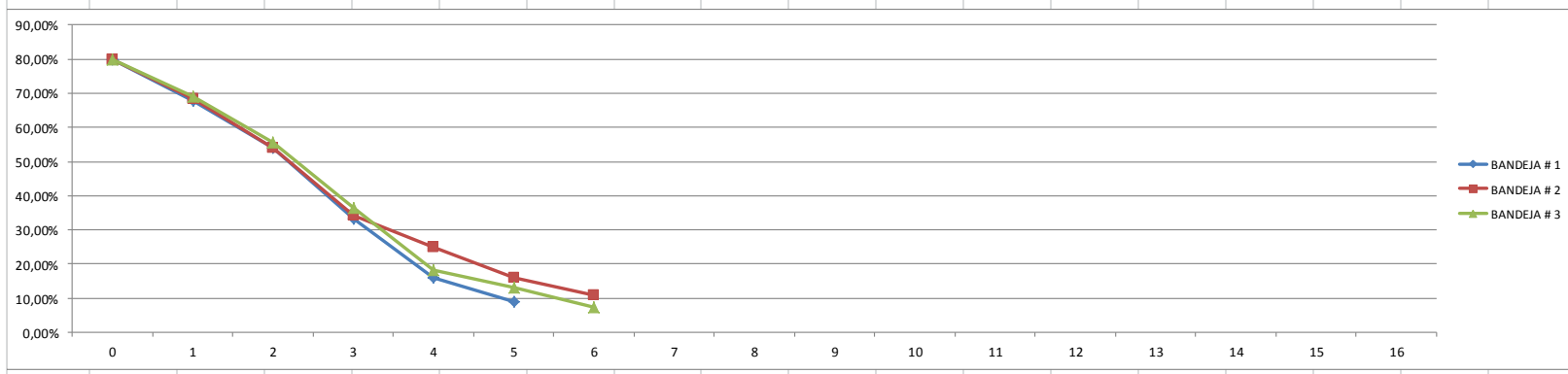
ANEXO D: Resumen de datos y tablas de secado obtenidas experimentalmente para las diferentes variables que intervienen en el secado del tomillo.

		PROMEDIOS BANDEJAS						
TEMPERATURA (K)	1000/T (K)	Tiempo (horas)	Ln (t)	Peso de la muestra [g]	Humedad [bh] (%)	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada
325,15	3,0755 03614	0	***	3055	80%	1068,333 333	854, 6666 67	0
		1	0	2620	66%	633,3333 333	419, 6666 67	435
		2	0,693147181	2395	48%	408,3333 333	194, 6666 67	225
		3	1,098612289	2271,666667	25%	285	71,3 3333 33	123,33 3333
		4	1,386294361	2245	17%	258,3333 333	44,6 6666 67	26,666 6667
		5	1,609437912	2233,333333	13%	246,6666 667	33	11,666 6667
		6	1,791759469	2226,666667	11%	240	26,3 3333 33	6,6666 6667
		7	1,945910149	2225	11%	240	26	5
		8	2,079441542	2225	11%	240	26	0
318,15	3,1431 7146	0	***	3055	0,8	1070	856	0
		1	0	2528,333333	0,580392157	510	296	560
		2	0,693147181	2453,333333	0,513636364	440	226	70
		3	1,098612289	2386,666667	0,429333333	375	161	65
		4	1,386294361	2345	0,36119403	335	121	40
		5	1,609437912	2300	0,274576271	295	81	40

		6	1,791759469	2276,666667	0,235714286	280	66	15
		7	1,945910149	2253,333333	0,126530612	245	31	35
		8	2,079441542	2243,333333	0,108333333	240	26	5
332,15	3,0106 87942	0	***	3055	0,8	1065	852	0
		1	0	2470	0,55625	480	267	585
		2	0,693147181	2265	0,225454545	275	62	205
		3	1,098612289	2240	0,148	250	37	25
		4	1,386294361	2235	0,130612245	245	32	5
		5	1,609437912	2235	0,130612245	245	32	0
		6	1,791759469	2235	0,130612245	245	32	0

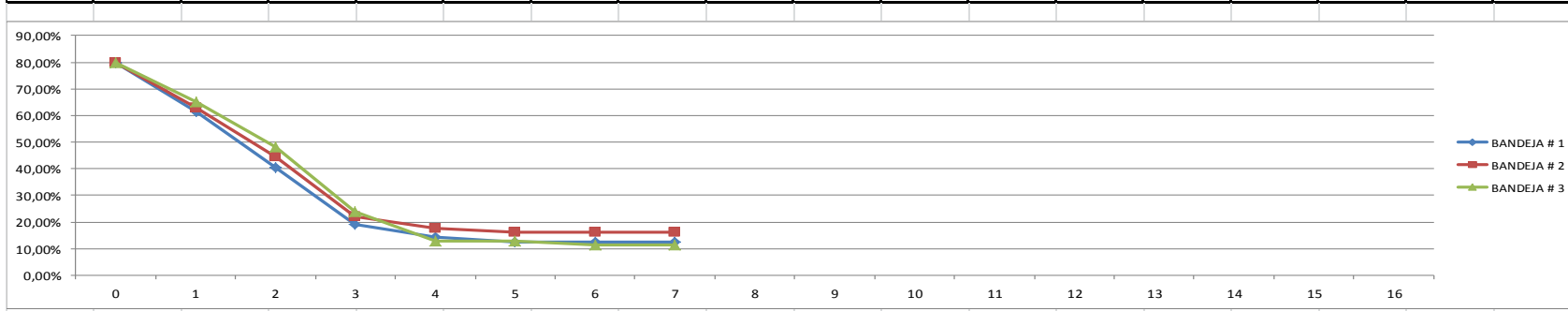
RPM DEL MOTOR	2300	Peso de la pipeta al terminar la prueba en Kg.	24,5																	
Temperatura de trabajo en °C	47	Preso del gas consumido	4																	

BANDEJA # 1						BANDEJA # 2						BANDEJA # 3								
Peso de la bandeja vasía	Ms [g]					Peso de la bandeja vasía	Ms [g]					Peso de la bandeja vasía	Ms [g]							
1985		214				1985		214				1990		213						
Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada			
0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1065	852	0			
1	2650	67,82%	665	451	405	1	2665	68,53%	680	466	390	1	2675	68,91%	685	472	380			
2	2450	53,98%	465	251	200	2	2450	53,98%	465	251	215	2	2470	55,63%	480	267	205			
3	2305	33,13%	320	106	145	3	2310	34,15%	325	111	140	3	2325	36,42%	335	122	145			
4	2240	16,08%	255	41	65	4	2270	24,91%	285	71	40	4	2250	18,08%	260	47	75			
5	2220	8,94%	235	21	20	5	2240	16,08%	255	41	30	5	2235	13,06%	245	32	15			
6						6	2225	10,83%	240	26	15	6	2220	7,39%	230	17	15			
7						7						7								
8						8						8								
9						9						9								
10						10						10								
11						11						11								
12						12						12								
13						13						13								
14						14						14								
15						15						15								
16						16						16								



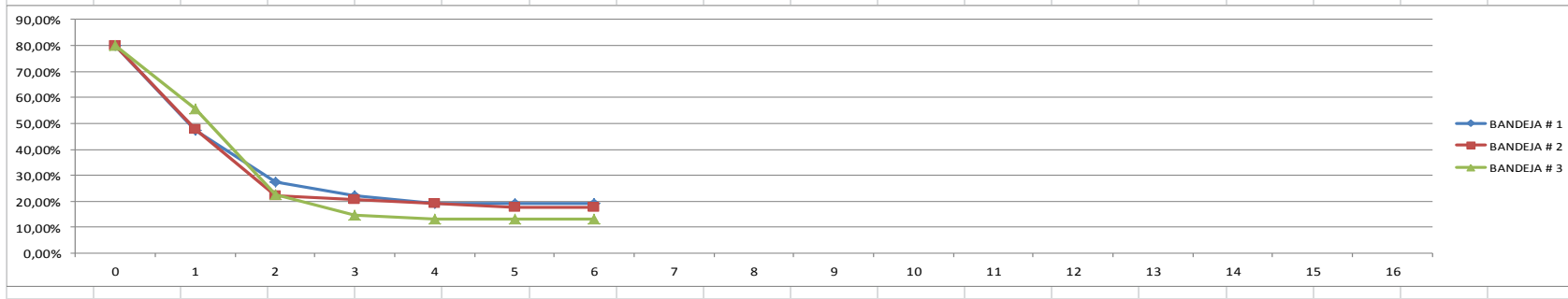
Fecha del realizacion de la prueba.	30/03/2013	Peso de la pipeta al iniciar la prueba en Kg.	21,5	34,5																
RPM DEL MOTOR	1817	Peso de la pipeta al terminar la prueba en Kg.	20,25	31,5																
Temperatura de trabajo en °C	52	Preso del gas consumido	1,25	3	4,25															

BANDEJA # 1						BANDEJA # 2						BANDEJA # 3							
Peso de la bandeja vacia	Ms [g]					Peso de la bandeja vacia	Ms [g]					Peso de la bandeja vacia	Ms [g]						
1985		214				1985		214				1990		213					
Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada		
0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1065	852	0		
1	2540	61,44%	555	341	515	1	2560	62,78%	575	361	495	1	2600	65,08%	610	397	455		
2	2345	40,56%	360	146	195	2	2370	44,42%	385	171	190	2	2400	48,05%	410	197	200		
3	2250	19,25%	265	51	95	3	2260	22,18%	275	61	110	3	2270	23,93%	280	67	130		
4	2235	14,40%	250	36	15	4	2245	17,69%	260	46	15	4	2235	13,06%	245	32	35		
5	2230	12,65%	245	31	5	5	2240	16,08%	255	41	5	5	2235	13,06%	245	32	0		
6	2230	12,65%	245	31	0	6	2240	16,08%	255	41	0	6	2230	11,25%	240	27	5		
7	2230	12,65%	245	31	0	7	2240	16,08%	255	41	0	7	2230	11,25%	240	27	0		
8						8						8							
9						9						9							
10						10						10							
11						11						11							
12						12						12							
13						13						13							
14						14						14							
15						15						15							
16						16						16							



Fecha del realizacion de la prueba.	31/03/2013	Peso de la pipeta al iniciar la prueba en Kg.	31,5																	
RPM DEL MOTOR	2100	Peso de la pipeta al terminar la prueba en Kg.	28,5																	
Temperatura de trabajo en °C	59	Preso del gas consumido	3																	

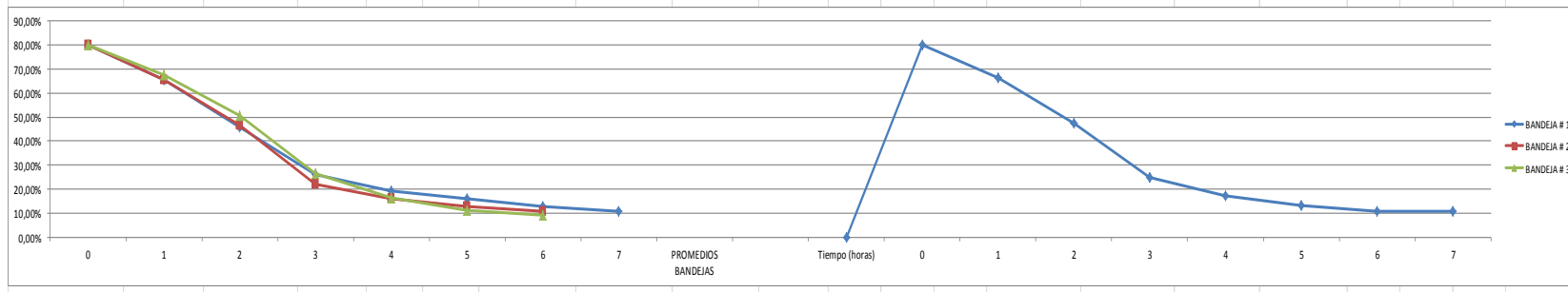
Peso de la bandeja vasia	BANDEJA # 1					Peso de la bandeja vasia	BANDEJA # 2					Peso de la bandeja vasia	BANDEJA # 3				
	1985	Ms [g]	214				1985	Ms [g]	214				1990	Ms [g]	213		
Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada
0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1065	852	0
1	2390	47,16%	405	191	665	1	2395	47,80%	410	196	660	1	2470	55,63%	480	267	585
2	2280	27,46%	295	81	110	2	2260	22,18%	275	61	135	2	2265	22,55%	275	62	205
3	2260	22,18%	275	61	20	3	2255	20,74%	270	56	5	3	2240	14,80%	250	37	25
4	2250	19,25%	265	51	10	4	2250	19,25%	265	51	5	4	2235	13,06%	245	32	5
5	2250	19,25%	265	51	0	5	2245	17,69%	260	46	5	5	2235	13,06%	245	32	0
6	2250	19,25%	265	51	0	6	2245	17,69%	260	46	0	6	2235	13,06%	245	32	0
7						7						7					32
8						8						8					0
9						9						9					0
10						10						10					0
11						11						11					0
12						12						12					
13						13						13					
14						14						14					
15						15						15					
16						16					0	16					



Fecha de realización de la prueba.	03/04/2013	Peso de la pipeta al iniciar la prueba en Kg.	24,5
RPM DEL MOTOR	2100	Peso de la pipeta al terminar la prueba en Kg.	20,25
Temperatura de trabajo en °C	52	Peso del gas consumido	4,25

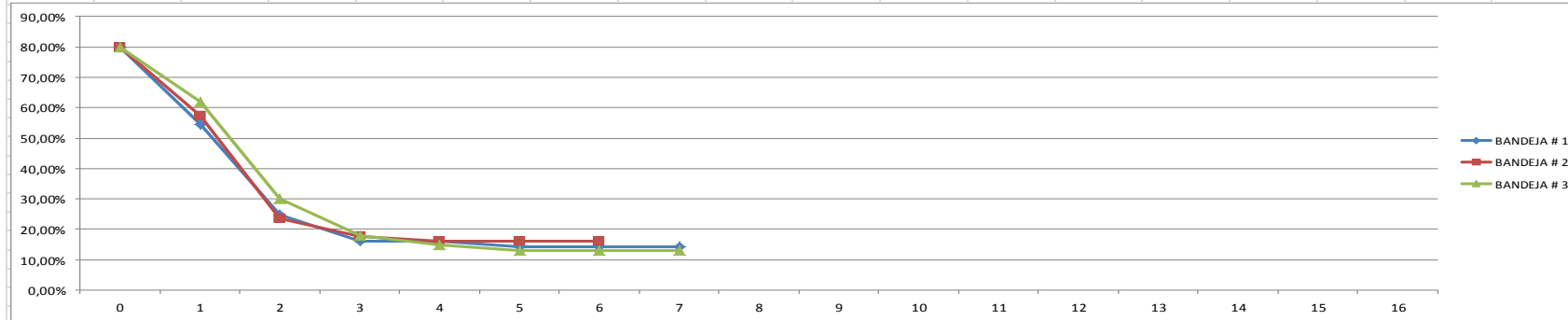
BANDEJA # 1							BANDEJA # 2						BANDEJA # 3								
Peso de la bandeja vacía		1985	Ms [g]	214			Peso de la bandeja vacía	1985	Ms [g]	214				Peso de la bandeja vacía	1990	Ms [g]	213				
Tiempo (horas)	Ln (t)	Peso de la muestra [g]	Humedad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Humedad (g agua/g ms)	Hora	Peso de la muestra [g]	Humedad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Humedad (g agua/g ms)	Hora	Peso de la muestra [g]	Humedad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Humedad (g agua/g ms)
0		3055	80,00%	1070	856	0		0	3055	80,00%	1070	856	0		0	3055	80,00%	1065	852	0	
1		2605	65,48%	620	406	450		1	2610	65,76%	625	411	445		1	2645	67,48%	655	442	410	
2		2380	45,82%	395	181	225		2	2385	46,50%	400	186	225		2	2420	50,47%	430	217	225	
3		2275	26,21%	290	76	105		3	2260	22,18%	275	61	125		3	2280	26,55%	290	77	140	
4		2250	19,25%	265	51	25		4	2240	16,08%	255	41	20		4	2245	16,47%	255	42	35	
5		2240	16,08%	255	41	10		5	2230	12,65%	245	31	10		5	2230	11,25%	240	27	15	
6		2230	12,65%	245	31	10		6	2225	10,83%	240	26	5		6	2225	9,36%	235	22	5	
7		2225	10,83%	240	26	5		7					26		7						

PROMEDIOS BANDEJAS						
Tiempo (horas)	Ln (t)	Peso de la muestra [g]	Humedad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada
0	***	3055	80,00%	1068,33333	854,666667	0
1	0	2620	66,24%	633,333333	419,666667	435
2	0,693147181	2395	47,60%	408,333333	194,666667	225
3	1,098612289	2271,666667	24,98%	285	71,3333333	123,3333333
4	1,386294361	2245	17,26%	258,333333	44,6666667	26,6666667
5	1,609437912	2233,333333	13,33%	246,666667	33	11,6666667
6	1,791759469	2226,666667	10,95%	240	26,3333333	6,66666667
7	1,945910149	2225	10,83%	240	26	5



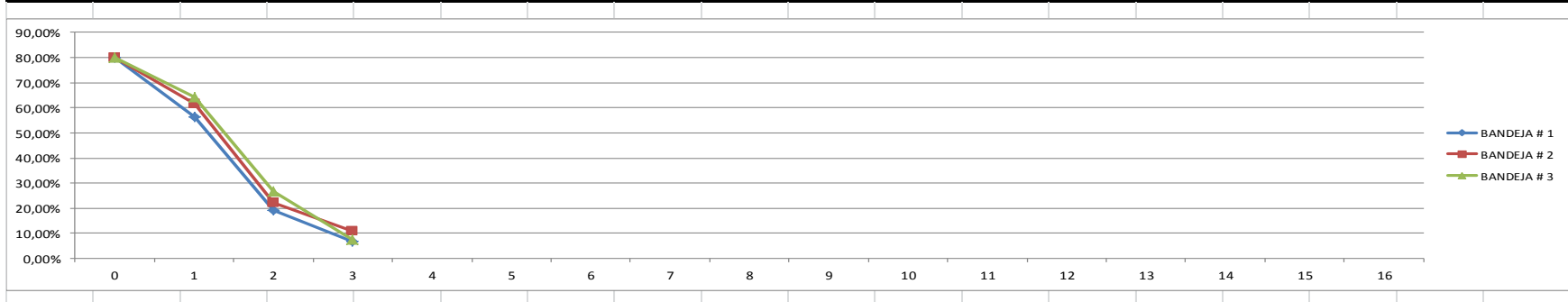
Fecha del realizacion de la prueba.	29/03/2013	Peso de la pipeta al iniciar la prueba en Kg.	26																
RPM DEL MOTOR	1900	Peso de la pipeta al terminar la prueba en Kg.	21,5																
Temperatura de trabajo en °C	57	Preso del gas consumido	4,5																

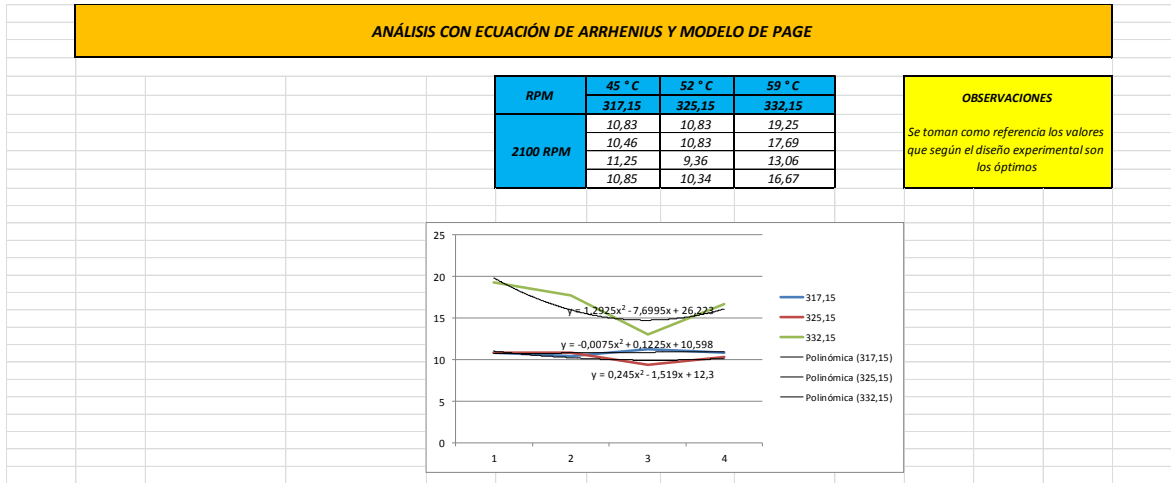
BANDEJA # 1						BANDEJA # 2						BANDEJA # 3							
Peso de la bandeja vasia	1985	Ms [g]	214			Peso de la bandeja vasia	1985	Ms [g]	214			Peso de la bandeja vasia	1990	Ms [g]	213				
Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Hora	Peso de la muestra [g]	Humadad [bh]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada		
0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1070	856	0	0	3055	80,00%	1065	852	0		
1	2455	54,47%	470	256	600	1	2485	57,20%	500	286	570	1	2550	61,96%	560	347	505		
2	2270	24,91%	285	71	185	2	2265	23,57%	280	66	220	2	2295	30,16%	305	92	255		
3	2240	16,08%	255	41	30	3	2245	17,69%	260	46	20	3	2250	18,08%	260	47	45		
4	2240	16,08%	255	41	0	4	2240	16,08%	255	41	5	4	2240	14,80%	250	37	10		
5	2235	14,40%	250	36	5	5	2240	16,08%	255	41	0	5	2235	13,06%	245	32	5		
6	2235	14,40%	250	36	0	6	2240	16,08%	255	41	0	6	2235	13,06%	245	32	0		
7	2235	14,40%	250	36	0	7	2235	13,06%	245	32	0	7	2235	13,06%	245	32	0		
8						8						8						32	
9						9						9						0	
10						10						10							
11						11						11							
12						12						12							
13						13						13							
14						14						14							
15						15						15							
16						16						16							



Fecha del realizacion de la prueba.		Peso de la pipeta al iniciar la prueba en Kg.																		
RPM DEL MOTOR		Peso de la pipeta al terminar la prueba en Kg.																		
Temperatura de trabajo en °C		Preso del gas consumido	0																	

Hora	BANDEJA # 1					BANDEJA # 2					BANDEJA # 3				
	Peso de la bandeja vasia	Ms [g]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Peso de la bandeja vasia	Ms [g]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada	Peso de la bandeja vasia	Ms [g]	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada
0	1985	214				1985	214				1990	213			
0	3055	80,00%	1070	856	0	3055	80,00%	1070	856	0	3055	80,00%	1065	852	0
1	2475	56,33%	490	276	580	2540	61,44%	555	341	515	2585	64,20%	595	382	470
2	2250	19,25%	265	51	225	2260	22,18%	275	61	280	2280	26,55%	290	77	305
3	2215	6,96%	230	16	35	2225	10,83%	240	26	35	2220	7,39%	230	17	60
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															





		PROMEDIOS BANDEJAS						
TEMPERATURA (K)	1000/T (K)	Tiempo (horas)	Ln (t)	Peso de la muestra [g]	Humedad [bh] (%)	Mt [g]	Ma [g]	Agua Evaporada
325,15	3,075503614	0	***	3055	80%	1068,333333	854,666667	0
		1	0	2620	66%	633,333333	419,666667	435
		2	0,693147181	2395	48%	408,333333	194,666667	225
		3	1,098612289	2271,666667	25%	285	71,333333	123,333333
		4	1,386294361	2245	17%	258,333333	44,666667	26,666667
		5	1,609437912	2233,333333	13%	246,666667	33	11,666667
		6	1,791759469	2226,666667	11%	240	26,333333	6,666667
		7	1,945910149	2225	11%	240	26	5
		8	2,079441542	2225	11%	240	26	0
318,15	3,14317146	0	***	3055	0,8	1070	856	0
		1	0	2528,333333	0,580392157	510	296	560
		2	0,693147181	2453,333333	0,513636364	440	226	70
		3	1,098612289	2386,666667	0,429333333	375	161	65
		4	1,386294361	2345	0,36119403	335	121	40
		5	1,609437912	2300	0,274576271	295	81	40
		6	1,791759469	2276,666667	0,235714286	280	66	15
		7	1,945910149	2253,333333	0,126530612	245	31	35
		8	2,079441542	2243,333333	0,108333333	240	26	5
332,15	3,010687942	0	***	3055	0,8	1065	852	0
		1	0	2470	0,55625	480	267	585
		2	0,693147181	2265	0,225454545	275	62	205
		3	1,098612289	2240	0,148	250	37	25
		4	1,386294361	2235	0,130612245	245	32	5
		5	1,609437912	2235	0,130612245	245	32	0
		6	1,791759469	2235	0,130612245	245	32	0