

## DEDICATORIA

*A Dios, por haberme concedido la vida, haciéndome descubrir con sus maravillosas obras cuán grande puede ser el hombre, que gracias a Él he podido realizar mis estudios para llegar a cumplir uno de mis más grandes sueños.*

*A mis padres, Julio y Marcelina, quienes con amor, sacrificio, abnegación y constancia inculcaron en mí el amor y respeto al prójimo, supieron apoyarme y guiarme hacia el sendero del éxito.*

*A mí adorado hijo Enzo Thiago razón de mi vida, quien con su tierna existencia ha logrado dar sentido a mi vida llenándola de aspiraciones y ayudándome a ver la vida con madurez y responsabilidad.*

*A mí amado esposo edison que siempre me han estimulado y animado, para seguir adelante.*

*A mis hermanos, Paulina, Regina, Nelida, Hilda, Walter y Abigail, por su comprensión y la motivación que me dieron.*

*A mis hermanos, David y Juan Jhony que desde el cielo me guían mi sendero.*

**Sonia.**

*Nunca consideres el estudio como una obligación,  
sino como una oportunidad para penetrar en  
el bello y maravilloso mundo del saber.*

**Albert Einstein**

## **AGRADECIMIENTO**

- ✓ A la Universidad Nacional José María Arguedas y muy especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA).
- ✓ A mis padres Julio Gutiérrez Serna y Marcelina Galdós Palomino por ser los autores de mi vida y por el apoyo incondicional que me brindaron para concluir este trabajo.
- ✓ A mis hermanas: Regina, Nélica, Hilda y Abigail por su apoyo incondicional y la motivación constante.
- ✓ A mi asesor al Ing. MSc. David Choque Quispe por dedicarme su tiempo para darme sus consejos y recomendaciones valiosas durante el desarrollo de la Tesis, considero uno de los mejores docentes de la EPIA.
- ✓ A mis catedráticos: Ing. Fredy Taipe Pardo, Ing. David Juan Ramos Huallpartupa, Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez, Ing. MSc. Julio Cesar Sichez Muñoz, Ing. MSc. David Choque Quispe, por compartirme sus experiencias en las aulas universitarias y a los laboratorista por su apoyo incondicional.
- ✓ A mi patria infinitas gracias, de un hijo que te lleva por siempre en el corazón y por último, gracias a todos aquellos que han influenciado para que ésta meta sea una realidad y que por desgracia, no están de forma constante en mi memoria.

## APROBACIÓN DEL ASESOR Y CO-ASESOR

## INDICE GENERAL

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento .....	iii
Aprobación del asesor y co-asesor .....	iv
Índice de figuras.....	vii
Indice de anexo.....	ix
Abreviaturas.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Capítulo 1.....	1
Introducción.....	1
1.3. Objetivos .....	3
Objetivo general.....	3
1.4. Problema.....	3
Capítulo 2.....	4
Revisión de literatura.....	4
2.1. Romero .....	4
2.3. Secado.....	6
2.4. Definiciones de términos asociados al secado. ....	9
2.5. Curvas de velocidad de secado.....	11
2.6. Teoría de la difusión.....	14
2.7. Color .....	17
Capítulo 3.....	21
Materiales y método .....	21
3.1. Lugar de ejecución.....	21
3.1.1. Localidad e institución donde se desarrolla el proyecto .....	21
3.2. Material de estudio.....	21
3.2.1. Universo y/o población .....	21
3.2.3. Unidad de análisis .....	22
3.3. Equipos, materiales y reactivos e insumos de laboratorio .....	23
3.3.1. Equipos .....	23
3.3.2. Materiales.....	24
Tabla 03: Descripción de materiales .....	24
3.3.3. Reactivos e insumos .....	25

3.3.4. Material vegetal .....	25
3.4. Metodología .....	26
3.4.1. Métodos y técnicas para el desarrollo del secado de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) .....	26
3.4.3. Determinar el coeficiente de difusividad de de hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) a las tempera de 40 ,50 y 60 °C .....	29
3.4.4. Métodos y técnicas para determinar la energía de activación del secado de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C.....	30
3.4.7. Metodología del análisis estadístico .....	32
Capitulo 4.....	33
Resultados y discusión.....	33
4.1. Resultados y discusión del curva de secado para las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) .....	33
Figura 12: Curva experimental de secado para las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ).....	34
4.2. Evaluación de la velocidad de secado de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) a temperaturas de 50, 40 y 60 °C.....	34
4.3. Resultados de la determinación del coeficiente de difusividad efectiva en el secado convectivo de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C. ....	39
4.4. Resultados de la determinación de la energía de activación en el secado de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ).....	43
4.5. Resultados de la determinación de la variación de color de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ).....	44
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	52
Referencias bibliográficas .....	53
Anexos .....	58

## INDÍCE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Planta de romero</i> .....	4
<i>Figura 2. Curvas de secado</i> .....	12
<i>Figura 3. Curvas de velocidad de secado</i> .....	13
<i>Figura 04: Difusión de agua en el secado</i> .....	15
<i>Figura 05: Representación de las regiones de difusividad</i> .....	15
<i>Figura 06: Representación en el plano horizontal del espacio de color <math>L^* a^* b^*</math></i> .....	18
<i>Figura 07: Representación tridimensional del espacio de color <math>L^* a^* b^*</math></i> .....	18
<i>Figura 08: Diferencia del color en el espacio <math>L^* a^* b^*</math></i> .....	19
<i>Figura 09: Diagrama de cromaticidad</i> Figura .....	20
<i>Figura 10: Esquema de operación de secado</i> .....	28
<i>Figura 11: Diagrama de contrastación y variables</i> .....	31
<i>Figura 12: Curva experimental de secado para las hojas de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)</i> .....	34
<i>Figura 13: Curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las hojas de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>). Para 40°C</i> .....	35
<i>Figura 14: Curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las hojas de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>). Para 50°C</i> .....	37
<i>Figura 15: Curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las hojas de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>). 60°C</i> .....	38
<i>Figura 16: Correlación logarítmica de la segunda Ley de Fick, para el cálculo de la difusividad efectiva para la temperatura de 40 °C</i> .....	40
<i>Figura 17: Correlación logarítmica de la segunda Ley de Fick, para el cálculo de la difusividad efectiva para la temperatura de 50 °C</i> .....	40
<i>Figura 18: Correlación logarítmica de la segunda Ley de Fick, para el cálculo de la difusividad efectiva para la temperatura de 60°C</i> .....	41

Figura 19: Logaritmo natural de la difusividad en función del inverso de la temperatura para las diferentes corridas. ....	43
<i>Figura 20: Imagen de hoja fresca e imagen con los valores de <math>L^*</math>, <math>a^*</math> y <math>b^*</math> con el software Corel Draw x7</i> .....	46
<i>Figura 21: Imagen con los valores de <math>L^*</math>, <math>a^*</math> y <math>b^*</math> con el software Corel Draw x7 hoja secado a 40 °C</i> .....	47
<i>Figura 22: Imagen con los valores de <math>L^*</math>, <math>a^*</math> y <math>b^*</math> introducidos en el software de hoja secado a 50 °C</i> .....	47
Figura 23: Imagen con los valores de $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ introducidos en el software de hoja secado a 60 °C.....	48
Figura 24: Variación de color para las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) secado a diferentes temperaturas.....	49

## INDICE DE ANEXO

Anexo : Acondicionamiento de la planta de romero para el secado.....	59
Anexo : Medición del diámetro de las hojas de romero. ....	59
Anexo : Acondicionamiento de las hojas de romero para el secado en la placa de aluminio.....	60
Anexo: Secado de la planta de romero en un horno de convección .....	60
Anexo : Pesado de las hojas de romero. ....	61
Anexo : Medición de color de las hojas de romero secado a diferentes temperaturas.....	61
Anexo : Fotografía de determinación de color de romero con coloremómetro Konica Minolta r-400.....	62
Anexo : Sales utilizadas para las isotermas de sorción. ....	64
Anexo: Medida de la velocidad de aire.....	64
Anexo: Cálculos realizados para determinar la curva de secado y curva de velocidad de secado experimental para 40 °C .....	65
Anexo: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 50 °C.....	68
Anexo: Cálculos realizados para determinar la curva de secado y curva de velocidad de secado experimental para 60 °C .....	69
Anexo: Cálculos realizados para determinar la difusividad efectiva para 40 °C.....	70
Anexo: Cálculos realizados para determinar la difusividad efectiva para 50 °C.....	72
Anexo : Cálculos realizados para determinar la difusividad efectiva para 60 °C.....	73
Anexo: Resultados para determinar la energía de activación en el secado de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) a temperaturas de 40, 50 y 60 °C .....	74
Anexo: Resultado del contenido de humedad inicial de las hojas de romero.....	75

Anexo: Resultados de las coordenadas de color $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en el secado de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalise</i> ) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C.....	75
Anexo: Resultados de isotermas de sorción.....	76
Anexo: Ecuación del modelo gab para isotermas de las hojas de romero .....	77
Anexo : Resultados de la isoterma de desorción de la hoja de romero experimental y modelado con la ecuación de gab para 40 °C .....	78
Anexo : Resultados de la isoterma de desorción de la hoja de romero experimental y modelado con la ecuación de gab para 50 °C .....	78
Anexo: Resultados de la isoterma de desorción del romero de experimental y modelado con la ecuación de gab para 50 °C.....	79
Anexo: Resultado de calidad de ajuste de las curvas obtenidas con la ecuación de gab.....	79
Anexo: Resultados de las constantes de la ecuación de gab y la humedad de equilibrio.....	80
Anexo : Resultados del análisis anova para parámetros de color $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en el secado de las hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C.....	80
Anexo: Anova unidireccional: $L^*$ vs temperatura.....	82
Anexo: Anova unidireccional: $a^*$ vs temperatura .....	83
Anexo: Anova unidireccional: $b^*$ vs temperatura .....	84

## ABREVIATURAS.

---

Hbs	:	Humedad en base seca
$m_{ss}$	:	Sólido seco
$m_{\text{agua}}$	:	Masa del agua
Hbh	:	Humedad en base húmeda
$X^*$	:	Humedad de equilibrio
X	:	Humedad libre
W	:	Velocidad de secado
$\Delta X$	:	Variación de humedad libre
A	:	Área de materia a secar
$\Delta t$	:	Variación de tiempo
$X_c$	:	Humedad crítica
$X_1$	:	Humedad inicial
$W_c$	:	Velocidad en el periodo crítico
$t_{\text{cons}}$	:	Tiempo a velocidad constante
$t_{\text{decr}}$	:	Tiempo a velocidad decreciente
$X_2$	:	Humedad final
$t_{\text{total}}$	:	Tiempo total
RX	:	Relación humedad
$X_i$	:	Contenido de agua en un tiempo dado
Def	:	Difusividad efectiva
T	:	Tiempo de secado
L	:	Espesor de la capa de sólido
Ddef	:	Defusividad efectiva
Ea	:	Energía de activación
Do	:	Factor de Arrhenius
R	:	Constante universal de los gases
T	:	Temperatura absoluta
$\Delta E_{ab}$	:	Diferencia total del color
$\Delta L^*$	:	Diferencia de luminosidad
$\Delta a^*$	:	Diferencia de rojos a verdes
$\Delta b^*$	:	Diferencia de amarillos a azul
$\Delta hab$	:	Diferencia del tono
$\Delta C^*$	:	Diferencia en la saturación o croma

---

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el proceso de secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) a diferentes temperaturas. Se efectuaron corridas experimentales utilizando hojas de romero con una humedad inicial de 65.15 %. Para evaluar el proceso de secado se aplicó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con un factor la temperatura con 3 niveles (40, 50 y 60 °C), se determinó la influencia de la temperatura en las propiedades del secado así como la curva de secado, curva de velocidad de secado, coeficiente de difusividad, energía de activación y la variación de color. Se realizó el secado de las hojas de romero en una estufa de convección forzada, donde obtuvieron datos de la pérdida de humedad en el tiempo. Con estos datos se graficaron las curvas de secado. En las curvas de velocidad de secado se identificaron el período de velocidad constante y decreciente con base a los resultados obtenidos para los dos periodos se observó que en el periodo constante se eliminó la mayor cantidad de agua 75.1 %, 60.8 % y 51.56 % en un tiempo de 1.50, 0.83 y 0.33 horas. Por otro lado en el periodo decreciente se eliminó 25. %, 23 % y 16.35 % de agua en un tiempo de 11.66, 2.83 y 1 horas. También se determinó el coeficiente de difusividad efectiva con la segunda ley de Fick considerando como una placa infinita. Para ello se graficó el logaritmo natural de razón de humedad (RX) con el tiempo y al mismo se ajustó al modelo lineal y con la pendiente de la ecuación se calculó la difusividad efectiva de  $7.94 \cdot 10^{-14}$ ,  $3.97 \cdot 10^{-13}$  y  $1.99 \cdot 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s para 40, 50 y 60 °C. Con los datos de difusividad y con la temperatura absoluta se determinaron  $E_a$  utilizando la ecuación de Arrhenius se obtuvo como resultado una energía de activación de 139 kJ/mol. También se determinaron las coordenadas de color L\*, a\* y b\*. Para lo cual se compararon los valores de las hojas secadas a 40, 50 y 60 °C con los valores de hoja fresca. En donde se observaron que la luminosidad L\* aumenta al incrementar la temperatura (Pvalue < 0.05). Para el valor de a\* la temperatura no afectó los valores de este lo cual presentó valores similares al de hojas fresca. Mientras para el b\* se observa un incremento con la temperatura, este valor se acerca al color amarillo. PALABRAS CLAVES: Evaluación, Proceso, Secado, Hojas de romero, Temperatura, Color.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the process of convective drying of rosemary leaves (*officialis rosmarios*) at different temperatures. To meet the stated objective, experimental runs using fennel leaves with an initial moisture content of 65.15% were made. To evaluate the drying process experimental design was applied completely random (DCA), with a factor of temperature with 3 levels (40, 50 and 60 ° C), performing 3 treatments with 3 replications to evaluate the influence of temperature in drying properties and the drying curve, curve drying rate, diffusivity, activation energy and color variation. Drying the fennel leaves it was done in a forced convection oven, where they obtained data from moisture loss over time. Ornering speed drying period constant speed and decreasing .With based on the results for the two periods can say that in the constant period as much water was removed 75% and 60.4 % 51.56 % in identified a time of 1.50, 0.83 and 0.33 hours, on the other hand during the decreasing period 25 % 23 % and 16.35 % water was removed in a time of 11.66. 2.83 and 1 hours. the coefficient of effective diffusivity with the second law Fick was also determined, the equation was used for an infinite plate, for which the natural logarithm of ratio of moisture (RX) is graphed over time, this graph was adjusted to linear model and with the slope of the equation the effective diffusivity of  $7.94 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$  to 40 °C,  $3.97 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  to 50 °C and  $1.99 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  to 60 °C was calculated. To determine the activation energy of the natural logarithm of diffusivity with the absolute temperature is plotted , this chart was adjusted to linear model and the slope of the equation model activation energy was calculated using the Arrhenius equation whether resulting in an activation energy of 139 kJ / mol. the CIELAB color coordinates L \* were also evaluated , a \* and b \* . Values dried leaves 40, 50 and 60 ° C with fresh leaf values were compared. Where it was found that the L \* brightness increases with increasing temperature to the value of the coordinates \* temperature did not affect the values of this, it ie the values are similar to fresh leaves. As for the value of b \* increases with temperature which indicates that the value approaches the yellow is observed.

**KEYWORDS:** evaluation, processes, drying, color, rosemary leaves, temperature.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el método empleado para preservar alimentos es en forma artesanal, utilizando la energía solar, logrando en muchas ocasiones un grado suficiente de seguridad para su conservación, sin embargo cuando el secado es realizado a gran escala se emplean métodos artificiales más eficientes que garanticen su calidad, entre ellos se encuentra el secado con aire caliente, el cual es una operación

El romero es una hierba utilizada generalmente con fines medicinales por la medicina tradicional, se utiliza por sus efectos antiespasmódico (calma los trastornos estomacales), analgésico (disminuye el dolor), carminativo (previene y favorece la expulsión de gases ) y galactogeno ( aumenta la producción de leche materna), por lo general se utilizan las hojas; y también tiene una aplicación culinaria donde las hojas se añaden a las ensaladas, pescados, salsas, guisos y las semillas se utilizan como condimento, en la fabricación de licores y repostería (Muñoz, 2002)

El objetivo del secado es el de reducir el contenido de agua, haciendo que la actividad de agua en los productos “in natura” disminuya significativamente. De esta manera se aumenta el tiempo de conservación y la vida útil del producto facilitando su transporte, manejo y almacenamiento. A parte de esto proporciona una estabilidad de los componentes químicos a temperatura ambiente durante largos periodos de tiempo y ofrece protección contra la degradación enzimática y oxidativa (Park. 2001).

La operación de secado en general está controlada por dos fenómenos de resistencias, tanto la de transferencia de calor como la de materia (Vega, 2007). Este proceso simultáneo de transferencia de masa y energía, en el cual se emplea calor para evaporar la humedad, la cual a su vez se remueve de la superficie del sólido, por medio de un agente externo (aire), involucra la transferencia de diferentes componentes dentro de la misma fase y entre fases diferentes por difusión molecular y convección natural o forzada. La influencia en la velocidad de secado las variables de proceso tales como: la temperatura, humedad de entrada,

velocidad del aire, etc. Esto permite realizar un diseño o una selección más eficiente de secaderos así como de las variables de proceso (Vizcarra, 1998).

De esta investigación se deduce la importancia de evaluar las curvas de cinética de secado que nos dan idea del tiempo necesario de secado, del mecanismo de transferencia de agua, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa. También se determinó el coeficiente de difusividad en formas geométricas homogéneas de lámina infinita, ésta puede ser cuantificada por la integración de la Ley de Fick, pero cuando la experiencia se realiza para materiales biológicos heterogéneos, como el romero, la situación se hace más compleja, sin embargo, pueden ser estudiados mediante esta teoría compensando la heterogeneidad de las hojas de romero con el coeficiente de difusividad efectiva; con los datos de difusividad se determinó la energía de activación que expresa la dependencia de la difusividad en función de la temperatura, fue calculada por la ecuación de Arrhenius y también se evaluó la variación de color de las hojas de romero en donde se hizo una comparación de variación de color de hoja fresca de romero con la deshidratada a 40, 50 y 60 °C. Para ello se utilizó las coordenadas de color propuesta por CIELAB donde este valor fue obtenido por colorímetro KONICA MINOLTA R-400. Por consiguiente, considerando la importancia del romero para la alimentación del poblador andino, así como la escasez de información con respecto a los fenómenos que ocurren durante el secado de esta planta, se realizó la presente investigación con el objetivo de evaluar el proceso de secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) a diferentes temperaturas utilizando un secador de bandejas.

### 1.3. OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

- ✓ Evaluar la influencia de la temperatura en el proceso de secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*)

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evaluar las curvas de secado de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C
- ✓ Evaluar las curvas de velocidad de secado de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C
- ✓ Determinar el coeficiente de difusividad de secado de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C
- ✓ Determinar la energía de activación del secado de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) a diferentes temperaturas
- ✓ Evaluar la variación de color de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) a diferentes temperaturas.

### 1.4. PROBLEMA.

¿De qué manera influye la temperatura en el secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*)?

### 1.5. HIPÓTESIS

Las temperaturas de 40 °C, 50 °C y 60 °C influyen significativamente en el secado de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*)

## CAPITULO 2

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ROMERO

##### a) Descripción.

Es un arbusto aromático de color verde, puede medir hasta 1.2 m de alto, posee un tallo erecto con numerosas ramas, corteza exfoliante, finamente puberulenta. Sus hojas son gruesas, duras al tacto, opuestas, verdes, numerosas, glandulares, obtusas, de 1-3 cm de largo, casi cilíndricas y dobladas hacia adentro. Sus flores son fragantes de 10-12 mm de largo en pequeños grupos terminales, cáliz bilabiado, color violeta, estilo largo. Las hojas poseen un aroma a eucalipto fresco, con olor alcanforado. El género (romero) se compone de una sola especie. (Cáceres, 1996)



**Figura 1:** planta de romero

##### b. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA. (Muñoz, 2002)

Nombre científico: *Rosmarinus officinalis*.

La descripción botánica de la planta es:

##### b) Clasificación taxonómica.

**Reino:** plantae

**División:** magnoliopsida

**Orden:** laminales

**Familia:** Labiaceae (Labiatae)

**Género:** Rosmarinus L

**Especie:** Rosmarinus officinalis L

**Nombre común:** romero.

**c) Composición química.**

Tabla: 01 Composición química de las hojas de romero en %.

Aceite esencial	Ácidos orgánicos (cafeico, clorogénico, fenólico, neoclorogénico, rosmarínico)	Taninos
Poli fenoles	Alcaloides diterpénicos (rosmaricina)	Salvigenina
Pigmentos	Flavonas (repirina)	Hispidulina
Flavónicos	Diterpenoides (picrosalvina, romdiol, rosmarinol)	Genkwareno
Glucósidos (apigenina, luteolina)	Ácido ursólico	Nepetina

**d) Principales usos y propiedades del romero.**

• **Propiedades y usos del romero.**

El romero puede usarse como hierba seca o fresca y en aceite esencial. El romero además de su olor refrescante nos ofrece muchos beneficios. Se puede usar en preparaciones medicinales, cosméticas y culinarias.

Sus principales propiedades son: tonificante, diurético, antiespasmódico, digestivo vulnerario y antirreumático.

En la medicina el romero se utiliza como relajante. Por eso se usa en aceites para masajes.

Ayuda a aliviar los dolores de cabeza. Ayuda a aliviar las inflamaciones. Se cree que ayuda a eliminar el colesterol. Se cree que ayuda a prevenir infecciones urinarias. Puede ayudar a evitar flatulencias. Combate el mal aliento. Ayuda a reparar el hígado tras un trastorno gastrointestinal. Ayuda a disminuir los síntomas de la menstruación. (Muñoz, F. (2002)

- **El romero en la cocina.**

El romero se utiliza en muchos platillos. Como es una hierba fuerte se debe de usar con cautela para no poner mucho. Se puede usar en salsas y como un aderezo. El romero puede ser un sustituto de la sal.

- **El romero en la belleza y el cuidado personal**

En la cosmética, el romero se utiliza en muchas formulaciones de cosméticos. Se puede encontrar en tratamientos para reforzar las raíces del pelo, eliminar la caspa, mejorar la dermatitis, prevenir la caída del pelo, combatir el acné, aclarar el pelo. El romero es fuerte por lo que se necesita usarlo en la cantidad apropiada. Abusar de este podría causar espasmos intestinales o irritar la piel. El aceite esencial de romero no debe tomarse por la vía oral.

## **2.2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL SECADO.**

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para conservación de alimentos. Todos los granos y los cereales son conservados por secado. Algunas frutas y hortalizas, también son conservadas por este método (Norma, 1992), el cual es la transferencia de masa que se da cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo. Su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación. La capa de aire en contacto con el alimento, es arrastrado por el aire en movimiento, generándose sobre él una zona de baja presión de vapor. Dicha gradiente proporciona la fuerza impulsora que permite eliminar el agua, el agua escapa de la superficie de los alimento por los siguientes mecanismos: por capilaridad y difusión (Guevara, Elias, Morales, y Garcia, 2012)

## **2.3. Secado**

El secado consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor

aceptablemente (Warren, Smith y Harriott, 1991). En el secado se elimina la humedad de un producto alimentario para reforzar su estabilidad, transportabilidad, sabor y textura en los alimentos (Lomas, 1998). Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5 % en peso en los alimentos (Geankoplis, 1998).

#### **a) Métodos de secado.**

Los métodos de secado son los más comunes para valorar el contenido de humedad en los alimentos; se calcula el porcentaje en agua por la pérdida en peso debida a su eliminación por calentamiento bajo condiciones normalizadas. Existen diversos métodos para el secado, sea en forma natural o mecánica (Muñoz, 1996).

- **Secado Natural.**

Si se cuenta con condiciones climáticas adecuadas, baja humedad relativa y temperaturas elevadas, el secado natural requiere poco gasto y es sencillo de realizar. El producto se extiende en capas delgadas sobre bandejas 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.

- **Secado Mecánico.**

En el secado artificial o mecánico, al controlarse las variables del tratamiento, en el lapso de unas horas, es posible obtener un producto homogéneo y de excelente calidad comercial. Hay diversos métodos para deshidratar, que pueden clasificarse, de la siguiente manera:

- ✓ Secado por aire caliente.
- ✓ Secado por contacto directo con una superficie caliente.
- ✓ Secado por aporte de energía de una fuente radiante de microondas.
- ✓ Liofilización.

#### **b) Mecanismo de secado.**

En los estudios más teóricos se pone énfasis en los mecanismos de transferencia de energía y de materia, por lo tanto en un proceso de secado hay intercambio simultáneo de calor y masa, entre el aire del ambiente caliente y el sólido a secar. El secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, con base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la fase gaseosa. En consecuencia, en este fenómeno complejo que involucra la transferencia de materia y calor cuando un sólido húmedo es sometido a un secado térmico ocurren dos procesos simultáneamente:

- **Condiciones externas.**

Durante la transferencia de calor se pretende eliminar el agua en forma de vapor de la superficie de la partícula, algunas condiciones juegan un papel importante como son: la temperatura, flujo del aire y humedad, área de superficie expuesta al calor y presión. Puesto que estas condiciones durante la etapa inicial del secado son importantes para remover la humedad de la superficie. En algunos materiales el exceso de evaporación en la superficie puede causar encogimiento, esto después de que la humedad inicial ha sido removida dando lugar a altos porcentajes de humedad del interior hacia la superficie, formando tensiones dentro del material ocasionando deformaciones.

- **Condiciones internas.**

Los factores que pueden determinar la rapidez de secado son: la temperatura, su contenido de humedad y la naturaleza física dentro de la partícula. Durante la transferencia de calor hacia un material húmedo, en lo cual el gradiente de temperatura se genera dentro del material mientras la evaporación de la humedad ocurre dentro de la superficie. La evaporación hace que la humedad del material vaya desde el interior hacia la superficie, lo cual sucede a través de mecanismos como son: difusión, flujo capilar, presión interna causada por el encogimiento durante el secado. En el proceso de secado cualquiera de los dos subprocesos descritos puede ser el factor limitante que gobierne la velocidad de secado, a pesar de que ambos subprocesos ocurren simultáneamente durante este ciclo.

### c) Factores que regulan el secado.

Los factores más importantes en el secado son: Temperatura, humedad relativa del aire y velocidad del aire. El control inadecuado de estos factores determina la aparición de endurecimiento externo debido a la rapidez de evaporación de la humedad superficial, dando por resultado una película superficial dura, de aspecto queratinoso e impermeable que impide que el alimento se siga secando (Frazier, 2003).

## 2.4. Definiciones de términos asociados al secado.

### a) Contenido de Humedad.

El contenido de humedad de un material suele expresarse como porcentaje del peso del material seco. Si un material se expone al aire a una temperatura y humedad dadas, dicho material perderá o ganará agua hasta que se establezcan unas condiciones de equilibrio.

### b) Contenido de humedad, base seca (hbs).

Es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido seco. Se define como:

$$hbs = \frac{m_{agua}}{m_{ss}} \quad . \text{ (Ec.01)}$$

Dónde:

$m_{ss}$  = sólido seco y  $m_{agua}$  = masa del agua.

### c) Contenido de humedad, base húmeda (hbh).

Es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido mojado.

$$hbh = \frac{m_{agua}}{m_{agua} + m_{ss}} \quad \text{ (Ec. 02)}$$

Dónde:

$m_{ss}$  = sólido seco y  $m_{agua}$  = masa del agua

Relacionando humedad en base húmeda y en base seca se obtiene

$$hbh = \frac{hbs}{1+hbs} \quad \text{ (Ec. 03)}$$

$$hbs = \frac{hbh}{1-hbh} \quad (\text{Ec. 04})$$

Resulta ser muy útil expresar el contenido de humedad en base seca, debido a que el denominador de su ecuación es un valor constante en todo el sistema. En un sólido puede encontrarse presente la humedad de las formas siguientes:

**d) Humedad ligada.**

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

**e) Humedad no ligada.**

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

**f) Humedad de equilibrio (x\*).**

Humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas, el grado de presión de vapor que ejerce la humedad contenida en un sólido húmedo depende de la naturaleza de la humedad, sólido y la temperatura (Treybal, 2000), en efecto el contenido de humedad de equilibrio de un sólido disminuye al aumentar la temperatura (Geankoplis, 1998). En conciencia, los materiales tienden a perder o ganar humedad durante un periodo para que alcancen este valor (Sharma, Mulvaney y Rizvi, 2003). En el secado de materiales sólidos la humedad del sólido que sale del secadero no puede ser inferior al contenido de humedad de equilibrio (Warren et al., 1991).

**g) Humedad libre (X)**

Es la humedad del sólido que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa. El agua libre es la diferencia entre el contenido total de agua del sólido y el contenido de agua en el equilibrio (Warren et al., 1991).

$$X = \frac{\text{peso inicial} - X^* - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (\text{Ec.05})$$

Dónde:

$m_{ss}$  = sólido seco y  $X^*$  = humedad de equilibrio.

## 2.5. Curvas de velocidad de secado

Para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso, por lo general se estima el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad y la temperatura del aire empleado, y el tiempo necesario para lograr el grado de secado.

### a) Curvas de velocidad de secado para condiciones de secado constante.

- **Conversión de los datos a curva de velocidad de secado.**

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes, generalmente se expresan como peso total  $W$  del sólido húmedo a diferentes tiempos de  $t$  horas en el periodo de secado. Estos valores se pueden convertir a datos de velocidad de secado por los siguientes procedimientos. Primero se recalculan los datos. Si  $W$  es el peso del sólido húmedo en kilogramos totales de agua más sólido seco y  $m_{ss}$ , es el peso del sólido seco en kilogramos (ecuación 06).

$$X_t = \frac{W - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (\text{Ec. 06})$$

Después de haber establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio  $X^*$ , kg de humedad de equilibrio entre kg de sólido seco. Con el se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre  $X$ , en kg de agua libre/kg de sólido seco para cada valor de  $X_t$  (Ecuación 07).

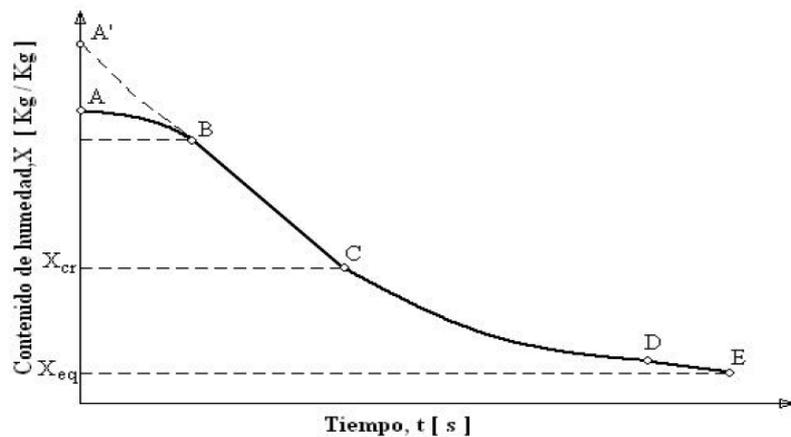
$$X = X_t - X^* \quad (\text{Ec. 07})$$

Al sustituir los datos calculados en la ecuación (07), se traza una gráfica del contenido de humedad libre  $X$  en función del tiempo  $h$ , como se muestra en la figura la 01. Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de  $dx/dt$  para ciertos valores de  $t$ . Se calcula entonces la velocidad  $W$  para cada punto con la expresión.

$$W = -\frac{L_s}{A} * \frac{dx}{dt} \quad (\text{Ec. 08})$$

- **Grafica de la curva de velocidad de secado.**

Durante el proceso de secado de un sólido, se puede ir obteniendo datos experimentales que relacionan el contenido de humedad con el tiempo y se tendrá una curva similar a la figura 02.



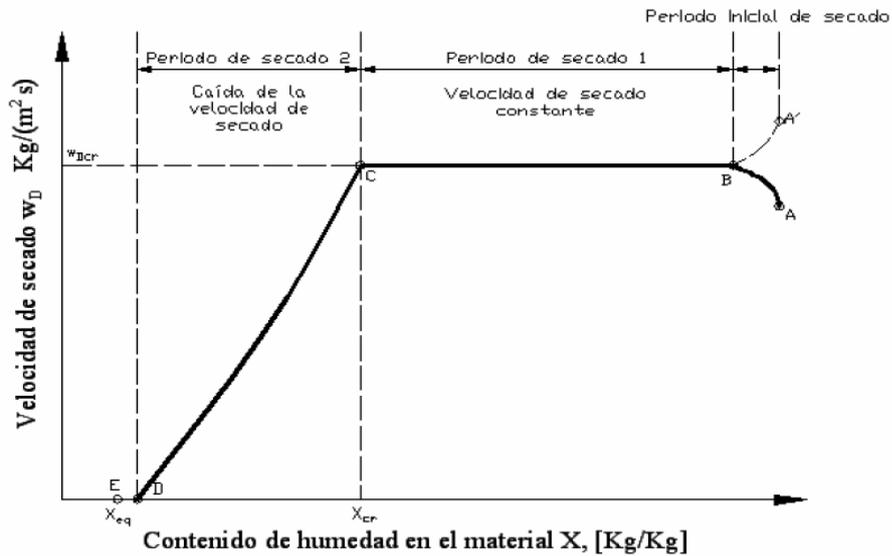
**Figura 2.** Curvas de secado

Fuente (GEANKOPLIS CH, 1998)

En la figura (02), esta curva representa el caso general de una muestra sometida a una prueba de secado. La humedad disminuye continuamente desde el valor inicial (A) y finalmente se aproxima como límite a la humedad de equilibrio ( $X^*$ ) con las condiciones existentes del aire. Cuando la pendiente de la curva cambia (C), se denomina punto crítico ( $X_c, t_c$ ). Esto indica que la velocidad de secado está sujeta a la variación del contenido de humedad en función del tiempo. Esta variación se ilustra claramente en la figura (02), donde se realiza una representación gráfica de la velocidad de secado ( $W$ ) en función de la humedad ( $X$ ). (Geankoplis CH, 1998).

La velocidad de secado de un material depende de las propiedades del material como la densidad global de masa del material deshidratado, el contenido inicial de humedad y su relación con el contenido de humedad en equilibrio en condiciones de secado. Podría ser necesario evitar la velocidad máxima de secado se resulta

encogimiento, endurecimiento superficial, agrietamiento de la superficie u otros efectos indeseables en el secado de sólidos alimentarios



**Figura 3.** Curvas de velocidad de secado

Fuente: Geankoplis, 1998

Según Geankoplis. (1998), el secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre produce curvas de formas variables en el período de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de la velocidad de secado, el período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente” Se debe tener en cuenta que este perfil aplica en muchas sustancias farmacéuticas, pero existen excepciones donde puede haber variaciones entre uno o varios de los períodos de secado dependiendo del número de mecanismos involucrados en el secado.

**b) Secado durante el periodo de velocidad constante.**

En este período siempre existe humedad en la superficie del material que se está secando. El agua que se encuentra dentro del material migra a la superficie a una velocidad mayor que la velocidad a la cual deja la superficie (Lomas, 1998). El sólido está tan húmedo que toda la superficie de secado está recubierta por una película continua de agua que se comporta como si el sólido no existiese. Se caracteriza porque la velocidad de secado es independiente del contenido de humedad (Warren et al., 1991). Esta capa de agua es agua no combinada, Sin

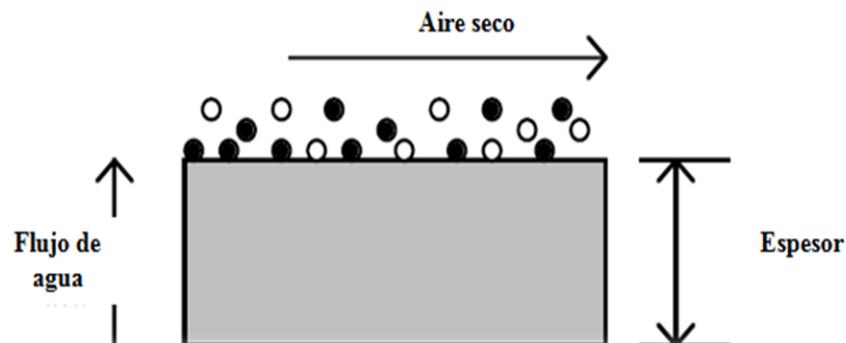
embargo las ondulaciones y hendiduras en la superficie del sólido ayudan a obtener una velocidad más alta de la que tendría una superficie completamente plana (Geankoplis, 1998).

**c) Secado durante el periodo de velocidad decreciente.**

Este período comienza cuando el agua que está en el interior migra a la superficie a menor velocidad que se seca la superficie (Lomas, 1998). Este punto marca el instante en el que el agua líquida sobre la superficie es insuficiente para mantener una película continua que recubra toda el área de secado (Warren et al., 1991), corresponde al contenido crítico. El secado posterior solamente puede transcurrir con una velocidad regida por la difusión de la humedad interior hacia la superficie.

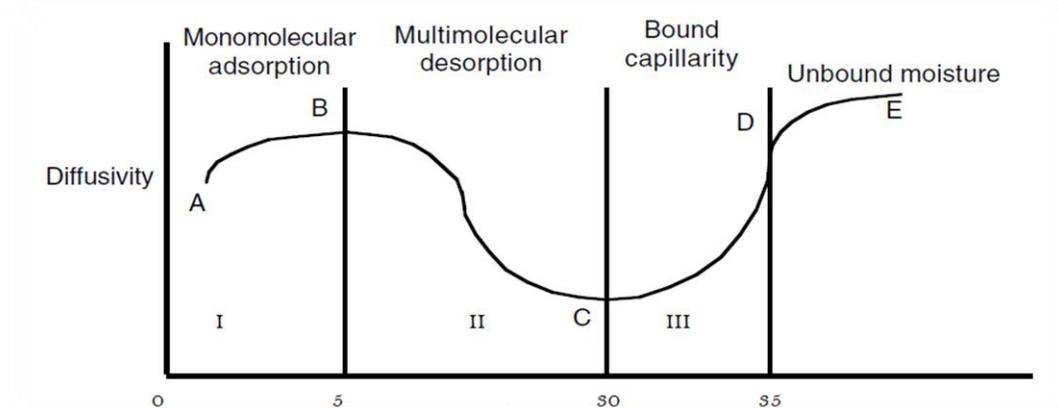
**2.6. Teoría de la difusión**

Canovas (2005) menciona que el principal mecanismo de secado de los sólidos es la difusión del agua en sólidos de que dependen de su estructura, capilares, porosidad, formas geométricas y actividad de agua. La difusión es característica de los materiales que secan lentamente. La resistencia a la transferencia de vapor de agua desde la superficie del sólido hasta el aire es generalmente despreciable y la difusión en el sólido controla la velocidad global de secado. Puesto que la difusividad aumenta con la temperatura, la velocidad de secado aumenta con la temperatura del sólido (Warren et al., 1991). El flujo del agua es una función del gradiente de la presión de vapor, de la difusividad del vapor en el aire, de la distancia a recorrer y de la temperatura. Además para evaporar el agua es necesario calor, el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor (Paul y Heldman, 2001). Como en la figura 04.



**Figura 04:** Difusión de agua en el secado

Fuente: Ibarz, A. 2005



**Figura 05:** Representación de las regiones de difusividad

Fuente (Ibarz, A. 2005).

**a) Difusión del líquido en el proceso de secado.**

Se supone que la transferencia de masa está controlada por la difusión cuando el flujo de líquido o vapor está de acuerdo con la segunda Ley de Fick. Esta ecuación aplica a la difusión en sólidos, líquidos y gases estacionarios.

La ecuación de difusión en el periodo de secado con velocidad decreciente para una placa se puede obtener de la ecuación de difusión, si se supone que la superficie está seca o tiene un contenido de humedad de equilibrio y la distribución inicial de humedad es uniforme. El desplazamiento interno de la humedad hacia la superficie es un proceso de difusión que sigue las mismas leyes que la transmisión de calor (Coulson J. M. y Richarson J. F., 1978).

$$RX = \frac{X_i - X^*}{X_0 - X^*} \dots \dots \dots (09)$$

Donde:

RX = relación humedad

Xi = contenido de agua en un tiempo dado (kg de agua/kg de sólido seco)

$X^*$  = contenido de agua en el equilibrio (kg de agua/kg de sólido seco).

$X_1$  = contenido de agua inicialmente (kg de agua/kg)

Las soluciones de la ecuación (09) son diferentes dependiendo de la geometría de las muestras. Soluciones para geometría simple como láminas se utiliza la ecuación Crank (ecuación 10).

$$RX = \frac{X_i - X^*}{X_o - X^*} = \frac{8}{\pi^2} * \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} * EXP \left[ -\frac{(2n+1)^2 * \pi^2 * D_{ef} * t}{4L^2} \right] \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

$D_{ef}$  = difusividad efectiva ( $m^2/s$ ).

$t$  = tiempo de secado (s)

$L$  = espesor de la capa de sólido a través de la que ocurre la difusión (m). Cuando la evaporación ocurre en una sola cara,  $L$  es igual al espesor total, en m

### b) Energía de activación

La difusividad efectiva se expresa habitualmente en función de la temperatura y del contenido en humedad. La dependencia de la difusividad con la temperatura se describe generalmente mediante la ecuación de Arrhenius y ésta permite estudiar el efecto de la temperatura en el coeficiente de difusión efectivo del agua durante el proceso de secado. Se expresa de la siguiente manera (Martínez, N., 1998)

$$D_{def} = D_0 EXP \left( \frac{E_a}{RT} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

$D_{def}$  = coeficiente de difusión efectivo del agua ( $m^2/s$ ).

$D_0$  = es el factor de frecuencia ( $m^2/s$ ).

$E_a$  = energía de activación (J/mol).

$R$  = constante universal de los gases (8,314 J/mol. K).

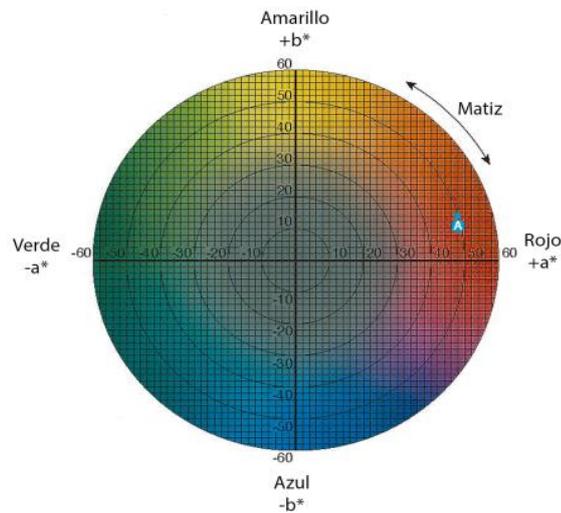
T= temperatura absoluta (K).

## 2.7. Color

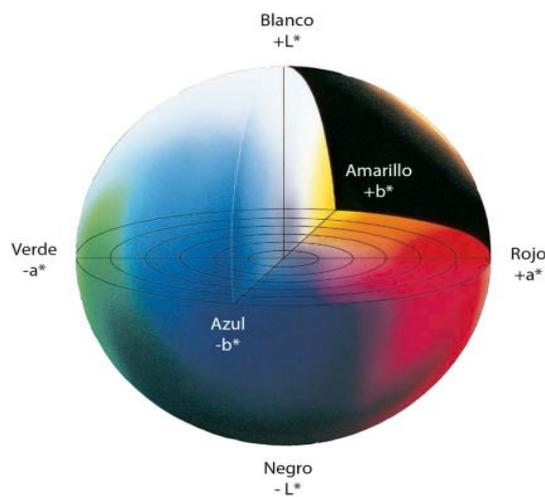
El color es una de las principales características de calidad de los alimentos y la principal característica perceptible por el consumidor. Varios pigmentos presentes en los alimentos se correlacionan con el contenido en compuestos bioactivos tales como compuestos fenólicos, carotenoides, betalaínas y vitaminas. Han revelado en varios estudios que su consumo diario promueve la salud de los seres humanos mediante la reducción de los niveles de colesterol, esclerosis coronaria, factores de riesgo cardiovascular, entre otros efectos benéficos. (Santana *et al.*, 2013).

El color se describe en términos de valor, que es de claridad u oscuridad de un color, o la cantidad relativa de blanco o negro de un tono. Si el blanco es agregado como incremento a cualquiera de los colores, obtendremos valores más claros del tono, llamados tintes. El incremento de gris en un tono da por resultado valores más oscuros de tono, conocidos como matices.

El espacio de color  $L^* a^* b^*$  (también referido como CIELAB) es uno de los espacios de color más usados para medir la composición cromática de un objeto y es ampliamente utilizado en todos los campos. Es un espacio de color definido por la CIE en 1976 con el fin de reducir uno de los principales problemas del espacio original en color  $Yxy$ . En este espacio de color,  $L^*$  indica la luminosidad,  $a^*$  y  $b^*$  las coordenadas de color; la figura (06) muestra el color en  $a^* b^*$  desde el plano horizontal un valor de  $L^*$  constante y en la figura (07) se indica la direcciones de color:  $+a^*$  es la dirección del rojo,  $-a^*$  es la dirección verde,  $+b^*$  es el dirección del amarillo y  $-b^*$  es la dirección azul.



**Figura 06:** Representación en el plano horizontal del espacio de color  $L^* a^* b^*$



**Figura 07:** Representación tridimensional del espacio de color  $L^* a^* b^*$ .

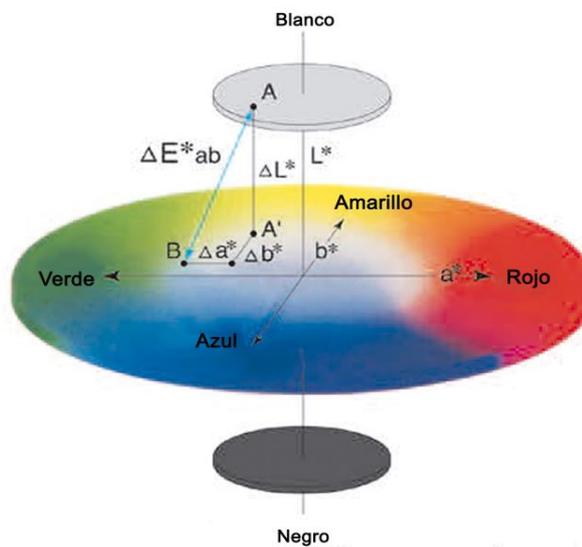
El espacio de color  $L^* a^* b^*$  (también referido como CIELAB) es uno de los espacios de color más usados para medir la composición cromática de un objeto y es ampliamente utilizado en todos los campos. En el espacio  $L^* a^* b^*$ , la diferencia del color puede ser expresada en un valor numérico  $\Delta E^*_{ab}$ , el cual indica la magnitud entre dos colores, pero no indica la saturación, el tono y la luminosidad; el  $\Delta E^*_{ab}$  está definido por la ecuación 12, usando la ecuación 13.

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ : es la diferencia entre  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de la diferencia  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de comparación

$$\Delta H_{ab} = \sqrt{(\Delta E^*)^2 + (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \dots \dots \dots (13)$$

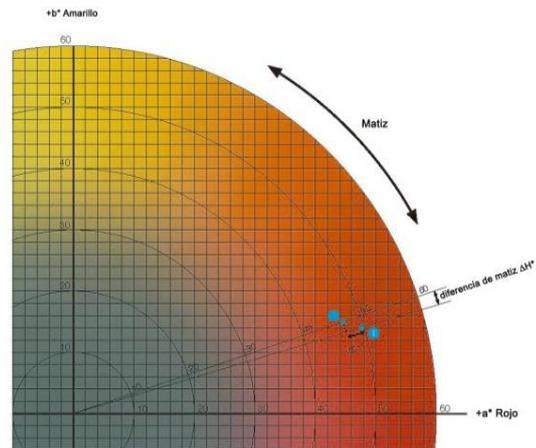


**Figura 08:** Diferencia del color en el espacio  $L^* a^* b^*$ .

La diferencia en el ángulo de tono  $\Delta H_{ab}^*$  entre el color observado y el de referencia puede ser correlacionada con diferencias visuales del tono percibido. La diferencia de saturación  $\Delta^{\circ} C_{ab}^*$  ( $[C_{ab}^*]_{\text{observado}} - [C_{ab}^*]_{\text{referencia}}$ ) puede ser relacionado con diferencias de saturación percibido visualmente. La medida de color  $C^*$  y del ángulo de tono  $h$  se definen por las ecuaciones (14) y (15) (ASTM). En la figura (08) se puede apreciar el concepto.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \dots \dots \dots (14)$$

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \dots \dots \dots (15)$$



**Figura 09:** Diagrama de cromaticidad *Figura*

La diferencia de tono es positiva si el ángulo  $h$  del observado es mayor al de referencia y es negativa si el ángulo  $h$  del observado es menor a la referencia (Konica, 2007).

## CAPITULO 3

### MATERIALES Y MÉTODO

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Localidad e institución donde se desarrolla el proyecto

###### a) Localidad

El proyecto de investigación se realizó en el barrio de Santa Rosa del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

###### b) Institución

Las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio de química y control de calidad de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA).

#### 3.2. Material de estudio

Para la investigación se recolectó las hojas romero (*Rosmarinus officinalis*) 5 kg del distrito Talavera de la provincia de Andahuaylas de la región Apurímac, limitado entre los puntos geográficos 13°33'20.13"; 13°33'55.53" LS, 73°18'33" LO y 13°34'28.53"; 13°34'57.4" LS, 73°16'40.2" LO del meridiano de Greenwich, entre los 2 500 y 4 080 msnm; con un área aproximada de 415.80 Has (Reynaga, 2003). Esta planta se encuentra en estado silvestre sin ningún cuidado y posteriormente el romero fue secado a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C para determinar la curva de secado, evaluar las curvas de velocidad de secado, energía de activación y variación de color.

##### 3.2.1. Universo y/o población

El universo y/o población de estudio fueron las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*), proveniente de distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac, se utilizó solamente las hojas.

##### 3.2.2. Muestra

Se considerara una muestra a 5 kg de hojas frescas de romero, esto consistió en recolectar el romero teniendo en cuenta los siguientes criterios; plantas con hojas

sanas, hojas sin manchas ni quebradas, coloración verde intenso y sin aparente marchites.

Las hojas recolectadas fueron llevadas adecuadamente en bolsas de papel Krab sin someter a presión y evitando el contacto directo con el sol para que no se marchiten.

### **3.2.3. Unidad de análisis**

Se utilizó las hojas de romero para el secado. Donde se obtendrá los datos durante el proceso de secado; Se realizó la selección y clasificación de la materia prima de forma manual, las hojas y tallos de romero se inspeccionaron excluyendo aquellas que presentaban coloraciones oscuras o cuya apariencia visual indica que no estaban aptas para ser procesadas.

Se desarrolló una investigación experimental usando un DCA de acuerdo a las siguientes variables de estudio (humedad final, Coeficiente de difusividad, Energía de activación y Variación de color), donde se consideraron como variable de entrada la temperatura a 40, 50 y 60 °C. Para ello se consideraron 3 tratamientos con 3 repeticiones por tratamiento en total 9 observaciones para este análisis. Cada unidad experimental será 2.5 g de hojas de romero.

#### **VARIABLE DE ENTRADA**

- T1=40 °C
- T2=50 °C
- T3=60 °C

#### **VARIABLE DE SALIDA**

- Humedad final
- Coeficiente de difusividad
- Energía de activación
- Variación de color

### 3.3. Equipos, materiales y reactivos e insumos de laboratorio

#### 3.3.1. Equipos

**Tabla 2.** Descripción de equipos e instrumentos

Cant.	Nombre	Descripción	Marca
01	Estufa con temporizador	De color plateado, material de acero inoxidable y con accesorios de plástico.	Menmert
01	Balanza analítica	Equipo electrónico con capacidad de 100 g y sensibilidad 0.0001g.	OHAUS Adventurer
02	Agitador electromagnético	Equipo electrónico, de material metálico, con imanes para la agitación electromagnética.	CAT
01	Secador convectivo	Con Bandejas y rango de temperatura de 40 a 100°C	
01	Colorímetro	Mide la variación de color basándose en espacio a, b, l	MINOLTA
01	Cronómetro	Instrumento digital	Casio

### 3.3.2. Materiales.

**Tabla 03:** Descripción de materiales

Cant.	Nombre	Descripción	Marca
12	Vasos precipitados	Material de vidrio pírex transparente, y de capacidad de 100 <i>ml</i>	Marienfeld
01	Pizeta	Material de plástico, capacidad de 200 <i>ml</i>	S/M
03	Probeta	Material de vidrio transparente, de capacidad de 100 <i>ml</i>	Fortuna
03	Bagueta	Material de vidrio transparente.	S/M
24	Papel de nitrocelulosa	Material de nitrocelulosa, empleado como filtro.	S/M
24	Trípode	Material metálico, fabricado caseramente	SiderPerú
24	Frascos	Material polietileno de alta densidad hermético, que contiene la solución salina	Basa
01	Papel aluminio	Material que permite trasportar durante el pesaje	3M

### 3.3.3. Reactivos e insumos

**Tabla 04:** Descripción de Reactivos y sustancias

Cant.	Nombre	Descripción	Marca
1 litro	Agua destilada	Empleada para la preparación de soluciones	-
100 g	Cloruro de litio	Pureza de 99.14%	Fermont
100 g	Acetato de potasio	Pureza de 99.0%	Scharlau
100 g	Cloruro de magnesio	Pureza de 99.9%	Fermont
100 g	Nitrato de magnesio	Pureza de 99.8%	Fermont
100 g	Yoduro de potasio	Pureza de 99.5%	Riedel-de Haën
100 g	Cloruro de sodio	Pureza de 100.0%	Mallinckrodt
100 g	Cloruro de potasio	Pureza de 100.0%	Mallinckrodt
100 g	Cloruro de bario	Pureza de 99.0%	Riedel-de Haën

### 3.3.4. Material vegetal

**Tabla 05:** Material vegetal.

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PROCEDENCIA
5	kg	Hojas de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )	Colectado del sector, del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, Departamento Apurímac

### **3.4. METODOLOGÍA**

#### **3.4.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA EL DESARROLLO DEL SECADO DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*)**

##### **A. RECOLECCIÓN DE ROMERO.**

Se considera las hojas de romero fresco donde consistió en recolectar el romero teniendo en cuenta los siguientes criterios; plantas con hojas sanas, hojas sin manchas ni quebradas, coloración verde intenso y sin aparente marchites.

Las hojas recolectadas fueron llevadas adecuadamente en bolsas de papel krap sin someter a presión y evitando el contacto directo con el sol para que no se marchiten.

##### **B. ACONDICIONAMIENTO DE MATERIA PRIMA.**

Los tallos de romero fueron sometidos a deshojado manual, para obtener las hojas, las que fueron lavadas con abundante agua a chorro a fin de eliminar material extraño y fueron llevadas a refrigeración a 10 °C para evitar su marchitamiento y para conservar su integridad.

Luego se eliminó el agua residual de lavado utilizando paños absorbentes, y se dejó esparcido en una bandeja de acero inoxidable durante 30 minutos para la eliminación total del agua de lavado.

Luego se colocó en recipientes de acero inoxidable de 10 cm x 10 cm de lado en donde se esparcieron hojas de romero con un espesor de 0.033 cm, luego se llevó al secador de bandejas a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C.

##### **C. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD INICIAL**

El contenido de humedad inicial de las hojas de romero se determinó por triplicado, según el método 930.15 de la A.O.A.C (1998). Se registró el peso inicial de las hojas por medio de una balanza analítica, luego las hojas fueron llevadas a la estufa a 105 °C y al cabo de 12 horas se retiraron de la estufa, se llevaron a un desecador por 2 horas y tras su enfriamiento se registró el peso final de las hojas secas mediante una balanza analítica.

#### D. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO.

Para la humedad de equilibrio se utilizó isoterma de desorción a 40, 50 y 60 °C, fueron determinadas de acuerdo al método gravimétrico estático (Spiess, 1983; Labuza, 1984). Las muestras se trabajaron por triplicado para cada temperatura y se pesaron en promedio  $0.20 \pm 0.0001$  g se hojas secas de romero. Se situaron en vasitos pequeños de polipropileno de alta densidad y luego se colocaron en frascos herméticos contenidas con soluciones salinas saturadas (Cloruro de litio, Acetato de potasio, Nitrato de magnesio, Bromuro de sodio, Yoduro de potasio, Cloruro de sodio, Cloruro de potasio y Nitrato de potasio), estas soluciones fueron preparadas de acuerdo al método propuesto por Labuza (1984). Las muestras se mantuvieron en la estufa a las temperaturas estudiadas, en donde se registraron el peso de las muestras hasta que el peso fuera constante. Se determinó la humedad de equilibrio experimental para una humedad relativa de 60 % del aire de secado con la ecuación de GAB con la ecuación (16).

$$X^* = \frac{X_m * C * K * a_w}{(1 - k * a_w) * (1 + (C - 1) * K * a_w)} \dots\dots\dots(16)$$

Dónde:

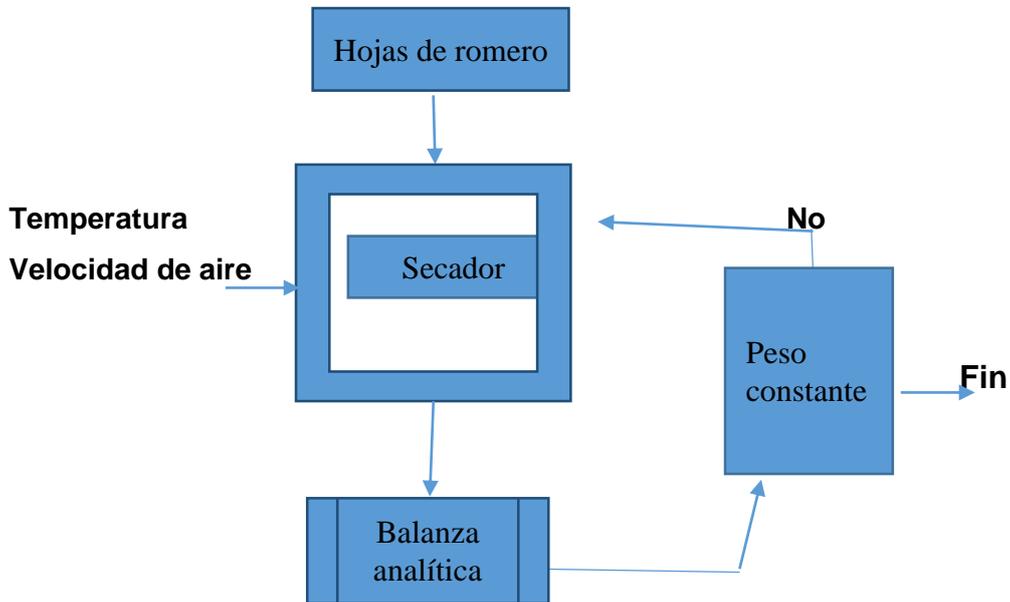
$a_w$ : Actividad de agua

$X_m, C, K$ : Constantes de GAB

$X^*$ = humedad de equilibrio

#### E. OPERACIÓN DE SECADO DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*)

Las hojas de romero se colocaron en bandejas de acero inoxidable 10 cm ancho X 10 cm largo, en donde se esparcieron hojas de romero hasta un espesor de 0.033 cm, luego se llevó a secar, se registró la pérdida de peso en el tiempo, para lo cual se realizó la siguiente actividad; las muestras fueron extraídas de la estufa cada 10 minutos para la lectura del peso, se pesó con una balanza analítica de precisión y luego fue devuelta al secador de bandejas. Esta operación se realizara hasta obtener un peso constante.



**Figura 10:** Esquema de operación de secado  
(Carranza, 2001)

Con los datos obtenidos se calcularon la humedad en base seca (ecuación 01), humedad libre (ecuación 05) para intervalo de tiempo. Con estos datos se graficaron la curva de secado de las hojas de romero a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C.

### 3.4.2. EVALUAR LA VELOCIDAD DE SECADO SECADO DE HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) A LAS TEMPERATURA DE 40 ,50 Y 60 °C.

Para evaluar las curvas de velocidad de secado se utilizó el método descrito por Geankoplis (1998), para lo cual fue calculada la velocidad de secado utilizando la ecuación 20 y luego se graficó la velocidad de secado con la humedad. Una vez obtenida la curva de velocidad de secado se determinó los periodos de secado, humedad crítica, velocidad anticrética, velocidad proscritico, tiempo de secado y la perdida de humedad en los periodos de secado

$$W = \frac{m_{ss}\Delta X}{A\Delta t} \dots\dots\dots(17)$$

Dónde:

A= área del materia a secar

$\Delta X$ =variación de humedad libre

$m_{ss}$ = solido seco

$\Delta t$ = variación de tiempo

### 3.4.3. DETERMINAR EL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DE DE HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) A LAS TEMPERA DE 40 ,50 Y 60 °C

Se determinó el coeficiente de defusividad con la segunda ley Fick, se utilizó la ecuación linealizada (ecuación 18) para una placa infinita propuesta por (Aguirre, Gabito y Chirife, 1985), para lo cual se graficó el logaritmo natural de razón de humedad (RX) (ecuación 10) con el tiempo (segundos), esta grafica se ajustó a un modelo lineal y con la pendiente de la ecuación del modelo se calculó la difusividad (ecuación 19). Para el ajuste del modelo lineal se utilizo el software Microsoft Excel 2013.

$$LN(RX) = LN\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{def}}{4L^2} * t \dots \dots \dots (18)$$

$$m = \frac{\pi^2 D_{def}}{4L^2} \dots \dots \dots (19)$$

Dónde:

$m$ =pendiente de la ecuación linealizada

$RX$ = razón de humedad

$L$ = Espesor del lamina (m)

$D_{ef}$ = difusividad efectiva

$t$  = tiempo

**3.4.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA DETERMINAR LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN DEL SECADO DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) A LAS TEMPERATURAS DE 40, 50 Y 60 °C.**

Se determinó la energía de activación al graficar el logaritmo natural de difusividad con la temperatura absoluta. La energía de activación fue calculada por la segunda ley de Fick linealizada (ecuación 20), propuesta por (Aguirre et al., 1985) esta grafica fue modelado al modelo lineal en el software Microsoft Excel 2013 y con la pendiente se determinó la energía de activación (ecuación 21).

$$\ln(D_{ef}) = \ln(D_o) - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} \dots \dots \dots (20)$$

$$m = \frac{E_a}{R} \dots \dots \dots (21)$$

Dónde:

$m$  = pendiente de la ecuación linealizada

$D_{ef}$  = difusividad efectiva (m<sup>2</sup> /s)

$D_o$  = coeficiente de difusividad (m<sup>2</sup>/ s)

$E_a$  = Energía de activación (J mol<sup>-1</sup>)

R = constante universal de los gases (8, 3143 J. mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

T = Temperatura (K).

**3.4.5. EVALUAR LA VARIACIÓN DE COLOR DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) A LAS DIFERENTES TEMPERATURAS.**

Se determinó las coordenadas de color en el espacio CIELAB (L\*a\*b\*) de las hojas de romero secado a diferentes temperaturas y hojas frescas de romero para lo cual se utilizó el colorímetro KONICA MINOLTA modelo CR-400 calibrado en una cerámica blanca. Con los datos obtenidos se evaluó la luminosidad, las coordenadas de color a\* y b\* los cuales fueron evaluadas estadísticamente aplicando ANOVA para verificar el efecto de la temperatura en el color. Para determinar las diferencias de color se siguió lo expuesto según la norma ASTM (D2244-02)

### 3.4.6. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN. .

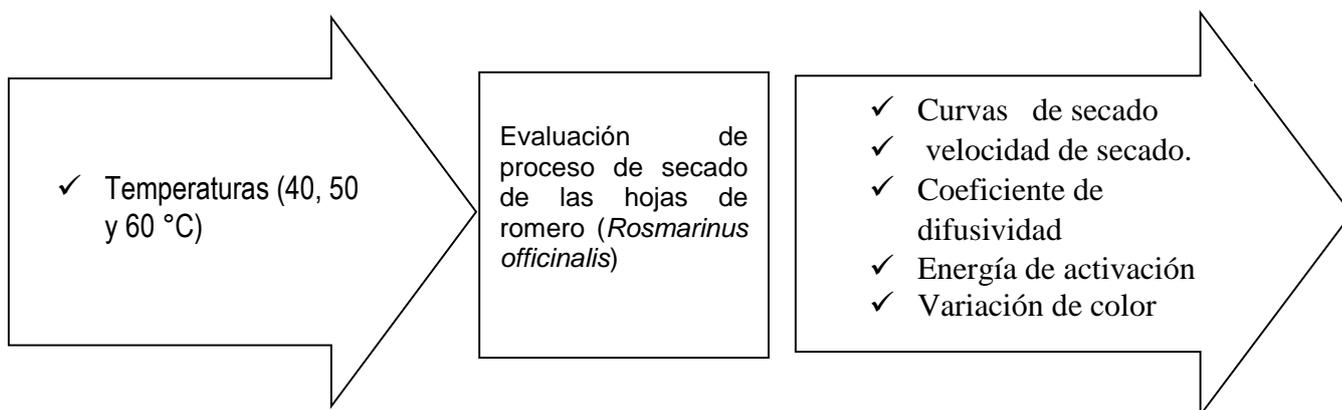
Para el secado de las hojas de romero se utilizará un diseño estadístico completamente al azar (DCA) en donde se manipulará una variable de entrada (temperatura) con tres niveles (40, 50 y 60 °C.), se tendrá cinco variables de salida. La curva de secado, velocidad de secado, coeficiente de difusividad, energía de activación y variación de color.

**Tabla 06:** Matriz de diseño para el secado de las hojas de romero

Tratamiento	Variable de Entrada	Variable de salida				
	Temperatura (°C)	Curvas de secado	velocidad de secado	Coeficiente de difusividad	Energía de activación	Variación de color
TRT01	T1 (50)	C1	V1	CD1	EA1	VC1
TRT02	T2 (60)	C2	V2	CD2	EA2	VC2
TRT03	T3 (70)	C3	V3	CD3	EA3	VC3

**Variable de entrada/Independiente**

**Variable de entrada/Dependiente**



**Figura 11:** Diagrama de contrastación y variables

### 3.4.7. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### a) Análisis estadístico

se analizaron las variables de salida con un diseño completamente al azar DCA, en donde se consideró un factor la temperatura, mientras que variables de respuestas serán curva de secado, curva de velocidad de secado, coeficiente de difusividad efectiva, energía de activación y la variación de color.

#### b) Análisis de varianza

Se aplicara ANOVA de un solo factor (temperatura de secado) y se plantea la siguiente hipótesis estadística para ANOVA (Gutiérrez, 2008).

##### Hipótesis nula ( $H_0$ )

La media de los resultados de tiempo de secado humedad final, coeficiente de difusividad, energía de activación y variación de color a las temperaturas de estudio no muestra diferencia significativo.

$$H_0: x_1 = x_2 = x_3$$

##### Hipótesis alterna ( $H_A$ )

La media de los resultados de tiempo de secado humedad final, coeficiente de difusividad, energía de activación y variación de color a las temperaturas de estudio muestra diferencia significativa.

$$H_A: x_A \neq x_A \neq x_A$$

## CAPITULO 4

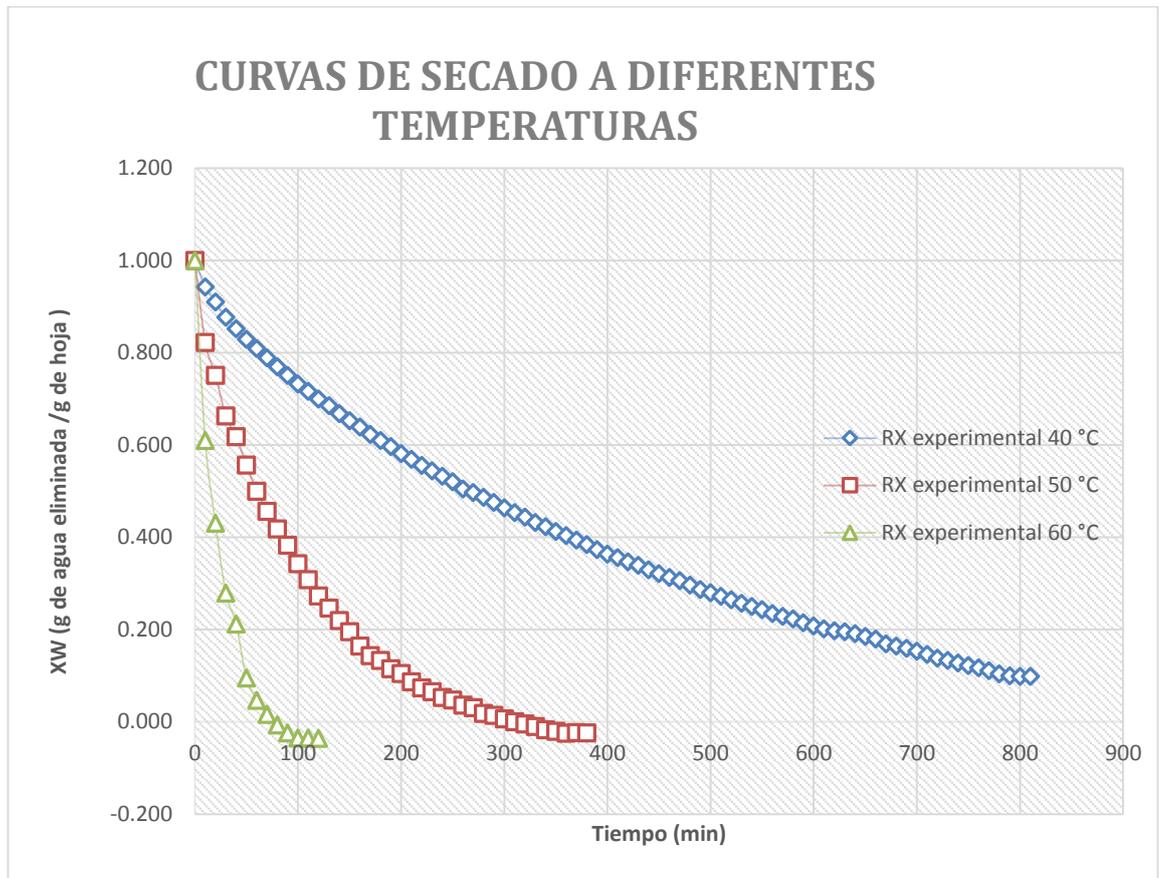
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CURVA DE SECADO PARA LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*)

En la figura 12 se aprecia las curvas de secado para cada temperatura en donde se observa la dependencia del tiempo de secado a la temperatura por ende a medida que las temperaturas se incrementan en 10 °C, los tiempos de secado decrecen, alcanzando, el secado realizado a 40 °C fue el que más tiempo tardó en secarse, que demoro un tiempo de 13.5 h, a una temperatura de secado de 50 °C demora 6 .34 h y a temperatura de 60°C durante un tiempo de 2 h para que llegen a un peso constante. Las curvas de secado, obtenidas para las tres temperaturas de trabajo (40°C, 50°C y 60 °C). En términos generales y como era de esperar, al aumentar la temperatura del aire de secado aumenta la velocidad de secado. Por tanto, en función de los resultados obtenidos se deduce que la velocidad de secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) es dependiente de la temperatura del aire de secado.

Comprobando que, el mecanismo que predomina la migración de las moléculas de agua, para las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) es por difusión molecular. Al respecto Geankoplis (1998) menciona que la migración por difusión de la humedad contenido en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría de los alimentos, tal es caso de los vegetales.

Para hacer la representación de la curva de secado se grafico con los datos que se encuentran en el anexo 12, 13 y 14.



**Figura 12:** Curva experimental de secado para las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*)

#### 4.2. EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SECADO DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) A TEMPERATURAS DE 50, 40 Y 60°C.

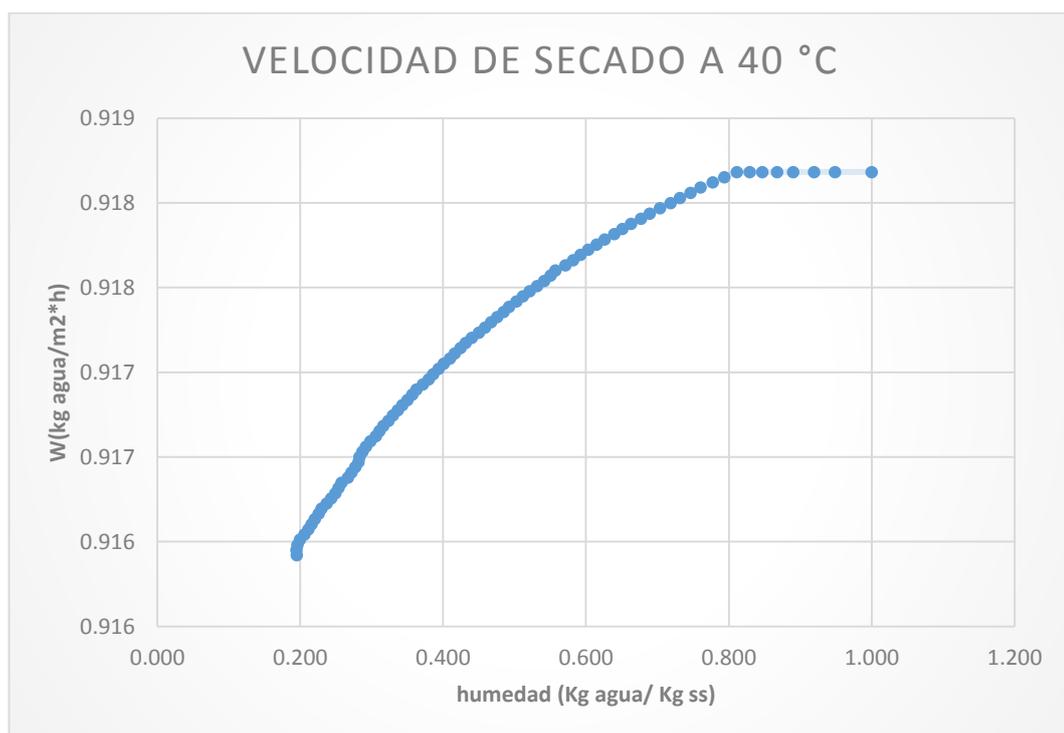
En las Figuras 13, 14 y 15, se distinguen para las tres temperaturas las curvas de velocidades de secado de las hojas de romero para 40, 50 y 60 °C en donde se observa que la velocidad de secado, disminuye a medida que la humedad de la hoja decrece.

En la curva de velocidad de secado de romero se puede distinguir dos etapas de secado el periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente, para 50 °C la velocidad de secado es menor que a las otras dos temperaturas, mientras

para 60 °C se observa mayor velocidad de secado, por ello es posible establecer una relación directa entre la velocidad de secado y la temperatura.

Para las grafica de velocidad de secado los datos obtenidos están en el anexo 12, donde se grafica la velocidad de secado en fucion de la humedad promedio del sólido (x).

velocidad de secado ya no se mantiene constante y empieza a disminuir, en este periodo, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor, de acuerdo a los resultados obtenidos de las curvas de secado se aprecia que el tiempo es dependiente de la temperatura, a mayor temperatura el tiempo de secado disminuye y la velocidad de secado se incrementa ya que a mayor temperatura la humedad relativa del aire de secado disminuye de tal forma que la capacidad de absorber vapor proveniente de las hojas de romero es mayor

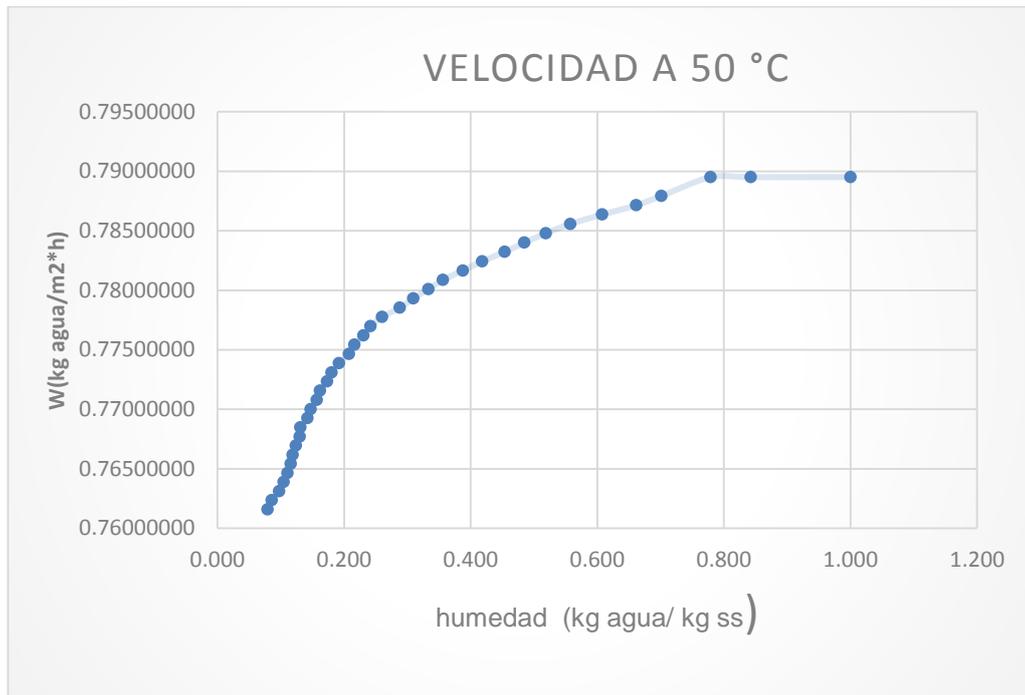


**Figura 13:** curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*). Para 40°C.

En la figura 09 se observa que la humedad de las hojas de romero va desde la humedad inicial 0.999 kg agua/ kg ss hasta un valor crítico de 0.812 kg agua/ kgss. Durante este periodo, el valor constante de velocidad de secado fue 0.9182kg/m<sup>2</sup>

h, donde se retiró mayor cantidad de agua 75.4% en un tiempo 1.5 horas, rango de humedad en la que la velocidad de secado varía linealmente con respecto a la humedad de las hojas de romero. El periodo de velocidad decreciente comienza desde la humedad inicial 0.812 kg agua/ kg ss hasta la humedad libre final 0.1954kg agua/ kg ss, rango de humedad, donde la velocidad de secado ya no varía linealmente con la humedad de las hojas de romero. Durante este periodo se retiró 25 % de humedad en un tiempo de 11.66 horas. Al respecto Barbosa y Vega (2000) mencionan que el periodo de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado ya no se mantiene constante y empieza a disminuir. En este periodo, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor.

García. (2014) en la evaluación de los efectos del proceso sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*) para su estudio utilizó un horno de convección forzada donde estableció cuatro temperaturas de secado, (40, 50, 60 y 70 °C) para la Stevia rebaudiana y (30, 40, 50 y 60 °C) para la *Mentha spicata*. Las hojas de stevia se secaron a 25, 10, 6.3 y 4.8 horas y para la menta 48, 32, 9.5 y 6.5 horas a las temperaturas estudiadas. (Jeria y Pozo, 2011) estudio el secado convectivo de hojas de stevia rebaudiana y factibilidad técnico-económica de una planta elaboradora de edulcorante a base de stevia. Secó las hojas de la stevia rebaudiana a tres temperaturas 50, 60, 70 °C y a una velocidad del aire de  $0.9 \pm 0.1$  m/s. El secado a 70 °C tuvo una duración de 85 minutos, a 60 °C fueron 95 minutos y a 50 °C fueron 150 minutos. Todas las investigaciones realizadas por diferentes autores concuerdan con lo observado de las curvas de secado de romero donde la temperatura tiene un efecto significativo en el tiempo de secado, humedad final y así también en la velocidad de secado. Para las graficas de velocidad de secado los datos obtenidos están en el anexo 13, donde se grafica la velocidad de secado en función de la humedad promedio del sólido (x)



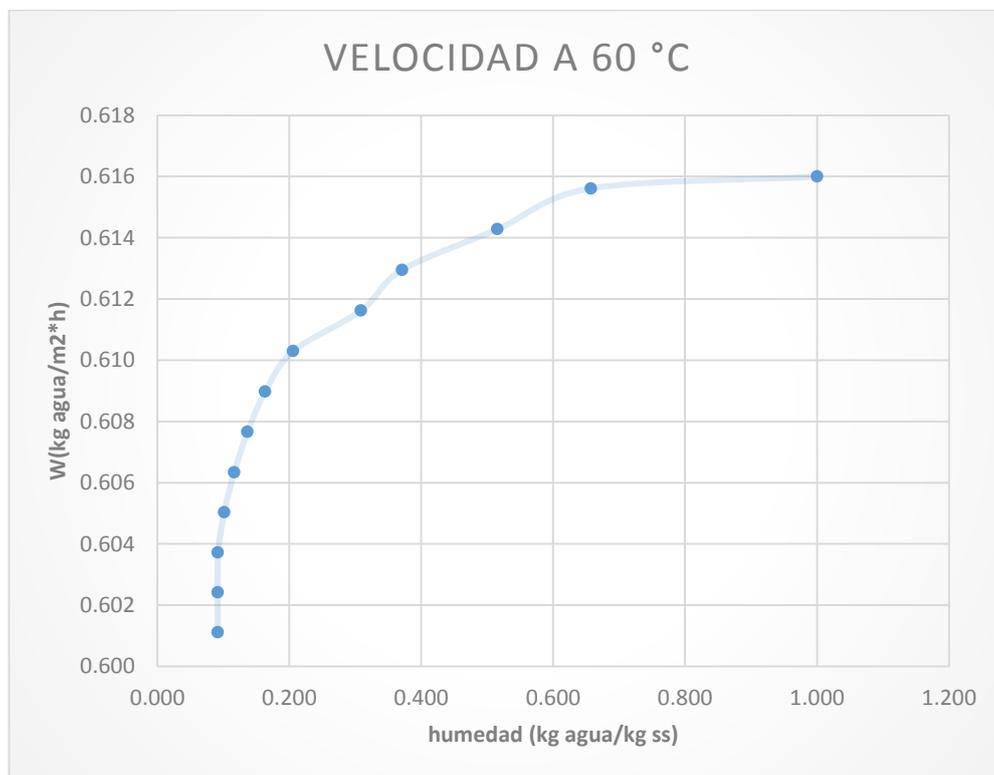
**Figura 14:** curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*). Para 50°C.

En la figura 10 se visualizan los dos períodos de secado. Constante que va desde la humedad inicial 0.996kg agua/ kg ss hasta un valor crítico de 0.779 kg agua/ kg ss. Durante este periodo, los valores constantes de velocidad de secado fue 0.789 kg/m<sup>2</sup> h, donde se retiró mayor cantidad de agua 60.4 % en un tiempo 0.83 horas, rango de humedad en la que la velocidad de secado varía linealmente con respecto a la humedad de las hojas de romero. También se puede observar las curvas de velocidad correspondientes al período de velocidad decreciente que va desde la humedad crítica 0.779 kg agua/kgss hasta una humedad final de 0,079 kgH<sub>2</sub>O/kgss y una velocidad de secado final de 0,76168 kgH<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>, rango de humedad en la que la velocidad de secado varía linealmente con la humedad libre de las hojas de romero. se puede observar que la velocidad fue influenciada directamente por la temperatura de secado. Durante este periodo se retiró 23.35 % de humedad en un tiempo de 2.83 horas.

Resultados semejante fueron obtenidos por Mendoza (2003), para rehidratación de pedazos de papaya.

Lema, M. et al. (2007) en la evaluación de “características del proceso de secado en capa delgada del perejil”. Estudio la cinética de secado en capa delgada para hojas y tallos de perejil bajo diferentes condiciones de temperatura del aire de secado (35, 45, 55 y 65 °C) y a una velocidad fija de  $1.0 \pm 0.1$  m/s. Concluye que las temperaturas de estudiadas tiene un efecto significativo sobre la velocidad del secado, también indica que el proceso de secado ocurre completamente en el período de velocidad decreciente

Para las grafica de velocidad de secado los datos obtenidos están en 14 el anexo 6, donde se grafica la velocidad de secado en fucion de la humedad promedio del sólido (x)



**Figura 15:** curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad libre de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*). 60 °C.

En el grafico se puede observar los dos periodos velocidad constante y la velocidad decreciente, donde la velocidad constante comienza desde la humedad inicial 9.9278 kg agua/ kg ss hasta la humedad libre final 0.657kg agua/ kg ss, y una velocidad de secado de 0,61768 kgH2O/hm² rango de humedad, donde se retiró

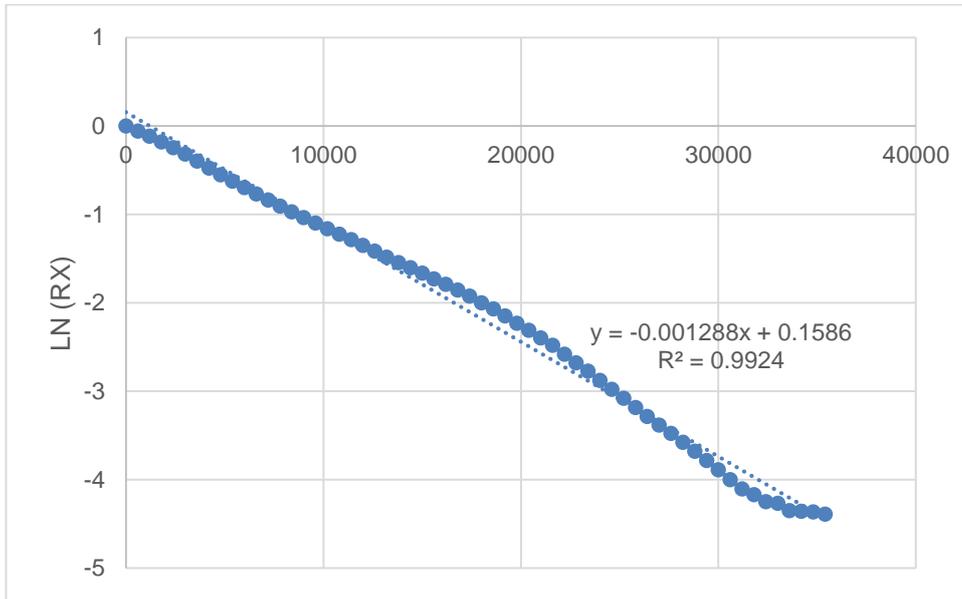
mayor cantidad de agua 51.56 % en un tiempo 0.33 horas, rango de humedad en la que la velocidad de secado varía linealmente con respecto a la humedad de las hojas de romero. El periodo de velocidad decreciente comienza desde la humedad crítica 0.6578 kg agua/ kg ss hasta la humedad final 0.091 kg agua/ kg ss, rango de humedad, donde la velocidad de secado ya no varía linealmente con la humedad de las hojas de romero. Durante este periodo se retiró 16.35 % de humedad en un tiempo de 1 horas. La migración por difusión de la humedad contenida en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría de alimentos, tal es caso de vegetales (Geankoplis, 1998).

Las curvas presentaron un período de velocidad decreciente, y no se observó el período de velocidad constante. Debido a las características del romero se consideró que en el período de velocidad decreciente la humedad se dirige hacia la superficie, predominantemente por difusión molecular a través del medio poroso. Por este motivo, el estudio cinético fue realizado por medio de un modelo difusional que describiera el comportamiento del secado del romero.

#### **4.3. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL SECADO CONVECTIVO DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) A LAS TEMPERATURAS DE 40, 50 Y 60°C.**

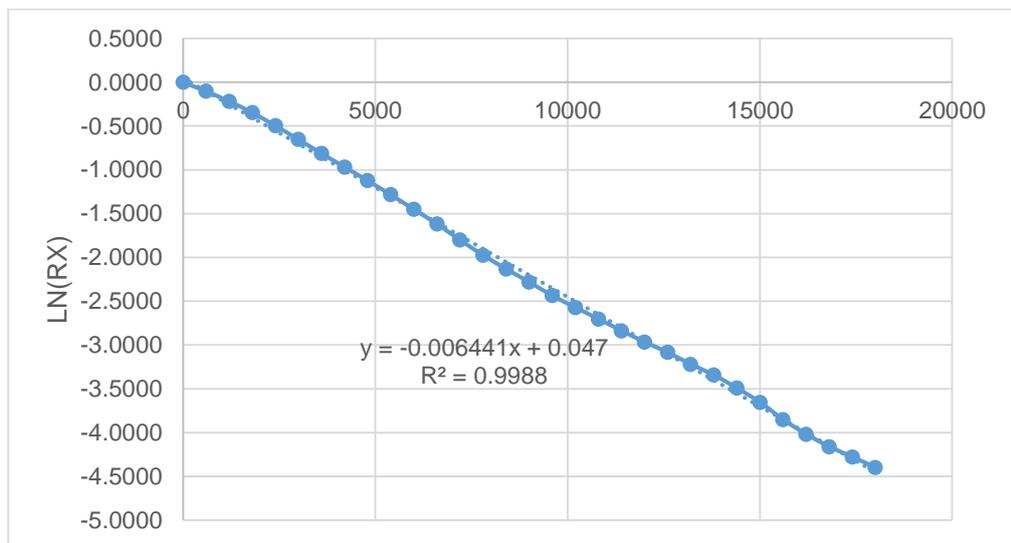
La ecuación de difusión de Fick (Ecuación 18) para partículas de geometría plana, fue utilizada para calcular la difusividad efectiva de la humedad de las hojas de romero secados a 40, 50 y 60 °C. Al graficar el Ln (MR) versus tiempo es posible determinar la difusividad efectiva del agua para las tres temperaturas de secado, a través de las pendientes de las rectas linealizadas (ecuación 20 y la ecuación 21). El coeficiente difusional para cada temperatura, se calculó a partir de la pendiente de la línea recta obtenida al graficar el logaritmo natural de la razón de humedad en función del tiempo de secado expresado en segundos, los mismos se presentaron en las figuras 16, 17 y 18.

Para las graficas de la figura 16, 17, 18 los datos obtenidos están en anexo 15



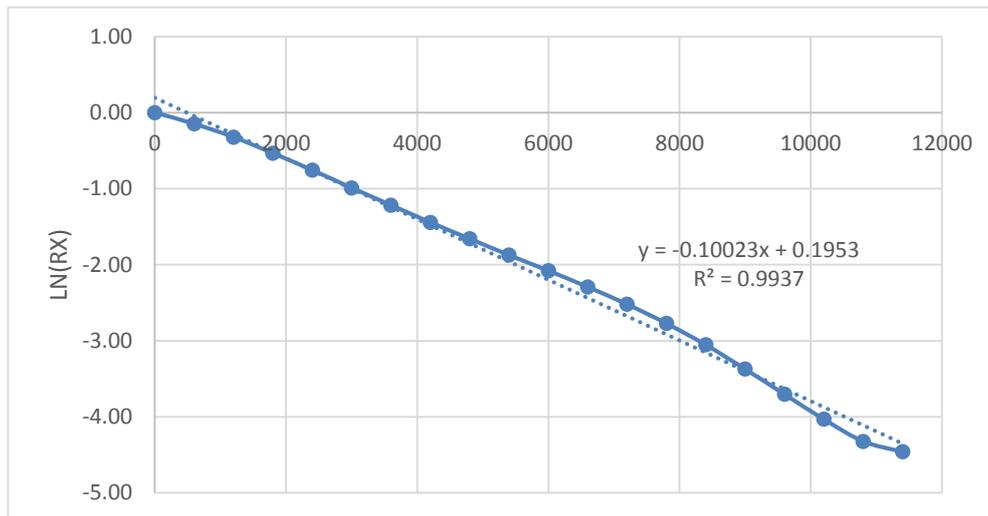
**Figura 16:** Correlación logarítmica de la segunda Ley de Fick, para el cálculo de la difusividad efectiva para la temperatura de 40°C.

Se puede observar que el mejor coeficiente de correlación de temperatura de 40 °c donse se obtuvo (0,9924). Para la grafica los datos obtenidos están en el anexo 15.



**Figura 17:** Correlación logarítmica de la segunda Ley de Fick, para el cálculo de la difusividad efectiva para la temperatura de 50°C.

Se puede observar que en la figura 17 para 50 °C se obtuvo el mejor coeficiente de correlación (0,9988), mientras que a 40 °C fue 0,9924 los datos para la grafica se encuentran en el anexo 16.



**Figura 18:** Correlación logarítmica de la segunda Ley de Fick, para el cálculo de la difusividad efectiva para la temperatura de 60°

En la figura 18 para 50 °C se obtuvo el mejor coeficiente de correlación (0,9988), mientras que a 40 °C fue 0,9924 y a 60 °C fue 0,9937. Con la pendiente de la ecuación se calcularon el coeficiente de difusividad efectiva obteniéndose así valores de difusividad efectiva de la humedad de las hojas de romero que varían entre  $7.94 \times 10^{-14}$  e  $1.99 \times 10^{12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (Tabla 07), se calculó estos valores con la ecuación 22. En dicha figura se puede observar que las tres curvas trazadas muestran una tendencia lineal desde el inicio del proceso para las temperaturas de 40 °C, 50 °C, y 60 °C y presenta altos valores de coeficiente de correlación, como se evidencia en la tabla 07. Con los datos que se encuentran en el anexo 17 se graficaron para temperatura de 60 °C

**Tabla 07: Coeficientes de difusividad efectiva del agua en el las hojas de romero a diferentes temperaturas de secado.**

Temperatura °C	Difusividad (m <sup>2</sup> /s)	Valor de R <sup>2</sup>
40	7.94 x 10 <sup>-14</sup>	0.9905
50	3.97 x 10 <sup>-13</sup>	0.9492
60	1.99 x 10 <sup>-12</sup>	0.9460

Difusividad varia conforme cambia las condiciones de secado (temperatura y velocidad del aire), no es intrínseca al material. Por este motivo la llamamos de difusividad efectiva. A través de la Figura 16, 17 y 18 en la Tabla 06 se puede verificar que el modelo difusional de Fick, sin considerar el encogimiento de la muestra, fue capaz de predecir la cinética del secado de manera satisfactoria. En la Tabla 06, se puede notar también que para mayores temperaturas del secado mayor son las difusividad del secado, de esta manera, el aumento de la temperatura favoreció la transferencia de masa y como consecuencia el aumento de la difusividad efectiva.

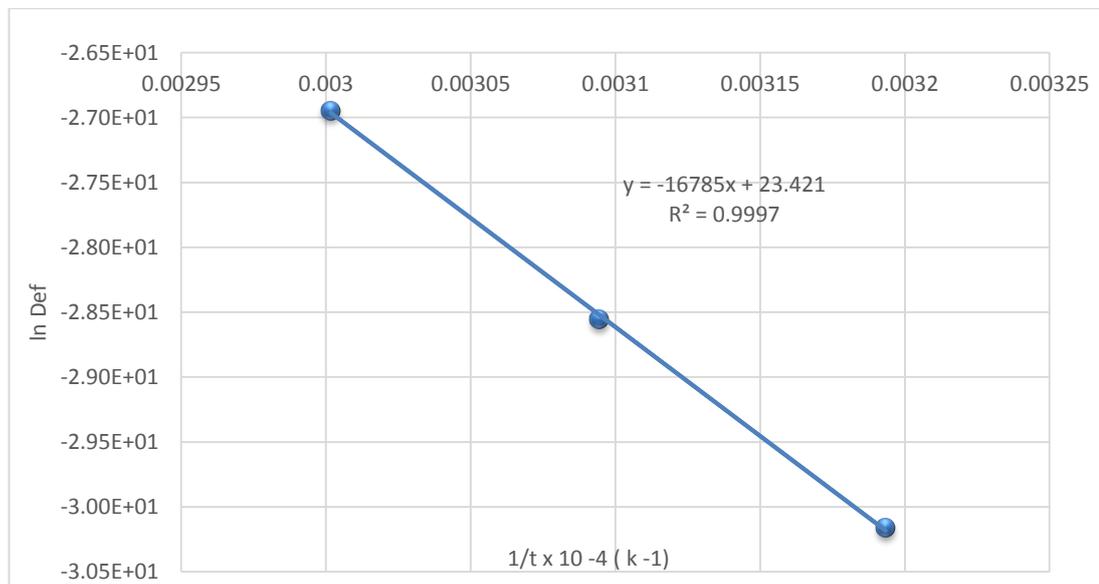
Los valores calculados de la difusividad efectiva para las hojas de romero están representados en la tabla 06. Podemos apreciar en los datos obtenidos que la difusividad efectiva aumenta con el aumento de la temperatura del aire de secado en el rango de temperaturas con las que hemos trabajado (40, 50 y 60 °C), evidenciando la reducción de las resistencias internas de difusión de agua con la elevación de la temperatura. Se puede apreciar al incrementar la temperatura también la difusividad aumenta.

La difusividad está directamente relacionada con la temperatura ya que para el secado de las hojas de romero a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C fue 7.94\*10<sup>-14</sup>, 3.97\*10<sup>-13</sup> y 1.99\*10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s respectivamente. Se puede apreciar al incrementar la temperatura también la difusividad aumenta. En su libro Warren, L. et al. (1991) menciona también que la difusividad aumenta con la temperatura. Se puede apreciar al incrementar la temperatura también la difusividad aumenta. En su libro Warren, L. et al. (1991) menciona también que la difusividad aumenta con la temperatura. Resultados similares fueron obtenidos por Espierriz. (2011) para el secado de las hojas de hierba limón (*cymbopogon citratus*) a las temperaturas de

60, 70, 80, 90 y 100 °C. El coeficiente de difusividad efectiva vario en un rango de  $2.01 \cdot 10^{-11}$  a  $3.93 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ . (Aspurz, 2011) obtuvo valores de coeficiente de difusividad efectiva de  $3,689 \times 10^{-12}$  e  $1,190 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  para el secado de las hojas de tomillo (*Thymus vulgaris*)”.

#### 4.4. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN EN EL SECADO DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*)

Se graficó el Ln (Deff) vs 1/T (figura 08) con los resultados de la Tabla 07, Como puede observarse la influencia de las diferentes temperaturas de secado sobre el coeficiente de difusividad efectiva en cada una de las experiencias, se ajustan perfectamente a una línea representativa de una relación tipo Arrhenius, por lo que de las pendientes de las rectas obtenidas analíticamente por regresión lineal, se han deducido los valores de energía de activación. Se grafico con los datos obtenidos en el anexo 18.



**Figura 19:** Logaritmo natural de la difusividad en función del inverso de la temperatura para las diferentes corridas.

Al graficar el logaritmo natural de los valores del coeficiente de difusión efectivo en función del inverso de las temperaturas (ecuación de Arrhenius) de 40, 50 y 60 °C, de acuerdo a las diferentes corridas ensayadas, se observa un alto coeficiente de correlación de 0.9997. La energía de activación requerida para

iniciar la difusión de la humedad de las hojas de romero través del sólido, alcanzó un valor 139.641 kJ/mol. Este valor es muy próximo al encontrado por (Aspurz. J, 2011) al estudiar la obtención de curvas de secado de tomillo encontró un valor de energía de activación de 77.16 kJmol<sup>-1</sup>. (Doymaz 2010) al trabajar en el secado de esta misma especie, siendo el valor encontrado de 73,84 kJ mol<sup>-1</sup>. (Simal et. al. 2000) donde encontró el valor de la energía de activación de 82,93 kJ mol<sup>-1</sup> para menta. Para espinaca (DOYMAZ, 2009) e 31,79 kJ mol<sup>-1</sup> y 110.5 kJ/mol para el secado manzana (Senadeera et al., 2003), 26.2 kJ/mol. La energía de activación para el secado de diversos productos viene siendo foco de estudios de varios trabajos.

#### 4.5. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE COLOR DE LAS HOJAS DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*).

El color de las hojas de romero fresco y seco a cada tratamiento se determinó en coordenadas CIELAB (L\*, a\* y b\*) con el colorímetro KONICA MINOLTA modelo R-400 los datos obtenidos se muestran en la tabla 08.

**Tabla 08:** Resultados L\*, a\* y b\* para las hojas secas y fresca

<b>Temperatura</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
<b>Fresco</b>	35.43	-4.38	17.45
<b>Secado a 40 °C</b>	36.03	-4.88	15.98
<b>Secado a 50 ° C</b>	32.65	- 3.66	13.49
<b>Secado a 60 °C</b>	32.36	- 4.37	12.86

Los datos obtenidos de la medición de color en el espacio CIELAB para cada tratamiento por repeticiones están en el anexo 20

La temperatura del aire de secado tiene un efecto significativo en el cambio de color de las hojas de romero, en la Tabla 07 se presentan los resultados promedio de la medición de color en el espacio CIELAB para las hojas en fresco y seco a 40, 50 y 60 °C.

Las coordenadas de color en escala CIELAB tiene valores de  $a^*$  que va de rojo ( $+a^*$ ) a verde ( $-a^*$ ), para  $b^*$  varía de amarillo ( $+b^*$ ) a azul ( $-b^*$ ) y el valor de  $L^*$  es de 0 (negro) a 100 (blanco). En la tabla 8 se observa valores positivos de  $L^*$  lo cual indica que la luminosidad se aproxima al blanco, si puede afirmar que a medida que la temperatura se incrementa valor  $L^*$  también aumenta. Mientras la coordenada  $a^*$  tiene valores negativo esto nos indica que el color se acerca al color verde y no se observa mucha variación entre las medias de los datos. Por otro lado la coordenada  $b^*$  tiene valores positivos lo cual indica que el color se aproxima a amarillo sus valores también aumenta con la temperatura. Para su mejor análisis se realizó análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor para los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se obtuvo los siguientes resultados.

- Para la luminosidad ( $L^*$ ) se observó que el valor de p-value es menor al nivel de significancia lo cual indica que las medias de la luminosidad para las hojas de romero son diferentes, para su mejor análisis se utilizó la prueba de Dunnett para comparar la luminosidad de la hoja fresca como patrón y las hojas secadas a las temperaturas estudiadas de 40, 50 y 60 °C se llegaron al siguiente resultado. El intervalo de confianza para la diferencia de medias de control (hoja fresca a temperatura ambiente) y la hoja seca a 40, 50 y 60 °C no incluye cero por lo tanto diferencia entre estas medias es significativa esto quiere decir que la temperatura de secado influye significativamente en la luminosidad.
- Para la coordenada  $a^*$  el p-value < 0.05. por lo tanto se puede afirmar que el Valor de  $a^*$  no son significativamente diferentes. Por ende el secado a 40, 50 y 60 °C no efecto el valor de  $a^*$ , esto es debido a que los valores de  $a^*$  para las temperaturas estudiadas presentan similitud con de la hoja fresca.
- Para la coordenada  $b^*$  de color el p-value es menor al nivel de significancia lo cual no indica que por lo menos unas de las medias del valor  $b^*$  es diferente. Para verificar si las medias son diferente o no se realizó las pruebas de Dunnett lo cual compara las hojas secas a 40, 50 y 60 °C con la hoja fresca de romero y los resultados con la prueba de Dunnett es: El intervalo de confianza para la

diferencia de medias de control (hoja fresca a temperatura ambiente) y la hoja seca a 40, 50 y 60 °C no incluye cero por lo tanto la diferencia entre estas medias es significativa lo cual indica que la temperatura de secado influye en el valor de  $b^*$ .

### **Comparación de imágenes con software Corel DRAW X7 para las coordenadas de color en fresco y seco de hojas de romero.**

En las figuras 16, 17, 18 y 19 se observa imagen tomada de la hoja fresca y las hojas secadas a 40, 50 y 60 °C comparadas con los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  introducidos en el software Corel DRAW X7, al introducir los valores de color al software se obtuvo un código y un color específico para cada tratamiento.

#### **a). Hoja fresca de romero**



**Figura 20:** Imagen de hoja fresca e imagen con los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  con el software Corel Draw x7

En la figura 20 se observa el color de la hoja fresca de verde oscuro y el mismo color se observa con coordenadas experimentales  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  introducidos al software y el color de la hoja fresca tiene un código #515332.

**b). hoja secado a 40 °C**



**Figura 21:** Imagen con los valores de L\*, a\* y b\* con el software Corel Draw x7 hoja secado a 40 °C

En la figura 21 se observa el color de la hoja secada a 40 °C en comparación con la hoja fresca cambio el color un poco pero conserva todavía el color original y este cambio puede observarse también en la imagen obtenida por el software ya que la imagen que arroja el Corel DRAW X7 representan las coordenadas de color obtenidas para esta temperatura con el colorímetro.

**c). hoja secada a 50 °C**



**Figura 22:** Imagen con los valores de L\*, a\* y b\* introducidos en el software de hoja secada a 50 °C.

En la figura 18 se observa el color de la hoja secada a 50 °C cambio de color considerablemente pero todavía se conserva el color verde esto se puede verificar ya que los valores a\* variaron con la hoja fresca. Así resultando un color verde amarillento de código: #4C4E37 y este cambio puede observarse también en la imagen obtenida por el software.

**d). hoja secado a 60 °C**



**Figura 23:** Imagen con los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  introducidos en el software de hoja secado a 60 °C.

En la figura 19 se observa el cambio de color considerable de la hojas secada a 60 °C, el resultado se obtuvo con software ya que esto está construyendo con los valores experimentales  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , así obteniendo un color verde amarillento claro con un código: #4B4D35, en la figura de la izquierda se observa también que el color va acercándose al amarillo, esto es debido aquí los valores de  $L^*$  y  $b^*$  aumentaron con la temperatura así formando colores más claros, por otro lado en el valor de  $a^*$  no se observaron un cambio en significado con de las hojas frescas.

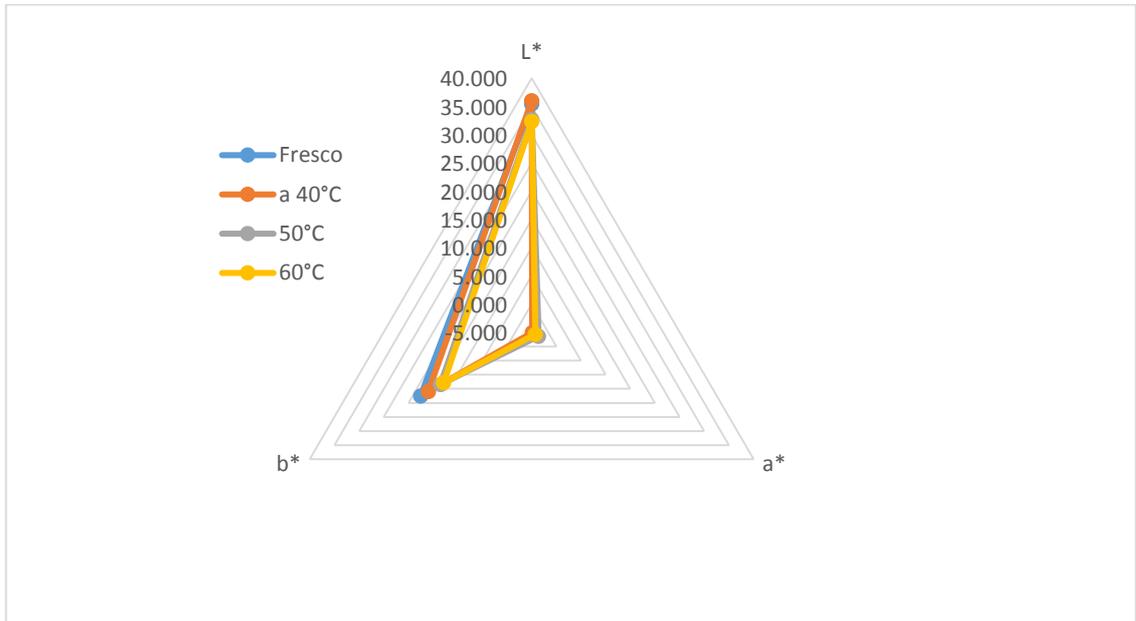


Figura 24: **Variación de color para las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) secado a diferentes temperaturas.**

La diferencia de color obtenido entre las hojas de romero fresco y después de secado para cada tratamiento se puede evidenciar en las figuras; se puede observar que el mejor color lo presenta para las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) secado a temperatura de 40 °C.

- **CONCLUSIONES.**

Considerando las condiciones en el que el trabajo fue realizado, y teniendo en cuenta los objetivos y resultados obtenidos, llegamos a las siguientes conclusiones:

- ✓ Al determinar las curvas de secado a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C se comprueba que al incrementar 10 °C de temperatura provoca una disminución del tiempo de secado donde a temperatura de 40 °C demoró 13.5 horas para llegar a un peso constante, para temperatura a 50 °C demoró 6.34 horas y 60 °C demoró 2 horas para llegar a un peso constante.
- ✓ En las curvas de velocidad de secado para el romero se apreció el periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente, en la etapa de velocidad constante se retiró mayor cantidad de agua 75.454 %, 60.4 % y 51.56 % en un tiempo 1.5, 0.83 y 0.33 horas y en el periodo de velocidad decreciente el secado es muy lento durante este periodo se retiró 25 %, 23 % y 16.35 % de humedad en un tiempo de 11.66, 2.83 y 1 hora, rango de humedad en la que la velocidad de secado varía linealmente con respecto a la humedad de las hojas de romero. El periodo de velocidad decreciente comienza desde la humedad crítica 0.6578 kg agua/ kg ss hasta la humedad final 0.091 kg agua/ kg ss, rango de humedad, donde la velocidad de secado ya no varía linealmente con la humedad de las hojas de romero. Durante este periodo se retiró 10.12 % de humedad en un tiempo de 1.50 horas.
- ✓ Al comparar la velocidad de secado de las hojas de romero, podemos concluir que la cinética del secado fue influenciada fuertemente por la temperatura del aire de secado, temperaturas menores conllevaron a tiempos prolongados de secado.
- ✓ Para el secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*), los valores de los coeficientes de difusividad efectiva variaron entre  $7.94 \times 10^{-14}$  a  $1.99 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para el rango de temperatura de 40, 50 y 60 °C
- ✓ Los valores de energía de activación para la difusión del agua en el secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis*) fue de 139,64 kJ/k mol,

- ✓ Para el secado de las hojas de romero, los valores de los coeficientes de difusividad efectiva se calcularon con la segunda ley de Fick considerando como una placa infinita. Los valores de difusividad efectiva para las hojas de romero variaron entre  $7.94 \times 10^{-14}$  e  $1,99 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para las temperaturas 40, 50 y 60 °C. Podemos apreciar en los datos obtenidos que la difusividad efectiva aumenta con el aumento de la temperatura del aire de secado, evidenciando la reducción de las resistencias internas de difusión de agua con la elevación de la temperatura. Este valor depende la temperatura de secado.
- ✓ Se determinó la influencia de la temperatura de secado en los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de color de las hojas de romero. En donde la luminosidad va en aumento a medida que la temperatura incrementa provocando colores verdes más claros. En cuanto a la coordenada de  $-a^*$  los valores no fueron afectados por la temperatura de secado ya que estos valores son similares al hojas de romero fresco. Por otro lado la coordenada  $b^*$  presentan valores positivos cercanos a amarillo, esto provocando colores verde amarillento en las hojas de romero. Por lo tanto la hoja de romero que mejor conserva el color original es de 40 °C.

- **RECOMENDACIONES**

De las conclusiones presentadas en base a las variables estudiadas en la presente investigación evaluación del proceso de secado de las hojas de romero (*rosmarinus officinalis*) a diferentes temperaturas. Se presentan las siguientes recomendaciones.

- Para la industrialización de las hojas de romero y obtener un variación menor de color de las hojas, se recomienda que la temperatura del aire de secado este en un nivel de 40 °C, para evitar menor cambio de color.
- Realizar estudios de aplicaciones de las hojas de romero seca como alimento funcional.
- Se recomienda hacer un análisis organoléptico de producto estudiado para poder ser industrializado.
- Para futuras investigaciones se recomienda deshidratar otras plantas aromáticas (cedrón, hierba luisa, toronjil, otras), probando con diferentes partes de la plantan y otros niveles de temperaturas.
- Realizar pruebas de secado de las hojas de romero en bandeja con otras medidas de temperatura y diferentes velocidades de aire.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, R., Gabito, J., y Chirife, J. (1985). utilización de la segunda ley de Fick para la evaluación del coeficiente de difusión en el proceso de alimento controlada por la difusión interna. tecnología de los alimentos, Vol.20.
- Alizaga, R. (1985).Efecto de la temperatura de secado y del contenido de humedad durante el almacenamiento sobre la calidad de la semilla de frijol, Segunda Edición, Costa Rica.
- Aspurz, J. (2011). Obtención de curvas de secado de tomillo (*thymus vulgaris*). (Tesis de pregrado). Universidad Pública de Navarra. Viosa Minas Gerais, Brasil.
- A.O.A.C. (1998). Official method of analysis. Association of official analytical chemists. Gaithersburg.
- Barbosa, F., Melo, E., Santos, E., Rocha, P., Martinazzo, A. y Randunz, L. (2007). Evaluación de modelos matemáticos para la predicción de capa fina de hojas de verbena brasileña aroma limón (*lippia alba*). Resvista brasileña de productos agroindustriales, 9(1).
- Barbosa, G. y Vega, H. (2000). Deshidratación de Alimentos. Editorial Acribia: Zaragoza, España.
- Blume. (1994). La armonía de los colores: DOI: 9788480766722
- Canovas, A. (2005). Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos .Editorial AEDOS: España.
- Coulson J. y Richarson, J. (1978). Operaciones Unitarias II Ingeniería Química, 3ra ed. Editorial Pergamon: Oxford.

- Díaz, C. Vinas, M y Cabezudo, M. (2010). Evaluation of the effectt of drying on aroma of parsley by free choice profiling. *European food research technology*, 216(1).
- Demitir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A. y Degirmencioglu, A. (2004). Modelamiento matemático y la determinación de algunos parámetros de calidad de hojas de laurel (*Laurus Nobilis*). *Biosystems engineering*, 88(3).
- D2244-02, N. A. S. Práctica estándar para el cálculo de tolerancias de color y color de vista instrumental de medición del color Coordenadas. Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales (ASTM ).
- Espierriz, J. (2011). Obtención de curva de secado de hierba limón (*Cymbopogon citratus*). (Tesis de pregrado). Universidad Pública de Navarra, Vicoso Minas Gerias, Brasil.
- Espinoza, J. (2011). Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la dishidratacion del fruto de murtila (*Ugni molinae Turcz*). Universidad de chile, Santiago, chile.
- Frazier, W. (2003). Microbiología de los Alimentos; 4ta Ed. Editorial Acriba: Zaragoza, España.
- Garcia, F. (2014). Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) y la hierbabuena (*Mentha spicata*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Garcia, S., Schmalko, M. y Tanzariello, A. (2007). Isotermas de adsorción y cinetica de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivasdas en misiones. Agencia de Extensión Rural Oberá- INTA, 36 (1)
- Geankoplis, C. (1998). Procesos de transporte y Operaciones Unitarias, 3ra ed. Editorial, SACCE: México.

- Galvez, (2007). Simulación matemática del proceso de la gracilaria chilena (gracilaria chilensis). Revista de ingeniería
- Gutiérrez, H. y vara, R. (2008). Análisis y diseño de Experimentos. 2da ed. Editorial McGraw Hill: México.
- Ibarz, A. (2005). operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Editorial, Grupo Mundi: España.
- Jeria, M y pozo, a. (2011). Estudio del secado convectivo de hojas de stevia rebaudiana y factibilidad técnico-económico de una plantas elaboradora de edulcorante a base de stevia. (Tesis de pregrado).universidad de chile, Santiago, chile.
- Labuza, T.(1984). Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use.MN: American association of cereal chemists.
- Lema, A., Pontin, M., Sanmartino, A., Ziletti, M y Martinello, M. (2007). Características del proceso de secado en capa delgada del perejil. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.11.
- Lomas, M. (1998). Tecnología de los alimento. Editorial ACRIBIA: Zaragoza, España.
- Martínez, N. (1998). Termodinámica y cinética de sistemas. Alimento entorno". Servicio de publicación, editorial AND: Venezuela
- Muñoz, F. (1996). Plantas Medicinales y Aromáticas; estudio, cultivo y procesado. 2da ed. Editorial Mundi Prensa: Madrid, España.
- Muñoz, F. (2002). estudio del cultivo y procesamiento de plantas medicinales y aromaticas, 4 ta ed. Editorial Mundi Prensa: Madrid, España
- Olaya, J y Medez, J. (2003) guía de plantas y productos medicinales. Editorial UNPAR, México

- Paul, R y Heldman, D . (2001). Introducción a la ingeniería de los alimentos. Editorial ACRIBIA: Zaragoza, España.
- Pineda, M., Chancon, A. y Cordero, G. (2009). Efecto sobre las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morera (*muros alba*). *Agronomía mesoamericana*, 20(2).
- Rodríguez, J. (2013). Contribución al estudio de la intensificación del proceso de secado de tomillo (*Tymus Vulgaris L*): aplicación de ultrasonido y secado intermitente. (Tesis doctoral). Universidad politécnica de valencia, valencia.
- Rocha, R., Melo, E., Corbin, J., Berbert, T. y Donzeles, L. (2012). Cinética del secado de tomillo. *Revista brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental*, 16(6).
- Santana, V., Gurak, P., marczak, L y Tessaro, L.( 2013). Tracking bioactive compounds with colour changes in foods A review. *Dyes and Pigments*, 98 (3).
- Sharma, S., Mulvaney, S. y Rizvi, S. (2003). Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas en laboratorio. Editorial LIMUSA WILEY: México.
- Spiess. L. (1983). The results of the COST 90 poyect on wáter activity. InR. Jowitt. *Physical properties of foods*.
- Tonguino, M. (2001). Determinación de las condiciones óptimas para la deshidratación de dos plantas aromáticas, menta (*Mentha piperita L*) y orégano (*Origanum vulgare L*). (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Treybal, R. (200). Operaciones transferencia de masa, 2da ed. Mc Graw Hill: México.
- Vega, A. (2007). Simulación matemática del proceso de secado de la gracilaria chilena (*Gracilaria Chilensis*). *Revista chilena de Ingeniería*, 15(1).

- Vizcarra, M. (1998). Efecto del contenido de humedad y la temperatura en la determinación de la difusividad del agua durante el secado de trigo en lecho fluidificado. Ciencias ediciones IMIQ, 3(1).
- Warren, L. Smith, J. y Harriott. P. (1991). Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw-Will: Madrid, España.

## **ANEXOS**

**Anexo: Acondicionamiento de la planta de romero para el secado.**



**Anexo: Medición del diámetro de las hojas de romero.**



**Anexo: Acondicionamiento de las hojas de romero para el secado en la placa de aluminio.**



**Anexo: Secado de la planta de romero en un horno de convección**



**Anexo: Pesado de las hojas de romero.**



**Anexo: Medición de color de las hojas de romero secado a diferentes temperaturas.**



**Anexo: Fotografía de determinación de color de romero con coloremetro Konica Minolta R-400**



**FOTOGRAFÍA 18: HOJA FRESCA DE ROMERO**



**ROMERO SECADO A 40°C**



ROMERO SECADO A 50°C



ROMERO SECADO A 60°C

**Anexo: Sales utilizadas para las isotermas de sorción.**



**Anexo: Medida de la velocidad de aire**



**Anexo: Cálculos realizados para determinar la curva de secado y  
curva de velocidad de secado experimental para 40 °C**

<b>tiempo (horas)</b>	<b>peso nuestra (g)</b>	<b>masa humed a</b>	<b>masa de agua</b>	<b>hbs (kg agua/kg ss)</b>	<b>X (kg agua/kg ss)</b>	<b>dx/dt</b>	<b>Velocidad W (kg h<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>)</b>
0.00	2.763	1.000	1.000	2.909	2.802		
0.17	2.671	0.949	0.942	2.811	2.704	0.935	0.9182
0.33	2.617	0.920	0.910	2.755	2.648	0.935	0.9182
0.50	2.563	0.890	0.877	2.699	2.592	0.935	0.9182
0.67	2.523	0.868	0.852	2.657	2.550	0.935	0.9182
0.83	2.485	0.847	0.829	2.617	2.510	0.935	0.9182
1.00	2.453	0.830	0.809	2.583	2.476	0.935	0.9182
1.17	2.420	0.812	0.789	2.549	2.442	0.935	0.9182
1.33	2.388	0.794	0.769	2.515	2.408	0.935	0.9182
<b>1.50</b>	<b>2.359</b>	<b>0.778</b>	<b>0.751</b>	<b>2.484</b>	<b>2.377</b>	<b>0.935</b>	<b>0.9181</b>
1.67	2.328	0.761	0.732	2.452	2.345	0.935	0.9181
1.83	2.302	0.746	0.716	2.425	2.318	0.935	0.9181
2.00	2.275	0.732	0.700	2.397	2.290	0.935	0.9180
2.17	2.251	0.719	0.685	2.372	2.265	0.935	0.9180
2.33	2.224	0.704	0.668	2.343	2.236	0.935	0.9180
2.50	2.198	0.690	0.652	2.316	2.209	0.935	0.9179
2.67	2.176	0.677	0.639	2.293	2.186	0.935	0.9179
2.83	2.150	0.663	0.623	2.266	2.159	0.934	0.9179
3.00	2.128	0.651	0.609	2.243	2.136	0.934	0.9178
3.17	2.109	0.640	0.597	2.222	2.115	0.934	0.9178
3.33	2.084	0.626	0.582	2.196	2.089	0.934	0.9178
3.50	2.063	0.615	0.569	2.174	2.067	0.934	0.9178
3.67	2.042	0.604	0.556	2.152	2.045	0.934	0.9177
3.83	2.023	0.593	0.544	2.131	2.024	0.934	0.9177
4.00	2.003	0.582	0.532	2.111	2.004	0.934	0.9177
4.17	1.984	0.572	0.520	2.091	1.984	0.934	0.9176
4.33	1.958	0.557	0.504	2.064	1.957	0.934	0.9176

4.50	1.946	0.551	0.497	2.051	1.944	0.934	0.9176
4.67	1.930	0.542	0.487	2.034	1.927	0.934	0.9175
4.83	1.912	0.532	0.475	2.015	1.908	0.934	0.9175
5.00	1.893	0.521	0.464	1.995	1.888	0.934	0.9175
5.17	1.876	0.512	0.453	1.977	1.870	0.934	0.9174
5.33	1.860	0.503	0.444	1.960	1.853	0.934	0.9174
5.50	1.841	0.493	0.432	1.941	1.834	0.934	0.9174
5.67	1.827	0.485	0.423	1.925	1.818	0.934	0.9174
5.83	1.810	0.476	0.413	1.908	1.801	0.934	0.9173
6.00	1.795	0.467	0.404	1.892	1.785	0.934	0.9173
6.17	1.780	0.459	0.394	1.876	1.769	0.934	0.9173
6.33	1.764	0.450	0.385	1.860	1.753	0.934	0.9172
6.50	1.746	0.440	0.373	1.840	1.733	0.934	0.9172
6.67	1.731	0.432	0.364	1.824	1.717	0.934	0.9172
6.83	1.718	0.425	0.356	1.810	1.703	0.934	0.9171
7.00	1.703	0.417	0.347	1.795	1.688	0.934	0.9171
7.17	1.691	0.410	0.339	1.782	1.675	0.934	0.9171
7.33	1.675	0.401	0.329	1.766	1.659	0.934	0.9171
7.50	1.662	0.394	0.321	1.752	1.645	0.934	0.9170
7.67	1.649	0.387	0.313	1.738	1.631	0.934	0.9170
7.83	1.637	0.380	0.306	1.726	1.619	0.934	0.9170
8.00	1.622	0.372	0.296	1.710	1.603	0.934	0.9169
8.17	1.606	0.363	0.287	1.693	1.586	0.933	0.9169
8.33	1.595	0.357	0.280	1.682	1.575	0.933	0.9169
8.50	1.583	0.350	0.272	1.668	1.561	0.933	0.9168
8.67	1.570	0.343	0.264	1.655	1.548	0.933	0.9168
8.83	1.558	0.337	0.257	1.642	1.535	0.933	0.9168
9.00	1.546	0.330	0.250	1.630	1.523	0.933	0.9167
9.17	1.535	0.324	0.243	1.618	1.511	0.933	0.9167
9.33	1.522	0.317	0.235	1.604	1.497	0.933	0.9167
9.50	1.512	0.311	0.229	1.594	1.487	0.933	0.9167
9.67	1.502	0.306	0.223	1.584	1.477	0.933	0.9166
9.83	1.489	0.299	0.215	1.570	1.463	0.933	0.9166

10.00	1.478	0.292	0.208	1.558	1.451	0.933	0.9166
10.17	1.468	0.287	0.202	1.548	1.441	0.933	0.9165
10.33	1.461	0.283	0.198	1.541	1.434	0.933	0.9165
10.50	1.458	0.282	0.196	1.538	1.431	0.933	0.9165
10.67	1.450	0.278	0.191	1.530	1.423	0.933	0.9164
10.83	1.441	0.272	0.185	1.519	1.412	0.933	0.9164
11.00	1.431	0.267	0.179	1.510	1.403	0.933	0.9164
11.17	1.415	0.258	0.169	1.493	1.386	0.933	0.9163
11.33	1.407	0.254	0.164	1.485	1.378	0.933	0.9163
11.50	1.399	0.249	0.159	1.476	1.369	0.933	0.9163
11.67	1.388	0.244	0.153	1.465	1.358	0.933	0.9163
11.83	1.378	0.237	0.146	1.453	1.346	0.933	0.9162
12.00	1.365	0.230	0.138	1.440	1.333	0.933	0.9162
12.17	1.358	0.226	0.133	1.432	1.325	0.933	0.9162
12.33	1.348	0.221	0.127	1.421	1.314	0.933	0.9161
12.50	1.339	0.216	0.122	1.412	1.305	0.933	0.9161
12.67	1.331	0.212	0.117	1.404	1.297	0.933	0.9161
12.83	1.322	0.206	0.111	1.394	1.287	0.933	0.9160
13.00	1.310	0.200	0.104	1.381	1.274	0.933	0.9160
13.17	1.304	0.196	0.100	1.375	1.268	0.933	0.9160
13.33	1.301	0.195	0.098	1.372	1.265	0.933	0.9160
13.50	1.302	0.195	0.099	1.373	1.266	0.932	0.9159

---

**Anexo: Cálculos realizados para determinar la curva y curva de velocidad de secado experimental para 50 °C**

tiempo (horas)	peso nuestra (g)	masa humed a	masa de agua	hbs (kg agua/kg ss)	X (kg agua/kg ss)	dx/dt	W velocida (kg h2O)/hm2
0.0000	3.1665	1.0000	1.0000	2.9088	2.7938	0.8046	0.7895
0.1667	2.8453	0.8969	0.8428	2.4516	2.3366	0.8038	0.7895
0.3333	2.7143	0.8552	0.7793	2.2668	2.1518	0.8030	0.7895
<b>0.5000</b>	<b>2.5539</b>	<b>0.8042</b>	<b>0.7016</b>	<b>2.0408</b>	<b>1.7986</b>	<b>0.8022</b>	<b>0.7879</b>
0.6667	2.4716	0.7780	0.6617	1.9247	1.8097	0.8014	0.7871
0.8333	2.3603	0.7425	0.6077	1.7675	1.6525	0.8006	0.7864
1.0000	2.2571	0.7096	0.5575	1.6217	1.5067	0.7998	0.7856
1.1667	2.1772	0.6842	0.5188	1.5091	1.3941	0.7990	0.7848
1.3333	2.1076	0.6621	0.4850	1.4109	1.2959	0.7982	0.7840
1.5000	2.0430	0.6414	0.4536	1.3193	1.2043	0.7974	0.7832
1.6667	1.9699	0.6183	0.4183	1.2168	1.1018	0.7966	0.7824
1.8333	1.9068	0.5982	0.3878	1.1280	1.0130	0.7958	0.7817
2.0000	1.8418	0.5777	0.3564	1.0367	0.9217	0.7950	0.7809
2.1667	1.7937	0.5625	0.3332	0.9693	0.8543	0.7942	0.7801
2.3333	1.7442	0.5468	0.3093	0.8998	0.7848	0.7934	0.7793
2.5000	1.6996	0.5328	0.2881	0.8379	0.7229	0.7926	0.7785
2.6667	1.6404	0.5146	0.2603	0.7571	0.6421	0.7918	0.7778
2.8333	1.6030	0.5026	0.2420	0.7040	0.5890	0.7910	0.7770
3.0000	1.5796	0.4953	0.2308	0.6714	0.5564	0.7902	0.7762
3.1667	1.5507	0.4859	0.2166	0.6301	0.5151	0.7894	0.7754
3.3333	1.5320	0.4801	0.2077	0.6042	0.4892	0.7887	0.7747
3.5000	1.4988	0.4697	0.1919	0.5582	0.4432	0.7879	0.7739
3.6667	1.4742	0.4621	0.1802	0.5243	0.4093	0.7871	0.7731
3.8333	1.4589	0.4574	0.1731	0.5035	0.3885	0.7863	0.7723
4.0000	1.4354	0.4501	0.1620	0.4712	0.3562	0.7855	0.7716
4.1667	1.4249	0.4468	0.1571	0.4568	0.3418	0.7847	0.7708
4.3333	1.4042	0.4404	0.1473	0.4284	0.3134	0.7839	0.7700
4.5000	1.3937	0.4372	0.1424	0.4142	0.2992	0.7832	0.7692
4.6667	1.3698	0.4299	0.1313	0.3818	0.2668	0.7824	0.7685
4.8333	1.3623	0.4290	0.1299	0.3779	0.2629	0.7816	0.7677
5.0000	1.3478	0.4253	0.1242	0.3612	0.2462	0.7808	0.7669
5.1667	1.3364	0.4218	0.1189	0.3460	0.2310	0.7800	0.7662
5.3333	1.3271	0.4197	0.1157	0.3365	0.2215	0.7793	0.7654
5.5000	1.3164	0.4163	0.1105	0.3215	0.2065	0.7785	0.7646
5.6667	1.3032	0.4125	0.1046	0.3044	0.1894	0.7777	0.7639

5.8333	1.2969	0.4076	0.0973	0.2831	0.1681	0.7769	0.7631
6.0000	1.2892	0.4001	0.0858	0.2497	0.1347	0.7761	0.7624
6.1667	1.2909	0.3958	0.0792	0.2304	0.1154	0.7754	0.7616
6.3333	1.2907	0.3928	0.0747	0.2174	0.1024	0.7746	0.7608

**Anexo: Cálculos realizados para determinar la curva de secado y curva de velocidad de secado experimental para 60 °C**

tiempo (horas)	peso (g)	masa humed a	masa de agua	hbs (kg agua/kg ss)	X (kg agua/kg ss)	dx/dt	Velocidad;W (kg h2O/hm <sup>2</sup> )
0.000	2.819	1.000	1.000	2.909	2.786	0.628	0.616
0.167	2.203	0.775	0.657	1.912	1.789	0.627	0.616
0.333	1.917	0.682	0.516	1.500	1.377	0.625	0.614
0.500	1.676	0.587	0.371	1.079	0.956	0.624	0.613
0.667	1.569	0.546	0.309	0.898	0.776	0.623	0.612
<b>0.833</b>	<b>1.379</b>	<b>0.479</b>	<b>0.206</b>	<b>0.599</b>	<b>0.476</b>	<b>0.621</b>	<b>0.610</b>
1.000	1.299	0.451	0.163	0.476	0.353	0.620	0.609
1.167	1.245	0.433	0.137	0.397	0.275	0.619	0.608
1.333	1.204	0.420	0.116	0.339	0.216	0.617	0.606
1.500	1.171	0.410	0.101	0.294	0.172	0.616	0.605
1.667	1.152	0.404	0.092	0.267	0.145	0.615	0.604
1.833	1.151	0.404	0.091	0.266	0.144	0.613	0.602
2.000	1.151	0.404	0.091	0.266	0.143	0.612	0.601

**Anexo: Cálculos realizados para determinar la difusividad efectiva para 40°C**

RX	tiempo (hora)	tiempo(seg)	LN(RX)
1.000	0.000	0.000	0.000
0.942	0.167	10.000	-0.059
0.910	0.333	20.000	-0.094
0.877	0.500	30.000	-0.131
0.852	0.667	40.000	-0.160
0.829	0.833	50.000	-0.188
0.809	1.000	60.000	-0.212
0.789	1.167	70.000	-0.237
0.769	1.333	80.000	-0.262
0.751	1.500	90.000	-0.286
0.732	1.667	100.000	-0.312
0.716	1.833	110.000	-0.334
0.700	2.000	120.000	-0.357
0.685	2.167	130.000	-0.379
0.668	2.333	140.000	-0.403
0.652	2.500	150.000	-0.427
0.639	2.667	160.000	-0.449
0.623	2.833	170.000	-0.474
0.609	3.000	180.000	-0.495
0.597	3.167	190.000	-0.516
0.582	3.333	200.000	-0.542
0.569	3.500	210.000	-0.564
0.556	3.667	220.000	-0.587
0.544	3.833	230.000	-0.609
0.532	4.000	240.000	-0.631
0.520	4.167	250.000	-0.653
0.504	4.333	260.000	-0.684
0.497	4.500	270.000	-0.700
0.487	4.667	280.000	-0.720
0.475	4.833	290.000	-0.743
0.464	5.000	300.000	-0.768
0.453	5.167	310.000	-0.791
0.444	5.333	320.000	-0.813
0.432	5.500	330.000	-0.839
0.423	5.667	340.000	-0.860
0.413	5.833	350.000	-0.885
0.404	6.000	360.000	-0.907

0.394	6.167	370.000	-0.931
0.385	6.333	380.000	-0.956
0.373	6.500	390.000	-0.986
0.364	6.667	400.000	-1.011
0.356	6.833	410.000	-1.034
0.347	7.000	420.000	-1.059
0.339	7.167	430.000	-1.081
0.329	7.333	440.000	-1.111
0.321	7.500	450.000	-1.135
0.313	7.667	460.000	-1.162
0.306	7.833	470.000	-1.184
0.296	8.000	480.000	-1.216
0.287	8.167	490.000	-1.249
0.280	8.333	500.000	-1.273
0.272	8.500	510.000	-1.301
0.264	8.667	520.000	-1.330
0.257	8.833	530.000	-1.358
0.250	9.000	540.000	-1.387
0.243	9.167	550.000	-1.415
0.235	9.333	560.000	-1.449
0.229	9.500	570.000	-1.476
0.223	9.667	580.000	-1.502
0.215	9.833	590.000	-1.539
0.208	10.000	600.000	-1.572
0.202	10.167	610.000	-1.600
0.198	10.333	620.000	-1.622
0.196	10.500	630.000	-1.631
0.191	10.667	640.000	-1.656
0.185	10.833	650.000	-1.688
0.179	11.000	660.000	-1.719
0.169	11.167	670.000	-1.777
0.164	11.333	680.000	-1.805
0.159	11.500	690.000	-1.836
0.153	11.667	700.000	-1.878
0.146	11.833	710.000	-1.925
0.138	12.000	720.000	-1.980
0.133	12.167	730.000	-2.015
0.127	12.333	740.000	-2.061
0.122	12.500	750.000	-2.103
0.117	12.667	760.000	-2.143
0.111	12.833	770.000	-2.197
0.104	13.000	780.000	-2.265

0.100	13.167	790.000	-2.301
0.098	13.333	800.000	-2.319
0.099	13.500	810.000	-2.315

**Anexo: Cálculos realizados para determinar la difusividad efectiva para 50 °C**

RX	tiempo (hora)	tiempo(seg)	LN(RX)
1.000	0.000	0.000	0.000
0.831	0.167	10.000	-0.185
0.762	0.333	20.000	-0.271
0.631	0.500	30.000	-0.460
0.636	0.667	40.000	-0.453
0.577	0.833	50.000	-0.549
0.523	1.000	60.000	-0.647
0.482	1.167	70.000	-0.730
0.445	1.333	80.000	-0.809
0.411	1.500	90.000	-0.888
0.373	1.667	100.000	-0.985
0.341	1.833	110.000	-1.077
0.307	2.000	120.000	-1.182
0.282	2.167	130.000	-1.267
0.256	2.333	140.000	-1.362
0.233	2.500	150.000	-1.456
0.203	2.667	160.000	-1.593
0.184	2.833	170.000	-1.695
0.172	3.000	180.000	-1.763
0.156	3.167	190.000	-1.856
0.147	3.333	200.000	-1.920
0.130	3.500	210.000	-2.043
0.117	3.667	220.000	-2.145
0.109	3.833	230.000	-2.213
0.097	4.000	240.000	-2.329
0.092	4.167	250.000	-2.385
0.082	4.333	260.000	-2.507

0.076	4.500	270.000	-2.573
0.064	4.667	280.000	-2.745
0.063	4.833	290.000	-2.768
0.057	5.000	300.000	-2.871
0.051	5.167	310.000	-2.976
0.047	5.333	320.000	-3.047
0.042	5.500	330.000	-3.172
0.036	5.667	340.000	-3.336
0.028	5.833	350.000	-3.586
0.015	6.000	360.000	-4.178
0.008	6.167	370.000	-4.804
0.003	6.333	380.000	-5.687

**Anexo: Cálculos realizados para determinar la difusividad efectiva para 60 °C**

RX	tiempo (hora)	tiempo(seg)	LN(RX)
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.6313	0.1667	10.0000	-0.4600
0.4790	0.3333	20.0000	-0.7361
0.3233	0.5000	30.0000	-1.1292
0.2564	0.6667	40.0000	-1.3609
0.1458	0.8333	50.0000	-1.9257
0.1002	1.0000	60.0000	-2.3003
0.0713	1.1667	70.0000	-2.6414
0.0497	1.3333	80.0000	-3.0022
0.0332	1.5000	90.0000	-3.4045
0.0232	1.6667	100.0000	-3.7653
0.0227	1.8333	110.0000	-3.7847
0.0227	2.0000	120.0000	-3.7873

**Anexo: Resultados para determinar la energía de activación en el secado de las hojas de romero (*rosmarinus officinalis*) a temperaturas de 40, 50 y 60 °C**

temperatura	Difusividad	r <sup>2</sup>
40	7.94E-14	0.9905
40	7.94E-14	0.9897
40	7.94E-14	0.9945
50	3.97E-13	0.9956
50	3.97E-13	0.993
50	3.97E-13	0.9904
60	1.99E-12	0.9611
60	3.99E-12	0.9912
60	3.99E-12	0.9838

TEMEPERATURA	DIFUSIVIDAD	1/T	LN(Deff)
40	7.94E-14	0.00319336	-25.5591078
50	3.97E-13	0.00309454	-23.9496699
60	1.99E-12	0.00300165	-22.3377163

**ANEXO: Resultado del contenido de humedad inicial de las hojas de romero.**

planta	Humedad (%)	promedio	desviación estándar (±DS)
	65.1495		
romero	65.1587	65.15	0.00986
	65.1692		

**Anexo 18: Resultados de las cordenadas de color L\*, a\* y b\* en el secado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalise*) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °C**

<b>TEMPERATURAS</b>	L*	a*	b*
hoja fresca romero	36.43	-4.05	17.73
hoja fresca romero	35.06	-5.36	17.39
hoja fresca romero	34.79	-4.38	17.45
<b>promedio</b>	<b>35.4266667</b>	<b>-4.59666667</b>	<b>17.52333333</b>
	L*	a*	b*
hoja secada a 40 °c	32.97	-4.71	16.21
hoja secada a 40 °c	37.55	-4.97	15.86
hoja secada a 40 °c	37.55	-4.97	15.86
<b>promedio</b>	<b>36.03</b>	<b>-4.88</b>	<b>15.98</b>
	L*	a*	b*
hoja secada a 50 °c	33.11	-2.64	11.78
hoja secada a 50 °c	32.32	-3.60	14.22
hoja secada a 50 °c	32.97	-3.63	12.77
<b>promedio</b>	<b>32.80</b>	<b>-3.29</b>	<b>12.92</b>
	L*	a*	b*
hoja secada a 60 °c	32.73	-3.18	13.08
hoja secada a 60 °c	30.25	-4.34	12.85
hoja secada a 60 °c	34.38	-4.19	12.87
<b>promedio</b>	<b>32.45333333</b>	<b>-3.903333333</b>	<b>12.93111111</b>

## ANEXO: Resultados de isotermas de sorción

Sales y ecuaciones utilizadas para obtener la  $a_w$  a una para 40, 50 y 60 °C

NOMENCLATURA	SAL	ECUACIÓN DE REGRESIÓN	$r^2$
LiCl	Cloruro de Litio	$\ln a_w = (500,95 \times 1/T) - 3,85$	0,98
KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	Acetato Potasio	$\ln a_w = (861,39 \times 1/T) - 4,33$	0,97
MgNO <sub>3</sub>	Nitrato de Magnesio	$\ln a_w = (356,60 \times 1/T) - 1,82$	0,99
NaBr	Bromuro de Sodio	$\ln a_w = (442,80 \times 1/T) - 2,04$	1,00
KI <sub>2</sub>	Ioduro de Potasio	$\ln a_w = (255,90 \times 1/T) - 1,23$	1,00
NaCl	Cloruro de Sodio	$\ln a_w = (228,92 \times 1/T) - 1,04$	0,96
KCl	Cloruro de Potasio	$\ln a_w = (367,58 \times 1/T) - 1,39$	0,97
KNO <sub>2</sub>	Nitrato de Potasio	$\ln a_w = (244,61 \times 1/T) - 0,90$	0,90

Fuente: Labuza et al., 1985.

**Anexo: Ecuación del modelo GAB para isotermas de las hojas de romero**

MODELO	ECUACIÓN	PARÁMETROS
GAB	$X_m = \frac{X_m * C * K * a_w}{(1 - k * a_w) * (1 + (C - 1) * K * a_w)}$	<p><math>X_m</math>, es la humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua.</p> <p><math>C</math>, es la constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.</p> <p><math>k</math>, es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.</p>

**Anexo: Resultados de la isoterma de desorción de la hoja de romero experimental y modelado con la ecuación de GAB para 40 °C**

<b>SOLUCIONES SATURADAS</b>	<b>AW</b>	<b>HUMEDAD DE EQUILIBRIO</b>	
		<b>EXPERIMENTAL</b>	<b>MODELADO POR GAB</b>
Cloruro de litio	0.1054	0.0959	0.0868
Acetato de potasio	0.2061	0.1298	0.1299
Nitrato de magnesio	0.5092	0.2222	0.2392
Bromuro de sodio	0.5347	0.2312	0.2505
Yoduro de potasio	0.6072	0.2937	0.2866
Cloruro de sodio	0.7342	0.3861	0.3724
Cloruro de potasio	0.8056	0.4603	0.4422
Nitrato de potasio	0.8879	0.5461	0.5586

**Anexo: Resultados de la isoterma de desorción de la hoja de romero experimental y modelado con la ecuación de GAB para 50 °C**

<b>soluciones saturadas</b>	<b>Aw</b>	<b>humedad de equilibrio</b>	
		<b>experimental</b>	<b>modelado por GAB</b>
Cloruro de litio	0.1003	0.0995	0.0932
Acetato de potasio	0.1893	0.1253	0.1260
Nitrato de magnesio	0.4915	0.2038	0.2187
Bromuro de sodio	0.5118	0.2114	0.2266
Yoduro de potasio	0.5936	0.2675	0.2633
Cloruro de sodio	0.7178	0.3551	0.3427
Cloruro de potasio	0.7768	0.4126	0.3975
Nitrato de potasio	0.8667	0.5117	0.5216

**Anexo: Resultados de la isoterma de desorción del romero de experimental y modelado con la ecuación de GAB para 50 °C**

soluciones saturadas	aw	humedad de Equilibrio	
		Experimental	modelado por GAB
Cloruro de litio	0.0957	0.1130	0.1081
Acetato de potasio	0.1747	0.1300	0.1325
Nitrato de magnesio	0.4754	0.2022	0.2150
Bromuro de sodio	0.4912	0.2102	0.2208
Yoduro de potasio	0.5811	0.2630	0.2595
Cloruro de sodio	0.7027	0.3459	0.3363
Cloruro de potasio	0.7508	0.3922	0.3799
Nitrato de potasio	0.8472	0.5039	0.5116

**Anexo: Resultado de calidad de ajuste de las curvas obtenidas con la ecuación de GAB.**

Temperatura (°C)	r <sup>2</sup>	% error relativo (E)
40	0.988	4.73
50	0.983	4.99
60	0.982	2.13

**Anexo: Resultados de las constantes de la ecuación de GAB y la humedad de equilibrio**

Modelo	Parametros	40°C	50°C	60°C
GAB	Xm	0.0608	0.0576	0.0597
	C	5.6672	6.9500	6.7541
	K	0.8275	0.8891	0.9068
	R2	0.97.8	0.98.5	0.98.7
	%E	8.36	10.81	9.97
	HR (aire) (aw)	0.62	0.62	0.62
	Xe	0.1070	0.1150	0.1224

**Anexo: Resultados del análisis anova para parámetros de color L\*, a\* y b\* en el secado de las hojas de romero (*rosmarinus officinalis*) a las temperaturas de 40, 50 y 60 °c.**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
18	36.43	-4.05	17.73
18	35.06	-5.36	17.39
18	34.79	-4.38	17.45

40	32.97	-4.71	16.21
40	37.55	-4.97	15.86
40	37.55	-4.97	15.86
50	33.11	-2.64	11.78
50	32.32	-3.60	14.22
50	32.97	-3.63	12.77
60	32.73	-3.18	13.08
60	30.25	-4.34	12.85
60	34.38	-4.19	12.87

---

### **Criterios de análisis de la prueba de Dunnett**

Los resultados se presentan como un conjunto de intervalos de confianza para las diferencia entre la media del nivel de control y las otras medias de los niveles del factor. Utiliza los intervalos para determinar si las medias son diferentes:

- Si un intervalo no contiene cero, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.
- Si el intervalo sí contiene cero, la diferencia entre las medias no es estadísticamente significativa.

## ANOVA Unidireccional para la luminosidad L\*.

### Anexo: ANOVA unidireccional: L\* vs temperatura

Fuente	GL	SC	MC	F	P-value
TEMPERATURA	3	29.55	9.85	3.21	0.083
Error	8	24.53	3.07		
Total	11	54.08			

### Resumen estadístico para la luminosidad L\*

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
18	3	35.427	0.879	+-----+-----+-----+-----+ (-----*-----)
40	3	36.027	2.644	(-----*-----)
50	3	32.800	0.422	(-----*-----)
60	3	32.453	2.079	(-----*-----) +-----+-----+-----+-----+

Desv.Est. agrupada = 1.751

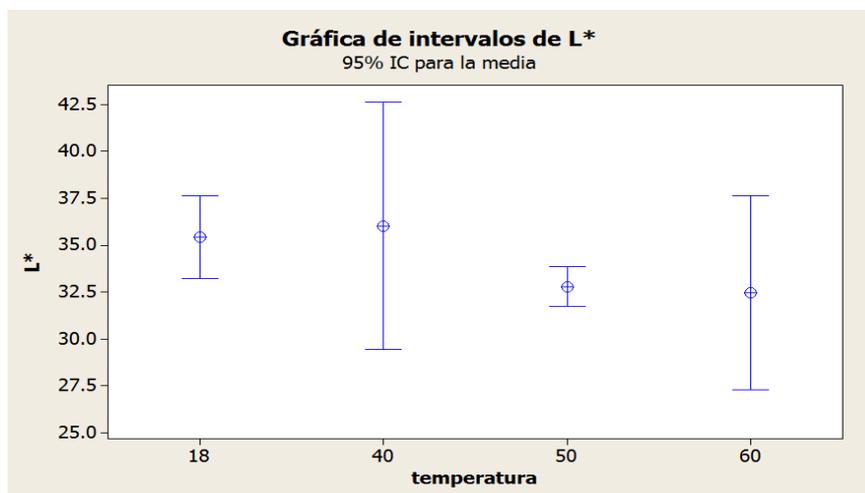


Figura: grafica de intervalo de confianza para L\*



## ANOVA unidireccional para la coordenada de color b\*

### Anexo: ANOVA unidireccional: b\* vs temperatura

Fuente	GL	SC	MC	F	P-value
TEMPERATURA	3	47.437	15.812	39.82	0.000
Error	8	3.177	0.397		
Total	11	50.614			

### Resumen estadístico para el valor b\*

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
18	3	17.523	0.181	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
40	3	15.978	0.204	(-----*-----)
50	3	12.923	1.224	(-----*-----)
60	3	12.931	0.126	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+----- 12.8            14.4            16.0            17.6

Desv.Est. agrupada = 0.630

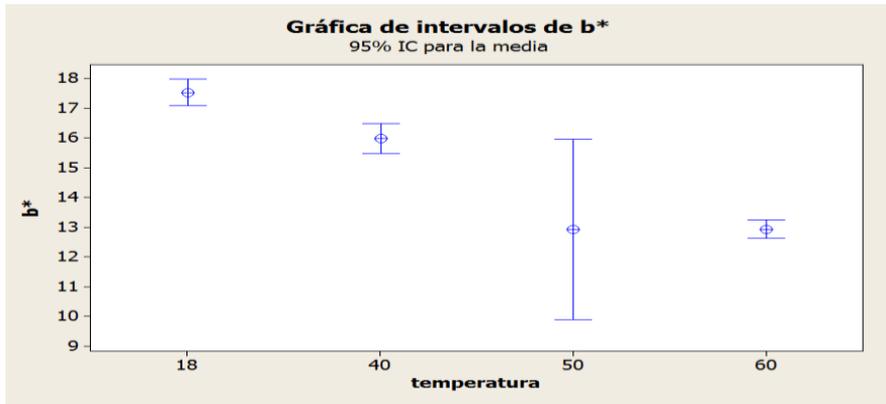
### Prueba de Dunnett para el valor b\*

nivel de significancia individual = 0.0205

Valor crítico = 2.88

Control = nivel (hoja fresca de ROMERO) de temperatura  
Intervalos para media de tratamientos menos media de control

Nivel	Inferior	Centro	Superior	-----+-----+-----+-----
40	-3.0273	-1.5456	-0.0639	(-----*-----)
50	-6.0817	-4.6000	-3.1183	(-----*-----)
60	-6.0739	-4.5922	-3.1105	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----
				-4.8            -3.2            -1.6            -



**Figura 1: grafica de intervalo de  $b^*$**