

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

Bach. GALINDO ROMAN, Clara Vianey

**SECADO DE HOJAS DE SALVIA (*Salvia officinalis*)
Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR Y PROPIEDADES
SENSORIALES**

ASESOR :

Ing. TAIPE PARDO, Fredy

ANDAHUAYLAS - APURÍMAC - PERÚ

2016

DEDICATORIA

A mis padres, Alfonso Galindo Gazani y Natividad Roman Loayza, por todo su apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación.

A mi hijito Joaquín y mi esposo por ser la fuerza impulsora para cumplir con todo mis objetivos

AGRADECIMIENTO

- ✓ En primer lugar a mis padres, por darme la vida, brindarme su apoyo incondicional, su amor y consejos a lo largo de mi formación profesional, quienes siempre estuvieron en los momentos que más difíciles.
- ✓ A la Universidad Nacional José María Arguedas y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haberme acogido en sus aulas durante los cinco años de estudio, así mismo por permitirme tener acceso a los diferentes laboratorios y poder realizar este trabajo de investigación.
- ✓ A mi asesor Ing. Fredy Taipe Pardo ,quien desde el primer momento me brindó su apoyo, y con paciencia me ha guiado a lo largo de este tramo
- ✓ Al Ing, MSc. David Choque Quispe, por el apoyo brindado.
- ✓ A mi esposo Rubén Ventura Meza por estar siempre brindándome su apoyo incondicional y ánimo para seguir adelante.
- ✓ A mis amigos Yasmin y Herson por estar siempre en las buenas y en las malas y darme ánimos y consejos para concluir este trabajo.
- ✓ A mis Jurados Evaluadores por su apoyo, sus aportes y paciencia en la realización de este trabajo.
- ✓ Por último quiero agradecer a todos los docentes que han contribuido en mi formación universitaria.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	01
CAPITULO 2 REVISION DE LITERATURA	02
2.1. El Secado	02
2.2. Parámetros de secado	02
2.3. Periodos de secado	07
2.4. Cinética de secado	11
2.5. Color	13
2.5.1. Sistema de color CIE	16
2.5.2. Cielab	16
2.5.3. Colorimetro	17
2.6. Salvia (<i>Salvia Officinalis</i>)	17
2.7. Evaluación sensorial	20
CAPITULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Lugar de ejecución	24
3.2 Material de estudio	24
3.2.1. Universo y/o población	24
3.2.2. Muestra	24
3.2.3. Unidad de Análisis	25
3.3. Diseño de contrastación	25
3.4. Equipos, materiales, reactivos e insumos	27

3.5. Métodos y técnicas	27
3.5.1. Métodos para el desarrollo del secado	27
A. Acondicionamiento de las muestras	27
B. Determinación de humedad inicial	27
C. Determinación de la humedad de equilibrio	28
D. Secado	31
3.5.2. Métodos de evaluación y análisis	32
A. Evaluación de las curvas de secado	32
B. Determinación de coeficiente de difusividad	33
C. Determinación de la energía de activación	34
D. Determinación del color	34
E. Evaluación sensorial	34
3.6. Análisis Estadístico	36
3.6.1. Análisis de varianza	36
3.6.2. Comparación múltiple	39
3.6.3. Análisis no paramétricos	39
CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Determinación de las curvas de secado	40
4.2. Cálculo del coeficiente de difusividad efectiva	48
4.3. Cálculo de la energía de activación	52
4.4. Variación del color de las hojas de salvia	54
4.5. Evaluación de los atributos sensoriales	59
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Curva de Secado Típica (Geankoplis , 1998)	8
Figura 2 : Curva de Velocidad de Secado (Geankoplis , 1998)	9
Figura 3 Representación en el plano horizontal del espacio de color L*a*b*	14
Figura 4 Representación del espacio L*a*b* (Konica Minolta Sensing, 2007)	14
Figura 5: Diferencia del color en el espacio L*a*b*	15
Figura 6 : Diagrama de cromaticidad (Konica Minolta Sensing, 2007)	16
Figura 7: Esquema par la determinación de la humedad deequilibrio	29
Figura 8: Esquema de la operación de secado (Carranza,2001)	32
Figura 9: Curva de secado de las hojas de Salvia a 1.0 m/s	41
Figura 10: Curva de secado de las hojas de Salvia a 0.5 m/s	41
Figura 11: Curva de velocidad de secado de hojas de salvia a 1 m/s	42
Figura 12: Curva de secado ajustada al modelo de Page a 0.5 m/s	42
Figura 13: Curva de Secado ajustada al modelo de Page a 1.0 m/s	43
Figura 14: Efectos de la temperatura y la velocidad sobre RXeq	44
Figura 15: Efecto de Interacción velocidad y temperatura para RX	45
Figura 16: Efectos de la temperatura y la velocidad de secado sobre el tiempo	45
Figura 17: Interacción de velocidad y temperatura sobre el tiempo	47
Figura 18: Efectos de la temperatura y la velocidad de secado sobre la humedad final Xfinal (b.h.)	47
Figura 19: Interacción de velocidad y temperatura sobre la humedad final	47
Figura 20: Variación de la difusividad con la temperatura	48
Figura 21: Variación de la difusividad con la velocidad de aire	50
Figura 22: Diagrama de efectos para la difusividad efectiva del agua de hojas de Salvia	50

Figura 23: Superficie de respuesta para Def del agua de las hojas de Salvia	51
Figura 24: Influencia de la temperatura sobre la difusividad	52
Figura 25: Variación del color con la temperatura a la velocidad de 1.0 m/s	54
Figura 26: Variación del color con la temperatura a la velocidad de 0.5 m/s	56
Figura 27: Diagrama de efectos para el Olor	57
Figura 28: Diagrama de efectos para el color	60
Figura 29: Diagrama de efectos para el sabor	61
Figura 30: Diagrama de efectos para la apariencia	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de diseño para el secado de las hojas de Salvia	25
Tabla 2: Matriz de diseño para el análisis sensorial de las hojas de Salvia	26
Tabla 3: Descripción de equipos e instrumentos	26
Tabla 4: Descripción de materiales	26
Tabla 5: Descripción de reactivos y sustancias	27
Tabla 6: Modelos matemáticos para ajuste de isotermas	30
Tabla 7: ANOVA factorial con interacción	37
Tabla 8: Calculo de los elementos del ANOVA	37
Tabla 9: Valores de los parámetros del modelo Page	43
Tabla 10: Razón de equilibrio y tiempo de secado para las hojas de Salvia	44
Tabla 11: Valores de Def para el secado de las hojas de Salvia	49
Tabla 12: Valores de Ea a las velocidades de estudio	53
Tabla 13: Parámetros de color de las hojas de Salvia	55
Tabla 14: Valores medios del olor de las hojas de Salvia deshidratadas	59
Tabla 15: Valores medios del color de las hojas de Salvia deshidratadas	61
Tabla 16: Valores medios del sabor de las hojas de Salvia deshidratadas	62
Tabla 17: Valores medios de la apariencia de las hojas deshidratadas	63

ABREVIATURAS Y UNIDADES

hbs	: Humedad en base seca
m_{ss}	: Solido seco
m_{agua}	: Masa del agua
hbh	: Humedad en base húmeda
X^*	: Humedad de equilibrio
X	: Humedad libre
W	: Velocidad de secado
ΔX	: Variación de humedad libre
A	: Área de materia a secar
Δt	: Variación de tiempo
X_c	: Humedad critica
X_1	: Humedad inicial
W_c	: Velocidad en el periodo critico
t_{const}	: Tiempo a velocidad constante
t_{decr}	: Tiempo a velocidad decreciente
X_2	: Humedad final
t_{total}	: Tiempo total
RX	: Relación humedad
X_i	: Contenido de agua en un tiempo dado
D_{ef}	: Difusividad efectiva

t	: Tiempo de secado
L	: Espesor de la capa de sólido
E_a	: Energía de activación
D_0	: Factor de Arrhenius
R	: Constante universal de los gases
T	: Temperatura absoluta
ΔE_{ab}	: Diferencia total del color
ΔL^*	: Diferencia de luminosidad
Δa^*	: Diferencia de rojos a verdes
Δb^*	: Diferencia de amarillos a azul
ΔH_{ab}	: Diferencia del tono
ΔC^*	: Diferencia en la saturación o croma
Δh	: Diferencia del Angulo del tono
ANOVA	: Análisis de Varianza
LSD	:Diferencia mínima significativa.

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo por objetivo evaluar el secado de hojas de salvia (*Salvia officinalis*) y su influencia en el color y propiedades sensoriales, a diferentes condiciones de temperatura y velocidad de aire, las hojas fueron recolectadas entre los meses de abril a mayo de 2015, de la zona de Yunca Alta del distrito de Andahuaylas. Se evaluó el secado en un secador convectivo de bandejas a 40, 50 y 60 °C y velocidades de aire de 0.5 y 1.0 m/s, las curvas de secado se ajustaron a la ecuación Page, presentando comportamiento decreciente con el incremento de la temperatura y velocidad de aire, mostrando diferencias significativas en el tiempo de secado ($p\text{-value} < 0.05$). La difusividad efectiva del agua D_{ef} durante el secado aumenta con el incremento de la temperatura para ambas velocidades de secado. Asimismo se calculó la energía de activación E_a a través de la ecuación de Arrhenius, y esta presenta relación inversa con la velocidad de secado, variando de 45.39 a 69.83 kJ/mol para las velocidades de 1.0 m/s a 0.5 m/s respectivamente. El color de las hojas deshidratadas en comparación con las hojas frescas presento disminución de la luminosidad L^* y del parámetro b^* , mientras que se incrementa a^* ; por otra parte al comparar el color de las hojas deshidratadas la temperatura y la velocidad de aire muestran efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) inverso en L^* y b^* , mientras que para el parámetro a^* es directo. Finalmente los atributos sensoriales como el olor, color, sabor y apariencia de las hojas de Salvia deshidratadas a las temperaturas y velocidades de estudio, muestran diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$), y estas fueron afectadas negativamente únicamente con el incremento de la temperatura del secado.

Palabras clave: *Salvia, secado, difusividad, energía de activación, color, sensorial.*

ABSTRAC

The research work was to evaluate the dried leaves of sage (*Salvia officinalis*) and its influence on the color and sensory properties at different conditions of temperature and air velocity, the leaves were harvested between the months of April and May 2015 area "Yunca Alta" district of Andahuaylas. Drying was evaluated in a convective dryer trays 40, 50 and 60 ° C, and air velocities of 0.5 and 1.0 m / s, the drying curves were adjusted to "Page" equation, presenting decreasing behavior with increasing temperature and air velocity, showing significant difference in drying time (p -value < 0.05). Effective diffusivity of water during drying increases with increasing temperature for both drying rates. Also, the activation energy through the Arrhenius equation was calculated, and this presents inversely related to drying rate, varying from 45.39 to 69.83 kJ / mol for speeds of 1.0 m / s to 0.5 m / s respectively. The color of the dehydrated leaves compared with fresh leaves, showed decreased "L *" parameter brightness and "b **", while increases "a *". Moreover, when comparing the color of the dehydrated leaves, temperature and air velocity shown significant effect reverse (p -value < 0.05) in "L *" and "b **", while for the parameter "a * " it's direct. Finally, the sensory attributes such as odor, color, taste and appearance of the leaves of *Salvia* dried at temperatures and speeds study show significant difference (p -value < 0.05), and these were affected negatively only with increasing temperature drying

Key words: *Salvia*, drying, diffusivity, activation energy, color, sensory.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

La Salvia (*Salvia Officinalis*), es una hierba medicinal que es muy usada en nuestra provincia de Andahuaylas en el cual el mayor problema que se tiene es la estacionalidad de la planta, es por ello que la conservación de esta se puede llevar a cabo mediante el secado, lo cual es muy importante ya que de esto dependerá obtener un producto de calidad, un aspecto crítico durante el secado en la calidad de las hierbas, es la oxidación de la planta lo cual se ve manifestado en la pérdida de color, mostrando un oscurecimiento de las hojas.

Por lo tanto la finalidad de la presente investigación es obtener las curvas de secado de las hojas de salvia (*Salvia Officinalis*), calcular el coeficiente de difusividad y energía de activación de tal manera que nos permita predecir las condiciones de secado y así evitar daños a la calidad del producto, consumo excesivo de energía y la disminución del rendimiento, lo cual nos va permitir conocer las variables tecnológicas adecuadas de temperatura, tiempo y velocidad de aire de secado, de tal manera que obtengamos un producto que conserve sus características sensoriales de color, olor, sabor, aroma y principios activos, facilitando su almacenamiento transporte y conservación.

CAPITULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. EL SECADO

El secado es un proceso en el que el agua se elimina para detener o aminorar el crecimiento de microorganismos perjudiciales, así como de ciertas reacciones químicas. La eliminación de agua de los alimentos se consigue mayoritariamente utilizando aire caliente (excepto para algunas operaciones tales como liofilización y deshidratación osmótica) que elimina el agua de la superficie del producto y la lleva hacia fuera. El proceso de secado de alimentos no sólo afecta al contenido en agua del alimento, sino también a otras de sus características físicas y químicas (Geankoplis, 1998).

Además de la conservación, el secado que convierte el alimento en un producto seco, se utiliza para reducir el coste o dificultad en el embalaje, manejo, almacenamiento y transporte, pues el secado reduce el peso y a veces el volumen.

La deshidratación de alimentos no es una operación unitaria trivial. Son varios los factores que afectan al rendimiento de un secadero, así como a la calidad del producto durante la operación de secado. Los cambios físicos y químicos del alimento durante una operación de secado pueden potenciar ciertas características deseadas de los productos, pero también puede disminuir la cantidad de nutrientes y cambiar las propiedades organolépticas. Sin embargo, con un adecuado manejo, estas reacciones y cambios físicos pueden asegurar un alimento con un alto contenido en nutrientes y aumentar significativamente su vida comercial (Geankoplis, 1998).

2.2. PARÁMETROS DE SECADO

Durante del proceso de secado varios parámetros influyen en el tiempo de secado, como son: la humedad relativa del aire, la temperatura del aire, la velocidad del aire, el contenido de humedad inicial, final y de equilibrio del producto (Heldman y Lund, 2007)

A. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa (Heldman y Lund, 2007).

Cuando el aire contiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y por lo tanto incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tiene la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación.

La cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua puede expresarse como porcentaje de humedad relativa HR usando presiones parciales, tal como se muestra en la Ecuación (01) y (02).

$$HR = \frac{\text{kg de } H_2O}{\text{Kg de aires seco}} \quad (1)$$

$$\%HR = \frac{P_a}{P_{as}} * 100 \quad (2)$$

Donde: P_a , es la presión parcial del vapor de agua en el aire; P_{as} , es la presión de vapor del agua pura.

B. TEMPERATURA DEL AIRE

La temperatura del aire desempeña un papel importante en los procesos de secado. En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica de secado, la elección de la temperatura se llevara a cabo tomando en consideración el producto que se vaya a someter al proceso (Heldman y Lund, 2007).

García (2014) en su trabajo "Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*) 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 hierbabuena, en cuanto a la variación de color se observó mayor variación de color a medida que la temperatura incrementaba.

Belghit, *et al.* (1999). nos indica, que la temperatura es el principal factor en el control de la velocidad de secado del producto.

Existen diversos niveles de temperaturas que se mantienen durante el proceso de secado:

- Temperatura de bulbo seco: es aquella del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como por ejemplo un termómetro de mercurio.
- Temperatura de bulbo húmedo: es la temperatura de equilibrio que se alcanza cuando la mezcla de aire seco y vapor de agua pasa por un proceso de enfriamiento adiabático hasta llegar a la saturación. (Heldman y Lund, 2007).

C. VELOCIDAD DEL AIRE

La velocidad del aire de secado tiene como funciones principales, transmitir energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y transportar la humedad saliente del material hacia el exterior del secador (Geankoplis, 1998).

Durante las primeras etapas del secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta, por tal

razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable tener una buena circulación del aire constante y regular, en la práctica, la economía del proceso determina la velocidad del aire. Se utiliza velocidades mayores a 3 m/s solo en casos excepcionales (productos con alto contenido de humedad), pero en general, la velocidad se considera entre 0.2 y 3 m/s. En algunos casos, es recomendable utilizar velocidades de secado altas al inicio del proceso de secado, pero a medida que disminuye la humedad se sugiere disminuir la velocidad. Lo anterior es posible si se cuenta con extractores de velocidad variable (Heldman y Lund, 2007).

D. CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

El contenido de humedad inicial del producto, es la humedad que tiene el producto al cosecharse y depende del tiempo de cosecha. El contenido de humedad inicial también influye en la tasa de secado. Cuanto más elevado sea el contenido de humedad del producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía (Heldman y Lund, 2007).

La cantidad de humedad inicial de algún producto puede ser expresada en base húmeda, es decir, la cantidad de agua que tiene el producto en total sobre su peso de materia seca más agua; o en base seca, que es la cantidad de agua que tiene el producto en relación solamente a la cantidad de materia seca; pueden ser expresadas como un porcentaje o decimal. Ambas expresiones pueden representarse de la siguiente forma:

$$h_{bh} = \frac{m_w}{m_w + m_s} = \frac{m_w}{m_t} \quad (3)$$

$$h_{bs} = \frac{m_w}{m_s} \quad (4)$$

Donde h_{bh} es la humedad en base húmeda, h_{bs} es la humedad en base seca, m_w es la masa de agua, m_s es la masa de producto seco y m_t es la masa total del producto.

E. CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL

El contenido de humedad final del producto, es la humedad que tiene el producto después de secarlo. La humedad final depende del tiempo que se desea almacenar el producto, así como la calidad que se desea obtener en el mismo. Si el producto no tiene la humedad final mínima que se requiere para almacenarlo, se presenta un ambiente favorable para la proliferación de microorganismos (Heldman y Lund, 2007).

F. CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO

La humedad de equilibrio, se define como el contenido de humedad que alcanza un producto después de haber sido expuesto en un ambiente de humedad relativa y temperatura constante, por un largo período de tiempo; depende de las condiciones de humedad y temperatura ambiente, además de la variedad, madurez y especie del producto.

Varias ecuaciones empíricas han sido desarrolladas para expresar el contenido de humedad de equilibrio como una función de la humedad relativa y de la temperatura. Una de las ecuaciones es la de BET y GAB además de otras, utilizadas para construir isothermas de adsorción (Heldman y Lund, 2007).

La humedad de equilibrio Ecuación 5, se calcula por la diferencia entre la masa de la muestra que presentó equilibrio y la masa seca (Soleimani *et al.*, 2006).

$$x_{e,exp} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (5)$$

Dónde: $x_{e,exp}$ = humedad de equilibrio experimental a la humedad relativa en b. s; m_{eq} = masa de la muestra en el equilibrio, (g)., y; m_s = masa de la muestra seca, (g).

G. CONTENIDO DE HUMEDAD CRÍTICA

El contenido de humedad crítica, es la que tiene el producto cuando la resistencia interna al transporte de humedad es igual a la resistencia externa a la remoción de vapor de agua de la superficie del producto; depende de las condiciones de secado y de las características del producto tales como el tamaño y la forma. En otras palabras, es la humedad que tiene el producto cuando termina el período de velocidad de secado constante y empieza el período de velocidad decreciente (Heldman y Lund, 2007).

La determinación matemática de la humedad crítica se realiza de acuerdo a la Ecuación siguiente (Geankoplis, 1998):

$$t = \frac{L_s}{A} \int_{X_t}^{X_{wc}} \frac{dX}{R} \quad (6)$$

Que en su forma integrada es:

$$t_c = \frac{L_s X_{wc}}{AR} \ln \frac{X_{wc}}{X_t} \quad (7)$$

Donde: L_s peso del sólido seco; t , tiempo; A , superficie libre de secado; R velocidad de secado; X_t , humedad en el tiempo; X_c , humedad crítica para X_t .

H. VELOCIDAD DE SECADO

Se define velocidad de secado como la velocidad con que disminuye la humedad del producto, como se muestra en la Ecuación 8:

$$v_s = \frac{\partial X_w}{\partial t} \quad (8)$$

2.3. PERIODOS DE SECADO

La curva de secado es la evolución en el contenido de humedad en base seca del producto con el transcurso del tiempo. Gráficamente se representa como el contenido en humedad del material (X_w) frente al tiempo transcurrido desde que se inicia la operación de secado (t).

La Figura 1 muestra una curva de secado típica de materiales muy húmedos en la que se observan tres zonas características (Fito *et al.*, 2001):

- Una primera zona A, en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción.
- Otra zona B, de pendiente constante, es decir la eliminación de agua presenta un incremento proporcional con el tiempo.
- Y una tercera zona C, en la cual la pendiente disminuye con el tiempo.

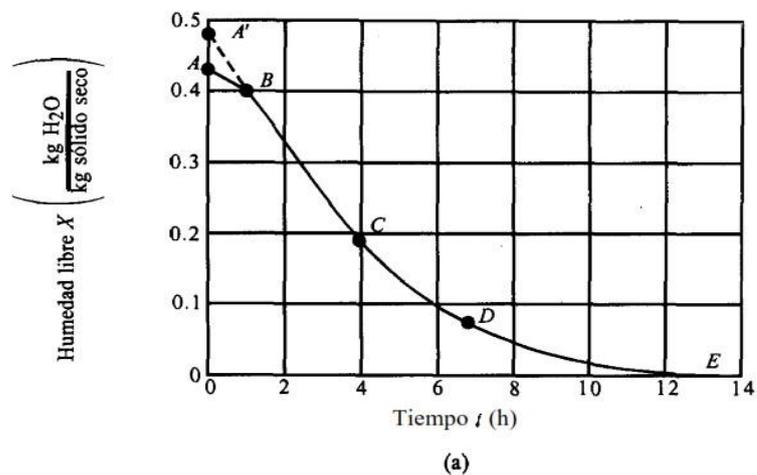


Figura 1 : Curva de Secado Típica (Geankoplis, 1998)

Por tanto, la pendiente de la curva de secado (dX_w/dt) nos da la velocidad de secado, en la que también pueden diferenciarse las tres zonas definidas anteriormente como puede verse en la Figura 2, así como su correspondencia con la curva de secado (Fito *et al.*, 2001).

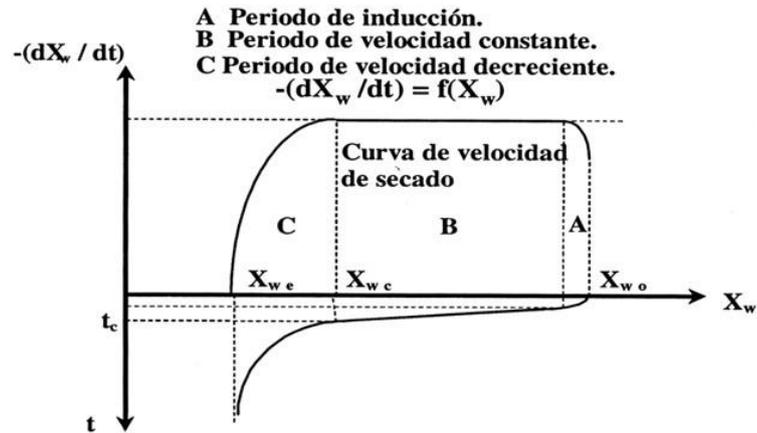


Figura 2 : Curva de Velocidad de Secado (Geankoplis , 1998)

Estas tres zonas son las siguientes:

1. Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente: en esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interface, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado. Este periodo depende también de factores como el contenido inicial de humedad del sólido, de la temperatura de secado, de la velocidad del aire, el tamaño de la superficie del material y la humedad relativa del aire. Pero a los fines de cálculo se prescinde de él ya que se considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario, es decir a los periodos B y C (Figura 1), en los que se centra el estudio del secado (Fito *et al.*, 2001).
2. Periodo de velocidad de secado constante: la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. De esta manera, la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interface será constante y el calor que llega al sólido se invierte

totalmente en evaporar el líquido. A medida que transcurre el tiempo, el sólido se va secando y llega un momento en el que la velocidad con que el agua llega a la superficie se hace menor que la velocidad de evaporación, que implicaría el uso de toda la energía que llega del aire en evaporar agua del alimento. Desde este momento parte del calor que llega al sólido se invierte en calentarlo. El contenido de humedad del producto en dicho instante se conoce como humedad crítica (X_{wc}) (Fito *et al.*, 2001), matemáticamente se obtiene integrando la ecuación (06), quedando la Ecuación 9.

$$t = \frac{L_s}{AR}(X_1 - X_2) \quad (9)$$

Donde X_1 es la humedad en el tiempo t ; X_2 es la humedad hasta el punto crítico.

3. Periodo de velocidad de secado decreciente: la humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio (X_{we}). En este periodo las líneas que se obtienen pueden ser curvas, en otros casos serán rectas o bien una combinación de ambas. La interpretación exacta del fenómeno aún no se ha dado pero hay varias teorías que intentan explicarlo. En los casos en los que la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido en humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material continúa produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada; llega así un momento en el que toda la superficie queda seca y entonces se supone que el proceso continúa en una de las dos formas siguientes (Fito *et al.*, 2001):

- a. Si existe un frente de evaporación que se desplaza hacia el centro del sólido, de manera que el vapor que se produce es el que se difunde a través de la masa seca hacia el exterior,

la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión de dicho vapor.

- b. El otro mecanismo posible sería el de difusión de líquido a través de la masa sólida y su posterior evaporación en la superficie, por lo que la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión del líquido.

El tiempo en el periodo decreciente matemáticamente se describe como:

$$t = \frac{L_s(X_1 - X_2)}{A(R_1 - R_2)} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (10)$$

Donde : X_2 es la humedad hasta el punto crítico; R_2 , es la velocidad de secado hasta el punto crítico

2.4. CINÉTICA DEL SECADO

La cinética del secado es generalmente evaluar midiendo la pérdida de peso de una muestra en función del tiempo (López *et al.*, 2003). Se usa frecuentemente para describir los mecanismos microscópicos y macroscópicos de transferencia de calor y masa durante el secado, y es afectada por las condiciones de secado, tipos de secador y características de los materiales a ser secados. Los modelos de cinética de secado son esenciales para el diseño de equipo, optimización de proceso y mejoramiento de la calidad del producto (Giri y Prasad, 2007).

Los procesos de remoción de humedad y su dependencia en las variables de proceso se expresan en términos de cinética de secado, y por lo tanto, la determinación de la velocidad de secado (Guiné y Castro, 2002), es esencial para el desarrollo de modelos confiables del proceso (Kiranoudis *et al.*, 1997).

Las curvas de secado se representan de diferentes maneras como por ejemplo el contenido de humedad en función del tiempo, la velocidad del secado en función del tiempo o la velocidad del secado en función del contenido de humedad (Karin y Hawlader, 2005).

Silva *et al.* (2008) en su investigación comprobaron que el aumento de la temperatura del aire de secado, aumentó la velocidad de secado de la hoja y tallo de cilantro. El escaldado utilizado como pre-tratamiento, favorece el aumento en la velocidad de secado del tallo. El modelo matemático de Midilli *et al.* presentó mejor ajuste para los datos experimentales.

2.4.1. MODELOS CINÉTICOS EN DESHIDRATACIÓN DE SECADO DE ALIMENTOS.

La deshidratación de productos alimenticios higroscópicos es rápida y simple, su estudio es complicado por su estructura interna compleja. Muchos estudios se han realizado sobre el fenómeno de transferencia de humedad, para una gran variedad de productos alimenticios y considerando diferentes tipos de cinética. De hecho, la literatura científica en esta área es fértil en modelos cinéticos, mecanísticos, empíricos o una combinación de ambos (Vázquez y Chenlo, 1997).

Debido a la complejidad de los fenómenos de transferencia de materia se han desarrollado una serie de modelos empíricos sencillos para simular la transferencia de agua en sólidos higroscópicos como son los alimentos (Sharaf-Eldeen *et al.*, 1979). La mayoría de estos modelos consideran que el contenido de humedad inicial es uniforme, que el comportamiento de las piezas es isótropo y que la resistencia interna es predominante al transporte del agua.

Da Rocha *et al.*, (2012), en su investigación los resultados mostraron que el modelo de Page obtuvo un mejor ajuste a los datos experimentales, los valores de los coeficientes de difusividad efectiva variaron entre $3,69 \times 10^{-12}$ a $1,19 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y el valor de la energía de activación fue de 77,16 kJ/mol.

Para la modelación matemática del secado de hierbas aromáticas García (2014), muestra ecuaciones que son empleadas para ajustar los modelos de secado:

$$\text{Modelo de Page } \phi = \exp(-k \cdot t^n) \quad (11)$$

$$\text{Modelo de Page Modificado } \phi = \exp(-k \cdot t)^n \quad (12)$$

$$\text{Modelo Midilli } \phi = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t \quad (13)$$

$$\text{Modelo Thompson } \phi = \exp(-a - (a^2 + 4b \cdot t)^{\frac{1}{2}}) / 2b \quad (14)$$

$$\text{Modelo Wang y Singh } \phi = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2 \quad (15)$$

Donde: a, b, c, k, n , son las constante cinéticas de los modelos

2.5. 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 cardio vascular, 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 (Blume, 1994)

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 3 muestra el color en $a^* b^*$ desde el plano horizontal un valor de L^* constante y en la Figura 4 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.

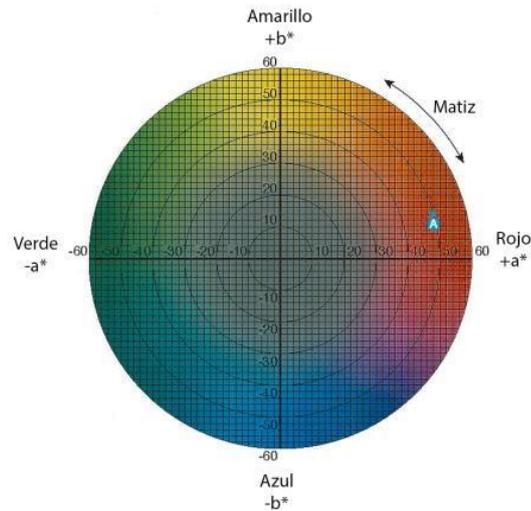


Figura 3: Representación en el plano horizontal del espacio de color $L^*a^*b^*$ (Konica Minolta Sensing, 2007)

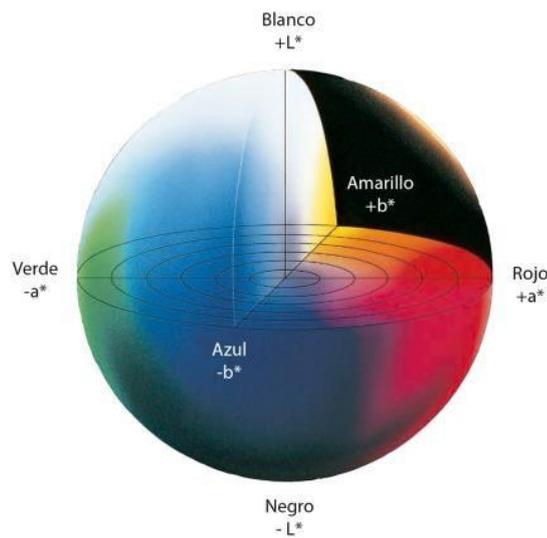


Figura 4: Representación del espacio $L^*a^*b^*$ (Konica Minolta Sensing, 2007)

En el espacio $L^* a^* b^*$, la diferencia del color puede ser expresada en un valor numérico ΔE^*_{ab} , el cual indica la magnitud entre dos colores, pero no indica la saturación, el tono y la luminosidad; el ΔE^*_{ab} está definido por la ecuación (16), en la Figura 5 se explica mejor este concepto; para analizar la diferencia total en la luminosidad, la saturación y el tono entre dos colores, es útil calcular la medida del tono entre el color de referencia y el observado usando la Ecuación 17.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (16)$$

Donde ΔL^* , Δa^* , Δb^* : es la diferencia entre L^* , a^* , b^* de la referencia y L^* , a^* , b^* de comparación.

$$\Delta H_{ab}^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \quad (17)$$

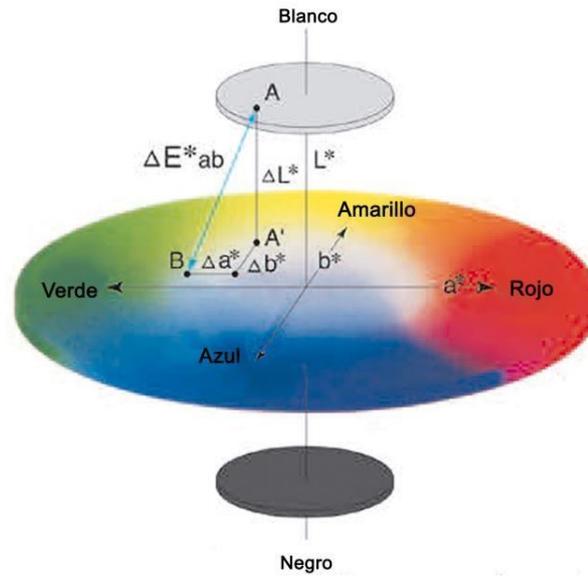


Figura 5: Diferencia del color en el espacio $L^*a^*b^*$ (Konica Minolta Sensing, 2007)

La diferencia en el ángulo de tono ΔH_{ab}^* entre el color observado y el de referencia puede ser correlacionado con diferencias visuales del tono percibido. La diferencia de saturación ΔC_{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 formulas 18 y 19 (ASTM). En la Figura 6 se puede apreciar el concepto.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (18)$$

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), (\text{grados}) \quad (19)$$

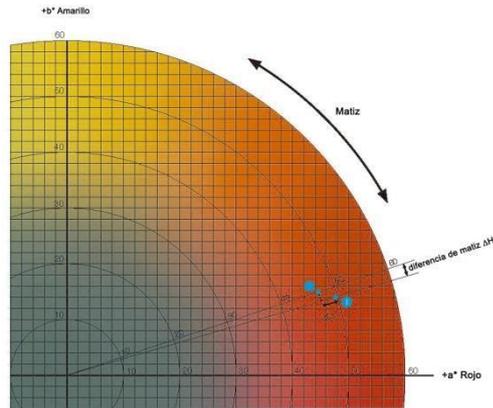


Figura 6 : Diagrama de cromaticidad (Konica Minolta Sensing, 2007)

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).

2.5.1. Sistema de color CIE:

La CIE o Comisión Internacional del Eclairage (que se traduce como Comisión Internacional de la Iluminación) es la institución responsable de las recomendaciones internacionales para la fotometría y colorimetría. En 1931 la CIE estandarizó los sistemas de orden de color especificando las fuentes de luz, el observador y la metodología usada para encontrar los valores para la descripción del color. (Delmoro, Muñoz, Nadal, Clementz, & Pranzetti, 2010).

2.5.2. Cielab ($L^*a^*b^*$):

Las características cromáticas CIELAB; en la actualidad se está implantando en los ámbitos alimentarios el sistema de coordenadas de color de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) que permite una medida precisa de la percepción visual del color de un objeto, y por lo tanto también podemos considerar el color de las hojas de salvia. La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) estableció unas normativas respecto a la medida del color, especificando un espacio de color a utilizar, de tal modo que los resultados numéricos obtenidos se ajustaran en la mayor medida posible a la sensación visual humana.

Cuando un color se expresa en CIELAB, la L* define la claridad, a* denota el valor rojo/verde y b* el valor amarillo/azul. (Delmoro, *et al.* 2010)

a*: índice de rojo (los valores pueden ser positivos e indican la cantidad de componentes rojo, o negativos que equivale al componente verde).

b*:índice de amarillo(los valores positivos representan el componente amarillo y los negativos el azul).

L*: luminosidad.(Sólo se obtienen valores positivos y se mide en una escala de 0-100).

2.5.3. Colorímetro

Un instrumento de medición óptica que responde al color de manera similar al ojo humano – filtrando la luz reflejada en sus regiones dominantes de rojo, verde y azul. Pueden utilizarse para medir sólidos, pastas, gránulos, polvos y líquidos. Además que los valores de color son numéricos por lo que puedes diferenciar con facilidad el color de un determinado producto (Huamancondor Paz & Olivos Milla, 2013).

2.6. SALVIA (*Salvia officinalis*)

Su nombre científico es *Salvia officinalis* L. y pertenece a la familia Labiadas (Gonzales, 2009), Il nombre genérico procede del latín “salvare”, salvar, salud y alude a las propiedades que se le atribuían de curar numerosas enfermedades (Mendiola y Montalbán, 2009), el nombre *officinalis* indica que se trata de una especie de utilidad medicinal (IICA, 2005),contiene un aceite esencial que contiene un 50% de tuyoona,15% de cineol, un, alcanfor (salviol),tanino y amargos (Pricosalvina).(Mendiola y Montalbán, 2009)

Originaria de los países del Mediterráneo oriental, Grecia Yugoslavia; se ha introducido y aclimatado en Italia, sur de Francia, norte, centro y sur de la Península Ibérica y norte de Marruecos. Se cultiva en Inglaterra, Francia, Italia, Yugoslavia, Grecia, Albania, URSS y USA (Muñoz, 2002),

aunque se puede encontrar de manera silvestre sobre todo en las zonas alto andinas de América del Sur (Fundación Uñatatawi, 2003).

A. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA SALVIA REAL

Según García (2011) describe la salvia de acuerdo a:

- **Nombre común o vulgar:** Castellano selima, hierba del mudo, hormigón de España, madre selva, salima, salima fina, salvia, salvia blanca, salvia con hojas de espliego, salvia de Aragón, salvia de Aragón de hojas estrechas con orejuelas, salvia de Cataluña, salvia de Granada, salvia de hoja angosta, salvia de hoja estrecha, salvia de la Alcarria, salvia de Moncayo, salvia de Trillo, salvia fina, salvia fina de la Sierra, salvia hortense menor, salvia menor, salvia menuda de España, salvia oficial, salvia real, salvia salvaje, salvia silvestre, savia, salima fina, selvia, té indígena, verdecillo.
- **Nombre científico o latino:** *Salvia officinalis*

Género : *Salvia*

Especie : *Officinalis*

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Familia: Lamiaceae.

Subfamilia: Nepetoidea.

Orden: Lamiales.

B. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Es un arbusto que puede alcanzar 70 cm de altura (fotografía 01), muy ramificado y aromático, erguido, con las ramas extendidas y tomentosas (Mendiola y Montalbán, 2009). Los tallos son erectos, de sección cuadrada, vellosos y ramosos. Son leñosos en la base y herbáceos en la cima. Presentan nudos salientes sobre los cuales se insertan las hojas (Pierre y Gallouin, 2007). Las hojas son pecioladas, enteras, oblongas, más o menos estrechadas en la base, rugosas, verdes por el haz y pubescentes blanquecinas por el envés, con el borde finamente dentellado, con la nervadura nítidamente marcada (Mendiola y Montalbán, 2009). Miden aproximadamente 2 cm de

ancho y de 5 a 10 cm de largo. La epidermis contiene numerosos pelos secretorios. El olor de la esencia (localizada bajo la cutícula) se desprende por simple frotamiento. Las hojas más jóvenes son las más aromáticas (Pierre y Gallouin, 2007). Flores agrupadas en 2 a 4 y rara vez en 6 a 10 verticilos, dispuestos en espigas terminales, cáliz pubescente y glandular. Corola de 2 a 3 veces más larga que el cáliz, de hasta 35 mm de longitud, con anillo peloso dentro del tubo, de color azul-violáceo, a veces blanco o rosáceo. Los frutos son aquenios ovoideos (Muñoz, 2002).



Fotografía1 : Plantas de salvia

C. USOS

El uso práctico de la salvia es el de aromatizar los platillos, pero son varias las propiedades de los principios activos contenidos en ella (García, 2011). El aceite esencial aromatiza perfumes. La salvia contiene un principio amargo, la pricosalvina, que proporciona a la planta propiedades aperitivas. Hojas y flores tienen cualidades tónicas, digestivas, diuréticas, antiespasmódicas, febrífugas, antisépticas, antisudoríficas, hipoglucemiantes, emenagogas, resolutivas y vulnerarias (Pierre y Gallouin, 2007). Se utiliza en dolencias del aparato respiratorio y digestivo, así como contra sudores nocturnos. Muy empleado en gárgaras y como desinfectante bucal. Al exterior cura llagas, úlceras y se aplica en irrigaciones, cataplasmas, lociones, fomentos, etc. Se toma en infusión. Se cultiva para la industria alimentaria, semillero, para la herboristería, la cosmética, la industria

de los licores (García, 2011), también se utiliza, junto con el romero y el tomillo, para preservar distintos alimentos, incluyendo las carnes y los quesos.

2.7. EVALUACIÓN SENSORIAL

Se define la evaluación sensorial como una disciplina usada para medir, analizar e interpretar reacciones producidas por las características de los alimentos y materiales, son percibidas por órganos de la vista, gusto, tacto, olfato y oído, actualmente el término que mejor se adapta a la definición es el término que mejor se adapta a la definición mencionada es el de análisis

“sensorial”. Debe ser practicado por un grupo de personas denominados “equipo de degustadores”, “panel sensorial”, “panel de jueces”.

La evaluación sensorial tiene múltiples aplicaciones en alimentos. Puede ser utilizada para el desarrollo de productos o el mejoramiento de los ya existentes, para efectuar cambios en el proceso (Espinoza, 2007). Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos. Hay algunas propiedades (atributos) que se perciben por medio de un solo sentido, mientras que otras son detectadas por dos o más sentidos. (Morales, 1994). A continuación se describen algunos atributos.

a. El sabor

Este es muy complejo, ya que combina tres propiedades: el aroma, el olor y el gusto. El sabor es una suma de las tres características; y por lo tanto su apreciación y medición son más complejas que las de cada propiedad por separado. El sabor es lo que diferencia a un alimento de otro y no el gusto, ya que si se prueba un alimento con los ojos cerrados y la nariz tapada, solamente se podría juzgar si es dulce, salado, amargo o ácido. Las papilas gustativas de la lengua registran los cuatro sabores básicos: dulce, ácido, salado y amargo, en determinadas zonas preferenciales de la lengua, así lo dulce en la punta, lo amargo en el extremo posterior y lo salado y ácido en los bordes (Sancho Valls, Bota, & De Castro J., 2002).

b. Color:

Esta propiedad es la percepción de la luz de una cierta longitud de onda reflejada por un objeto. El color es la cualidad de la sensación provocada en la retina de un observador por ondas luminosas. El color resulta de la interacción de la luz en la retina y un componente físico que depende de las características de la luz (Sancho Valls, Bota, & De Castro J., 2002).

c. Olor:

Es la separación, por medio de la nariz de sustancias volátiles liberados en los objetos. Una característica importante del olor es la intensidad o potencia de este. Además, la relación entre el olor y el tiempo es muy importante, ya que el olor es una propiedad sensorial que presenta dos atributos, contradictorios entre sí, en los cuales está involucrado el tiempo. El primero es la persistencia, o sea, que aun después de haberse retirado la sustancia olorosa, la persona continúa percibiendo el olor (Sancho Valls, Bota, & De Castro J., 2002).

Con relación a las pruebas que pueden ser utilizadas existen diversas formas de clasificarlas aunque todos los autores coinciden en que estas se dividen en dos grandes grupos: Pruebas analíticas, Pruebas afectivas y Pruebas de aceptabilidad.

Cualquiera que sea la prueba que se vaya a emplear, es necesario que los jueces entiendan la necesidad de efectuar la misma de la manera más objetiva posible, demuestren su capacidad para seguir las instrucciones y ejecuten la misma de manera correcta.

A. PRUEBAS ANALÍTICAS

Se realizan en condiciones controladas de laboratorio y son realizadas con jueces que han sido seleccionados y entrenados previamente (jueces analíticos). Las mismas se subdividen en pruebas discriminatorias, escalares y descriptivas.

- Las pruebas discriminatorias permiten comparar dos o más productos, e incluso estimar el tamaño de la diferencia. De manera general son sencillas y de gran utilidad práctica.
- Las pruebas escalares son aquellas en las cuales se mide de manera cuantitativa la intensidad de una propiedad sensorial con la ayuda de una escala. Debido a que las mismas se emplean como herramientas de trabajo en otros métodos sensoriales, algunos autores y especialista en la temática no la tienen en cuenta dentro de la clasificación de los métodos de evaluación sensorial.
- Las pruebas descriptivas son de manera general más complejas, mediante las mismas los jueces establecen los descriptores que definen las diferentes características sensoriales de un producto y utilizan dichos descriptores para cuantificar las diferencias existentes entre varios productos (Espinosa, 2007).

B. PRUEBAS AFECTIVAS

Se realizan con personas no seleccionadas ni entrenadas, las que constituyen los denominados jueces afectivos. Los mismos en la mayoría de los casos se escogen atendiendo a que sean consumidores reales o potenciales del producto que se evalúa, pudiendo tener en cuenta situaciones económicas, demográficas, entre otros aspectos.

Las pruebas afectivas se emplean en condiciones similares a las que normalmente se utilizan al consumir el producto, de ahí que puedan llevarse a cabo en supermercados, escuelas, plazas, etc.

Los resultados que de las mismas se obtienen siempre permitirán conocer la aceptación, rechazo, preferencia o nivel de agrado de uno o varios productos por lo que es importante que las personas entiendan la necesidad de emitir respuestas lo más reales posibles.

El cuestionario a emplear es otro elemento que debe ser analizado con rigor, para evitar que este introduzca errores en los resultados obtenidos. El mismo no debe ser muy extenso para evitar fatiga en los jueces o rechazo a realizar la prueba, además debe ser fácil de responder, redactarse de manera clara con preguntas de fácil comprensión y con impresión legible (Espinosa, 2007).

C. PRUEBAS PARA MEDIR ACEPTABILIDAD

El principal propósito de los métodos afectivos es evaluar la respuesta (reacción, preferencia o aceptación) de consumidores reales o potenciales de un producto, idea o característica específica de un producto. A diferencia de los métodos analíticos que se realizan con evaluadores seleccionados y entrenados, las pruebas afectivas se realizan con los consumidores objetivo del producto en cuestión (Espinosa, 2007).

La medición de aceptabilidad sensorial se realiza a través del uso de escalas hedónicas. Se basan en que el consumidor dé su impresión una vez que ha probado la muestra, señalando cuanto le gusta o desagrada (grado de aceptabilidad sensorial)

CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se desarrolló en los laboratorios de Control de Calidad, Química y Procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAJMA

3.2. MATERIAL DE ESTUDIO

3.2.1. POBLACIÓN

El universo y/o población se refirió al material genético es decir la salvia (*Salvia officinalis*), las cuales provinieron de los cultivos silvestres ubicados en la zona altas de la provincia de Andahuaylas por encima de los 3200 msnm, específicamente en la zona de Yunca del distrito de Andahuaylas, debido a la abundancia de la planta y cercanía con la ciudad.

3.2.2 MUESTRA

Se consideró una muestra a 10 kg de hojas frescas de Salvia correspondientes a los periodos de vegetación enero – abril del 2015, las cuales fueron recolectadas teniendo en cuenta los siguientes criterios: plantas con floración y sin aparente marchites, a no menos de 2 m de cualquier camino de herradura existente.

Las hojas se recolectaron en horas de la mañana de 06:00 a 08:00 horas, ya que a esta hora conserva mejor sus propiedades, luego fueron colocadas en bolsas de papel Kraff sin someterlas a presión, las cuales se transportaron en cajas de cartón evitando el contacto directo con la luz solar una vez recolectados, luego se llevó al laboratorio de la Universidad Nacional José María Arguedas.

3.2.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis estuvo referida a los datos obtenidos durante el proceso de secado como la humedad en base seca a las temperaturas de estudio.

3.3. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN

Para el secado de las hojas de Salvia, se utilizó el diseño factorial 3X2, para ver el efecto de las dos variables, la cual es la temperatura en tres niveles 40°C, 50°C y 60 °C y la velocidad de aire en dos niveles 0.5 y 1 m/s, teniendo como variables de respuesta el tiempo de secado (t_i), el coeficiente de difusividad (D_{ef}) y el color de las hojas en el espacio $L^*a^*b^*$ (C), la matriz de diseño se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Matriz de diseño para el secado de las hojas de Salvia

Tratamiento	Variable de entrada		Variable de respuesta o salida			
	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Tiempo de secado (min)	Difusividad efectiva (m ² /s)	Energía de activación (kJ/mol)	Color
TR1	T1 (40)	V1 (1.0)				
TR2	T2 (50)	V1 (1.0)				
TR3	T3 (60)	V1 (1.0)				
TR4	T1 (40)	V2 (0.5)				
TR5	T2 (50)	V2 (0.5)				
TR6	T3 (60)	V2 (0.5)				

Donde : TR es el tratamiento; Ti es la temperatura de secado; Vi es la velocidad de secado.

Para el análisis sensorial se utilizó una prueba no paramétrica como es el test de Friedman, debido a que se manipuló una variable, las hojas secadas para cada tratamiento, la matriz de diseño se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Matriz de diseño para el análisis sensorial de las hojas de Salvia

Variable de entrada (Tratamiento)	Juez 01	Juez 02	Juez 03	...	Juez 50
TR1	A11	A21	A31	...	
TR2	A12	A22	A32	...	
TR3	A13	A23	A33	...	
TR4	A14	A24	A34	...	
TR5	A15	A25	A35	...	
TR6	A16	A26	A36	...	
Control (hoja fresca)	A1C	A2C	A3C	...	

Donde: Aij, es el atributo (Olor, Color, Sabor y Apariencia) a evaluar; TR_i es tratamiento "i"

3.4. EQUIPOS, MATERIALES, REACTIVOS

Tabla 3: Descripción de equipos e instrumentos

Cant.	Nombre	Descripción	Marca
01	Estufa digital con temporizador	De material de acero inoxidable, de 20 litros, de 20°C a 120°C, con 02 bandejas y recirculación de aire.	Menmert
01	Balanza analítica	Equipo electrónico con capacidad de 100 g y sensibilidad 0.0001g.	OHAUS Adventurer
01	Secador convectivo	De 02 bandejas, de 20 litros, de 20°C a 300°C, flujo de aire horizontal.	KertLab
01	Anemómetro	Instrumento que mide velocidad de aire, humedad relativa y temperatura	OHAUS Adventurer
01	Cronometro	Instrumento digital	Casio
01	Colorímetro	Instrumento que mide en color en el espacio L*a*b*	Minolta

Tabla 4: Descripción de materiales

Cant.	Nombre	Descripción	Marca
12	Vasos precipitados	Material de vidrio pírex transparente, y de capacidad de 100 ml	Marienfeld
03	Probeta	Material de vidrio transparente, y de capacidad de 100 ml	Fortuna
03	Bagueta	Material de vidrio transparente.	S/M
24	Papel de nitrocelulosa filtro.	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 transportar durante el pesaje	3M

Tabla 5: Descripción de Reactivos y sustancias

Cant.	Nombre	Descripción	Marca
1 litro	Agua destilada	Empleada para la preparación de soluciones	-
100 g	Acetato de potasio	Pureza de 99.0%sz	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 bario	Pureza de 99.0%	Riedel

3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.4.1. MÉTODOS PARA EL DESARROLLO DEL SECADO DE LA SALVIA

A. Acondicionamiento de las muestras

Los plántulas de Salvia fueron desojados manualmente, las que se lavaron en abundante agua a chorro a fin de eliminar materiales extraños y luego almacenados en refrigeración a 10 ° C para evitar su marchitamiento, por menos de una hora ya que se alteran sus propiedades.

Enseguida se eliminó el agua residual marchitamiento de lavado utilizando paños absorbentes, y se dejó esparcido en una bandeja de acero inoxidable durante 30 minutos a fin de permitir la eliminación total del agua de lavado.

B. Determinación de humedad inicial

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa, metodología desarrollada por Della (2010), con las ecuaciones 03 y 04. Durante 2 h se secó a 70 °C y luego a 104 °C por 72 h más. En un principio el secado se realiza a

menor temperatura para evitar la pérdida abrupta de agua y la pérdida de material.

C. Determinación de la humedad de equilibrio experimental

La humedad de equilibrio se determinó a través de la isoterma de adsorción, el cual se basó en el método estático gravimétrico método de control continuo de cambios de peso, descrito por Labuza (1984).

Las isotermas de adsorción se evaluaron a las temperaturas de 40, 50 y 60°C. Las condiciones de humedad relativa, fueron obtenidas con la preparación de soluciones saturadas (de acuerdo al Anexo 38) y que luego son vertidas en los potes con cierre hermético. Se acondicionó 08 potes de 200 *ml* de capacidad con tapa de cierre hermético, en el que se introdujo las hojas de Salvia secas, con un peso aproximado de 1 *g* por cada pote, en los potes de cierre hermético se introdujo un trípode de acero inoxidable como soporte, en ellas se colocó otro recipiente que contuvo las hojas de Salvia. Primeramente, se preparó 20 *ml* de solución saturada con cada una de las sustancias químicas (sales) en un vaso de precipitado, se agitó a 500 *rpm* en un agitador termomagnético modelo M6 a las temperaturas de evaluación, luego se vertió la solución saturada al pote correspondiente, la operación se repitió para cada una de las soluciones saturadas, a la humedad relativa deseada, seguidamente se introdujeron los trípodes armados, donde se depositarán los recipientes que contengan las hojas de Salvia, enseguida los potes se cerraron herméticamente, los potes cargados se llevaron a la estufa a una temperatura de 40°C. El pesaje de las hojas de Salvia se realizó en la balanza analítica de precisión, cada día hasta que las muestras presentaron un peso constante, que indica el momento en la que llegó al equilibrio con su atmósfera, tal como se muestra en la Figura 7.

La evaluación de la isoterma a 40 °C se desarrolló por quintuplicado con el fin de minimizar errores sistemáticos o aleatorios, la

experiencia se repitió para las temperaturas de 50 y 60°C, cada una por triplicado, a fin de tener mejores resultados.

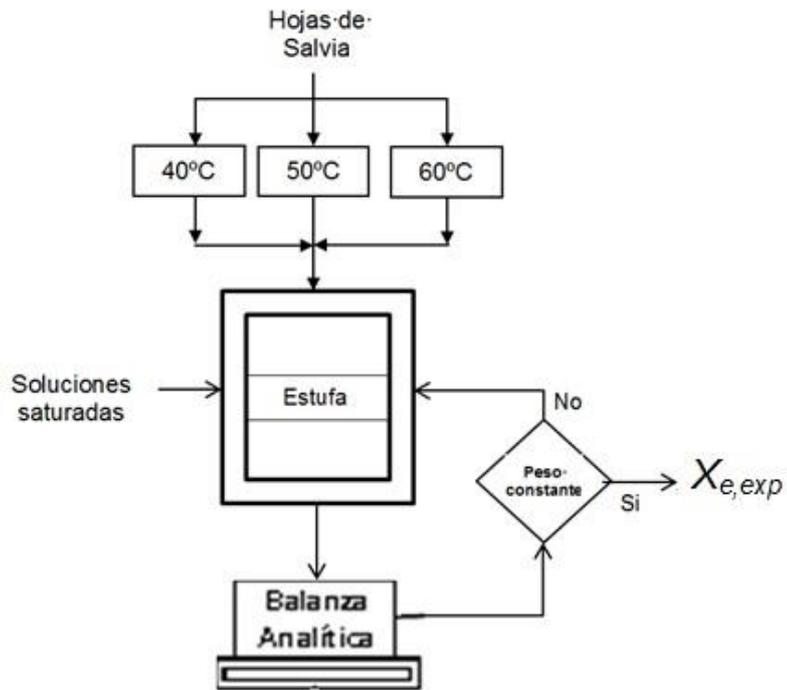


Figura 7: Esquema para la determinación de la humedad de equilibrio de las hojas de Salvia a diferentes humedades relativas (Labuza, 1984)

La humedad de equilibrio experimental ($X_{e,exp}$) (Ecuación 20) se calculó por la diferencia entre la masa de la muestra que presentó equilibrio y la masa seca, de acuerdo a la ecuación utilizada por (Soleimani *et al.*, 2006).

$$x_{e,exp} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (20)$$

Dónde:

$X_{e,exp}$ = humedad de equilibrio experimental a la humedad relativa en b. s.

m_{eq} = masa de la muestra en el equilibrio, (g)., y

m_s = masa de la muestra seca, (g).

Los datos de la humedad de equilibrio experimental $X_{e,exp}$, se modelarán con las ecuaciones: GAB (Guggenheim, Anderson y de

Boer), BET (Brunauer, Emmett y Teller), y Halsey las que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Modelos matemáticos para ajuste de isothermas de adsorción, con dependencia e independencia de la temperatura

Modelo	Modelo matemático	Ec.
GAB	$x_e = \frac{x_m c_{GAB} k_{GAB} a_W}{[(1 - k_{GAB} a_W)(1 - k_{GAB} a_W + c_{GAB} k_{GAB} a_W)]}$	(21)
BET	$x_e = \frac{x_m c_{BET} a_W}{[(1 - a_W)(1 + (C_{BET} - 1)a_W)]}$	(22)
Halsey	$a_W = \exp\left[\frac{-A}{x_e^B}\right]$	(23)

Dónde: A , B , C_{BET} , k_{GAB} = Constantes de las ecuaciones; X_e =Humedad de equilibrio expresada en base seca (g de agua/g masa seca); X_m =Humedad de la monocapa molecular (g de agua/g masa seca).

Para el ajuste de los modelos de las isothermas de adsorción se muestran ecuaciones en la Tabla 6, esta se realizó por el método de estimación Quasi-Newton basada en la diferencia mínima de cuadrados, para ello se evaluó el coeficiente de determinación (R^2), para conseguir un buen modelado de los datos experimentales y por el porcentaje de error medio relativo (%E) parámetro estadístico ampliamente utilizado en isothermas de alimentos (Toloaba *et al.*, 2004) por medio de la siguiente ecuación:

$$(\%)E = \frac{100}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{X_{e,exp} - X_{e,mod}}{X_{e,mod}} \quad (24)$$

Dónde:

$X_{e,}$ = humedad de equilibrio experimental (g agua/ g m.s.);

$X_{e,}$ =humedad de equilibrio calculada a partir del modelo (g agua/g m.s.);

n = es el número de observaciones.

Así de esa manera se obtuvo una ecuación normalizada que permitió determinar la humedad de equilibrio X_e , a la humedad relativa y temperatura de secado correspondiente.

La resolución de las ecuaciones de los modelos matemáticos para el cálculo de los diferentes parámetros se utilizó el programa Excel 2010 y Statistica 8.0.

D. SECADO

La metodología fue propuesta por Carranza (2001), 5 g de hojas de Salvia previamente acondicionadas, se colocaron en una bandeja de acero inoxidable, llenando por completo la base del recipiente, de tal manera que sólo quedó expuesta a la corriente de aire de secado y la superficie superior de la materia prima. En seguida se llevó al secador convectivo el cual operó a temperatura de 40 C°, 50 C° y 60 a velocidad de 0,5 m/s y velocidad de 1 m/s a las temperaturas mencionadas. La pérdida en peso de humedad durante el secado se determinó retirando y pesando la bandeja con la muestra en una balanza analítica, tal como se muestra en la Figura 8.

El pesado de cada muestra se realizó cada 10 minutos hasta que el peso de las muestras no varié (peso constante). El secado se realizó para las temperaturas de estudio, con cinco repeticiones para cada caso.

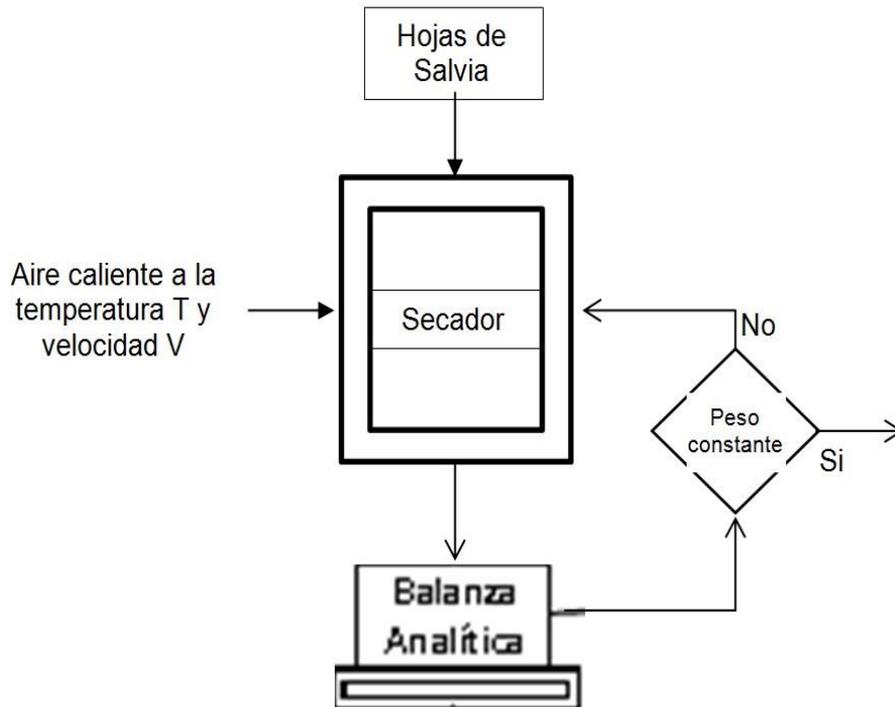


Figura 8: Esquema de la operación de secado (Carranza,2001)

3.4.2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

A. EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO

Se siguió la metodología propuesta por Arends y Gutiérrez (2008), se construirán curvas de secado graficando la razón de humedad (RX) de las hojas de Salvia en función del tiempo Ecuación 25, para cada temperatura de secado.

$$RX_{exp} = \frac{X_t - X_{e,mod}}{X_0 - X_{e,mod}} \quad (25)$$

Dónde:

RX_{exp} , razón de humedad experimental, adimensional

X_t , contenido de agua del producto en el tiempo t , en b.s

X_0 , contenido de agua inicial del producto, en b.s

X_e , contenido de agua o humedad en equilibrio, en b.s.

La determinación de la humedad de equilibrio X_e , determinará a través del modelo de isoterma de adsorción que mejor ajuste presente, considerando la humedad relativa del aire y la temperatura de secado.

En contenido de humedad en el tiempo t (X_t), se determinó de acuerdo a la Ecuación 26.

$$x_t = \frac{m_t - m_s}{m_s} \quad (26)$$

m_t = masa de la muestra en el tiempo t en g , durante el secado, y
 m_s = masa de la muestra seca, (g).

Los valores de RX_{exp} , para cada tratamiento de secado se ajustaron a un modelo de Page (ecuación 27)

$$RX = \exp(-k \cdot t^n) \quad (27)$$

B. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE

Se utilizó la solución integrada de la segunda ley de Fick a tiempos largos, considerando una lámina de geometría infinita Ecuación 28, y asumiendo que:

- (1) el contenido de humedad inicial es uniforme en la hoja de Salvia;
- (2) la geometría de la hoja de Salvia permanece constante durante el proceso de secado (Crank, 1975).

$$RX = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2} \exp\left[\frac{-D_{ef}(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot t}{4 \cdot l^2}\right] \quad (28)$$

Donde RX la fuerza impulsora reducida se calculó en función del contenido de humedad ($b.s.$) de la muestra a tiempo t (W_t), a $t = 0$ (W_0) y en el equilibrio (W_e), D_{ef} es el coeficiente de difusión aparente del agua (m^2/s) y l es el espesor medio de la lámina (m).

Para determinar el coeficiente de difusión aparente del agua se utilizó diez términos de la ecuación (28). El valor D_{ef} se obtuvo mediante un ajuste no lineal de los datos experimentales (SOLVER de Excel), minimizando la suma de cuadrados residuales entre el contenido de humedad experimental y predicho.

C. DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

Para determinar la energía de activación E_a (kJ/mol), se utilizó la ecuación de Arrhenius Ecuación 29 para conocer la influencia de la temperatura T (K) en la difusividad del agua, siendo D_0 una constante (m^2/s) la cual se calculó a través de regresión no lineal de los datos de D_{ef} y temperatura T (K), y R es la constante universal de los gases.

$$D_{ef} = D_0 \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (29)$$

D. DETERMINACIÓN DEL COLOR

Para determinar el color se tomó 05 muestras aleatorias del material vegetal fresco y deshidratado a las diferentes temperaturas; luego se estimó el valor promedio por cada tratamiento. El equipo de medición utilizado fue el colorímetro Konica Minolta CR400, el cual se calibró antes de hacer de las mediciones usando una placa de cerámica blanca como referencia. Los resultados se expresaron en la escala de color CIE 1976 $L^* a^* b^*$). Las mediciones se realizaron dentro de una cámara con iluminación constante Para realizar los cálculos de la diferencias de color se realizó con la Ecuación 16, diferencia del ángulo de tono (h^*) con la Ecuación 19 y, saturación o croma (C^*) con la Ecuación 18 según la norma ASTM D2244-02 (ASTM, 2014).

E. EVALUACIÓN SENSORIAL

Para evidenciar la calidad sensorial de las hojas deshidratadas de Salvia, se efectuó una prueba afectiva de aceptabilidad o preferencia, debido a que se evaluará la (reacción, preferencia o

aceptación) de los panelistas. Se utilizó una prueba hedónica estructurada categorizada con puntaje de 1 a 5, para ello los panelistas marcaron una categoría que va desde no me gusta nada hasta me gusta mucho.

La evaluación sensorial se realizó en paneles de evaluación sensorial condicionados, ya que es importante que el lugar a realizar las pruebas tengan las condiciones adecuadas como iluminación para un buen análisis. Se acondicionó cabinas de evaluación de 1m² con fluorescentes de 20 W a 60 cm de altura sobre la mesa de trabajo, con la finalidad de obtener una iluminación lo más semejante a la luz ambiental, también se acondicionó las paredes de las cabinas con el color blanco; se mantuvo el área de evaluación con ausencia de olores y residuos o cualquier otro estímulo que pueda distraer a los degustadores (Espinoza, 2007)

Para la preparación de la muestra se tomaron 03 gramos de hojas de Salvia secadas a diferentes temperaturas, la cual se tuvo que reposar en 600 ml de agua caliente a 85°C por 5 minutos, enseguida se agregó 15 gramos de azúcar blanca, Idénticamente se hizo lo mismo para las demás hojas de Salvia secadas a las temperaturas de estudio.

La evaluación sensorial se llevó a cabo con 50 panelistas no entrenados para obtener información del producto con mayor preferencia, para ello se tomaron cantidades de muestra de 10 ml a temperatura ambiente en vasos descartables, a cada juez se le asignó una plantilla (anexo 36) en la que marcaron su aceptación para las características Olor, Color, Sabor y Apariencia global.

Los resultados obtenidos se les aplicará una prueba no paramétrica: el test de Friedman con el fin de conocer la diferencia significativa entre tratamientos, y en los casos de la existencia de diferencia significativa entre las muestras, se procederá a realizar una prueba de comparación múltiples (Pedredo y Pangborn, 1996).

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el secado de las hojas de Salvia, se utilizó el diseño factorial mixto 3X2, debido a que se manipularon dos variables, la cual es la temperatura en tres niveles y la velocidad de aire en dos niveles, teniendo como variables de respuesta el tiempo de secado (t), el coeficiente de difusividad (D_{ef}) y el color de las hojas en el espacio $L^*a^*b^*$.

Se aplicarán los siguientes análisis estadísticos:

3.5.1. ANÁLISIS DE VARIANZA

Se aplicará un ANOVA de dos factores: temperatura del aire de secado y velocidad de aire, cuyo modelo matemático se muestra en la ecuación (30) (Gutiérrez y de la Vara, 2010):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha + \beta_j + (\alpha\beta) + \varepsilon_{ijk} \quad (30)$$

Donde:

Y_{ijk} es el resultado del tratamiento i -ésimo, para las variables de salida (tiempo de secado, Difusividad, color de las hojas).

μ es el efecto global que mide el nivel medio de todos los resultados para cada variable de salida (tiempo de secado, difusividad, color)

α_i es el (efecto positivo o negativo) sobre la respuesta debido al nivel de la variable temperatura de aire de secado.

β_j el (efecto positivo o negativo) sobre la respuesta debido al nivel de la variable velocidad de aire de secado.

$(\alpha\beta)_{ij}$ es el error experimental o perturbación, medidas como desviación aleatorias alrededor de las medias de la interacción de la temperatura de aire de secado y la velocidad de aire de secado.

ε_{ijk} es el error experimental o perturbación, medida como desviación aleatorias alrededor de las medias.

El resumen del ANOVA de dos factores se muestra en la Tabla 7.

Tabla 1: ANOVA factorial con interacción

Suma de cuadrados totales	$SC_T = \sum_{i=j}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk}^2 - \frac{Y^2}{N}$
Suma de cuadrados de efectos	$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{N}$
	$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{N}$
Suma de cuadrados del error	$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB}$

Dónde: N= abn es el total de observaciones en el experimento

Tabla 8: Cálculo de los elementos del ANOVA

FV	SC	GL	CM	F₀	Valor-p
Efecto A	SC _A	a-1	CM _A	CM _A /CM _E	P(F > F ₀ ^A)
Efecto B	SC _B	b-1	CM _B	CM _B /CM _E	P(F > F ₀ ^B)
Efecto AB	SC _{AB}	(a-1)(b-1)	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P(> F ₀ ^{AB})
Error	SC _E	ab(n-1)	CM _E		
Total	SC _T	Abn-1			

Dónde: a nivel de variable A, b nivel de variable B, n número de réplicas, F₀ valor F calculado en distribución F, P probabilidad.

-El planteamiento de las hipótesis estadísticas para el ANOVA será:

Hipótesis nula –H₀: La media de los resultados, del tiempo de secado, de la difusividad efectiva y del color de las hojas deshidratadas a las temperaturas de estudio y velocidades de aire no muestran diferencia significativa.

Hipótesis alterna –H_A: La media de los resultados, del tiempo de secado, de la difusividad efectiva y del color de las hojas deshidratadas a las temperaturas de estudio y velocidades de aire muestran diferencia significativa.

- **Hipótesis nula –H₀**: El tiempo de secado no muestra diferencia significativa para cada curva de secado de las hojas de Salvia sometidas a diferentes temperaturas y velocidades de aire.
- **Hipótesis alterna –H_A**: El tiempo de secado muestra diferencia significativa para cada curva de secado de las hojas de Salvia sometidas a diferentes temperaturas y velocidades de aire.
- **Hipótesis nula –H₀**: El coeficiente de difusividad efectiva D_{ef} del agua no varía significativamente con la temperatura de secado y velocidades de aire.
- **Hipótesis alterna –H_A**: El coeficiente de difusividad efectiva D_{ef} del agua varía significativamente con la temperatura de secado y velocidades de aire.
- **Hipótesis nula –H₀**: El valor de la energía de activación calculada a través de la ecuación de Arrhenius no muestra diferencia significativa. en relación con la temperatura de secado y velocidad de aire.
- **Hipótesis alterna –H_A**: El valor de la energía de activación calculada a través de la ecuación de Arrhenius muestra diferencia significativa. en relación con la temperatura de secado y velocidad de aire.
- **Hipótesis nula –H₀**: El color de las hojas de Salvia en el espacio de color $L^*a^*b^*$, sometidas a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire no muestran diferencia significativa.
- **Hipótesis alterna –H_A**: El color de las hojas de Salvia en el espacio de color $L^*a^*b^*$, sometidas a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire muestran diferencia significativa

Hipótesis nula –H₀: Los atributos sensoriales de las hojas de Salvia secadas a diferentes temperaturas y velocidades de aire, no muestran diferencia significativa.

Hipótesis alterna –H_A: Los atributos sensoriales de las hojas de Salvia secadas a diferentes temperaturas y velocidades de aire, no muestran diferencia significativa.

Nivel de significancia (α): Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se emplea $\alpha = 0.05$ (Gutiérrez, 2004).

Criterio para la prueba de hipótesis

Se rechaza H_0 si $\alpha > p\text{-value}$

3.5.2. ANÁLISIS NO PARAMÉTRICOS

Se aplicó una prueba no paramétrica: el test de Friedman, los cuales se evaluaron con el software estadístico; cuya hipótesis son:

Hipótesis nula – H_0 : La preferencia por el color, olor, sabor y apariencia de las hojas de Salvia secadas a diferentes temperaturas y velocidades, en infusión no muestran diferencia significativa.

Hipótesis alterna – H_A : La preferencia por el color, olor, sabor y apariencia de las hojas de Salvia secadas a diferentes temperaturas y velocidades, en infusión muestran diferencia significativa.

Criterio para la prueba de hipótesis

Se rechaza H_0 si $\alpha > p\text{-value}$

Para la evaluación tanto del ANOVA, LSD y test de Friedman se utilizó el Software Excel 2010 (el aplicativo Solver) y Statistica 8.0.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO

Las hojas frescas de Salvia presentaron una humedad inicial (*b.h.*) de $83.36 \pm 0.40\%$ y de sólidos totales de $16.64 \pm 0.40\%$, mientras que las hojas deshidratadas una humedad (*b.h.*) de $13.46 \pm 0.006\%$ (anexo 01).

Por otra parte la humedad de equilibrio X_e se determinó con las isoterms de sorción a través de la ecuación de GAB, debido a que presenta mejores valores de R^2 y %E (porcentaje de error relativo), en comparación al modelo Halsey (anexo 02)

Los datos de pérdida de humedad en el tiempo (X_t) durante el secado de las hojas de Salvia a las temperaturas de 40°C , 50°C y 60°C y velocidad de aire de 1.0 m/s y 0.5 m/s se muestran en el anexo (05) al (10).

A partir de los datos de la pérdida de humedad X_t en base seca, X_e (*b.s.*) y humedad inicial de las hojas frescas X_0 (*b.s.*), se calculó la razón de humedad R_X a través de la ecuación (25), con el cual se graficó las curvas de secado experimental las cuales se muestran en las Figuras 9 y 10.

En ambas figuras se aprecia el comportamiento decreciente de las curvas de secado con el incremento de la temperatura y velocidad, Heldman y Lund (2007) manifiestan que este es el comportamiento característico del secado de alimentos, es así que claramente se nota que el periodo de velocidad de secado constante sucede hasta los 10 minutos a (punto B y C) la temperatura de 40°C para ambas velocidades de secado, mientras que el periodo de velocidad de secado decreciente a 40°C y 1.0 m/s fue de 240 minutos (intervalo C-D), de 120 min (intervalo C' - D') a 50°C y 1.0 m/s y de 60 minutos (intervalo C'' - D'') a 60°C y 1.0 m/s . Mientras que a la velocidad de secado de 0.5 m/s el periodo de velocidad de secado decreciente fue de 470 minutos (intervalo C - D) a 40°C , de 180 minutos (intervalo C' - D') a 50°C y de 60 minutos (intervalo C'' - D'') a 60°C . Venskutonis (1997), manifiesta que hubo una reducción significativa de

compuestos aromáticos de la salvia (*Salvia officinalis*) y el tomillo (*Thymus vulgaris* L) a temperatura de 60°C, Esturk (2012), indica que la cantidad total de aceites esenciales de salvia disminuyó considerablemente durante el secado por microondas y con secado por convección a temperatura de 40 °C y 50 °C la pérdida de aceites esenciales fueron menores.

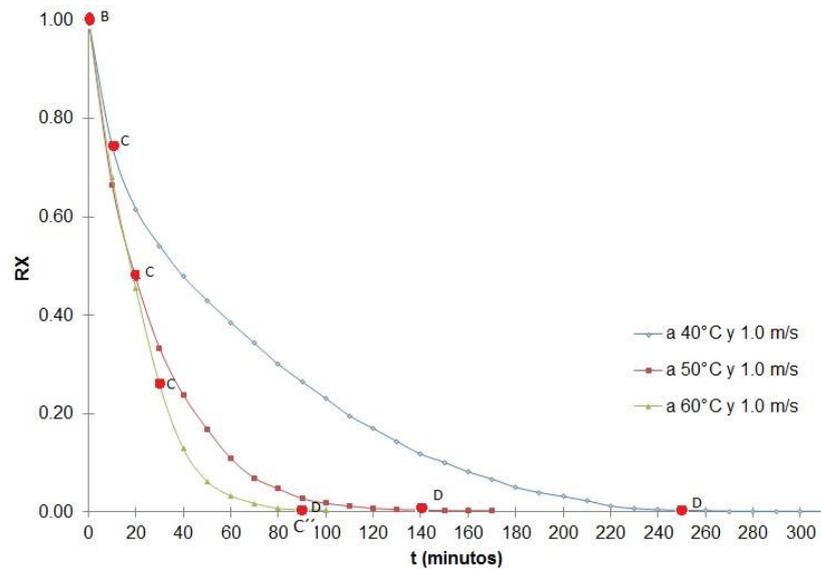


Figura 9: Curva de secado de las hojas de Salvia a 1.0 m/s

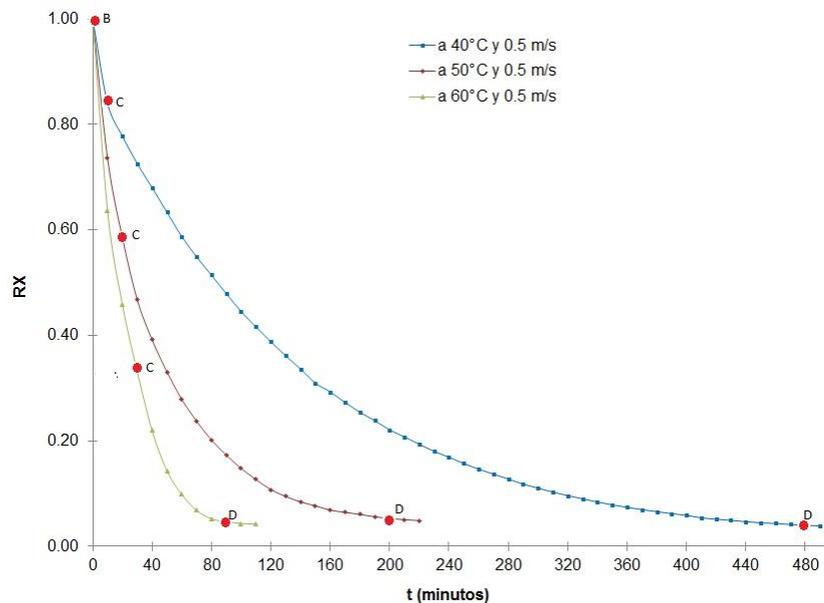


Figura 10: Curva de secado de las hojas de Salvia a 0.5 m/s

En la figura 11 y 12 se muestran las curvas de velocidad de secado a velocidad de aire de 0.5 m/s y 1 m/s y temperaturas de 40, 50 y 60°C donde se observan claramente el periodo de velocidad constante muy corto y, (Heldman

y Lund, 2007) indica que el periodo de velocidad decreciente ocurre en mayor tiempo; estas curvas muestran que a mayor temperatura mayor velocidad de secado para ambas condiciones de aire por tanto mayor pérdida de humedad, parece ser que la temperatura es el parámetro más importante que influye en el secado de salvia y esto es corroborado por Boutaleb *et.al.* (1997) que indica que el secado depende en gran medida de la temperatura, especialmente para productos biológicos que presentan una gran resistencia interna a la migración de agua, de la misma manera. Belghit, *et al.* (1999). manifiesta que la temperatura es el principal factor en el control de la velocidad de secado de la Salvia.

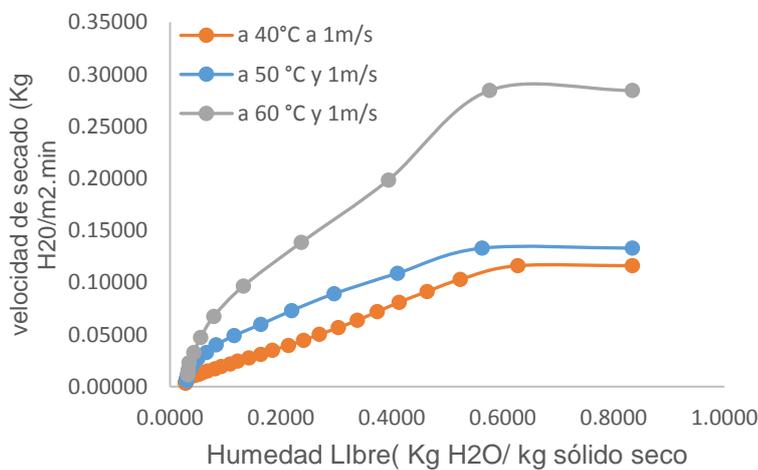


Figura 11: Curva de velocidad de secado de hojas de salvia a 1 m/s

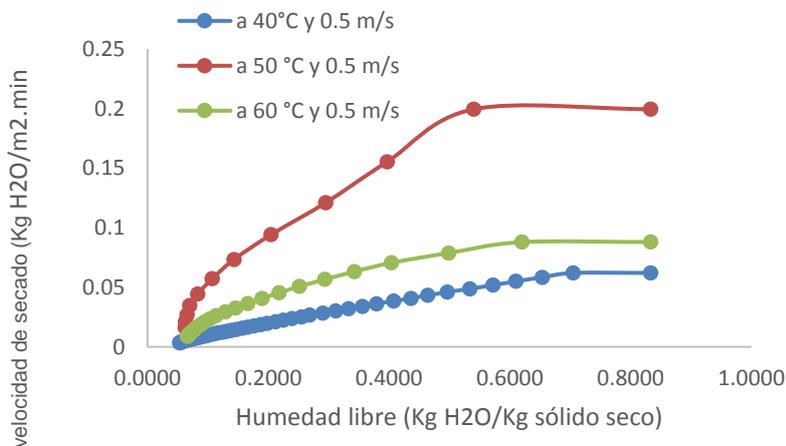


Figura 12: Curva de velocidad de secado de hojas de salvia a 0.5 m/s

Por otra parte las curvas de secado se ajustaron al modelo de Page (ecuación 27), cuyas gráficas se muestran en las Figuras 13 y 14, los valores de R^2 son mayores a 99.79% así como %E las cuales se muestran en la Tabla 9, siendo estos valores indicativos de buen ajuste del modelo Page a los datos de secado de las hojas de Salvia, Esturk (2012) obtuvo el mismo resultado obteniendo mejor ajuste para las curvas de secado también en el modelo de Page con valores de R^2 mayores a

97.53%. Aspurz (2011) indican que el modelo Page con R^2 mayores a 99.67% es el que mejor describe el proceso de secado de Tomillo, asimismo Demir *et al.*, (2004) considero el modelo Page como mejor modelo de ajuste para el secado de hojas de Laurel (*Laurus nobilis L.*), de otra parte Barbosa *et al.*, (2007) hojas de *Lippia alba* a las temperaturas de 40, 50, 60, 70 y 80°C a la velocidad de 0.3 m/s concluyo que el modelo Page se ajusta de mejor manera.

Tabla 9: Valores de los parámetros del modelo Page

T (°C)	V (m/s)	k	n	R^2	%E
40	1.0	0.0318	0.8507	98.95	37.14
50	1.0	0.0407	0.9747	99.92	18.52
60	1.0	0.0205	1.2389	99.89	15.42
40	0.5	0.0159	0.8602	99.79	4.07
50	0.5	0.0550	0.7674	99.91	8.76
60	0.5	0.0528	0.9104	99.81	16.68

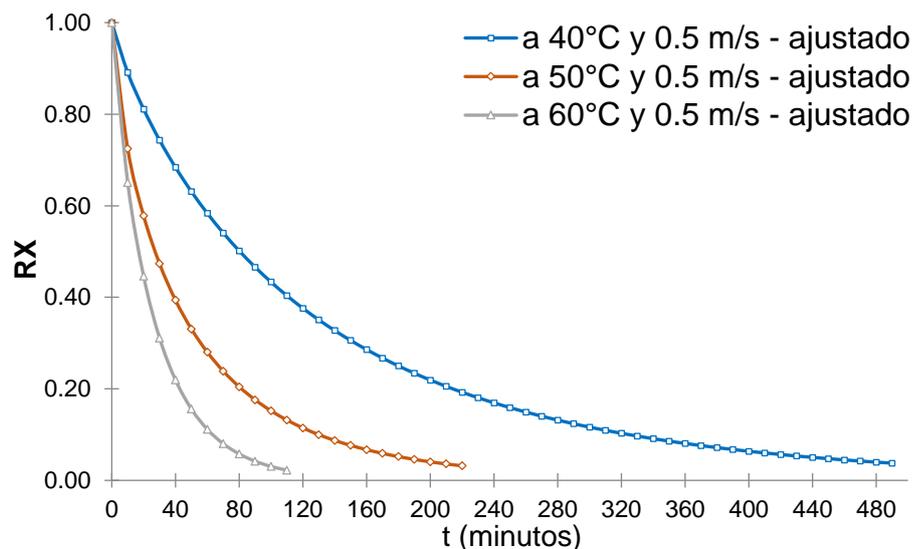


Figura 13: Curva de secado ajustada al modelo de Page a 0.5 m/s

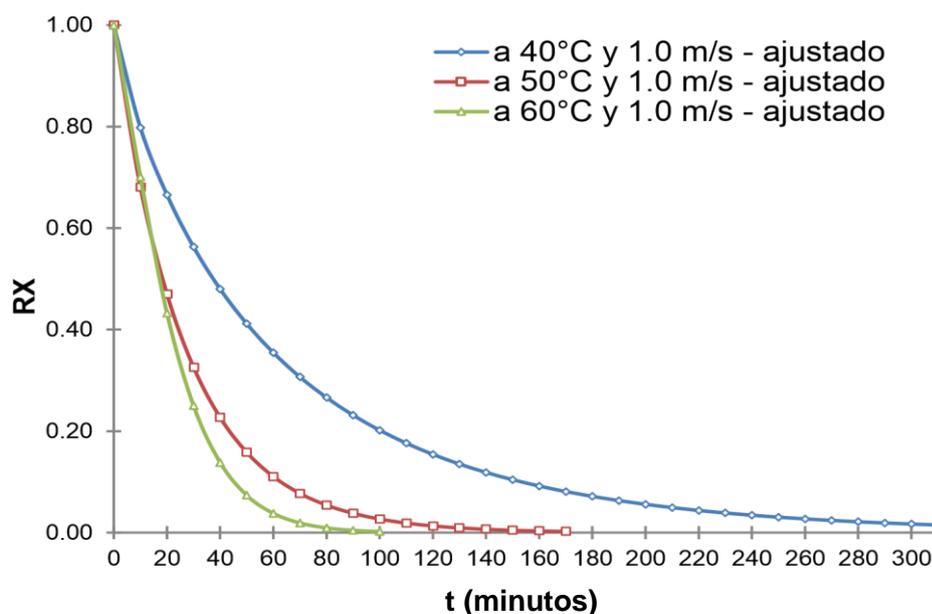


Figura 14: Curva de Secado ajustada al modelo de Page a 1.0 m/s

La razón de equilibrio (RX_{eq}), la humedad final X_{final} (*b.h.*), así como el tiempo de secado para todos los tratamientos, se muestran en la Tabla 10, en ella se aprecia que el tiempo disminuye conforme se incrementa la temperatura de secado, y que es mayor cuando la velocidad de secado es menor.

Tabla 10: Razón de equilibrio y tiempo de secado para las hojas de Salvia

Tratamiento	T (°C)	V (m/s)	X_{eq}	RX_{eq}	X_{final} (<i>b.h.</i>)	t (min)
T1	40	1.0	0.1606	0.0015 ^a	2.79 ^a	310 ^a
T2	50	1.0	0.1653	0.0023 ^a	2.95 ^a	170 ^b
T3	60	1.0	0.1715	0.0021 ^a	3.16 ^a	100 ^c
T4	40	0.5	0.1606	0.0376 ^b	5.34 ^b	490 ^d
T5	50	0.5	0.1653	0.0318 ^b	6.64 ^b	220 ^e
T6	60	0.5	0.1715	0.0222 ^b	6.26 ^b	110 ^f

Las letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre tratamientos, evaluados con el test LSD al 5%

Al aplicar un ANOVA factorial a RX_{eq} se aprecia que la temperatura de manera lineal no tiene efecto significativo es decir $p\text{-value} > 0.05$ (anexo 11), sin embargo en su forma no lineal si presenta efecto significativo ya que el $p\text{-value} < 0.05$, mientras que la velocidad de secado si presenta efecto significativo ya que $p\text{-value} < 0.05$ (anexo 11), este hecho puede

ser apreciable también en la Figura 15, donde el incremento de la velocidad hace que disminuya RX_{eq} , y la variación de la temperatura crea diferencias mínimas en RX_{eq} aunque estas no sean significativas.

La aplicación del test LSD para RX_{eq} (anexo 14) indica que los tratamientos T1, T2 y T3 no muestran diferencia significativa (letras iguales) así como los tratamientos T4, T5 y T6, tal como se muestra en la Tabla 10.

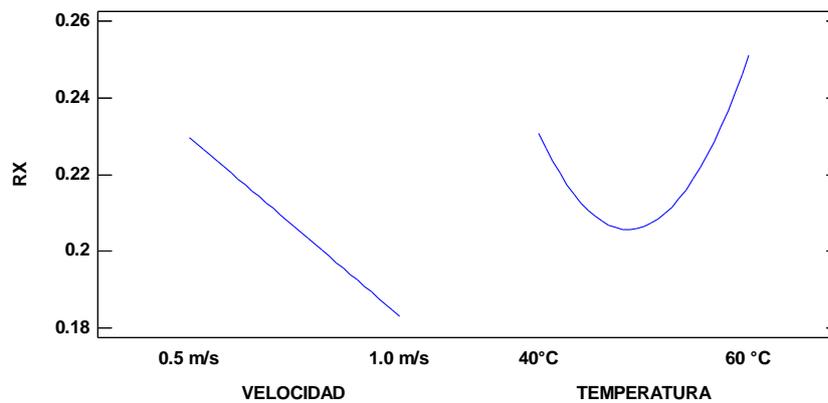


Figura 15: Efectos principales de la temperatura y la velocidad sobre RX

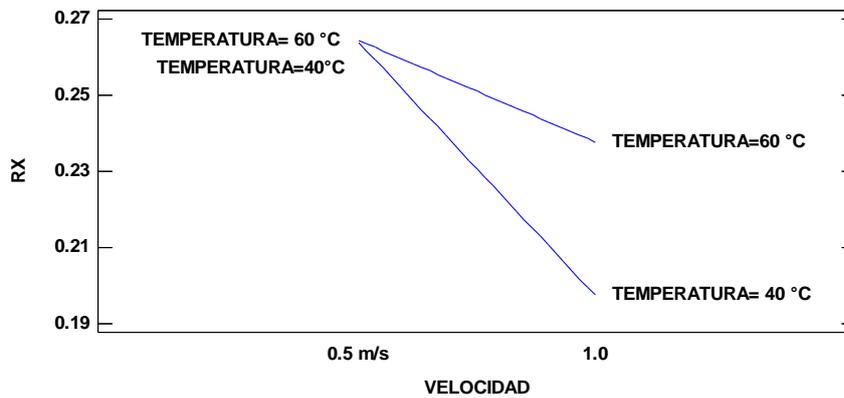


Figura 16: Efecto de Interacción velocidad y temperatura sobre RX

Al aplicar ANOVA factorial para el tiempo de secado (anexo 12), se aprecia que tanto la temperatura, velocidad de secado así como la interacción (TxV) resultaron significativos ($p\text{-value} < 0.05$), de la misma forma el análisis de varianza de efectos simples, la temperatura en todas sus combinaciones con V; y la velocidad en todas sus combinaciones de T, resulto significativo al 95% de probabilidades, cuyos efectos asociados influenciaran en el secado de hojas de salvia, efecto que fue observado por Venskutonis (1997), en lo cual manifiesta que la temperatura y velocidad tienen efecto en el secado de hojas de salvia, de la misma manera Esturk (2012), indica que la temperatura de secado es el factor que mayor efecto tiene en la calidad de hojas de salvia, lo manifestado se puede apreciar en la Figura 17, donde se observa que el incremento de la temperatura disminuye considerablemente el tiempo de secado así como el incremento de la velocidad de secado, Carteri *et al.* (2014), reporta similares comportamientos para el secado de hojas de limón cuando varía la temperatura y velocidad de aire, da Rocha *et al.* (2012), Pineda *et al.* (2009) y García (2014) muestran resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo.

La aplicación del test LSD de efectos simples para el tiempo de secado (anexo 16) indica que los tratamientos muestran diferencia significativa (letras diferentes), tal como se aprecia en la Tabla 10.

Asimismo en la Tabla 10 se aprecia que la humedad final de secado X_{final} (b.h.), se incrementa conforme se aumenta la temperatura para la velocidad de secado de 1.0 m/s, el ANOVA para la humedad final (anexo 13) indica que únicamente la velocidad muestra efecto significativo ($p\text{value} < 0.05$), tal como se aprecia en la Figura 19.

La aplicación del test LSD para X_{final} (anexo 15) indica que los tratamientos T1, T2 y T3 no muestran diferencia significativa (letras iguales) así como los tratamientos T4, T5 y T6, tal como se muestra en la Tabla 10.

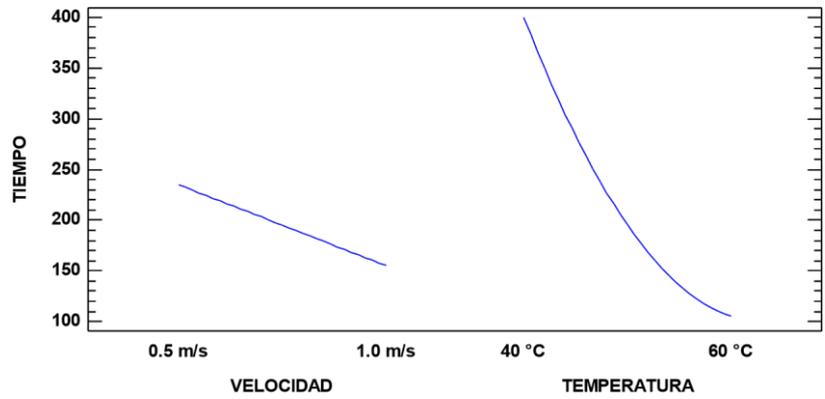


Figura 17: Efectos de la temperatura y la velocidad de secado sobre el tiempo

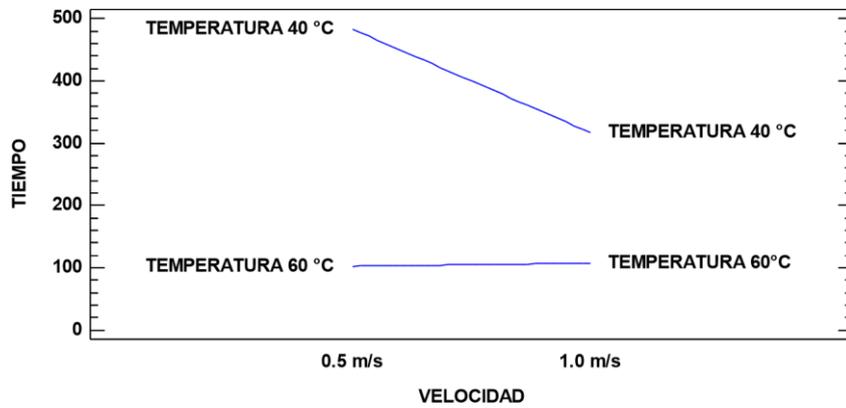


Figura 18: Interacción de velocidad y temperatura sobre el tiempo de secado

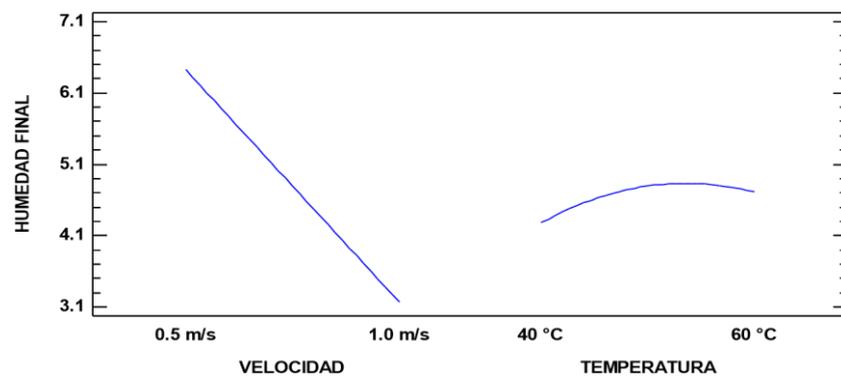


Figura 19: Efectos de la temperatura y la velocidad de secado sobre la humedad final X_{final} (b.h.)

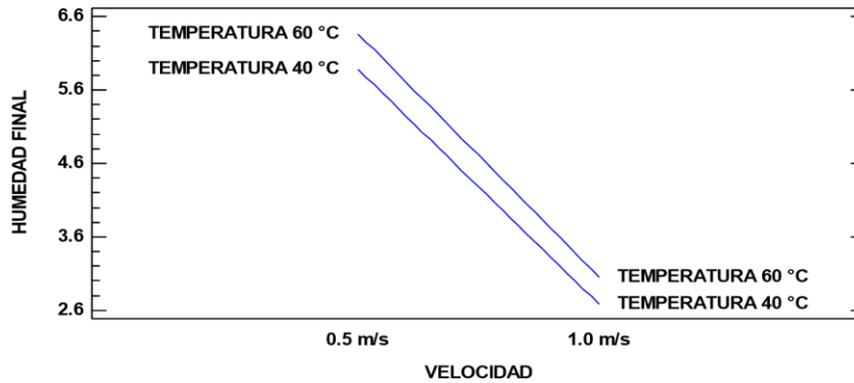


Figura 20: Interacción de velocidad y temperatura sobre la humedad final X_{final}

4.2. CALCULO DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA

PARA EL SECADO DE LAS HOJAS DE SALVIA

Los resultados del cálculo de la difusividad efectiva del agua D_{ef} se muestran en la Tabla 11, para los cual se resolvió la ecuación (27) para $n=0$ y $n=10$, a través de Solver, los cálculos se muestran en el anexo (17).

El ajuste de la ecuación (28), para $n=0$ muestra valores de R^2 menores que los reportados para $n=10$, así como valores de %E menores, por ello se sugiere ajustar la ecuación 28 hasta con 10 términos (Anexo 17)

Por otra parte en la Tabla 11, se aprecia que la D_{ef} aumenta con el incremento de la temperatura, Figura 21, y que es mayor cuando la velocidad de secado es mayor (1 m/s), variando de $8.67 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ a $1.94 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ para el rango de temperatura y velocidad de estudio, Geankoplis (1998) y Saravacos y Maroulis (2001) indica este comportamiento es usual para el secado de este tipo de materiales y que la D_{ef} se encuentra comprendidos entre 1×10^{-12} a $1 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, Aspurz (2011) encontró valores de la difusividad efectiva que variaron entre $0,689 \times 10^{-12}$ a $1,19 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para rangos de temperatura de 30, 40, 50, 60 y 70°C para el secado de Tomillo (*Thymus vulgaris*), asimismo Doymaz (2010) para el rango de temperatura de 40 a 60°C y velocidad del aire de 2 m/s observó que los valores oscilaron entre 1.097 a $5.99 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, aunque da Rocha (2012) reporta valores de D_{ef} que oscilan

3.69x10⁻¹² a 1.19x10⁻¹⁰ m²/s en el rango de 30 °C a 70 °C los que difieren ligeramente a los reportados por Doymaz (2010); Simal *et al.* (2000) para el secado de las hojas de sábila encontró que la D_{ef} vario entre 5,64 a 18,10x10⁻¹⁰ m²/s para el rango de temperatura de 30 a 70 °C, de otra parte Panchariya *et al.* (2002) encontraron que en el secado de té negro la difusividad oscila entre 1,141 a 2,99 x 10⁻¹¹ m²/s para el rango de temperatura de 80 a 120°C, así Therdthai y Zhou (2009) encontraron para el secado de las hojas de menta (*Mentha cordifolia*) valores de D_{ef} 0,96 e 1,90x10⁻¹¹ m²/s para la temperatura de 60 e 70 °C respectivamente, Silva (2008) encontró valores de D_{ef} para las hojas de cilantro (*Coriandrum sativum*) que oscilan entre 3.48x10⁻¹³ a 23.97x10⁻¹³ m²/s para el intervalo de temperatura de 50°C a 80°C.

Por otro lado en la Figura (22), se muestra la variación de la D_{ef} del agua en las hojas de Salvia en función a la velocidad de aire de secado, apreciándose la existencia de una relación directa para las diferentes temperaturas.

Tabla 11: Valores de D_{ef} para el secado de las hojas de Salvia

Tratamiento	T (°C)	V (m/s)	n=0			n=10		
			D_{ef} (m/s)	R^2	%E	D_{ef} (m/s)	R^2	%E
T1	40	1.0	6.73X10 ⁻¹²	97.57	36.95	6.86 X10 ⁻¹² a	99.42	35.68
T2	50	1.0	1.58 X10 ⁻¹¹	96.58	34.75	1.57 X10 ⁻¹¹ b	99.34	34.70
T3	60	1.0	1.91 X10 ⁻¹¹	93.84	47.75	1.94 X10 ⁻¹¹ c	97.08	44.88
T4	40	0.5	3.16 X10 ⁻¹²	98.00	9.55	3.23X10 ⁻¹² d	99.60	6.37
T5	50	0.5	8.48 X10 ⁻¹²	96.80	24.62	8.67 X10 ⁻¹² e	99.50	26.92
T6	60	0.5	1.58 X10 ⁻¹¹	95.86	18.10	1.61 X10 ⁻¹¹ f	99.48	16.39

Las letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre tratamientos, evaluados con el test LSD al 5% (anexo 17)

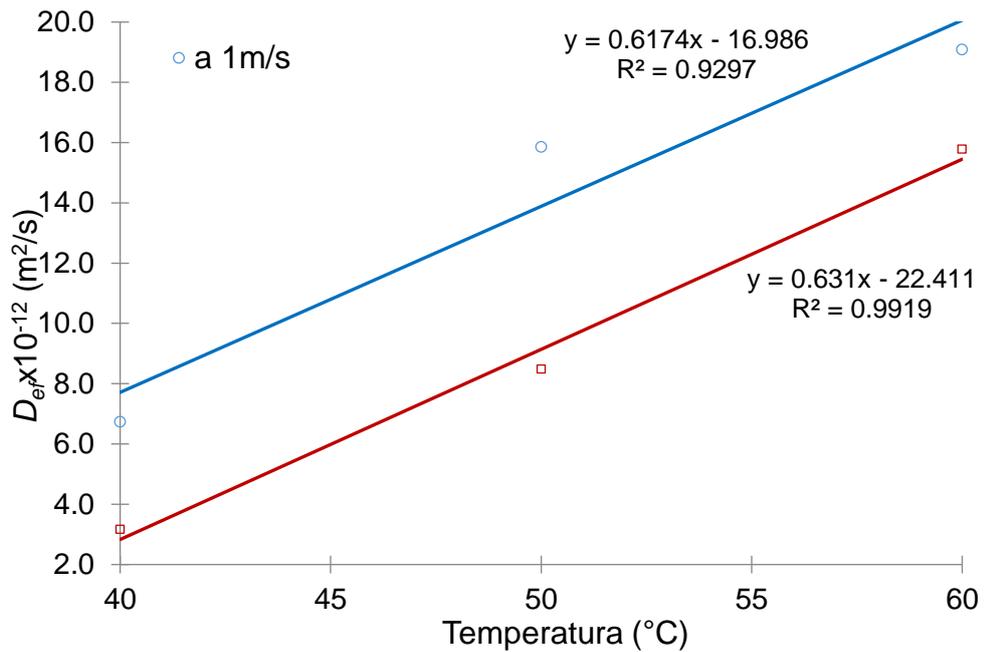


Figura 21: Variación de la difusividad con la temperatura

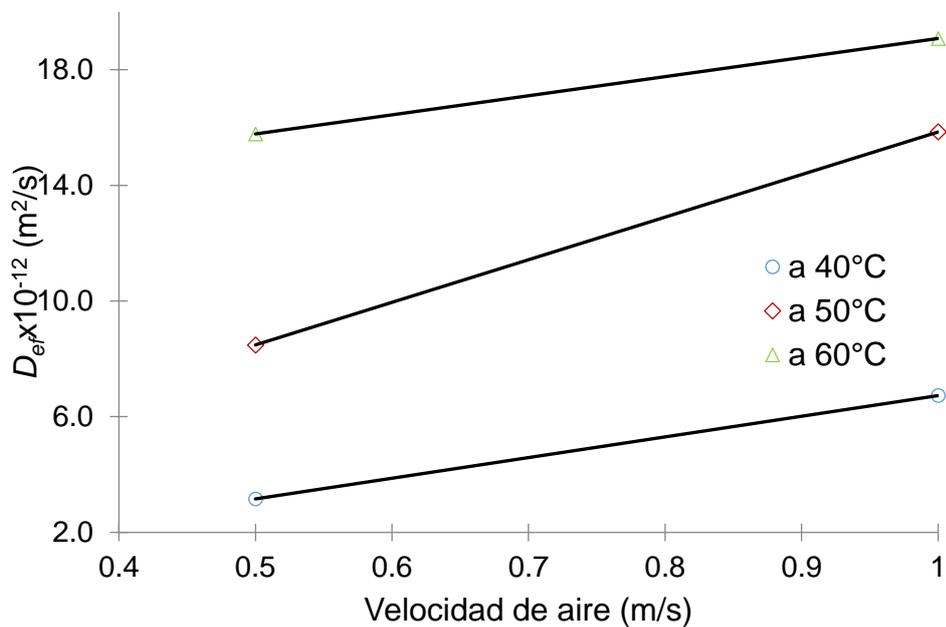


Figura 22 : Variación de la difusividad con la velocidad de aire.

Al aplicar el ANOVA factorial (anexo 18) se observó que tanto la temperatura y velocidad de secado presentan efecto significativo en la D_{ef} ($p\text{-value} < 0.05$), es así que cualquier incremento de la temperatura o de velocidad de aire de secado incrementa considerablemente la D_{ef} del

agua de las hojas de Salvia, aunque este se ve afectado en mayor medida por la temperatura, tal como se muestra en la Figura 23. Por otra parte al aplicar el test estadístico LSD (anexo 19), se observa que en todos los casos existe diferencia significativa de la D_{ef} entre los tratamientos ($p\text{-value} < 0.05$), indicándose con letras diferentes en la Tabla 11.

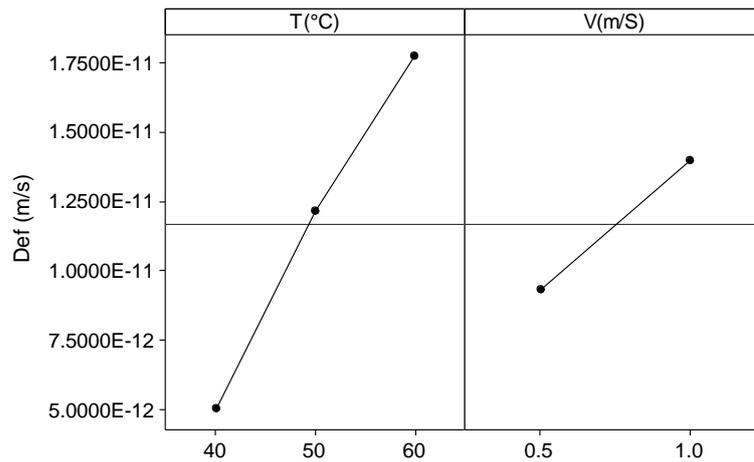


Figura 23: Diagrama de efectos para la difusividad efectiva del agua de hojas de Salvia

En la Figura 24, se aprecia la superficie de respuesta de la D_{ef} del agua para las hojas de Salvia, en ella se aprecia claramente que a medida que se aumenta la temperatura y la velocidad se incrementa D_{ef} , presentando una correlación R^2 del 96.72%, siendo la velocidad la que aporta mayor efecto con 9.4929×10^{-12} .

$$D_{ef} \text{ (m}^2\text{/s)} = -2.7108 \times 10^{-11} + 6.3571 \times 10^{-13} V + 9.3056 \times 10^{-12} T, R^2 = 97.52$$

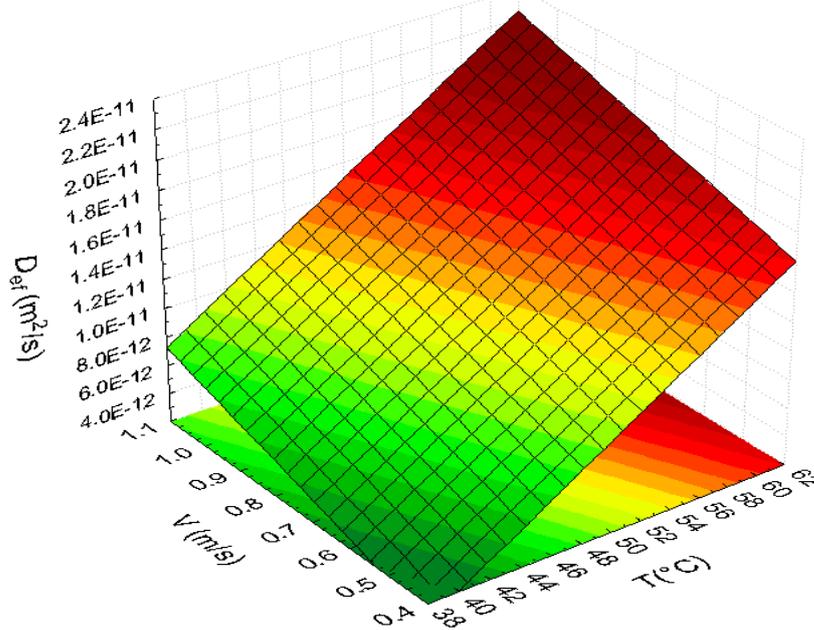


Figura 24 : Superficie de respuesta para D_{ef} del agua de las hojas de Salvia

4.3. CALCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

La influencia de la temperatura sobre la difusividad, se calculó a través de la energía de activación E_a , que es la mínima energía requerida por la humedad de la hoja de Salvia para ser eliminada durante el proceso de secado, la cual se determinó con la ecuación de Arrhenius, y es propia de cada producto (Mulet *et al.*, 1989), los resultados se muestran en la Tabla 12, encontrándose que esta varía con la velocidad de secado, así para una velocidad de aire fue de 1.0 m/s la E_a es 45.3922 kJ/mol, mientras que a 0.5 m/s fue de 69.8364 kJ/mol, incrementándose en un 53.85%, Espierriz (2011) indica que cuanto mayor es el tiempo de permanencia para una determinada temperatura, mayor será la transferencia de calor y consecuentemente mayor será la energía de activación necesaria para la difusión del agua, es así que el secado de las hojas de Salvia a 0.5 m/s requieren mayor tiempo o exposición, por ende este hecho, ya que la E_a representa una barrera energética que debe ser excedida para poder llevar a cabo la deshidratación de la hoja de Salvia (Clemente *et al.*, 2008), referida a la molécula de agua para poder difundir a través de la hoja luego que ha sido eliminada el agua libre y queda eliminar el agua débilmente ligada (Martínez, 2008).

Tabla 12: Valores de E_a a las velocidades de estudio

V (m/s)	Do (m/s)	E_a (kJ/mol de agua)
1.0	0.0003	45.3922
0.5	1.5142	69.8364

El desarrollo se muestra en el anexo 16

Valores similares se encontró para la energía de activación para la difusión de agua para el secado de hojas de *Thymus vulgaris* (tomillo) a 1 m/s fue de 77.16 kJ/mol (da Rocha, 2012), y de 73.84 kJ/mol Doymaz (2010), mientras que Simal *et al.* (2000) encontró el valor de la energía de activación de 24.40 kJ mol para pencas de Aloe vera, 82.93 kJ/mol para *Mentha crispa L.* (menta) (Park *et al.*, 2002) y 31.79 kJ mol para *Lippia alba* (hojas de limón) (Barbosa *et al.*, 2007), Rodríguez (2013), para el tomillo obtuvo una E_a de 49.42 KJ/mol, 51.26 kJ mol para okra (Doymaz, 2005), 34.35 kJ/mol para espinaca (Doymaz, 2009).

En general el incremento de la velocidad de aire de secado provoca un aumento de la velocidad de transferencia de materia o de difusividad y por ende incremento de la E_a , tal como se muestra en la Figura (25), en lo que refiere a la salida de agua de las hojas de Salvia (Lazarides, 2001), así a mayor temperatura mayor transferencia de masa.

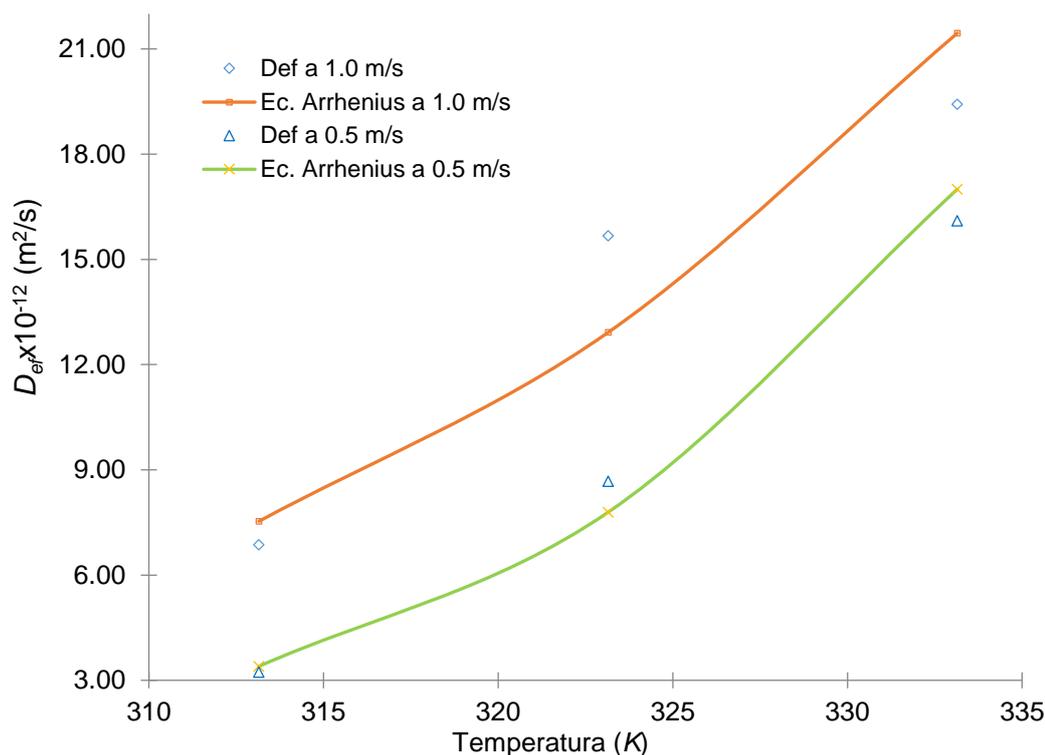


Figura 25: Relación de Arrhenius -Influencia de la temperatura sobre la difusividad

Por otra parte el factor de Arrhenius D_0 , generalmente se considera más un parámetro estructural que cinético, (Martínez *et al.*, 1998), así valores altos de D_0 implican una débil resistencia a la difusión (Turhan y Kaletunç, 1992), es así que en la Tabla 12 se aprecia que D_0 , es mayor a la velocidad de secado de 0.5 m/s, esto indica que a esta velocidad de secado existe menor resistencia a la difusión del agua en la hoja de Salvia, aunque los tiempos de secado son más prolongados.

4.4. VARIACIÓN DEL COLOR DE LAS HOJAS DE SALVIA

Los resultados de la variación del color de las hojas de Salvia deshidratadas se muestran en la Tabla 13, en ella se aprecia la disminución de la luminosidad L^* de la hoja de Salvia secada en referencia a la luminosidad de la hoja fresca, similar resultado obtuvo Esturk (2012) para el secado de Salvia por microondas y aire convectivo obteniendo mayor luminosidad con el secado por convectivo, García (2010) para el secado del cilantro (*Coriandrum sativum*) y para la *Mentha spicata* (García, 2014), aunque lo contrario resultó para el secado de la

Stevia (Rebaudiana Bertoni) y en el secado del perejil (*Petrosilenum crispum*) (García, 2010),

La luminosidad varía de 0 a 100, siendo 0 la tendencia al negro y 100 la tendencia a blanco (Sahin y Gulum, 2006), el incremento de la temperatura para el secado a 1.0 m/s y 0.5 m/s disminuyen la luminosidad, es así que cuanto menor es la temperatura de secado la luminosidad tiene tendencia al color blanco, García *et al.*, (2010) en el secado del cilantro (*Coriandrum sativum*) observa la disminución de la luminosidad con el incremento de la temperatura, sin embargo el mismo autor muestra un incremento de la luminosidad para el perejil (*Petrosilenum crispum*).

Tabla 13: Parámetros de color de las hojas de Salvia

V (m/s)	T (°C)	L^*			a^*			b^*			ΔE^*_{ab}		
		\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s
	Fresco	49.25	\pm	0.57	-13.63	\pm	0.40	24.15	\pm	0.34			
1	40	48.88	\pm	0.70	-7.80	\pm	0.27	18.84	\pm	0.45	7.91 ^a	\pm	0.01
	50	44.63	\pm	0.21	-3.87	\pm	0.31	17.99	\pm	0.11	12.43 ^c	\pm	0.02
	60	38.69	\pm	0.26	-0.69	\pm	0.09	15.17	\pm	0.46	18.96 ^d	\pm	0.01
0.5	40	45.34	\pm	0.63	-8.34	\pm	0.38	18.20	\pm	0.28	8.88 ^b	\pm	0.53
	50	44.38	\pm	0.66	-6.16	\pm	0.05	15.63	\pm	0.55	12.33 ^c	\pm	0.39
	60	37.80	\pm	0.93	-1.78	\pm	0.12	13.01	\pm	0.46	19.93 ^e	\pm	0.68

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, L^* luminosidad, a^* color de verdes(-) a rojos(+), b^* color de amarillos azul(-) a (+), ΔE^*_{ab} diferencia del color en comparación a la hoja fresca. Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, al 5%

Al aplicar el ANOVA para L^* (anexo 20) se aprecia que la temperatura y la velocidad de secado muestran efecto significativo sobre la luminosidad ($pvalue < 0.05$), es decir cualquier variación de estas dos variables de entrada generaran cambios significativos de la luminosidad.

Por otra parte los valores de a^* que es un indicador de la variación del color de verde a rojo, aumentan para todas las temperaturas en

comparación con la hoja fresca, asimismo se aprecia que a^* disminuye conforme se incrementa la temperatura de secado y más aun a la velocidad de secado a 1.0 m/s, es decir tienden gris.

Al aplicar el ANOVA para a^* (anexo 21) se aprecia que tanto la temperatura y la velocidad de secado influyen significativamente sobre a^* , ya que $p\text{-value} < 0.05$, en la Figura 26 y 27 se aprecia la variación de a^* , que es más pronunciada en comparación a b^* y L^* en función a la temperatura de secado ya sea a 1.0 m/s o 0.5 m/s de velocidad de aire.

Asimismo los colores b^* , que es el indicador de la variación del color de azul a amarillo, se observa en la tabla 13 que disminuyen considerablemente en comparación al hoja fresca de Salvia, tendiendo al color amarillo, aunque b^* disminuye a medida que aumenta la temperatura de secado ya sea a 1.0 m/s o 0.5 m/s de velocidad de aire, es decir tiene tendencia al color amarillo. Al aplicar el ANOVA (anexo 22) se aprecia que la temperatura y velocidad de secado influyen significativamente sobre el parámetro b^* ($p\text{-value} < 0.05$).

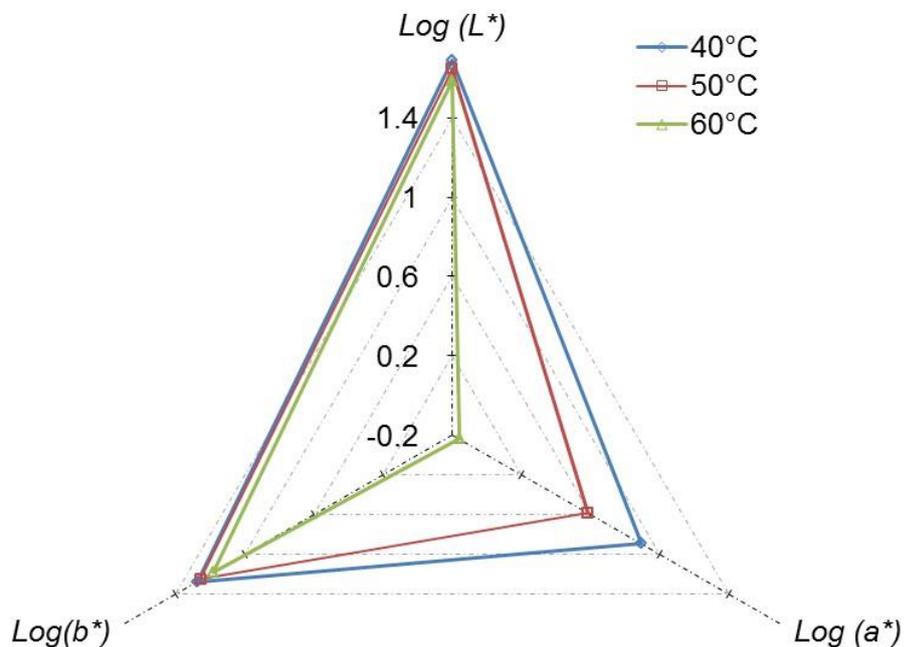


Figura 26: Variación del color con la temperatura a la velocidad de 1.0 m/s

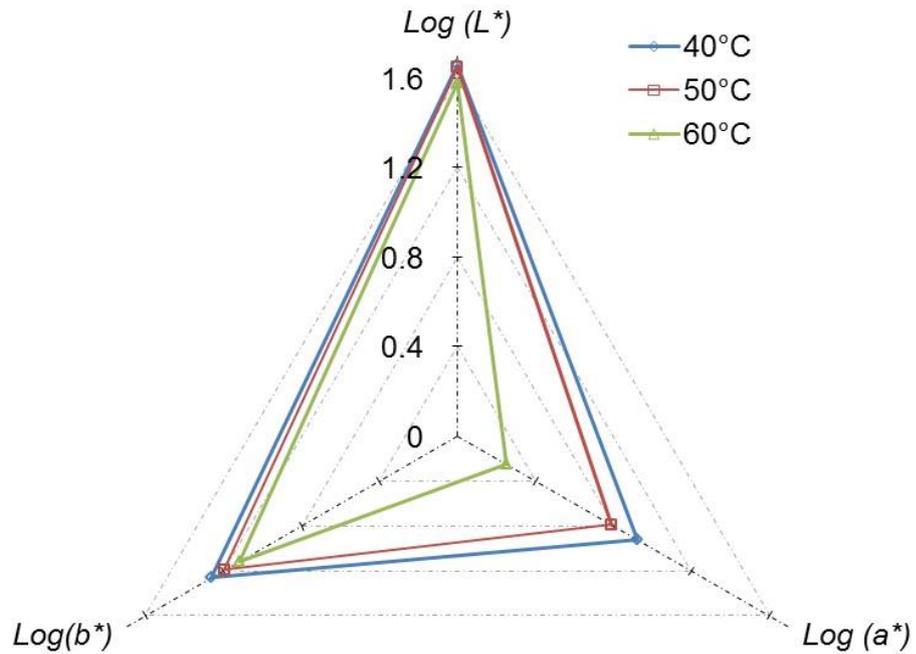


Figura 27: Variación del color con la temperatura a la velocidad de 0.5 m/s

La diferencia total del color ΔE^*_{ab} entre la hoja fresca y la hoja seca a las diferentes temperaturas y velocidades de secado se muestran en la Tabla 13, observándose que a medida que se incrementa la temperatura existe mayor diferencia del color en comparación a la hoja fresca, es decir existe diferencia significativa, $p\text{-value} < 0.05$ (anexo 23), y que esta diferencia es mayor cuando la velocidad es menor, similar comportamiento observo García (2014) en el secado de hojas y tallos de *Stevia rebaudiana*) y para la *Mentha spicata*, en la fotografía 2 y 3 se aprecia el cambio de color de las hojas de Salvia secada a las temperaturas de estudio, donde se observa claramente el cambio de color conforme se incrementa la temperatura de secado.

Fotografía 1 Color de la hojas de Salvia secado a las temperaturas de estudio y 1.0 m/s



Fotografía 2: Color de la hojas de Salvia secado a las temperaturas de estudio y 0.5 m/s



El color de un alimento se vuelve visible cuando la luz de una fuente luminosa choca con su superficie. La medición del color en este trabajo se realizó físicamente por la interacción de la luz.

El cambio significativo del color del producto con respecto al color original es causado por reacciones de pardeamiento y reacciones de REDOX (Rodríguez, 2013), Asimismo, el pardeamiento enzimático, que se origina por la polifenol oxidasa, provoca un oscurecimiento rápido principalmente en la parte externa de las hojas (Fellows, 2007).

Otra de las razones por la cual se presenta un cambio en la coloración es la fotooxidación de los pigmentos por la acción de la luz, que en combinación con el oxígeno produce una grave decoloración, principalmente por la alteración de la clorofila (Rahman, 2002). El pigmento principal que se altera en el secado con aire caliente es la clorofila, formándose la feofitina que es de un color pardo oliva (Rahman y Perera, 1999).

4.5. EVALUACIÓN DE LOS ATRIBUTOS SENSORIALES

Los resultados de la evaluación sensorial se realizaron a través de los datos obtenidos del análisis sensorial de los panelistas no entrenados, de atributos olor, color, sabor y apariencia.

En la Tabla 14, se muestra los resultados para el olor de las hojas de Salvia, así al aplicar el test no paramétrico de Friedman para el olor se aprecia que las hojas deshidratadas presentan diferencia significativa es decir $p\text{-value} < 0.05$, obteniendo que el mejor tratamiento es a 40°C y 1.0 m/s equivalente al calificativo “me gusta”, aunque al aplicar el test de comparación múltiple LSD, esta no muestra diferencia significativa con el olor de la hojas deshidratadas a 40 °C y 50 °C para ambas velocidades de secado, mientras que a 60°C las hojas tiene preferencia de “me es indiferente”.

Tabla 14: Valores medios del olor de las hojas de Salvia deshidratadas

V (m/s)	T (°C)	Olor*		Test Friedman ($p\text{-value}$)**	Test LSD**
		\bar{x}	$\pm s$		
0.5	40	3.9	± 0.71	2.7792E-07	b
	50	3.6	± 0.97		b
	60	2.5	± 0.96		a
1.0	40	4.1	± 0.68		b
	50	3.9	± 0.69		b
	60	2.8	± 0.77		a

*Los datos se muestran en el anexo (22)

**Evaluado al 5% de nivel de significancia (anexo 24)

En la Figura 28, se aprecia que el incremento en la velocidad de secado aumenta el grado de apreciación del olor de las hojas de Salvia, por el contrario incrementos de la temperatura disminuyen el olor.

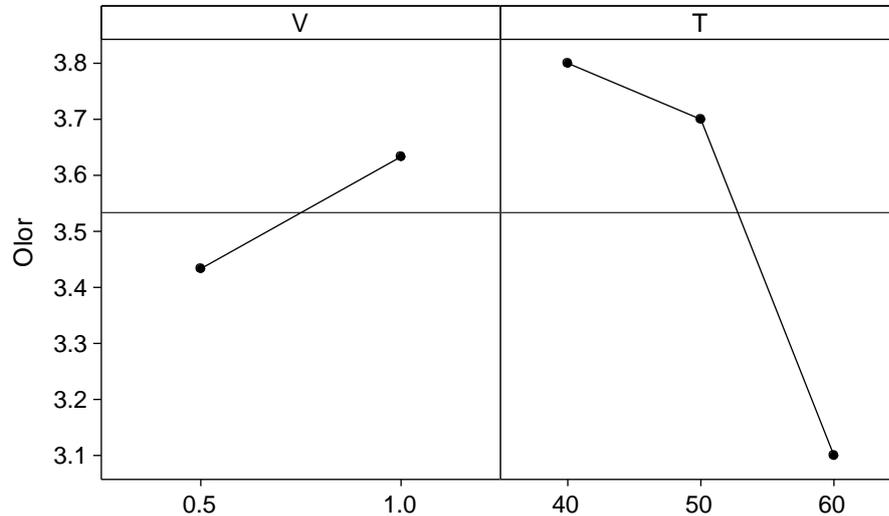


Figura 28: Diagrama de efectos para el Olor

En la Tabla 15 se muestra los resultados del test de Friedman, para la evaluación sensorial del color, donde se aprecia que las hojas deshidratadas de salvia presentaron diferencia significativa a $p\text{-value} < 0.05$; sin embargo con la prueba de rangos múltiples (test LSD), las hojas deshidratadas a 40°C y 50°C no mostraron diferencias significativas para las velocidades de 0.5 m/s y 1m/s, con apreciación de “Me gusta”, mientras que las deshidratadas a 60°C a 0.5 m/s y 1m/s logran apreciación equivalente a “Me es indiferente”, según (Espinoza, 2007).no hubo aceptación ni rechazo en cuanto al color de las hojas de salvia.

Tabla 15: Valores medios del color de las hojas de Salvia deshidratadas

V (m/s)	T (°C)	Color*		Test Friedman (<i>p-value</i>)**	Test LSD**
		\bar{x}	$\pm s$		
0.5	40	3.9	± 0.66	0.000125	b
	50	3.6	± 0.78		b
	60	2.6	± 0.81		a
1.0	40	3.5	± 0.95		b
	50	4.0	± 0.61		b
	60	2.9	± 0.81		a

*Los datos se muestran en el anexo (25)

**Evaluado al 5% de nivel de significancia (anexo 27)

En la Figura 29, se aprecia los efectos de la velocidad y temperatura de secado sobre el color de las hojas de Salvia deshidratada, donde el incremento de la velocidad disminuye ligeramente el color, mientras que el incremento de la temperatura disminuye drásticamente el color de las hojas de Salvia

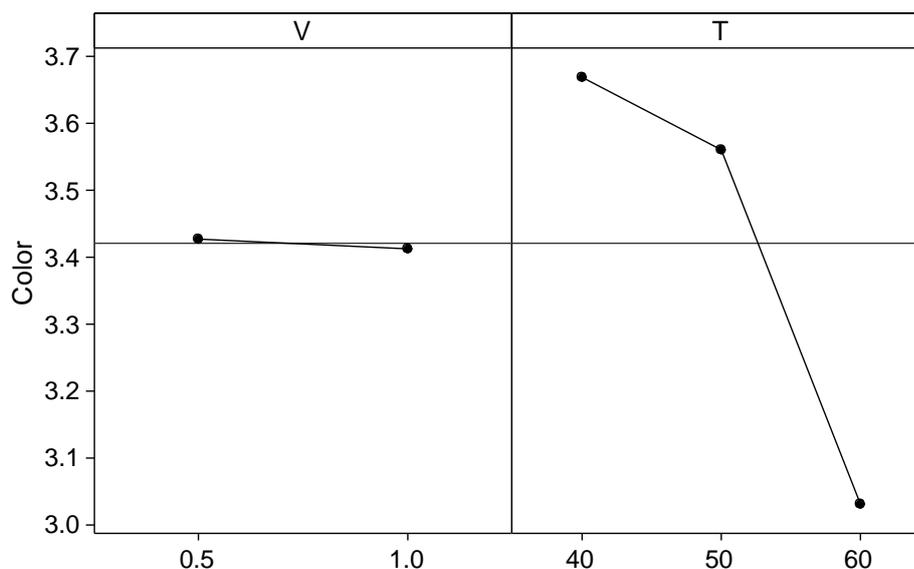


Figura 29: Diagrama de efectos para el color

En la Tabla (16), se aprecia que el sabor de las hojas de Salvia deshidratadas muestra diferencia significativa, $p\text{-value} < 0.05$, sin embargo con la prueba de rangos múltiples (test LSD) se aprecia que las hojas secadas a 50°C en ambas velocidades son similares (letras iguales), y obtienen mayores apreciaciones por parte de los panelistas considerándolos como “Me gusta”.

Por otra parte en la Figura 30 se aprecia que el incremento de la velocidad de secado mejora la cualidad del sabor de las hojas de Salvia deshidratadas, aunque la temperatura presenta efectos inversos.

Tabla 16: Valores medios del sabor de las hojas de Salvia deshidratadas

V (m/s)	T (°C)	Sabor*		Test Friedman (<i>p-value</i>)**	Test LSD**
		\bar{x}	$\pm s$		
0.5	40	3.6	± 0.77	0.00	b
	50	4.3	± 0.82		c
	60	2.0	± 0.79		a
1.0	40	4.1	± 0.73		c
	50	4.4	± 0.84		c
	60	2.2	± 0.79		a

*Los datos se muestran en el anexo (28)

**Evaluado al 5% de nivel de significancia (anexo 30)

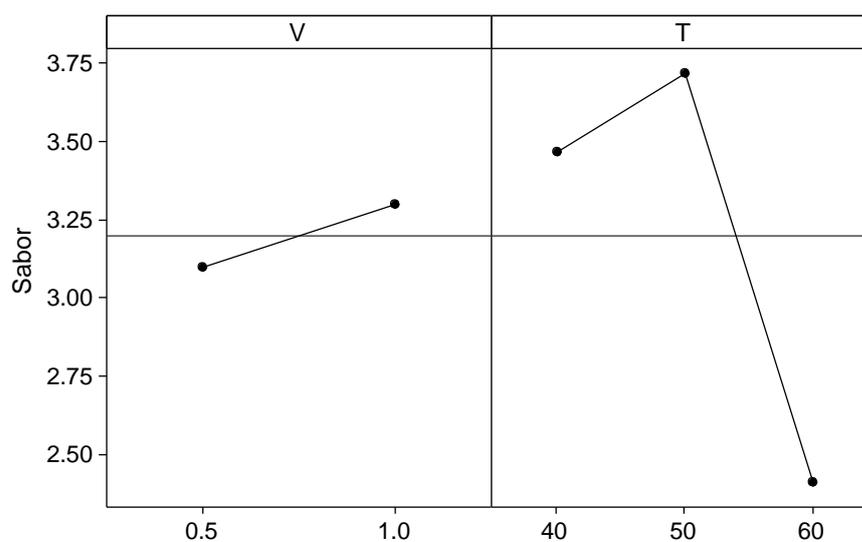


Figura 30 : Diagrama de efectos para el sabor

Los resultados de la apariencia general de las hojas de Salvia deshidratadas en infusión, se muestran en la Tabla 17 presentando diferencia significativa, $p\text{-value} < 0.05$ a través del test de Friedman, sin embargo las hojas deshidratadas a 40°C y 50 °C son similares (letras iguales, evaluadas a través del test LSD) para cada velocidad de secado, logrando además las mejores puntuaciones equivalente a la preferencia de “Me gusta”.

Tabla 17: Valores medios de la apariencia de las hojas de Salvia deshidratadas

V (m/s)	T (°C)	Apariencia*			Test Friedman (<i>p-value</i>)**	Test LSD**
		\bar{x}	\pm	s		
0.5	40	4.3	\pm	0.62	0.00	c,d
	50	4.4	\pm	0.72		d
	60	2.3	\pm	1.20		a
1.0	40	3.7	\pm	0.58		b
	50	3.9	\pm	0.84		bc
	60	2.4	\pm	0.66		a

*Los datos se muestran en el anexo (31)

**Evaluado al 5% de nivel de significancia (anexo 33)

Por otra parte en la Figura 31 se observa que la velocidad y la temperatura de secado presentan efecto inverso con la apariencia de la infusión de las hojas de salvia, aunque esta es en menor cuantía con la velocidad.

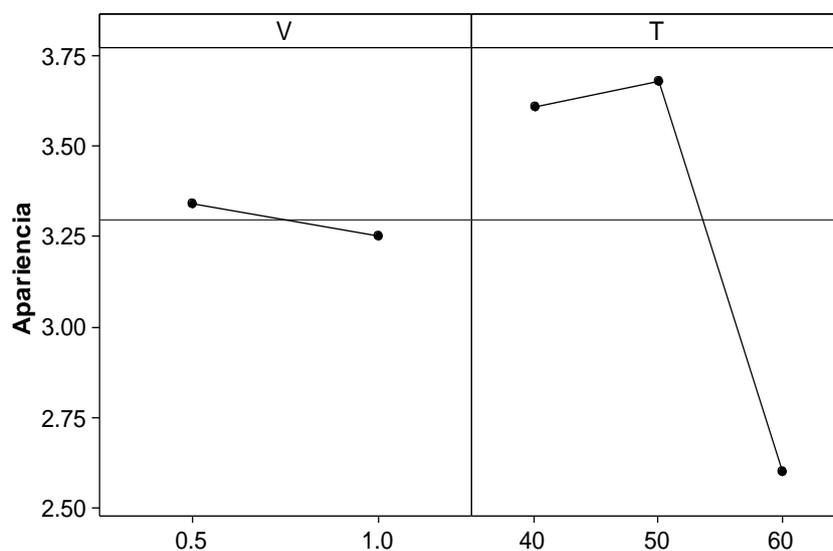


Figura 31: Diagrama de efectos para la apariencia

En general los atributos sensoriales evaluados se ven afectado negativamente cuando se incrementa la temperatura del secado, por el contrario la velocidad genera efectos no significativos.

CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó las curvas de secado para las hojas de Salvia presentando un comportamiento decreciente con el incremento de la temperatura y velocidad de aire, asimismo mostraron diferencias significativas en el tiempo de secado ($p\text{-value} < 0.05$), presentando efecto significativo inverso con la temperatura y velocidad de aire, siendo la temperatura de 40 °C y velocidad de 0,5 m/s los mejores parámetros para un secado de calidad. Así mismo el modelo que mejor describe las curvas de secado de hojas de Salvia fue el modelo de Page con R^2 mayores a 99.79%.
- ✓ Se calculó la difusividad efectiva del agua D_{ef} durante el secado de las hojas de Salvia a velocidad de 1m/s y temperaturas de 40 °C , 50°C y 60°C de los cuales se obtuvieron 6.86×10^{-12} , 1.57×10^{-11} , y 1.9421×10^{-11} respectivamente; la difusividad efectiva a velocidad de 0.5 m/s para las mismas temperaturas fueron 3.23×10^{-12} , 8.67×10^{-12} , $1,61 \times 10^{-11}$. es decir aumentaron con el incremento de la temperatura para ambas velocidades de secado en estudio.
- ✓ Se calculó la energía de activación E_a presentando relación inversa con la velocidad de secado, variando de 45.39 a 69.83 kJ/mol para las velocidades de 1.0 m/s a 0.5 m/s respectivamente.
- ✓ Se analizó la variación del color de las hojas de Salvia deshidratadas presentando una disminución de la luminosidad L^* y el parámetro b^* con el incremento de a temperatura es decir con tendencias más a grises, mientras que se incrementó a^* con tendencias más a verdes en referencia a la hoja fresca ; por otra parte al comparar el color de las hojas deshidratadas la temperatura y la velocidad de aire muestran efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) inverso en L^* y b^* , mientras que para el parámetro a^* es directo presentando este mayor variabilidad, se encontró que el mejor tratamiento que conserva el color de las hojas de salvia es la temperatura de 40 °C

- ✓ Se comparó los atributos sensoriales de olor, color, sabor y apariencia de las hojas de Salvia deshidratadas, lo cual afectó negativamente con el incremento de la temperatura del secado mientras que la velocidad no muestra efectos significativos, teniendo mejor aceptabilidad en olor, sabor, color y apariencia en general el tratamiento a temperatura de 40 °C y 1 m/s.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar estudios sobre el efecto de secado en los compuestos activos de las hojas de Salvia (*Salvia officinalis*)
- ✓ Realizar estudios de secado de las hojas de Salvia (*Salvia officinalis*) realizando pesadas sucesivas sin retirar las muestras del secador.
- ✓ Realizar estudios de secado de las hojas de Salvia (*Salvia officinalis*) con otros tipos secadores y comparar la influencia en la calidad de hojas de Salvia con el secador utilizado en esta investigación..

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arends, K.M.; Gutiérrez, M.V. (2008). *Características de secado y modelado matemático para el bagazo de caña de azúcar tratado y no tratado en una planta piloto PDA*. Tesis de grado. Facultad de Ing. Química. Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo Edo. Zulia. Venezuela.
- Aspurz, J. (2011). Obtención de curvas de secado de Tomillo (*Thymus vulgaris*). Trabajo presentado a la Universidad Federal de Viçosa, como parte de las exigencias del Programa de Graduación en Ingeniero Técnico Agrícola, especialidad en Industrias Agrarias y Alimentarias, para la Universidad Pública de Navarra (UPNA).
- ASTM, American S. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. Of the International Association for Testing Materials
- Avilés, E.I. (1989). *Steady state drying of granular solids*. Masters Thesis. Department of Chemical Engineering. University of Perto Rico. Maygues, Puerto Rico
- Barbosa, F. F.; Melo, E. C.; Santos, R. H. S.; Rocha, R. P.; Martinazzo, A. P.; Radünz, L. L.; Gracia, L. M. N. (2007). Evaluación de modelos matemáticos para la predicción del secado de lemon-scented verbena leaves (*Lippia alba*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.9, n.1.
- Belghit, A., Kouhila, M., & Boutaleb, B. C. (1999). Experimental study of drying kinetics of sage in a drying tunnel working in forced convection. *Revue des Energies Renouvelables*, 2(1), 17-26.
- Boutaleb, B. C, Kouhila, M, Boutaleb, B. C., Bennis, R., Mokhlisse and S. Benet (1997). Etude experimentale du sechage par convection force de plantes medicinales: Appliation a la sauge, Actes du 3eme Congres de Mecanique, Vol. 2, pp. 545-550, Tetouan, Morocco.
- Blume T.(1994). *La Armonía de Los Colores*. Barcelona: Sutton.

- Carranza J. (2011). *Cinética de secado del plátano (Musa paradisiaca) y de la yuca (Manihot esculenta Crantz)*. Trabajo de Fin de Carrera, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Perú.
- Carteri, P.; de Castro, E.; Pereira, R. (2014) Modelación matemática de la cinética de secado de las hojas de hierba de limón (*Cymbopogon citratus Stapf*) y sus efectos sobre la calidad. *Rev. IDESIA (Chile)* V. 32, n 4.
- Chen, C.S.; Johnson, W.H. (1969). *Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. I. Theoretical consideration of drying phenomena. Trans. ASAE.* 12: 109113.
- Clemente, G.; Bon, J.; Benedito, J.; Sanjuán, N.; Mulet, A. (2008). Influencia de la temperatura en el secado de semillas de uva. *Internacional Drying Symposium*.
- Corrêa, P.C.; Resende, O.; Martinazzo, A.P.; Goneli, A.L.D.; Botelho, F.M. (2007). *Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (phaseolus vulgaris l.) em camadas delgadas. Engenharia Agrícola*, v.27, p.501507.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion* . 2da ed., Claredon Press: Oxford.
- da Rocha, R.; Melo, E.; Corbín, J.; Berbert, P.; Donzeles, S.; Tabar, J. (2012). *Cinética del secado de tomillo*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* V.16, N° 6.
- Della Rocca, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos. Universidad Tecnológica Nacional.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, -A., & Pranzetti, V. (2010). Determinación de color en mieles. *El color en alimentos*, 145-152.

- Demir, V.; Gunhan, T.; Yagcioglu A. K.; Degirmencioglu, A. (2004). Modelamiento matemático la determinación de los parámetros de calidad de hojas de laurel secadas al aire. *Biosystems Engineering*, v. 88, n. 3.
- Doymaz, I. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of food Engineering*, v.1, n.69.
- Doymaz, I. (2009). Thin-layer drying of spinach leaves in a convective dryer. *Journal of Food Process Engineering*, v.32.
- Doymaz, I. (2010). Drying of thyme (*thymus vulgaris* L.) and selection of a suitable thinlayer drying model. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.1.
- Espierriz, J. (2011). Obtención de curvas de secado de hierba limón (*Cymbopogon citratus*). Universidad de Vicosá, Minas Gerais, Brasil.
- Espinosa, M. (2007). Evaluación Sensorial de los Alimentos. Editorial Universitaria. Cuba.
- Esturk, O. (2012). Intermittent and Continuous Microwave Convective Air – Drying Characteristics of Sage (*Salvia Officinalis*) Leaves. *Food and bioprocess Technology*, 1664 -1673.
- Fellows, P.J. (2007). Tecnología del procesado de alimentos; teoría y práctica. Edit. Acribia. Zaragoza, España.
- Fito, P.; Andrés, A.M.; Barat, J.M.; Albors, A.M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Ed: Universidad Politécnica de Valencia.
- Fortes, M.Y.; Okos, M.R. (1980). *Drying theories. En Advances in drying*. Vol.1, editado por A.s. Mujumdar. Hemisphere Publishing , New York.
- Fundación Uñatatawi (2003). Producción, aprovechamiento y uso de especies aromáticas y medicinales. Descripción y uso de 12 especies aromáticas y medicinales. Ministerio de Desarrollo Sostenible. La Paz, Bolivia.
- García, F. (2011). *Cultivo de uso recreativo adaptado a colectivos con discapacidad*. Trabajo final de carrera. Universidad Politécnica de Valencia. España. 640 p.

- García, F. (2014). *Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) y la Hierbabuena (Mentha spicata)*. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional de Colombia
- García, M.; Rugel, J.; Rodríguez, E.; Vargas, E.M. (2010). Aprovechamiento de cilantro (*Coriandrum sativum*) y perejil (*Petroselinum crispum*) aplicando procesos combinados de deshidratación. Programa de Ingeniería de Alimentos. Rev. Resultados de Investigación V3. N°02.
- García, S.V.; Schmalko, M.E.; Tanzariello, A. (2007). *Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en Misiones – Argentina*. Rev. RIA, INTA, Argentina.
- Geankoplis J. C. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*, 3ra ed. CECSA.
- Gonzales, J. F. (2009). *Interés farmacéutico de la salvia officinalis y de la Euphrasia officinalis*. Universidad de Salamanca
- Gutiérrez, H.; de la Vara, R. (2010). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Edit. McGrawHill. Mexico.
- Heldman, D.; Lund, D. (2007). *Manual de Ingeniería de Alimentos*. 2da Edic. Edit. CRC Press. USA.
- Henderson, S. M. (1974). *Progress in developing the thin layer drying equation*. Transactions of ASAE. v.17, p.1167-1172.
- Henderson, S. M.; Pabis, S. (1961). *Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient*. Journal of Agriculture Engineering Research, v.6, p.169-174.
- Hincapié, G.; Barajas, J.; Arias, Z. (2011). *Evaluación del secado por convección de la guayaba (Psidium guajava L.) Variedad manzana*. Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigaciones Agroindustriales (GRAIN) Universidad Pontificia Bolivariana. Rev. Investigaciones Aplicadas, Vol. 5, No.2, Medellín – Colombia

- IICA, (2005). *Pantas medicinales y otras especies útiles*. Diagnóstico situacional sobre la producción, industrialización y comercialización. Managua, Nicaragua. 172 p.
- Karathanos, V. T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, v.39, p.337344.
- Konica Minolta Sensing (2007), Inc.: Color control from perception to instrumentation.
- Krokida, M. K.; Karathanos, V. T.; Maroulis, Z. B.; Marinos-Kouris, D. (2033). *Drying kinetics of some vegetables*. *Journal of Food Engineering*, 59(4), 391-403.
- Labuza, T. P. (1984). *Moisture sorption – Practical aspects of isotherm measurement and use*. Ed. American Association of Cereal Chemists. Minnesota.
- Labuza, T. P.; Kaanane A.; Chen J. (1985). *Effect of temperature on the moisture sorption isotherm and water activity shift of two dehydrated food*. *Journal Food Science*, v. 50, No 2, p. 385-391.
- Lewis, W. K. (1921). *The rate of drying of solids materials*. *The Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v.13,p. 427-432.
- López B. J.; Rodríguez R. J.; Álvarez C. M.; Jarquin E. L.; Zuñiga G. M. (2003). *Cinética de Secado y Caracterización Físico-Químico de Tomates Deshidratados Tipo Roma en Respuesta a la Temperatura y al Flujo del Aire*. Premio Nacional en Ciencias y Tecnología de Alimentos. www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_03h.asp?page=03e17
- Madarro, A.; Carbonell, J.V.; Piñaga, F.; Peña, J.L. (1981). *Deshidratación de frutas y hortalizas con aire ambiente. Ensayos exploratorios con zanahorias*. *Rev. Agroquim.Tecnol. Alim.*. 21 (4): 525-533.
- Martínez, N.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (1998). "Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno". Servicio de Publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia.

- Mendiola, M.A.; Montalbán, M. J. (2009). Plantas aromáticas gastronómicas. Edit. Mundi Prensa. Madrid, España. 91 p.
- Midilli, A.; Kucuk, H.; Vapar, Z. (2002). *A new model for single-layer drying*. Drying Technology, v.20, n.7, p.1503-1513.
- Monsalve, J.; Machado, M. (2007). *Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (Lycopersicon esculentum mill) variedad manzano*. Universidad Simón Rodríguez. Ingeniería de Alimentos. Carretera Canoabo-Urama, Municipio Bejuma, Edo Carabobo.
- Morales Andalzua, A.(1994). La evaluación Sensorial de los Alimentos Teoría y Practic. España: Acribia.
- Mulet, A.; Berna, A.; Rosselló, C. (1989). *Secado de zanahorias y modelos de secado*. Drying Technology, V 7(3).
- Muñoz, F. (2002). *Plantas medicinales y aromáticas*. Estudio, cultivo y procesado. Edit. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Ojeda M. (2004). *Avances en la domesticación de la (Menthostachys mollis (Kunth.) Griseb.) Proyecto frutihortícola – Tecnologías para el desarrollo sustentable regional*. Edic. INTA – Boletín N° 9 I.S.S.N. - Argentina.
- Olivas, R.; Molina, F.J.; Pérez, A.; Ortega, E. (1999). *Development of mathematical model for drying of jalapeño peppers in batch process*. Conference in Annual Meeting of American Institute of Chemical Engineers, New York, U.S.A. (1999).
- Ordóñez, J.A.; Cambrero, M.I.; Fernández, L.; García, M.L.; García de Fernando, G.; De la Hoz, L.; Selgas, M.D. (1998). *Tecnología de los alimentos. Componentes de los alimentos y procesos*. Ed. Síntesis S.A. 11 (1): 246-305.
- Overhults, D. D.; White, G. M.; Hamilton, M. E.; Ross, I. J. (1973). *Drying soybeans with heated air*. Transactions of the ASAE, v.16, p.195-200.
- Page, G. E. (1949). *Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers*. Indiana: Universidade de Purdue. Dissertação Mestrado

- Park, K. J.; Vohnikova, Z.; Brod, F. P. R. (2002). Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *Journal of Food Engineering*. v. 51, n. 3.
- Pedredo, F.; Pangborn, R. (1996). Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos Analíticos. Editorial ALAMBRA Mexicana.
- Pierre, M.; Gallouin, F. (2007). *Espicias aromatizantes y condimentos*. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España. 413 p.
- Pineda, M.L.; Chacón, A.; Cordero, G. (2009). *Efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morera (Morus alba)*. *Rev. Agronomía Mesoamericana* 20(2). Costa Rica.
- Rahman, M.S. (2006.). *Manual de la preservación de alimentos*. Marcel Dekker. New York. N.Y.
- Rahman, M.S.; Perera, C. O. (1999). *Secado y preservación de alimentos*. Marcel Dekker. New York. N.Y.
- Ramos, A.; Sánchez, P.; Ferrer, J.A.; Barquín, J.; Linares, P. (2010). *Modelos matemáticos de optimización*. Univ. Pontificia Comillas Madrid.
- Rodríguez, J. (2013). Contribución al estudio de la intensificación del proceso de secado de tomillo (*Thymus vulgaris* L.): aplicación de ultrasonidos de potencia y secado intermitente. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Rojas, R.; Bustamante, B.; Bauer, J.; Fernández, I.; Albán, J.; Lock, O. (2003). *Antimicrobial activity of selected Peruvian medicinal plants*. *J Ethnopharmacol.* 88(2-3): 199-204.
- Ruíz, G.A. (2002). *Deshidratación de Rodajas de Naranja para la obtención de Productos Secos y de Humedad Intermedia*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia
- Santanna, Voltaire ; Gurak, Poliana D. ; Marczak, Ligia Damasceno F. ; Tessaro, Isabel C. (2013) Tracking bioactive compounds with colour changes in foods - A review. En: *Dyes and Pigments* 98, N°. 3

- Sancho Valla, J., Bota, J., & De Castro J., J. (2002). Introducción al análisis de los alimentos. España, Edición de la Universidad de Barcelona.
- Silva, A. S.; Almeida, F. de A. C.; Lima, E. E.; Silva, F. L. H.; Gomes, J. P. (2008). *Cinéticas de secado de hoja y tallo de cilantro (Coriandrum sativum)*. Rev. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, Ciencia y Tecnología Alimentaria
- Simal, S.; Femenía, A.; Llull, P.; Rosselló, C. (2000). *Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties*. Journal of Food Engineering, v. 43.
- Suárez, C.; Y Viollaz, P.E. (1982). *Effect of pressurized gas freezing pretreatment of carrot dehydration by air flow*. Journal of Food Technology.
- Sharaf-Eldeen, Y.I.; Hamdy, M.Y.; Blaisdell, J.L. (1979). *Falling rate drying of fully exposed biological materials. A review of mathematical models*. American Soc. of Agric. Eng. Paper No. 79-6522
- Therdthai, N.; Zhou, W. (200). *Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (Mentha cordifolia Opiz ex Fresen)*. Journal of Food Engineering, v.91.
- USAID (2010). Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Plantas medicinales y aromáticas. Una alternativa de producción comercial
- Vázquez, G.; Chenlo, F. (1997). *Grape drying in a pilot plant with a heat pump*. *Drying Technology*, 15(3 y 4), pp. 899–920.
- Venskutonis, P. (1997). Effect of drying on the volatile constituents of thyme (*thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). *Food chemistry*, 59,219-227.

Webgrafía

www.ASTM.org/Standards/D2244.html, Helping our world work better.

ANEXOS

ANEXO 01: Humedad de las hojas de Salvia

Hojas frescas

Replica	Humedad	Sólidos
R1	82.78	17.22
R2	83.34	16.66
R3	83.56	16.44
R4	83.87	16.13
R5	83.25	16.75
Promedio	83.36	16.64
Desviación	0.40	0.40

Hojas deshidratadas

Replica	Humedad	Sólidos
R1	13.46	86.54
R2	13.47	86.53
R3	13.45	86.55
R4	13.49	86.51
R5	13.45	86.55
Promedio	13.46	86.54
Desviación	0.01	0.40

Resumen de la humedad

Hoja de Salvia	Fresca			Deshidratada		
	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s
Sólidos totales	16.64	\pm	0.40	86.54	\pm	0.006
Humedad (<i>b.h</i>)	83.36	\pm	0.40	13.46	\pm	0.006
Humedad (<i>b.s.</i>)	500.96	\pm	14.49	15.54	\pm	0.008

ANEXO 02: Datos para la determinación de $X_{e,exp}$ **A 40°C**

Sal	Día 01	Día 03	Día 05	$X_{e,exp}$
CH_3COOK	1.0000	0.9574	0.9564	0.1051
	1.0000	0.9602	0.9596	0.1088
$MgCl_2$	1.0000	0.9615	0.9662	0.1164
	1.0000	0.9663	0.9680	0.1186
$Mg(NO_3)_2$	1.0000	1.0026	1.0026	0.1585
	1.0000	1.0026	1.0043	0.1605
KI	1.0000	1.0050	1.0067	0.1633
	1.0000	1.0033	1.0080	0.1647
$NaCl$	1.0000	1.0180	1.0256	0.1851
	1.0000	1.0341	1.0380	0.1995
$BaCl_2$	1.0000	1.1208	1.1239	0.2988
	1.0000	1.1244	1.1277	0.3031

A 50°C

Sal	Día 01	Día 02	Día 04	$X_{e,exp}$
CH_3COOK	1.0000	0.9524	0.9466	0.0939
	1.0000	0.9500	0.9471	0.0944
$MgCl_2$	1.0000	0.9546	0.9630	0.1127
	1.0000	0.9610	0.9591	0.1083
$Mg(NO_3)_2$	1.0000	1.0006	1.0012	0.1570
	1.0000	1.0075	1.0085	0.1654
KI	1.0000	1.0112	1.0183	0.1766
	1.0000	1.0088	1.0113	0.1686
$NaCl$	1.0000	1.0240	1.0285	0.1885
	1.0000	1.0240	1.0296	0.1898
$BaCl_2$	1.0000	1.1187	1.1496	0.3283
	1.0000	1.1266	1.1289	0.3045

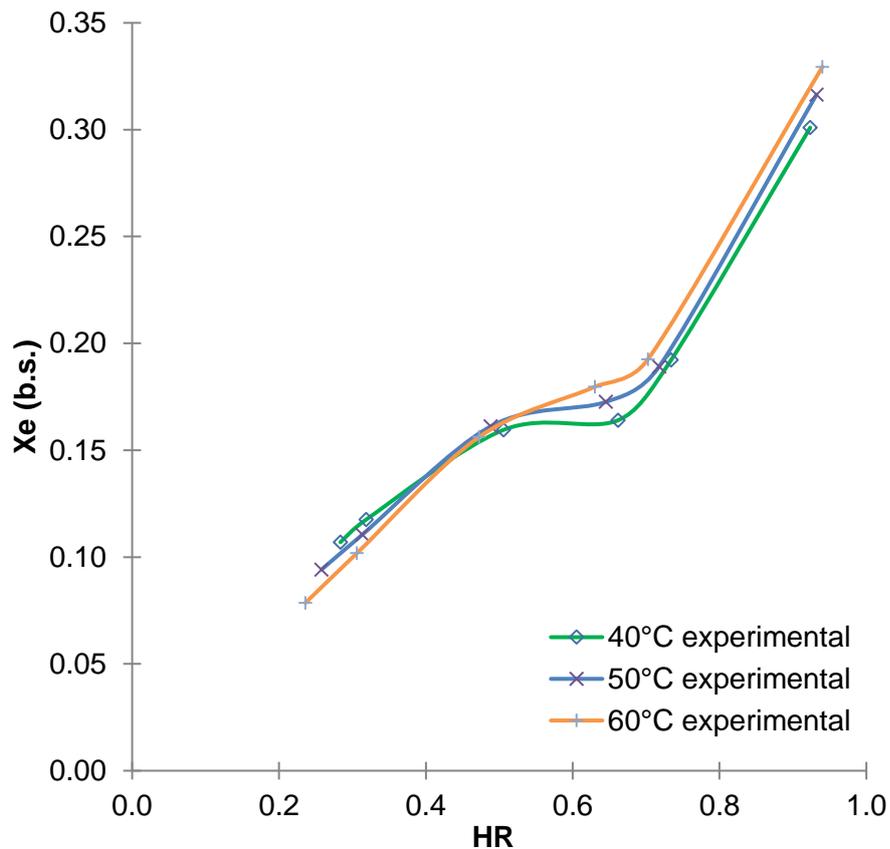
A 60°C

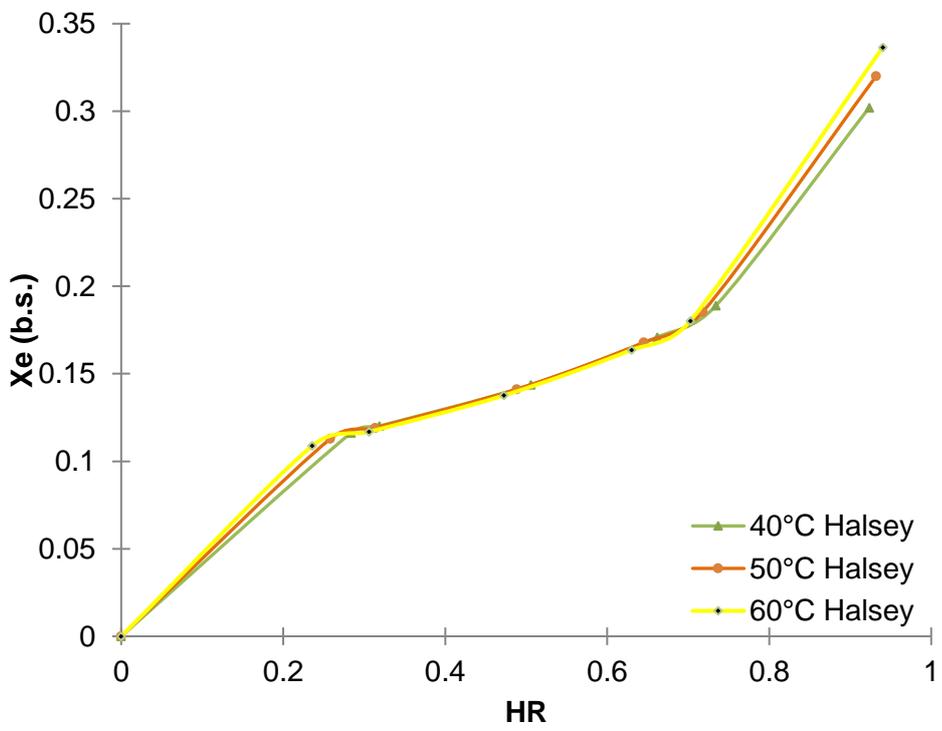
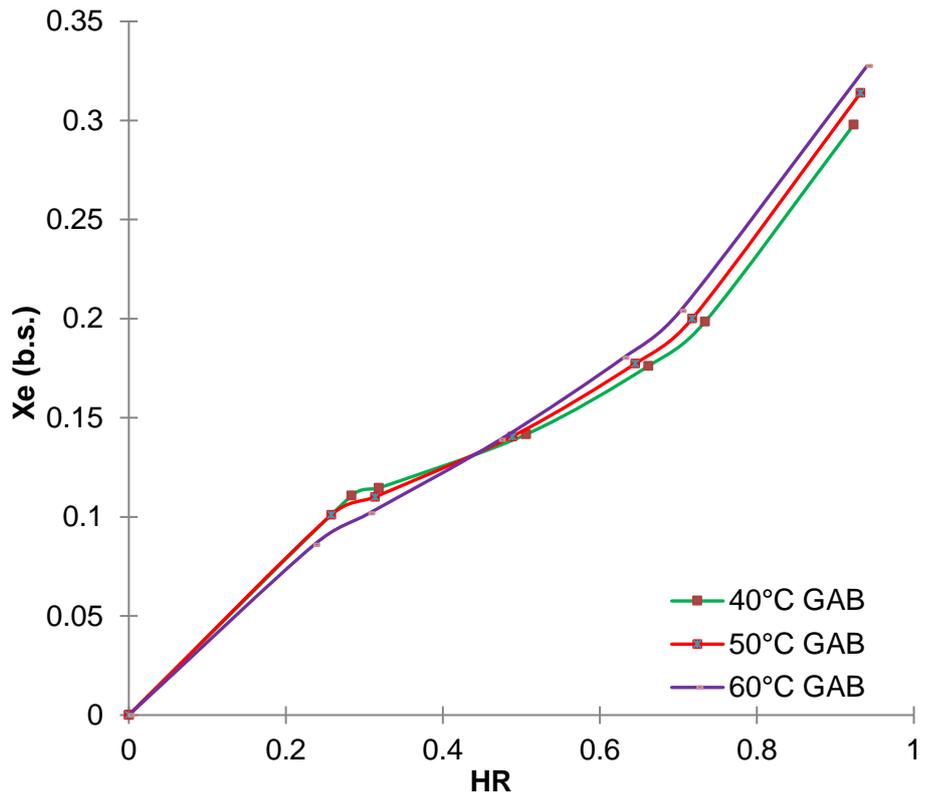
Sal	Día 01	Día 02	Día 04	$X_{e,exp}$
CH_3COOK	1.0000	0.9332	0.9295	0.0741
	1.0000	0.9449	0.9372	0.0830
$MgCl_2$	1.0000	0.9509	0.9442	0.0911
	1.0000	0.9650	0.9628	0.1126
$Mg(NO_3)_2$	1.0000	0.9984	0.9984	0.1537
	1.0000	1.0014	1.0028	0.1587
KI	1.0000	1.0231	1.0245	0.1838
	1.0000	1.0161	1.0173	0.1756
$NaCl$	1.0000	1.0214	1.0236	0.1828
	1.0000	1.0379	1.0407	0.2025
$BaCl_2$	1.0000	1.1486	1.1512	0.3302
	1.0000	1.1471	1.1499	0.3287

ANEXO 03 Resumen de Xe según modelos

Modelo	Parámetros	40°C	50°C	60°C
GAB	X	0.0865	0.0950	0.1135
	C	2071217916.8	24.7827	8.3553
	K	0.7683	0.7536	0.7154
	R2	0.9780	0.9800	0.9875
	%E	4.93	5.14	4.59
	HR (aire) (a_w)	0.6	0.6	0.6
	Xe	0.1606	0.1653	0.1715
Halsey	A	0.0025	0.0028	0.0029
	B	2.8905	2.8363	2.7941
	R2	0.9835	0.9719	0.9502
	%E	4.55	7.33	12.17
	HR (aire) (a_w)	0.6	0.6	0.6
	Xe	0.1588	0.1591	0.1579

ANEXO 04 : ISOTERMAS DE ADSORCION PARA LAS HOJAS DE SALVIA





ANEXO 05: Pérdida de peso (g) de hojas durante el secado a 40°C y 1.0 m/s (T1)

t(min)	P1	P2	P3	P4	P5
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10	0.7696	0.7883	0.8000	0.8057	0.8037
20	0.6845	0.6857	0.6989	0.6734	0.7075
30	0.6409	0.6208	0.6333	0.5972	0.6579
40	0.6052	0.5667	0.5771	0.5313	0.6167
50	0.5725	0.5224	0.5324	0.4917	0.5823
60	0.5426	0.4786	0.4935	0.4560	0.5497
70	0.5135	0.4408	0.4611	0.4152	0.5188
80	0.4839	0.4016	0.4288	0.3760	0.4870
90	0.4573	0.3689	0.4032	0.3452	0.4596
100	0.4306	0.3379	0.3793	0.3174	0.4325
110	0.4022	0.3065	0.3533	0.2889	0.4034
120	0.3804	0.2829	0.3351	0.2707	0.3812
130	0.3568	0.2595	0.3165	0.2536	0.3569
140	0.3341	0.2384	0.2950	0.2391	0.3334
150	0.3142	0.2225	0.2877	0.2333	0.3147
160	0.2954	0.2081	0.2706	0.2254	0.2943
170	0.2790	0.1974	0.2608	0.2213	0.2775
180	0.2621	0.1970	0.2391	0.2079	0.2610
190	0.2475	0.1951	0.2319	0.2052	0.2459
200	0.2347	0.1949	0.2212	0.2075	0.2337
210	0.2231	0.1947	0.2135	0.2051	0.2207
220	0.2126	0.1945	0.1960	0.2006	0.2107
230	0.2026	0.1943	0.1947	0.2001	0.2015
240	0.1962	0.1937	0.1940	0.1993	0.1997
250	0.1954	0.1936	0.1939	0.1986	0.1990
260	0.1952	0.1935	0.1935	0.1958	0.1983
270	0.1952	0.1935	0.1932	0.1956	0.1949
280	0.1951	0.1934	0.1935	0.1955	0.1948
290	0.1950	0.1934	0.1934	0.1955	0.1947
300	0.1949	0.1934	0.1934	0.1954	0.1945
310	0.1949	0.1934	0.1934	0.1953	0.1945

ANEXO 06: Pérdida de peso (g) de hojas durante el secado a 50°C y 1.0 m/s (T2)

t(min)	P1	P2	P3	P4	P5
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10	0.7218	0.7576	0.7459	0.7243	0.6959
20	0.6150	0.5351	0.5219	0.6226	0.5886
30	0.5045	0.4372	0.4025	0.5009	0.4656
40	0.4367	0.3673	0.3220	0.4208	0.3818
50	0.3884	0.3168	0.2614	0.3609	0.3219
60	0.3370	0.2697	0.2314	0.3047	0.2663
70	0.3010	0.2404	0.2102	0.2669	0.2288
80	0.2718	0.2199	0.2091	0.2484	0.2108
90	0.2455	0.2040	0.2026	0.2253	0.2027
100	0.2270	0.1981	0.1996	0.2138	0.2022
110	0.2145	0.1963	0.1981	0.2065	0.2010
120	0.2047	0.1955	0.1974	0.2035	0.1973
130	0.2007	0.1953	0.1972	0.1995	0.1969
140	0.1966	0.1947	0.1967	0.2000	0.1967
150	0.1949	0.1944	0.1966	0.1990	0.1966
160	0.1948	0.1943	0.1965	0.1988	0.1965
170	0.1947	0.1942	0.1962	0.1979	0.1964

ANEXO 07: Pérdida de peso (g) de hojas durante el secado a 60°C y 1.0 m/s (T3).

t(min)	P1	P2	P3	P4	P5
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10	0.7614	0.7329	0.7090	0.7685	0.7422
20	0.5742	0.4869	0.5700	0.5897	0.5804
30	0.4217	0.3141	0.4068	0.4480	0.4242
40	0.3156	0.2257	0.2941	0.3506	0.3069
50	0.2530	0.1986	0.2399	0.2910	0.2431
60	0.2278	0.1965	0.2164	0.2507	0.2158
70	0.2099	0.1963	0.2087	0.2269	0.2030
80	0.1993	0.1962	0.2024	0.2080	0.1968
90	0.1972	0.1962	0.2021	0.2022	0.1965
100	0.1972	0.1961	0.2017	0.1986	0.1964

ANEXO 08: Pérdida de peso de hojas durante el secado a 40°C y 0.5 m/s (T4).

t(min)	P1	P2	P3	P4	P5
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10	0.8853	0.8527	0.8830	0.8641	0.8674
20	0.8332	0.7926	0.8364	0.8193	0.8212
30	0.7807	0.7370	0.7983	0.7911	0.7852
40	0.7380	0.6922	0.7629	0.7628	0.7526
50	0.6950	0.6486	0.7261	0.7320	0.7185
60	0.6541	0.6074	0.6900	0.7009	0.6828
70	0.6180	0.5733	0.6589	0.6733	0.6545
80	0.5880	0.5438	0.6310	0.6481	0.6281
90	0.5559	0.5151	0.6037	0.6214	0.6009
100	0.5270	0.4884	0.5730	0.5956	0.5757
110	0.5009	0.4656	0.5528	0.5710	0.5522
120	0.4790	0.4390	0.5307	0.5490	0.5311
130	0.4562	0.4238	0.5082	0.5251	0.5077
140	0.4204	0.4044	0.4933	0.5097	0.4930
150	0.3936	0.3870	0.4725	0.4879	0.4722
160	0.3780	0.3779	0.4586	0.4724	0.4581
170	0.3644	0.3635	0.4406	0.4547	0.4409
180	0.3514	0.3504	0.4255	0.4377	0.4248
190	0.3394	0.3391	0.4123	0.4230	0.4109
200	0.3281	0.3241	0.3985	0.4077	0.3966
210	0.3180	0.3175	0.3865	0.3944	0.3843
220	0.3082	0.3083	0.3749	0.3814	0.3721
230	0.2988	0.2992	0.3637	0.3682	0.3603
240	0.2910	0.2918	0.3540	0.3576	0.3512
250	0.2837	0.2838	0.3437	0.3455	0.3405
260	0.2767	0.2771	0.3345	0.3347	0.3315
270	0.2704	0.2708	0.3265	0.3248	0.3232
280	0.2646	0.2647	0.3187	0.3153	0.3154
290	0.2550	0.2596	0.3112	0.3063	0.3076
300	0.2511	0.2539	0.3051	0.2984	0.3008
310	0.2469	0.2492	0.2978	0.2902	0.2945
320	0.2439	0.2450	0.2920	0.2826	0.2881
330	0.2406	0.2411	0.2869	0.2753	0.2832
340	0.2376	0.2367	0.2813	0.2688	0.2787
350	0.2347	0.2332	0.2771	0.2622	0.2737
360	0.2328	0.2307	0.2726	0.2566	0.2695
370	0.2310	0.2275	0.2689	0.2514	0.2658
380	0.2290	0.2251	0.2658	0.2463	0.2629
390	0.2271	0.2227	0.2622	0.2416	0.2598
400	0.2259	0.2209	0.2596	0.2375	0.2566
410	0.2189	0.2186	0.2567	0.2335	0.2540

420	0.2176	0.2170	0.2550	0.2302	0.2518
430	0.2169	0.2155	0.2530	0.2267	0.2498
440	0.2157	0.2142	0.2503	0.2239	0.2485
450	0.2149	0.2128	0.2487	0.2206	0.2461
460	0.2146	0.2115	0.2484	0.2188	0.2451
470	0.2139	0.2104	0.2468	0.2160	0.2437
480	0.2137	0.2091	0.2450	0.2135	0.2425
490	0.2136	0.2086	0.2448	0.2122	0.2414

ANEXO 09: Pérdida de peso (g) de hojas durante el secado a 50°C y 0.5 m/s (T5).

t(min)	P1	P2	P3	P4	P5
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10	0.7119	0.7779	0.8144	0.8232	0.8064
20	0.5789	0.6537	0.6988	0.6978	0.6981
30	0.4814	0.5571	0.6061	0.5981	0.6105
40	0.4218	0.4963	0.5455	0.5370	0.5466
50	0.3754	0.4464	0.4945	0.4885	0.4964
60	0.3386	0.4043	0.4516	0.4450	0.4520
70	0.3103	0.3702	0.4160	0.4087	0.4180
80	0.2877	0.3424	0.3819	0.3788	0.3898
90	0.2703	0.3194	0.3574	0.3528	0.3643
100	0.2567	0.2980	0.3347	0.3309	0.3426
110	0.2461	0.2814	0.3140	0.3125	0.3242
120	0.2385	0.2684	0.2951	0.2905	0.3085
130	0.2318	0.2582	0.2818	0.2814	0.2958
140	0.2286	0.2502	0.2699	0.2726	0.2861
150	0.2244	0.2449	0.2607	0.2697	0.2778
160	0.2218	0.2350	0.2543	0.2628	0.2704
170	0.2202	0.2351	0.2489	0.2580	0.2653
180	0.2189	0.2334	0.2442	0.2539	0.2609
190	0.2168	0.2301	0.2400	0.2500	0.2566
200	0.2160	0.2279	0.2370	0.2468	0.2529
210	0.2147	0.2263	0.2347	0.2450	0.2510
220	0.2145	0.2260	0.2322	0.2429	0.2487

ANEXO 10: Pérdida de peso (g) de hojas durante el secado a 60°C y 0.5 m/s (T6).

t(min)	P1	P2	P3	P4	P5
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10	0.6808	0.6843	0.7089	0.7364	0.7236
20	0.5387	0.5379	0.5687	0.5930	0.5789
30	0.4349	0.4341	0.4734	0.4888	0.4766
40	0.3375	0.3436	0.3908	0.3960	0.3884
50	0.2779	0.2882	0.3302	0.3299	0.3224
60	0.2453	0.2596	0.2920	0.2923	0.2792
70	0.2264	0.2423	0.2645	0.2663	0.2480
80	0.2192	0.2328	0.2483	0.2513	0.2315
90	0.2149	0.2263	0.2457	0.2466	0.2272
100	0.2101	0.2248	0.2417	0.2458	0.2245
110	0.2094	0.2243	0.2416	0.2456	0.2241

ANEXO 11: ANOVA factorial para RX (razón de humedad)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:VELOCIDAD	0.0162634	1	0.0162634	26.14	0.0000
B:TEMPERATURA	0.00208284	1	0.00208284	3.35	0.0815
AB	0.00198204	1	0.00198204	3.19	0.0887
Error total	0.0130646	21	0.000622125		
Total (corr.)	0.0482689	29			

ANEXO 12: ANOVA factorial para el tiempo de secado

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	456218,	2	228109,	41983,26	0,0000
B:Vel Aire	48240,3	1	48240,3	8878,58	0,0000
INTERACCIONES					
AB	39590,6	2	19795,3	3643,31	0,0000
RESIDUOS	130,4	2	5,43333		
		4			
TOTAL (CORREGIDO)	544179,	2			
		9			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

ANOVA de efectos simples para tiempo

fuentes	Gl	SC	CM	Fc	F critico
A en b1	1	81360.4	81360.4	3698.2	4.3
A en b2	1	6200.1	6200.1	281.8227273	4.3
A en b3	1	270.4	270.4	12.29090909	4.3
B en a1	2	381894.9	190947.467	8679.430303	3.44
B en a2	2	113913.7	56956.8667	2588.948485	3.44
Error	22	3375	160.714		

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Tiempo con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error	Límite	Límite
			Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	30	233,233			
Temperatura					
T40	10	399,8	0,737111	398,279	401,321
T50	10	194,7	0,737111	193,179	196,221
T60	10	105,2	0,737111	103,679	106,721
Vel Aire					
VA1	15	273,333	0,601849	272,091	274,575
VA2	15	193,133	0,601849	191,891	194,375
Temperatura por Vel Aire					
T40,VA1	5	490,0	1,04243	487,849	492,151
T40,VA2	5	309,6	1,04243	307,449	311,751
T50,VA1	5	219,6	1,04243	217,449	221,751
T50,VA2	5	169,8	1,04243	167,649	171,951
T60,VA1	5	110,4	1,04243	108,249	112,551
T60,VA2	5	100,0	1,04243	97,8485	102,151

ANEXO 13: ANOVA factorial para la humedad final de secado

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	0,000158245	2	0,000079122	0,66	0,5235
B:Vel Aire	0,00796744	1	0,007967440	66,96	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,0000697247	2	0,000034862	0,29	0,7487
RESIDUOS	0,00285562	2	0,000118984		
		4			
TOTAL (CORREGIDO)	0,011051	2			
		9			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Humedad con intervalos de confianza del 95,0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
MEDIA GLOBAL	30	0,0459633			
Temperatura					
T40	10	0,04276	0,0034494	0,035640	0,049879
T50	10	0,04803	0,0034494	0,040910	0,055149
T60	10	0,0471	0,0034494	0,039980	0,054219
Vel Aire					
VA1	15	0,06226	0,0028164	0,056447	0,068072
VA2	15	0,029666	0,0028164	0,023853	0,035479
Temperatura por Vel Aire					
T40,VA1	5	0,05772	0,0048782	0,047651	0,067788
T40,VA2	5	0,0278	0,0048782	0,017731	0,037868
T50,VA1	5	0,06646	0,0048782	0,056391	0,076528
T50,VA2	5	0,0296	0,0048782	0,019531	0,039668
T60,VA1	5	0,0626	0,0048782	0,052531	0,072668
T60,VA2	5	0,0316	0,0048782	0,021531	0,041668

ANEXO 14: Pruebas de Múltiple Rangos para RX por TRATAMIENTO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	5	0.00146	a
T2	5	0.00248	a
T3	5	0.00382	a
T4	5	0.03842	b
T6	5	0.04232	b
T5	5	0.04834	b

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2		-0.00102	0.0176494
T1 - T3		-0.00236	0.0176494
T1 - T4	*	-0.03696	0.0176494
T1 - T5	*	-0.04688	0.0176494
T1 - T6	*	-0.04086	0.0176494
T2 - T3		-0.00134	0.0176494
T2 - T4	*	-0.03594	0.0176494
T2 - T5	*	-0.04586	0.0176494
T2 - T6	*	-0.03984	0.0176494
T3 - T4	*	-0.0346	0.0176494
T3 - T5	*	-0.04452	0.0176494
T3 - T6	*	-0.0385	0.0176494
T4 - T5		-0.00992	0.0176494
T4 - T6		-0.0039	0.0176494
T5 - T6		0.00602	0.0176494

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 15: Pruebas de Múltiple Rangos para para la humedad final por TRATAMIENTO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	5	0.0279	a
T2	5	0.02948	a
T3	5	0.0316	a
T4	5	0.05772	b
T6	5	0.0626	b
T5	5	0.06646	b

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2		-0.00158	0.0142327
T1 - T3		-0.0037	0.0142327
T1 - T4	*	-0.02982	0.0142327
T1 - T5	*	-0.03856	0.0142327
T1 - T6	*	-0.0347	0.0142327
T2 - T3		-0.00212	0.0142327
T2 - T4	*	-0.02824	0.0142327
T2 - T5	*	-0.03698	0.0142327
T2 - T6	*	-0.03312	0.0142327
T3 - T4	*	-0.02612	0.0142327
T3 - T5	*	-0.03486	0.0142327
T3 - T6	*	-0.031	0.0142327
T4 - T5		-0.00874	0.0142327
T4 - T6		-0.00488	0.0142327
T5 - T6		0.00386	0.0142327

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 16: Pruebas de Múltiple Rangos de efectos simples para Tiempo
Método: 95.0 porcentaje LSD mediante (t- student)

$$Sd = \sqrt{\frac{2*160.714}{5}} = 8.019 \quad gl= 22 \quad t_{0.05} (22)= 2.074$$

$$DLS = (Sd) t_{0.05} (22) = 8.019* 2.074$$

Interacción	Obs.	media	Grupos homogeneos	Sig .
V1 en T1	5	490	f	*
V1 en T2	5	310	e	*
V2 en T1	5	220	d	*
V2 en T2	5	170	c	*
V3 en T1	5	110	b	*
V3 en T2	5	100	a	*
T1 en V2	5	220	d	*
T1 en V3	5	110	b	*
T1 en V1	5	490	f	*
T2 en V3	5	100	a	*
T2 en V1	5	310	e	*
T2 en V2	5	170	c	*

*indica diferencia mínima significativa

ANEXO 17: Ajuste para la determinación de D_{ef}

A 40°C y 1m/s

Para $n=0$

Model is: $V2=(8/\pi^2)*\exp(-(\pi^2)*D*v1/(4*0.0002724^2))$

Dependent variable: RX Independent variables: 1

Loss function: (OBS-PRED)**2

Final value: .047973018

Proportion of variance accounted for: .975674429 R = .987762334

Para n= 10

Model is: $V2=(8/\pi^2)*((\exp(-(\pi^2)*D*v1/(4*0.000275^2)))+(1/9)*\exp(-9*(\pi^2)*D*v1/(4*0.000275^2)))+(1/25)*\exp(-25*(\pi^2)*D*v1/(...$

Dependent variable: RX Independent variables: 1

Loss function: (OBS-PRED)**2

Final value: .011348794

Proportion of variance accounted for: .994245392 R = .997118545

Desarrollo de calculo de D_{ef} para n=10

Pi		3.142														
n		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
L (m)	0.00027542															
t (seg)	RX,exp	Deff	RX0	RX1	RX2	RX3	RX4	RX5	RX6	RX7	RX8	RX9	RX10	Σ (n=10)	dif^2	ABS
0	1.0000	3.2269E-12	0.81	9.01E-02	3.24E-02	1.65E-02	1.00E-02	6.70E-03	4.80E-03	3.60E-03	2.80E-03	2.25E-03	1.84E-03	0.98	0.0003	0.019
600	0.8395		0.76	5.11E-02	6.72E-03	7.56E-04	6.09E-05	3.28E-06	1.14E-07	2.53E-09	3.49E-11	3.00E-13	1.59E-15	0.82	0.0004	0.024
1200	0.7776		0.71	2.90E-02	1.39E-03	3.45E-05	3.71E-07	1.61E-09	2.73E-12	1.77E-15	4.35E-19	4.01E-23	1.38E-27	0.75	0.0011	0.044
1800	0.7254		0.67	1.64E-02	2.88E-04	1.58E-06	2.26E-09	7.90E-13	6.51E-17	1.24E-21	5.42E-27	5.37E-33	1.20E-39	0.69	0.0014	0.055
2400	0.6799		0.63	9.33E-03	5.97E-05	7.21E-08	1.38E-11	3.87E-16	1.55E-21	8.72E-28	6.76E-35	7.18E-43	1.04E-51	0.64	0.0016	0.063
3000	0.6332		0.59	5.29E-03	1.24E-05	3.29E-09	8.38E-14	1.90E-19	3.71E-26	6.11E-34	8.42E-43	9.60E-53	9.01E-64	0.60	0.0013	0.061
3600	0.5873		0.56	3.00E-03	2.56E-06	1.50E-10	5.10E-16	9.31E-23	8.84E-31	4.29E-40	1.05E-50	1.28E-62	7.81E-76	0.56	0.0008	0.052
4200	0.5484		0.52	1.70E-03	5.30E-07	6.87E-12	3.11E-18	4.56E-26	2.11E-35	3.01E-46	1.31E-58	1.72E-72	6.77E-88	0.52	0.0006	0.048
4800	0.5140		0.49	9.67E-04	1.10E-07	3.14E-13	1.89E-20	2.24E-29	5.03E-40	2.11E-52	1.63E-66	2.29E-82	5.87E-100	0.49	0.0005	0.047
5400	0.4787		0.46	5.48E-04	2.27E-08	1.43E-14	1.15E-22	1.10E-32	1.20E-44	1.48E-58	2.03E-74	3.07E-92	5.09E-112	0.46	0.0003	0.040
6000	0.4447		0.43	3.11E-04	4.71E-09	6.55E-16	7.01E-25	5.38E-36	2.87E-49	1.04E-64	2.53E-82	4.10E-102	4.42E-124	0.43	0.0002	0.029
6600	0.4157		0.41	1.77E-04	9.76E-10	2.99E-17	4.27E-27	2.64E-39	6.84E-54	7.28E-71	3.15E-90	5.48E-112	3.83E-136	0.41	0.0001	0.025
7200	0.3875		0.38	1.00E-04	2.02E-10	1.37E-18	2.60E-29	1.29E-42	1.63E-58	5.11E-77	3.92E-98	7.33E-122	3.32E-148	0.38	0.0000	0.017
7800	0.3608		0.36	5.68E-05	4.18E-11	6.25E-20	1.58E-31	6.34E-46	3.89E-63	3.58E-83	4.89E-106	9.81E-132	2.88E-160	0.36	0.0000	0.009
8400	0.3359		0.34	3.22E-05	8.67E-12	2.85E-21	9.64E-34	3.11E-49	9.28E-68	2.51E-89	6.09E-114	1.31E-141	2.50E-172	0.34	0.0000	0.001
9000	0.3092		0.32	1.83E-05	1.80E-12	1.30E-22	5.87E-36	1.53E-52	2.21E-72	1.76E-95	7.58E-122	1.75E-151	2.16E-184	0.32	0.0000	0.019
9600	0.2923		0.30	1.04E-05	3.72E-13	5.96E-24	3.57E-38	7.48E-56	5.28E-77	1.24E-101	9.45E-130	2.34E-161	1.88E-196	0.30	0.0000	0.012
10200	0.2723		0.28	5.89E-06	7.70E-14	2.72E-25	2.18E-40	3.67E-59	1.26E-81	8.67E-108	1.18E-137	3.13E-171	1.63E-208	0.28	0.0000	0.020
10800	0.2539		0.26	3.34E-06	1.59E-14	1.24E-26	1.32E-42	1.80E-62	3.01E-86	6.08E-114	1.47E-145	4.19E-181	1.41E-220	0.26	0.0000	0.027
11400	0.2377		0.24	1.89E-06	3.30E-15	5.68E-28	8.07E-45	8.82E-66	7.17E-91	4.26E-120	1.83E-153	5.60E-191	1.22E-232	0.24	0.0001	0.030
12000	0.2205		0.23	1.07E-06	6.84E-16	2.60E-29	4.91E-47	4.32E-69	1.71E-95	2.99E-126	2.28E-161	7.49E-201	1.06E-244	0.23	0.0001	0.042
12600	0.2070		0.22	6.10E-07	1.42E-16	1.19E-30	2.99E-49	2.12E-72	4.08E-100	2.10E-132	2.84E-169	1.00E-210	9.20E-257	0.22	0.0001	0.042
13200	0.1932		0.20	3.46E-07	2.94E-17	5.42E-32	1.82E-51	1.04E-75	9.74E-105	1.47E-138	3.53E-177	1.34E-220	7.98E-269	0.20	0.0001	0.048
13800	0.1796		0.19	1.96E-07	6.08E-18	2.48E-33	1.11E-53	5.10E-79	2.32E-109	1.03E-144	4.40E-185	1.79E-230	6.92E-281	0.19	0.0001	0.057
14400	0.1685		0.18	1.11E-07	1.26E-18	1.13E-34	6.75E-56	2.50E-82	5.55E-114	7.23E-151	5.48E-193	2.40E-240	6.00E-293	0.18	0.0001	0.057
15000	0.1566		0.17	6.32E-08	2.61E-19	5.17E-36	4.11E-58	1.23E-85	1.32E-118	5.07E-157	6.83E-201	3.20E-250	5.20E-305	0.17	0.0001	0.067
15600	0.1460		0.16	3.58E-08	5.40E-20	2.36E-37	2.50E-60	6.01E-89	3.16E-123	3.56E-163	8.51E-209	4.28E-260	0.00E+00	0.16	0.0001	0.074
16200	0.1364		0.15	2.03E-08	1.12E-20	1.08E-38	1.52E-62	2.95E-92	7.53E-128	2.50E-169	1.06E-216	5.73E-270	0.00E+00	0.15	0.0001	0.079
16800	0.1272		0.14	1.15E-08	2.32E-21	4.93E-40	9.28E-65	1.44E-95	1.80E-132	1.75E-175	1.32E-224	7.66E-280	0.00E+00	0.14	0.0001	0.085
17400	0.1175		0.13	6.54E-09	4.80E-22	2.25E-41	5.65E-67	7.08E-99	4.29E-137	1.23E-181	1.65E-232	1.02E-289	0.00E+00	0.13	0.0002	0.100
18000	0.1100		0.12	3.71E-09	9.94E-23	1.03E-42	3.44E-69	3.47E-102	1.02E-141	8.61E-188	2.05E-240	1.37E-299	0.00E+00	0.12	0.0002	0.102
18600	0.1024		0.12	2.11E-09	2.06E-23	4.70E-44	2.09E-71	1.70E-105	2.44E-146	6.04E-194	2.55E-248	0.00E+00	0.00E+00	0.12	0.0002	0.110
19200	0.0957		0.11	1.19E-09	4.26E-24	2.15E-45	1.28E-73	8.35E-109	5.82E-151	4.24E-200	3.18E-256	0.00E+00	0.00E+00	0.11	0.0002	0.114
19800	0.0896		0.10	6.78E-10	8.83E-25	9.81E-47	7.77E-76	4.09E-112	1.39E-155	2.97E-206	3.97E-264	0.00E+00	0.00E+00	0.10	0.0001	0.117
20400	0.0837		0.10	3.85E-10	1.83E-25	4.48E-48	4.73E-78	2.01E-115	3.31E-160	2.08E-212	4.94E-272	0.00E+00	0.00E+00	0.10	0.0001	0.122
21000	0.0781		0.09	2.18E-10	3.79E-26	2.05E-49	2.88E-80	9.84E-119	7.90E-165	1.46E-218	6.15E-280	0.00E+00	0.00E+00	0.09	0.0001	0.126
21600	0.0735		0.08	1.24E-10	7.85E-27	9.35E-51	1.75E-82	4.83E-122	1.89E-169	1.03E-224	7.67E-288	0.00E+00	0.00E+00	0.08	0.0001	0.124
22200	0.0692		0.08	7.02E-11	1.63E-27	4.27E-52	1.07E-84	2.37E-125	4.50E-174	7.19E-231	9.55E-296	0.00E+00	0.00E+00	0.08	0.0001	0.123
22800	0.0653		0.07	3.98E-11	3.37E-28	1.95E-53	6.50E-87	1.16E-128	1.07E-178	5.04E-237	1.19E-303	0.00E+00	0.00E+00	0.07	0.0001	0.118
23400	0.0614		0.07	2.26E-11	6.97E-29	8.92E-55	3.96E-89	5.69E-132	2.56E-183	3.54E-243	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.07	0.0001	0.117
24000	0.0582		0.07	1.28E-11	1.44E-29	4.07E-56	2.41E-91	2.79E-135	6.11E-188	2.48E-249	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.07	0.0000	0.108
24600	0.0535		0.06	7.28E-12	2.99E-30	1.86E-57	1.47E-93	1.37E-138	1.46E-192	1.74E-255	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.06	0.0001	0.127
25200	0.0510		0.06	4.13E-12	6.19E-31	8.50E-59	8.93E-96	6.71E-142	3.48E-197	1.22E-261	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.06	0.0000	0.113
25800	0.0487		0.05	2.34E-12	1.28E-31	3.88E-60	5.44E-98	3.29E-145	8.29E-202	8.56E-268	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.05	0.0000	0.099
26400	0.0464		0.05	1.33E-12	2.66E-32	1.77E-61	3.31E-100	1.61E-148	1.98E-206	6.00E-274	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.05	0.0000	0.086
27000	0.0440		0.05	7.54E-13	5.50E-33	8.11E-63	2.02E-102	7.91E-152	4.72E-211	4.21E-280	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.05	0.0000	0.076
27600	0.0428		0.04	4.28E-13	1.14E-33	3.70E-64	1.23E-104	3.88E-155	1.13E-215	2.95E-286	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.04	0.0000	0.043
28200	0.0410		0.04	2.43E-13	2.36E-34	1.69E-65	7.48E-107	1.90E-158	2.69E-220	2.07E-292	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.04	0.0000	0.025
28800	0.0392		0.04	1.38E-13	4.89E-35	7.73E-67	4.55E-109	9.32E-162	6.41E-225	1.45E-298	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.04	0.0000	0.005
29400	0.0384		0.04	7.81E-14	1.01E-35	3.53E-68	2.77E-111	4.57E-165	1.53E-229	1.02E-304	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.04	0.0000	0.038
R2		0.996													0.0116	3.184
%E		6.3671														

ANEXO 18: ANOVA factorial para D_{ef}

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	p-value
EFFECTOS PRINCIPALES				
A:T	0.000	2	0.00	0.0000
B:V	0.000	1	0.00	0.0000
A.B	0.000	2	0.00	0.0000
RESIDUOS	0.000	24	0.00	0.0000
TOTAL (CORREGIDO)	0.000	29		

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Difusividad con intervalos de confianza del 95,0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
MEDIA GLOBAL	30	1,15127E-11			
Temperatura					
T40	10	4,94465E-12	0	4,94465E-12	4,94465E-12
T50	10	1,21645E-11	0	1,21645E-11	1,21645E-11
T60	10	1,7429E-11	0	1,7429E-11	1,7429E-11
Vel Aire					
VA1	15	9,13952E-12	0	9,13952E-12	9,13952E-12
VA2	15	1,38859E-11	0	1,38859E-11	1,38859E-11
Temperatura por Vel Aire					
T40,VA1	5	3,15821E-12	0	3,15821E-12	3,15821E-12
T40,VA2	5	6,73109E-12	0	6,73109E-12	6,73109E-12
T50,VA1	5	8,48207E-12	0	8,48207E-12	8,48207E-12
T50,VA2	5	1,5847E-11	0	1,5847E-11	1,5847E-11
T60,VA1	5	1,57783E-11	0	1,57783E-11	1,57783E-11
T60,VA2	5	1,90797E-11	0	1,90797E-11	1,90797E-11

ANEXO 19: Pruebas de Múltiple Rangos para Def por TRATAMIENTO
 Pruebas de Múltiple Rangos para Def por Tratamiento
 Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4	5	3.2269E-12	d
T1	5	6.8598E-12	a
T5	5	8.6687E-12	e
T2	5	1.5668E-11	b
T6	5	1.6094E-11	f
T3	5	1.9421E-11	c

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2	*	-8.8082E-12	0.0
T1 - T3	*	-1.25612E-11	0.0
T1 - T4	*	3.6329E-12	0.0
T1 - T5	*	-1.8089E-12	0.0
T1 - T6	*	-9.2342E-12	0.0
T2 - T3	*	-3.753E-12	0.0
T2 - T4	*	1.24411E-11	0.0
T2 - T5	*	6.9993E-12	0.0
T2 - T6	*	0.06755E-11	0.0
T3 - T4	*	1.61941E-11	0.0
T3 - T5	*	1.07523E-11	0.0
T3 - T6	*	3.3271E-12	0.0
T4 - T5	*	-5.4418E-12	0.0
T4 - T6	*	-1.28671E-11	0.0
T5 - T6	*	-7.4253E-12	0.0

*indica una diferencia significativa

ANEXO 20: ANOVA factorial para ΔE^*_{ab}

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	ValorP
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:T	375.794	2	187.897	840.68	0.0000
B:V	1.72361	1	1.72361	7.71	0.0167
INTERACCIONES					
AB	1.15208	2	0.576039	2.58	0.1172
RESIDUOS	2.68207	12	0.223506		
TOTAL (CORREGIDO)	381.352	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

ANEXO 21: Pruebas de Múltiple Rangos para ΔE^*_{ab} por tratamiento
Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	3	7.90667	a
T4	3	8.88667	b
T5	3	12.3333	c
T2	3	12.43	c
T3	3	18.96	d
T6	3	19.9333	e

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2	*	-4.52333	0.841045
T1 - T3	*	-11.0533	0.841045
T1 - T4	*	-0.98	0.841045
T1 - T5	*	-4.42667	0.841045
T1 - T6	*	-12.0267	0.841045
T2 - T3	*	-6.53	0.841045
T2 - T4	*	3.54333	0.841045
T2 - T5		0.0966667	0.841045
T2 - T6	*	-7.50333	0.841045
T3 - T4	*	10.0733	0.841045
T3 - T5	*	6.62667	0.841045
T3 - T6	*	-0.973333	0.841045
T4 - T5	*	-3.44667	0.841045
T4 - T6	*	-11.0467	0.841045
T5 - T6	*	-7.6	0.841045

ANEXO 22: Datos reales del atributo Olor

N°	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	4005	5005	6005	4010	5010	6010
1	4	4	3	5	3	4
2	2	3	2	3	4	4
3	4	2	3	5	4	1
4	4	3	3	5	4	2
5	3	4	2	4	3	2
6	4	3	5	3	4	3
7	4	3	3	4	4	2
8	4	3	4	5	5	3
9	2	5	2	4	4	2
10	3	5	2	4	4	3
11	3	4	4	4	3	3
12	3	4	5	4	5	3
13	4	5	3	4	5	3
14	3	3	4	3	3	4
15	5	2	4	4	4	3
16	4	2	2	3	4	4
17	4	5	4	5	5	3
18	4	3	2	3	3	3
19	3	4	3	4	4	3
20	4	4	3	3	3	3
21	4	3	3	4	4	4
22	4	3	3	4	4	4
23	4	3	3	4	3	3
24	3	3	3	3	4	4
25	2	2	4	4	4	4
26	4	2	4	3	4	3
27	4	4	3	5	3	3
28	3	4	4	4	4	4
29	4	3	3	3	4	3
30	3	5	2	4	4	4
31	3	5	4	3	3	3
32	5	5	2	4	3	4
33	4	4	3	3	4	4
34	4	4	3	4	3	5
35	4	5	3	4	5	4
36	3	3	3	3	4	4
37	4	4	3	4	5	4
38	4	3	3	4	3	3
39	4	5	2	3	4	4
40	4	3	4	4	3	3
41	4	4	1	4	5	3
42	3	3	2	5	5	3
43	4	3	4	4	3	3
44	3	2	1	5	3	2
45	3	4	4	3	4	2
46	5	4	3	4	4	2
47	4	3	2	5	3	3
48	4	5	4	4	3	3
49	4	5	2	4	4	3
50	5	4	1	4	4	3

ANEXO 23: Dato del atributo Olo ranqueados (R)

N°	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	4005	5005	6005	4010	5010	6010
1	4.0	4	1.5	6.0	1.5	4
2	1.5	3.5	1.5	3.5	5.5	5.5
3	4.5	2.0	3.0	6	4.5	1
4	4.5	2.5	2.5	6	4.5	1
5	3.5	5.5	1.5	5.5	3.5	1.5
6	4.5	2	6	2	4.5	2
7	5.0	2.5	2.5	5	5	1
8	3.5	1.5	1.5	5.5	5.5	3.5
9	2	6	2	4.5	4.5	2
10	2.5	6	1	4.5	4.5	2.5
11	2	5	5	5	2	2
12	1.5	3.5	5.5	3.5	5.5	1.5
13	3.5	5.5	1.5	3.5	5.5	1.5
14	2.5	2.5	5.5	2.5	2.5	5.5
15	6	1	4	4	4	2
16	5	1.5	1.5	3	5	5
17	2.5	5	2.5	5	5	1
18	6	3.5	1	3.5	3.5	3.5
19	5	2	2	5	5	2
20	5.5	5.5	2.5	2.5	2.5	2.5
21	4.5	1.5	1.5	4.5	4.5	4.5
22	5.5	2.5	2.5	5.5	2.5	2.5
23	5.5	2.5	2.5	5.5	2.5	2.5
24	2.5	2.5	2.5	2.5	5.5	5.5
25	1.5	1.5	4.5	4.5	4.5	4.5
26	5	1	5	2.5	5	2.5
27	4.5	4.5	2	6	2	2
28	1	4	4	4	4	4
29	5.5	2.5	2.5	2.5	5.5	2.5
30	2	6	1	4	4	4
31	2.5	6	5	2.5	2.5	2.5
32	5.5	5.5	1	3.5	2	3.5
33	4.5	4.5	1.5	1.5	4.5	4.5
34	4	4	1.5	4	1.5	6
35	3	5.5	1	3	5.5	3
36	2.5	2.5	2.5	2.5	5.5	5.5
37	3.5	3.5	1	3.5	6	3.5
38	5.5	2.5	2.5	5.5	2.5	2.5
39	4	6	1	2	4	4
40	5	2	5	5	2	2
41	4	4	1	4	6	2
42	3	3	1	5.5	5.5	3
43	5	2	5	5	2	2
44	4.5	2.5	1	6	4.5	2.5
45	2.5	5	5	2.5	5	1
46	6	4	2	4	4	1
47	5	3	1	6	3	3
48	4	6	4	4	1.5	1.5
49	4	6	1	4	4	2
50	6	4	1	4	4	2

ANEXO 24: Test Friedman y Pruebas de Múltiple Rangos LSD, para el Olor
Prueba de Friedman

	Tamaño de Muestra	Rango Promedio
T1	50	3.93
T2	50	3.61
T3	50	2.52
T4	50	4.11
T5	50	3.99
T6	50	2.84

Estadístico = 38.6606 Valor-P = 2.77928E-7

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Grupos Homogéneos</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	
T3	50	2.52	a
T6	50	2.84	a
T2	50	3.61	b
T1	50	3.93	b
T5	50	3.99	b
T4	50	4.11	b

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		0.32	0.563588
T1 - T3	*	1.41	0.563588
T1 - T4		-0.18	0.563588
T1 - T5		-0.06	0.563588
T1 - T6	*	1.09	0.563588
T2 - T3	*	1.09	0.563588
T2 - T4		-0.5	0.563588
T2 - T5		-0.38	0.563588
T2 - T6	*	0.77	0.563588
T3 - T4	*	-1.59	0.563588
T3 - T5	*	-1.47	0.563588
T3 - T6		-0.32	0.563588
T4 - T5		0.12	0.563588
T4 - T6	*	1.27	0.563588
T5 - T6	*	1.15	0.563588

*indica una diferencia significativa.

ANEXO 25: Datos reales del atributo Color (T)

N°	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	4005	5005	6005	4010	5010	6010
1	4	4	4	4	4	4
2	3	3	3	4	3	4
3	4	3	2	5	4	2
4	4	4	3	4	3	2
5	3	3	3	4	4	4
6	3	4	4	5	4	3
7	5	4	3	5	3	3
8	4	3	2	4	4	4
9	3	5	1	4	2	1
10	3	4	3	5	4	3
11	5	4	3	2	4	2
12	3	5	4	3	3	4
13	4	4	4	3	4	3
14	3	4	3	4	4	3
15	4	3	3	4	2	3
16	4	3	3	4	4	4
17	3	3	2	2	4	4
18	5	4	3	3	3	4
19	4	4	2	3	3	3
20	4	4	2	2	4	3
21	4	3	4	5	3	2
22	4	2	3	3	3	4
23	4	2	3	5	4	3
24	5	2	4	4	4	3
25	4	3	4	3	3	4
26	4	4	3	2	4	3
27	5	4	3	3	4	3
28	4	3	2	2	4	4
29	4	3	3	3	3	3
30	3	4	2	2	3	3
31	3	5	4	3	4	3
32	4	4	3	3	4	2
33	4	4	2	3	4	4
34	3	5	2	4	4	3
35	3	4	4	3	2	3
36	3	4	3	5	4	4
37	4	3	3	4	4	3
38	3	3	4	3	3	3
39	4	3	4	2	4	4
40	3	4	3	3	4	2
41	5	4	3	4	4	2
42	4	2	4	4	4	4
43	4	3	3	4	3	3
44	3	4	3	4	4	3
45	3	4	2	5	3	4
46	4	3	3	5	3	1
47	4	3	2	4	3	3
48	3	4	4	4	3	2
49	3	5	3	4	4	4
50	4	3	1	3	4	3

ANEXO 26: Datos del atributo Color Ranqueados (R)

N°	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	4005	5005	6005	4010	5010	6010
1	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
2	2.5	2.5	2.5	5.5	2.5	5.5
3	3.5	5	3.5	1.5	6	1.5
4	5	5	2.5	5	2.5	1
5	2	2	2	5	5	5
6	1.5	4	4	6	4	1.5
7	5.5	4	2	5.5	2	2
8	4.5	2	1	4.5	4.5	4.5
9	4	6	1.5	5	3	1.5
10	2	4.5	2	6	4.5	2
11	6	4.5	3	1.5	4.5	1.5
12	2	6	4.5	2	2	4.5
13	4.5	4.5	4.5	1.5	4.5	1.5
14	5	2	5	2	2	5
15	5.5	3	3	5.5	1	3
16	4.5	1.5	1.5	4.5	4.5	4.5
17	3.5	3.5	1.5	1.5	5.5	5.5
18	6	4.5	2	2	2	4.5
19	3	3	1	2	2	2
20	3	3	1	1	3	2
21	3	2	3	4	2	1
22	3	1	2	2	2	3
23	3	1	2	4	3	2
24	4	1	3	3	3	2
25	5	2	5	2	2	5
26	5	5	2.5	1	5	2.5
27	6	4.5	2	2	4.5	2
28	5	3	1.5	1.5	5	5
29	6	3	3	3	3	3
30	4	6	1.5	1.5	4	4
31	2	6	4.5	2	4.5	2
32	5	5	2.5	2.5	5	1
33	4.5	4.5	1	2	4.5	4.5
34	2.5	6	1	4.5	4.5	2.5
35	3	5.5	5.5	3	1	3
36	1.5	4	1.5	6	4	4
37	5	2	2	5	5	2
38	3	3	6	3	3	3
39	4.5	2	4.5	1	4.5	4.5
40	3	5.5	3	3	5.5	1
41	6	4	2	4	4	1
42	4	1	4	4	4	4
43	5.5	2.5	2.5	5.5	2.5	2.5
44	2	5	2	5	5	2
45	2.5	4.5	1	6	2.5	4.5
46	5	3	3	6	3	1
47	5.5	3	1	5.5	3	3
48	2.5	5	5	5	2.5	1
49	1.5	6	1.5	4	4	4
50	5.5	3	1	3	5.5	3

ANEXO 27: Test Friedman y Pruebas de Múltiple Rangos LSD, para el Color

Prueba de Friedman		
	Tamaño de Muestra	Rango Promedio
T1	50	4.14
T2	50	3.76
T3	50	2.72
T4	50	3.65
T5	50	3.73
T6	50	3.00

Estadístico = 25.2325 Valor-P = 0.000125646

Método: 95.0 porcentaje LSD			
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3	50	2.63	a
T6	50	2.90	a
T4	50	3.50	b
T5	50	3.59	b
T2	50	3.66	b
T1	50	3.90	b

<u>Contraste</u>	<u>Sig.</u>	<u>Diferencia</u>	<u>+/- Límites</u>
T1 - T2		0.24	0.569277
T1 - T3	*	1.27	0.569277
T1 - T4		0.4	0.569277
T1 - T5		0.31	0.569277
T1 - T6	*	1.0	0.569277
T2 - T3	*	1.03	0.569277
T2 - T4		0.16	0.569277
T2 - T5		0.07	0.569277
T2 - T6	*	0.76	0.569277
T3 - T4	*	-0.87	0.569277
T3 - T5	*	-0.96	0.569277
T3 - T6		-0.27	0.569277
T4 - T5		-0.09	0.569277
T4 - T6	*	0.6	0.569277
T5 - T6	*	0.69	0.569277

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 28 : Datos del atributo Sabor

N°	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	4005	5005	6005	4010	5010	6010
	3	3	3	5	4	3
2	5	3	2	4	4	3
3	4	3	2	4	5	3
4	3	4	3	4	3	3
5	3	3	4	3	2	4
6	3	4	2	3	3	3
7	3	3	2	3	2	3
8	3	4	3	3	4	2
9	4	5	2	4	5	2
10	4	5	3	2	3	1
11	3	4	4	3	3	2
12	5	4	4	4	4	4
13	3	5	3	4	3	2
14	4	3	2	5	4	2
15	4	4	2	4	5	3
16	2	3	3	3	4	2
17	3	3	2	3	5	3
18	4	3	3	4	5	2
19	3	4	1	4	4	3
20	3	2	2	3	3	2
21	4	3	2	4	4	3
22	2	4	2	4	3	2
23	4	3	3	5	4	2
24	4	4	2	4	4	2
25	3	3	1	3	3	3
26	3	5	3	3	4	2
27	4	4	3	4	3	2
28	4	3	3	3	3	3
29	3	3	2	5	2	2
30	4	4	2	4	4	2
31	3	5	1	3	4	2
32	4	5	2	4	5	3
33	3	4	1	3	3	2
34	3	3	2	5	4	2
35	4	5	2	3	5	2
36	3	3	2	3	4	3
37	2	4	1	5	3	3
38	4	3	2	3	4	1
39	3	3	2	3	4	3
40	2	3	3	4	5	3
41	3	4	3	4	3	3
42	4	4	1	4	3	4
43	3	2	3	4	4	3
44	4	5	3	3	4	4
45	2	4	3	3	5	2
46	2	3	2	3	4	1
47	4	3	2	3	5	1
48	3	4	1	4	4	2
49	4	5	3	3	3	4
50	2	3	2	3	4	2

ANEXO 29 : Datos del atributo Sabor Ranqueados

N°	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	4005	5005	6005	4010	5010	6010
1	2.5	2.5	2.5	6	5	2.5
2	6	2.5	1	4.5	4.5	2.5
3	4.5	2.5	1	4.5	6	2.5
4	2.5	5.5	2.5	5.5	2.5	2.5
5	2.5	5	5	2.5	1	5
6	3.5	6	1	3.5	3.5	3.5
7	4.5	4.5	1.5	4.5	1.5	4.5
8	3	5.5	3	3	5.5	1
9	3.5	5.5	1.5	3.5	5.5	1.5
10	5	6	3.5	2	3.5	1
11	3	5.5	5.5	3	3	1
12	6	3	3	3	3	3
13	3	6	3	5	3	1
14	4.5	3	1.5	6	4.5	1.5
15	4	4	1	4	6	2
16	1.5	4	4	4	6	1.5
17	3.5	3.5	1	3.5	6	3.5
18	4.5	2.5	2.5	4.5	6	1
19	2.5	5	1	5	5	2.5
20	5	2	2	5	5	2
21	5	2.5	1	5	5	2.5
22	1.5	5	1.5	5	5	3
23	4.5	2.5	2.5	6	4.5	1
24	4.5	4.5	1.5	4.5	4.5	1.5
25	4	4	1	4	4	4
26	3	6	3	3	5	1
27	5	5	2.5	5	2.5	1
28	6	3	3	3	3	3
29	4.5	4.5	2.5	6	2.5	1
30	4.5	4.5	1.5	4.5	4.5	1.5
31	3.5	6	1	3.5	5	2
32	3.5	5.5	1	3.5	5.5	2
33	4	6	1	4	4	2
34	3.5	3.5	1.5	6	5	1.5
35	4	5.5	1.5	3	5.5	1.5
36	2	2	1	2	3	2
37	2	5	1	6	3.5	3.5
38	5.5	3.5	2	3.5	5.5	1
39	3.5	3.5	1	3.5	6	3.5
40	1	3	3	5	6	3
41	2.5	5.5	2.5	5.5	2.5	2.5
42	4.5	4.5	1	4.5	2	4.5
43	3	1	3	5.5	5.5	3
44	4	6	1.5	1.5	4	4
45	1.5	5	3.5	3.5	6	1.5
46	2.5	4.5	2.5	4.5	6	1
47	5	3.5	2	3.5	6	1
48	3	5	1	5	5	2
49	4.5	6	2	2	2	4.5
50	2	4.5	2	4.5	6	2

ANEXO 30 : Test Friedman y Pruebas de Múltiple Rangos LSD, para el Sabor

Prueba de Friedman		
	Tamaño de Muestra	Rango Promedio
T1	50	3.68
T2	50	4.32
T3	50	2.04
T4	50	4.2
T5	50	4.47
T6	50	2.29

Estadístico = 98.6811 Valor-P = 0.00

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3	50	2.04	a
T6	50	2.26	a
T1	50	3.65	b
T4	50	4.17	c
T2	50	4.29	c
T5	50	4.41	c

<u>Contraste</u>	<u>Sig.</u>	<u>Diferencia</u>	<u>+/- Límites</u>
T1 - T2	*	-0.64	0.486624
T1 - T3	*	1.61	0.486624
T1 - T4	*	-0.52	0.486624
T1 - T5	*	-0.76	0.486624
T1 - T6	*	1.39	0.486624
T2 - T3	*	2.25	0.486624
T2 - T4		0.12	0.486624
T2 - T5		-0.12	0.486624
T2 - T6	*	2.03	0.486624
T3 - T4	*	-2.13	0.486624
T3 - T5	*	-2.37	0.486624
T3 - T6		-0.22	0.486624
T4 - T5		-0.24	0.486624
T4 - T6	*	1.91	0.486624
T5 - T6	*	2.15	0.486624

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 31: Datos del atributo Apariencia

N°	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	4005	5005	6005	4010	5010	6010
1	4	4	4	4	4	4
2	4	4	2	3	3	3
3	3	2	2	5	3	2
4	4	4	3	3	2	3
5	5	3	2	4	4	3
6	4	3	5	4	3	2
7	4	3	1	4	2	2
8	3	4	3	3	3	3
9	4	5	1	4	2	2
10	4	4	1	3	4	1
11	4	4	3	3	3	2
12	4	5	5	4	3	4
13	5	4	5	4	4	3
14	5	4	3	3	3	3
15	3	3	2	3	4	3
16	3	3	4	3	4	3
17	4	3	3	3	3	3
18	3	4	2	4	5	3
19	5	5	1	4	3	3
20	4	5	3	3	4	2
21	3	4	4	4	3	2
22	4	4	3	3	4	3
23	3	4	3	4	3	3
24	4	4	2	3	5	3
25	3	4	2	3	5	3
26	3	4	1	4	3	2
27	3	4	1	4	4	3
28	4	3	1	3	3	3
29	4	4	4	3	5	2
30	4	3	3	3	3	3
31	3	5	3	4	4	4
32	4	4	2	4	3	3
33	4	4	1	3	4	3
34	4	5	3	4	3	3
35	3	4	4	3	4	3
36	4	4	3	4	3	3
37	4	3	3	3	3	2
38	3	5	2	3	4	2
39	4	3	2	4	5	3
40	3	3	1	4	4	2
41	3	3	1	3	3	3
42	4	4	2	4	4	3
43	4	4	1	3	4	4
44	4	4	1	4	3	2
45	4	4	1	4	2	3
46	5	3	4	3	5	2
47	3	4	3	3	3	3
48	4	3	3	2	3	2
49	4	5	2	3	4	4
50	3	3	1	3	5	3

ANEXO 32: Datos del atributo Apariencia ranqueados

N°	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
2	5.5	5.5	1	3	3	3
3	4.5	2	2	6	4.5	2
4	5.5	5.5	3	3	1	3
5	6	2.5	1	4.5	4.5	2.5
6	4.5	2.5	6	4.5	2.5	1
7	5.5	4	1	5.5	2.5	2.5
8	3	6	3	3	3	3
9	4.5	6	1	4.5	2.5	2.5
10	5	5	1.5	3	5	1.5
11	5.5	5.5	3	3	3	1
12	3	5.5	5.5	3	1	3
13	5.5	3	5.5	3	3	1
14	6	5	2.5	2.5	2.5	2.5
15	4	4	1.5	4	6	1.5
16	2.5	2.5	5.5	2.5	5.5	2.5
17	6	3	3	3	3	3
18	2.5	4.5	1	4.5	6	2.5
19	5.5	5.5	1	4	2.5	2.5
20	4.5	6	2.5	2.5	4.5	1
21	2.5	5	5	5	2.5	1
22	5	5	2	2	5	2
23	2.5	5.5	2.5	5.5	2.5	2.5
24	4.5	4.5	1	2.5	6	2.5
25	3	5	1	3	6	3
26	3.5	5.5	1	5.5	3.5	2
27	2.5	5	1	5	5	2.5
28	6	3.5	1	3.5	3.5	3.5
29	4	4	4	2	6	1
30	6	3	3	3	3	3
31	1.5	6	1.5	4	4	4
32	5	5	1	5	2.5	2.5
33	5	5	1	2.5	5	2.5
34	4.5	6	2	4.5	2	2
35	2	5	5	2	5	2
36	5	5	2	5	2	2
37	6	3.5	3.5	3.5	3.5	1
38	3.5	6	1.5	3.5	5	1.5
39	4.5	2.5	1	4.5	6	2.5
40	3.5	3.5	1	5.5	5.5	2
41	4	4	1	4	4	4
42	4.5	4.5	1	4.5	4.5	2
43	4.5	4.5	1	2	4.5	4.5
44	5	5	1	5	3	2
45	5	5	1	5	2	3
46	5.5	2.5	4	2.5	5.5	1
47	1	4	4	4	4	4
48	6	4	4	1.5	4	1.5
49	4	6	1	2	4	4
50	3.5	3.5	1	3.5	6	3.5

ANEXO 33: Test Friedman y Pruebas de Múltiple Rangos LSD, para la Apariencia

Prueba de Friedman		
Tamaño de Muestra		Rango Promedio
T1	50	4.31
T2	50	4.47
T3	50	2.28
T4	50	3.67
T5	50	3.88
T6	50	2.39

Estadístico = 80.8862 Valor-P = 0,00

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3	50	2.28	a
T6	50	2.39	a
T4	50	3.67	b
T5	50	3.88	bc
T1	50	4.31	cd
T2	50	4.47	d

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2		-0.16	0.497389
T1 - T3	*	2.03	0.497389
T1 - T4	*	0.64	0.497389
T1 - T5		0.43	0.497389
T1 - T6	*	1.92	0.497389
T2 - T3	*	2.19	0.497389
T2 - T4	*	0.8	0.497389
T2 - T5	*	0.59	0.497389
T2 - T6	*	2.08	0.497389
T3 - T4	*	-1.39	0.497389
T3 - T5	*	-1.6	0.497389
T3 - T6		-0.11	0.497389
T4 - T5		-0.21	0.497389
T4 - T6	*	1.28	0.497389
T5 - T6	*	1.49	0.497389

*indica una diferencia significativa.

Anexo 34: Sustancias químicas y sus ecuaciones para obtener a_w a la temperatura deseada (en Kelvin)

Nomenclatura	Sustancia química	Ecuación de regresión	Pureza	Fuente
Cloruro de Litio	LiCl	$\ln a_w = (500.95/T) - 3.85; R^2 = 0.998$	99.14%	Labuza <i>et al.</i> , 1985
Acetato de Potasio	KC ₂ H ₃ O ₂	$\ln a_w = (961.39/T) - 4.33; R^2 = 0.98$	99.0%	Labuza <i>et al.</i> , 1985
Cloruro de Magnesio	MgCl	$a_w = 0.365 - 2.532 \times 10^{-3}T + 5.071 \times 10^{-5}T^2 - 4.166 \times 10^{-7}T^3; R^2 = 0.963$	99.9%	Labuza <i>et al.</i> , 1985
Nitrato de Magnesio	Mg(NO ₃) ₂	$\ln a_w = (356.60/T) - 1.82; R^2 = 0.99$	99.8%	Labuza <i>et al.</i> , 1985
Yoduro de Potasio	KI	$\ln a_w = (255.90/T) - 1.23; R^2 = 1.00$	99.5%	Labuza <i>et al.</i> , 1985
Cloruro de Sodio	NaCl	$\ln a_w = (228.92/T) - 1.04; R^2 = 0.96$	100.0%	Labuza <i>et al.</i> , 1985
Cloruro de Potasio	KCl	$\ln a_w = (367.58/T) - 1.39; R^2 = 0.97$	100.0%	Labuza <i>et al.</i> , 1985
Cloruro de Bario	BaCl ₂	$a_w = 0.908 - 4.011 \times 10^{-4}T + 2.786 \times 10^{-5}T^2 - 2.037 \times 10^{-7}T^3; R^2 = 0.997$	99.0%	Gabas, 1998

ANEXO 35: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE OPERACIONES				RECOLECCIÓN DE DATOS	
			VARIABLES	INDICADOR	VALOR ESCALAR	MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
GENERAL ¿Cuál es el efecto del secado en el color y propiedades sensoriales de las hojas de salvia (<i>Salvia officinalis</i>)?	GENERAL Evaluar el secado de las hojas Salvia (<i>Salvia officinalis</i>) y su influencia en el color y propiedades sensoriales.	GENERAL El color y las propiedades sensoriales de las hojas de Salvia sometidas a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire, varía significativamente.	DE ENTRADA					
			Temperatura de secado Velocidad de aire	Temperatura Velocidad de aire	°C m/s	Instrumental Instrumental	Lectura Lectura	Termómetro Anemómetro
ESPECÍFICOS ¿Cuál es el comportamiento de las curvas de secado de las hojas de Salvia a diferentes temperaturas y velocidades de aire?	ESPECÍFICOS Determinar las curvas de secado de las hojas de Salvia a diferentes temperaturas y velocidades de aire.	ESPECÍFICAS El tiempo de secado muestra diferencia significativa para cada curva de secado de las hojas de Salvia sometidas a diferentes temperaturas y velocidades de aire.	DE SALIDA					
			Tiempo de secado	Tiempo	Minutos	Instrumental	Lectura	Cronometro
¿Cuál es la variación del coeficiente de difusividad efectiva para el secado de las hojas de Salvia, a diferentes temperaturas y velocidades de aire?	Calcular el coeficiente de difusividad efectiva para el secado de las hojas de Salvia, a diferentes temperaturas y velocidades de aire	El coeficiente de difusividad efectiva D_{ef} del agua varía significativamente con la temperatura de secado y velocidades de aire.	Coeficiente de difusividad efectiva	Difusividad en el periodo de velocidad decreciente	m ² /s	Iterativo matemático	Iterativo matemático	Calculo/determinación indirecta
¿Cuál es la energía de activación en el proceso de secado de las hojas de Salvia?	Calcular energía de activación en el proceso de secado de las hojas de Salvia, sometidos a diferentes temperaturas y velocidades de aire.	El valor de la energía de activación calculada a través de la ecuación de Arrhenius muestra alta correlación.	Energía de activación	Energía de activación	kJ/mol	Iterativo matemático	Iterativo matemático	Calculo/determinación indirecta
¿De qué manera cambia el color de las hojas de Salvia sometido a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire?	Analizar la variación del color de las hojas de Salvia, sometidas a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire en comparación con las hojas frescas	El color de las hojas de Salvia en el espacio de color L*a*b*, sometidas a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire muestran diferencia significativa.	Color de la hojas	Color	Espacio CIElab	Instrumental	Lectura	Colorímetro
¿Cuáles son los atributos sensoriales de las hojas de Salvia sometidas a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire?	Comparar los atributos sensoriales de las hojas de Salvia sometidas a secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire.	Los atributos sensoriales de las hojas de Salvia secadas a diferentes temperaturas y velocidades de aire, muestran diferencia significativa.	Características sensoriales	Olor, Color, Sabor y Apariencia global	Hedónico	Sensorial	Analisis sensorial con panelistas	Calculo con el test de Friedman.

Anexo 36: Cartilla de evaluación sensorial hedónica

Nombre: Fecha:

Instrucciones: Indique la puntuación de su preferencia en cada celda, de acuerdo a la siguiente escala:

Me gusta mucho : 5

Me gusta : 4

Me es indiferente : 3

No me gusta : 2

No me gusta nada : 1

Código	Olor	Color	Sabor	Apariencia
4005				
5005				
6005				
4010				
5010				
6010				

Comentarios:.....
.....
.....
.....

Gracias.

ANEXO 37 : COLOR DE LAS HOJAS DE SALVIA CON LOS DATOS DEL COLORIMETRO

Temperatura	Color a velocidad de 1m/s	Color a velocidad de 0.5m/s	Color de hojas frescas
40°C			
50°C			
60°C			

PANEL FOTOGRÁFICO

Foto 1: Hojas de Salvia en su tallo



Foto 2: Medición del espesor de las hojas de Salvia



Foto 3: Hojas de Salvia en las bandejas listo para su pesado



Foto 4: Muestra de mates de Salvia a las diferentes temperaturas y velocidades

