

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**SECADO DE LAS HOJAS DE STEVIA (*Stevia rebaudiana*
Bertoni) POR CONVECCIÓN, EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA
Y SENSORIAL**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

SALGADO VERAMENDI, FLORISA

PROMOCIÓN 2013 – I

Tingo María – Perú

2016

DEDICATORIA

A DIOS por sobre todas las cosas por cuidar de mí día a día, por ser mi fortaleza y darme sabiduría en todo tiempo.

A mis queridos padres PEDRO y NOEMI por sus consejos y sus esfuerzos en todo momento para mi superación como persona.

A mi cuñada y mis sobrinos que me apoyaron con mi hijita también a la familia de mi esposo que me dieron su apoyo.

A mi amado esposo FRANKLIN que estuvo dándome su apoyo incondicional en todo momento y mi linda hijita FEBE quien es mi motivo de superación.

A cada uno de mis hermanos Peter, Pepe, Pedro, Rossmery, Noel y Deyver quienes siempre estuvieron dándome su apoyo.

AGRADECIMIENTO

Al M.Sc. Williams Roldán Carbajal por su asesoramiento en cada paso de la elaboración y ejecución del trabajo de investigación.

Al Ing. Darlym por su apoyo en la ejecución de mi tesis y a todos los técnicos de laboratorio los señores Pedro Condori y Celedonio Yacha.

A mi amiga Anabel por su apoyo en todo el tiempo de ejecución de mi tesis.

Al Ing. Basilio por permitirme el uso de los equipos a mi completa disposición.

A todos los profesores por los conocimientos brindados durante mi carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades de la stevia (<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni).....	3
2.1.1. Origen y distribución geográfica de la stevia.....	3
2.1.2. Propiedades de la hoja	3
2.1.3. Contenido edulcorante	5
2.2. Secado de hojas	6
2.2.1. Fundamentos del secado.....	7
2.2.2. Aplicación de la psicrometría al secado	7
2.2.3. Métodos generales de secado	8
2.2.4. Clasificación para los secadores.....	9
2.2.5. Factores que regulan el secado.....	10
2.2.6. Teoría de secado	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Lugar de ejecución	17
3.2. Materiales, equipos y reactivos.....	17
3.2.1. Materia prima	17
3.2.2. Equipos de laboratorio	17

3.2.3. Materiales de laboratorio.....	18
3.2.4. Otros materiales.....	18
3.3. Métodos de análisis	18
3.4. Metodología experimental	19
3.4.1. Descripción para la determinación de los parámetros óptimos en el proceso de secado las hojas de stevia.	19
3.4.2. Ajuste del modelo de capa delgada	24
3.4.3. Evaluación microbiológica de las hojas de stevia	29
3.4.4. Evaluación sensorial de las hojas de stevia.....	29
IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	30
4.1. Determinación de los parámetros óptimos para el secado de las hojas de stevia por convección.....	30
4.2. Humedad final por tratamiento de las hojas de stevia.....	31
4.3. Curvas de velocidad de secado de las hojas de stevia.	34
4.4. Ajustes a modelos cinéticos de secado para la stevia.	36
4.5. Cálculo del Coeficiente de difusividad efectiva y energía de activación	46
4.6. Carga microbiológica en la hoja de stevia al inicio y al final del secado.	49
4.7. Evaluación sensorial.	51
V. CONCLUSIONES	55
VI. RECOMENDACIONES.....	56
SUMMARY.....	57
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	59
VIII. ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición nutricional de la hoja de stevia.	4
2. Temperatura y espesor de la cama utilizadas en el secado de hojas de stevia.	24
3. Modelo difusional de secado.	25
4. Humedad inicial de las hojas de stevia.	31
5. Contenido de humedad final en base seca.	32
6. Coeficientes de los modelos con la temperatura a 3 cm de espesor de secado.	37
7. Coeficientes de los modelos con la temperatura a 5 cm de espesor de secado.	38
8. Resultados de los R cuadrados de los modelos matemáticos a 3 cm y a 5 cm de espesor de secado.	40
9. Difusividad efectiva D_{eff} , energía de activación E_a y factor de Arrhenius D_0	47
10. Carga microbiológica en la hoja de stevia al inicio y al final del secado	51
11. Comparaciones múltiples sensoriales entre temperaturas.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de flujo para el secado de las hojas de stevia.	22
2. Secador por convección, interconectado a una computadora	23
3. Diseño experimental para evaluar el efecto de la temperatura y espesor de cama.	28
4. Medias marginales estimadas en función de la temperatura.	33
5. Curvas de rapidez de secado a 5 cm de espesor a diferentes temperaturas.....	35
6. Curvas de rapidez de secado a 5 cm de espesor a diferentes temperaturas.....	36
7. Medias marginales estimadas por tratamiento y modelo.	41
8. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 50 °C con un espesor de 3 cm.	42
9. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 60 °C con un espesor de 3 cm.	43
10. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 70 °C con un espesor de 3 cm.	43
11. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 50 °C con un espesor de 5 cm.	44

12. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 60 °C con un espesor de 5 cm.	45
13. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 70 °C con un espesor de 5 cm.	45
14. Comparación de medias para atributos a 3 cm de espesor de cama. ...	53
15. Comparación de medias para atributos a 5 cm de espesor de cama. ...	53
16. Muestras de las hojas de stevia secas de 3 y 5 cm de espesor a las temperaturas de 50 y 60 °C.	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Cálculos de secado.	66
2. Datos de tiempo y temperatura de secado a 3cm y 5cm de espesor. ...	69
3. Datos para la obtención del modelo de secado.	86
4. Datos estadísticos descriptivos para la humedad final de las hojas de stevia.	87
5. Análisis de varianza para la humedad final de las hojas de stevia.	87
6. Medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.	88
7. Comparaciones múltiples entre tratamientos.	88
8. Análisis de Variancia a los R ² de los modelos matemáticos aplicados a los diferentes tratamientos.	89
9. Medias marginales en el análisis sensorial.	89
10. Cartilla de evaluación.	92
11. Análisis de variancia entre el espesor, temperatura de secado y atributos sensoriales (Astringencia, dulzor y color).	93
12. Comparaciones múltiples entre atributos.	93
13. Análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA) para 3 cm.	94
14. Análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA) para 5 cm.	95
15. Resultados de la evaluación sensorial.	96
16. Dimensiones de las hojas stevia.	97

17. Fotografías de la investigación.	98
---	----

RESUMEN

La investigación se desarrolló en los laboratorios de Ingeniería de Alimentos y Control de Calidad de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Los objetivos fueron: determinar los parámetros óptimos para el secado por convección de las hojas de la stevia; determinar las curvas de secado de las hojas de stevia; determinar la carga microbiológica en la hoja de stevia al inicio y al final del secado y evaluar sensorialmente las hojas secas. Los datos se analizaron mediante un DBCA y la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando el programa de SPSS 20. Las características físicas de las hojas de stevia fueron, largo $33,756 \pm 2,317$ mm, ancho $10,582 \pm 1,083$ mm, $0,141 \pm 0,019$ g de peso cuya área fue de $2,342 \pm 0,185$ cm². Se acondicionó para ser secadas por convección forzada a 50 °C, 60 °C y 70 °C con 3 y 5 cm de espesor de la cama de secado, tomándose los datos de pérdida de humedad mediante la interfaz de un computador. Las hojas frescas con 87,217 % de humedad, lavado por aspersión y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 50 ppm, oreado a la sombra por 30 minutos. El peso inicial promedio de las hojas de stevia fueron de 15,2667 g, secado hasta obtener la humedad comercial de la hoja seca 3,1239 g agua/g s.s. empleando un tiempo de 277 minutos al ser secadas con aire caliente a 50° C con 3 cm de espesor de cama a una velocidad del aire constante de 1,5 m/s. Enfriando al ambiente por 30 minutos, envasándose en bolsas de polietileno 10 g y sellándose. Los modelos

matemáticos evaluados se ajustaron a las curvas de secado. De los modelos propuestos para describir la cinética de secado de las hojas de stevia como el modelo logaritmo $MR = 1,0011 * exp^{-0,153t} - 0,037$ obteniéndose el mejor ajuste para las curvas de secado a 50°C, 60°C y 70°C a 3 cm y 5 cm de espesor de cama. Los valores de los coeficientes de difusividad efectiva variaron entre $1,4957*10^{-10}$ a $6,3486*10^{-8}$ m²s⁻¹. El valor de energía de activación para la difusión del agua en el secado de las hojas de stevia fue de 3,3175 a 9,1076 kJ mol⁻¹. Los datos obtenidos de la carga microbiológica en las hojas al inicio y al final del secado se encuentran dentro del rango permisible. En la evaluación sensorial el de 50 °C con 3cm de espesor de cama en el atributo dulzor obtuvo la mayor puntuación 5 (muy fuerte) y 4 (ligeramente fuerte), en color obtuvo 4 (me gusta moderadamente) y en astringencia 4 puntos (me gusta moderadamente).

I. INTRODUCCIÓN

La *Stevia rebaudiana* Bertoni es una planta originaria del Sudeste de Paraguay, miembro de la familia de las asteráceas, conocida como “hoja dulce”. La producción comercial de las hojas llega a cinco o más años, con varias cosechas anuales, crece en suelos arenosos cerca de los arroyos de la selva.

El consumo de las hojas o como producto industrializado, tienden a sustituir el uso de edulcorantes sintéticos como el aspartame, sacarinas, ciclamatos y sacarosa.

Cada vez más la industria alimentaria se interesa en la sustitución de los edulcorantes artificiales con otros azúcares naturales con el fin de ofrecer al consumidor una gama más amplia de opciones y para satisfacer las necesidades de un segmento de la población humana que no quieren o no pueden consumir sacarosa, al igual que otros tipos de tés de hierbas, las hojas de stevia necesitan ser secados con fines de conservación y consumo, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar los parámetros óptimos para el secado por convección de las hojas de la stevia.
- Determinar las curvas de secado de las hojas de stevia.
- Determinar la carga microbiológica en la hoja de stevia al inicio y al final del secado.

- Evaluar sensorialmente las hojas secas de stevia.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

2.1.1. Origen y distribución geográfica de la stevia

Cuyo nombre científico es *Stevia rebaudiana* Bertoni, conocida como hierba dulce, es nativa de Paraguay (TUCKER Y DEBAGGIO, 2009). La stevia es una planta que crecía espontáneamente en el hábitat semiárido de las laderas montañosas de Paraguay. En la actualidad, se cultiva en muchos países de todo el mundo, entre ellos, países de América Latina y de Asia (FAO, 2004).

VILLAGRAN *et al.*, (2010), menciona que la *Stevia rebaudiana* Bertoni como un sustituto de azúcar, el sabor de la stevia es bajo al principio y la duración más larga que él de azúcar, aunque algunos de sus extractos puedan tener un sabor amargo o de concentraciones.

RAZO (2011), describe que esta planta es originaria de América del Sur; fue descrita y clasificada en 1899 por el botánico suizo M. S. Bertoni (1857-1929), de quien recibió el nombre científico de *Stevia rebaudiana* Bertoni.

2.1.2. Propiedades de la hoja

Los beneficios asociados a la hoja de la *Stevia rebaudiana* Bertoni son principalmente debido a su composición nutricional (Cuadro 1), que es una buena fuente de hidratos de carbono, proteínas y fibra cruda, que promueve el bienestar y reduce el riesgo de ciertas enfermedades.

Cuadro 1. Composición nutricional de la hoja de stevia.

Componente	Referencias						
	Mishra <i>et al.</i> (2010)	Goyal <i>et al.</i> (2010)	Serio (2010)	Savita <i>et al.</i> (2004)	Abou-árabe <i>et al.</i> (2010)	Tadhani y Subhash (2006)	Kaushik <i>et al.</i> (2010)
Humedad	7	4,65	ND	7	5,37	ND	7,78
Proteína	10	11,2	11,2	9,89	11,4	20,4	12
Grasa	3	1,9	5,6	2,5	3,73	4,34	2,7
Ceniza	11	6,3	ND	10,5	7,41	13,1	8,4
Carbohidrato	52	ND	53	52	61,9	35,2	ND
La fibra cruda	18	15,2	15	18,5	15,5	ND	ND

Fuente: MISHRA *et al.* (2010), GOYAL *et al.* (2010), SERIO (2010), SAVITA *et al.* (2004), ABOU-ÁRABE *et al.* (2010), TADHANI y SUBHASH (2006) y KAUSHIK *et al.* (2010)
 ND: No determinado

HERRERA *et al.*, (2012), menciona que la hoja de *Stevia rebaudiana* Bertoni en su estado natural, posee nutrientes, que en orden de concentración son:

- Más del 50%: carbohidratos de fácil asimilación.
- Más del 10%: fibras, polipéptidos (proteínas vegetales).
- Más del 1%: lípidos, potasio.
- Entre el 0.3 y 1%: calcio, magnesio y fósforo.
- Menos del 0.01%: cromo, cobalto, hierro, manganeso, selenio, silicio, zinc.

Entre los glucósidos, se encuentra en mayor proporción el esteviósido generalmente entre 5 a 10% del peso de la hoja y en menor medida, del orden de 2 a 3% rebaudiósidos A, B, C, D, E, dulcósido A y B y steviol biosido (VILLAGRAN *et al.*, 2010).

2.1.3. Contenido edulcorante

Para preparar una infusión de *Stevia rebaudiana* Bertoni, las hojas secas de stevia fueron suministrados por Anagalide SA (España) y almacenados a temperatura ambiente. Para preparar una solución madre de $8,33 \pm 0,01\%$ (w / v), se añadió 100 mL de agua hirviendo a las hojas secas (8,33 g) y la mezcla se cubrió y se dejó en infusión durante 30 min. La infusión se filtró al vacío utilizando papel de filtro (Whatman No. 1, Whatman International Ltd, Reino Unido) y el filtrado obtenido se almacenó en viales de 2 mL a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (BARBA *et al.*, 2010).

DÍAZ (2014), determinó del método óptimo de extracción de esteviósido y rebaudiosido de las hojas de stevia a nivel piloto en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la Universidad Nacional del Callao. El estudio se realizó con hojas de stevia procedente del fundo Campo verde del caserío Ricardo Palma, región de Ucayali. La búsqueda bibliográfica de los diferentes métodos de extracción patentados, permitió seleccionar el método sencillo y económico de extracción de los componentes. La extracción se realizó empleando 0,5 Kg de hoja seca de humedad 8% (método AOCS, 1995), se trituró la hoja haciendo pasar por el tamiz malla 30, tamaño de partícula 0,592mm. Se dejó macerar por 20 horas con solución alcohólica, con una relación en peso de solución 1:10, y 30g de carbonato de calcio, se filtró, se concentró por evaporación, se agregó 10g de Hidróxido de Calcio y 10g de ácido cítrico. Una parte de esta solución madre se utilizó para el método de secado por atomización, y el resto se utilizó para la extracción con columnas de intercambio iónico utilizando resinas catiónicas y aniónicas, de las cuales se extrajo los

componentes, obteniéndose 19,84g; 17,20g y 17,10g de esteviósido respectivamente por elusión de las columnas, constituyen el 14,4%; 13,63% y 13.41% de esteviósido con relación a la hoja seca.

HERRERA *et al.*, (2012), menciona que la stevia en su forma natural es 10 a 15 veces más dulce que el azúcar común de mesa, mientras que los extractos de stevia tienen un potencial endulzante de 100 a 300 veces mayor que la del azúcar. El extracto en su forma líquida tiene un poder endulzante aproximadamente 70 veces mayor que la sacarosa, mientras que los extractos refinados de stevia, llamados esteviósidos (polvo blanco conteniendo 85-95% de esteviósido) son 200 a 300 veces más dulce que la sacarosa.

JENTZER *et al.*, (2015), en la extracción convencional realizó con 15 g de hojas de stevia, mediante la adición de 600 ml de agua desionizada en una botella de 1 litro y mantener a 60 °C durante 120 min con agitación magnética a 250 rpm. Los extractos se diluyeron si el método necesario y la cantidad de esteviósido y el rebaudiósido A se determinaron por HPLC, se describe a continuación, para encontrar el rendimiento de extracción de SG a partir de extractos.

2.2. Secado de hojas

JERIA y POZO, (2011) en el estudio del secado convectivo de hojas de (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) y factibilidad técnico-económica de una planta elaboradora de edulcorante a base de stevia. Se obtuvo los siguientes resultados, la humedad de la hoja fresca de stevia es de un 84%. La humedad comercial de la hoja seca (10%) se consigue en 80, 100 y 160 minutos al ser

secadas con aire caliente a 70°, 60° y 50° C respectivamente, a una velocidad constante de 0,9 m/s.

Los sinónimos disecación, secado o desecación de un sólido se refiere generalmente a la separación parcial o total del líquido que le acompañe por medios térmicos (SINGH Y HELDMAN, 2014).

Según MUÑOZ (2002), el secado de un sólido se refiere generalmente a la separación de un líquido de un sólido por evaporación.

SINGH Y HELDMAN (2014), menciona que el secado se suele conseguir eliminando el agua, si bien cualquier procedimiento que reduzca, en un determinado alimento, la cantidad de humedad disponible.

2.2.1. Fundamentos del secado

SINGH Y HELDMAN (2014), menciona que en un proceso de secado involucra aporte de calor y transferencia de masa. El calor debe transferirse al material a secar para suministrar el calor latente requerido para la vaporización de la humedad. Luego la masa de agua se vuelve vapor que pasa a la corriente de aire. El secado es la eliminación total o parcial de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. El secado es un fenómeno complejo que involucra la transferencia de calor y materia (el transporte de calor hacia dentro del material y el transporte de agua hacia el exterior).

2.2.2. Aplicación de la psicrometría al secado

En cualquier proceso de secado, suponiendo un suministro adecuado de calor, la temperatura y la velocidad a las cuales se produce la vaporización del líquido dependen de la concentración de vapor en la atmósfera

circundante. En casi todas las operaciones de secado, el agua es el líquido evaporado y el aire es el gas de purga que se emplea comúnmente. Para fines de secado se ha encontrado un diagrama psicrométrico de gran utilidad. Es un diagrama de humedad que muestra las características de humedad del aire. Estas curvas son representaciones gráficas de la relación entre temperatura y humedad del vapor de agua en el aire en un sistema a presión constante. Las temperaturas y volúmenes específicos se muestran en el eje horizontal, y en el eje vertical la humedad absoluta y la presión de vapor (SINGH Y HELDMAN, 2014).

2.2.3. Métodos generales de secado

El secado es un procedimiento muy antiguo y empleado hasta nuestros días, para conservación de los alimentos. Existen diversos métodos para el secado, sea en forma natural o mecánica; **Secado Natural**. Si se cuenta con condiciones climáticas adecuadas, baja humedad relativa y temperaturas elevadas, el secado natural requiere poco gasto y es sencillo de realizar. El producto se extiende en capas delgadas sobre bandejas que se exponen al aire libre durante algunos días, teniendo la precaución de removerlos frecuentemente y de cubrirlos o guardarlos bajo techo durante la noche para evitar que el rocío ennegrezca el producto. **Secado mecánico**. En el secado artificial o mecánico, al controlarse las variables del tratamiento, en el lapso de unas horas, es posible obtener un producto homogéneo y de excelente calidad comercial. Hay diversos métodos para secar las hierbas, que pueden clasificarse, de la siguiente manera: Secado por aire caliente. Secado por contacto directo con una superficie caliente. Secado por aporte de energía de una fuente radiante de microondas.

Liofilización. De ellos, el más utilizado es la aplicación de una corriente de aire caliente. Al desecar una hierba húmeda con aire caliente, el aire que aplicamos aporta el calor para la evaporación de la humedad y actúa como transporte para eliminar el vapor de agua que se forma en la cercanía de la superficie de evaporación (MUÑOZ, 2002).

2.2.4. Clasificación para los secadores

Debido a que la humedad es uno de los factores que contribuyen seriamente a la descomposición de alimentos, se han diseñado secadores orientados al secado de cierto tipo de alimentos. Por ejemplo: granos, polvos, carne, frutas y vegetales, entre otros. Dichos dispositivos constan con las características necesarias para lograr el secado óptimo. La clasificación para los secadores es muy amplia, sin embargo, la más general está dada por el método con el que se lleva a cabo la transferencia de calor, que puede ser:

- Conducción
- Convección
- Radiación.

Secadores por convección. Los secadores cuya transferencia de calor es por convección son utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del sólido. El aire, los gases inertes, el vapor sobrecalentado, o gases de combustión directa pueden ser utilizados en sistemas de secado convectivos. Ejemplo de secadores convectivos o directos: **Secadores en bandejas o charolas:** funciona mediante un ventilador que

recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las charolas, también puede usar calor eléctrico (MISHRA *et al.*, 2010).

2.2.5. Factores que regulan el secado

ZEKI (2013), menciona que el estudio de la adecuada regulación del secado incluye los siguientes factores:

- Temperatura empleada, que varía con el alimento y método de secado
- Humedad relativa del aire, que varía también con el alimento, método de secado y fase de secado, generalmente es mayor al comenzar el secado.
- Velocidad del aire.
- Duración del secado.

El control inadecuado de estos factores determina la aparición de endurecimiento externo debido a la rapidez de evaporación de la humedad superficial, dando por resultado una película superficial dura, de aspecto queratinoso e impermeable que impide que el alimento se siga secando.

2.2.6. Teoría de secado

Contenido de humedad, base seca (x), es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido seco. Se define como:

$$x = \frac{\text{Kg humedad}}{\text{Kg sólido seco}} \quad (1)$$

Contenido de humedad, base húmeda (h), es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido mojado. Se define como:

$$h = \frac{\text{Kg humedad}}{\text{Kg solido humedo}} = \frac{\text{Kg humedad}}{\text{Kg humedad+kg solido seco}} \quad (2)$$

Humedad de equilibrio: x^* , Humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas. Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas.

Humedad libre: $x - x^*$, Es la humedad del sólido; que es la humedad que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa.

Existen otras definiciones como humedad límite; que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menos que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura y la humedad no límite que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura (ZEKI, 2013).

El proceso de secado es obtenido con estado estable teniendo T_g , u_g y Y como constantes. Usando aire caliente como el agente de secado. La letra Y es el contenido de humedad absoluta de masa en el aire. Esto quiere decir el peso de masa de vapor de agua *por* peso de masa de aire seco (SINGH Y HELDMAN, 2014).

$$Y = \frac{m_A}{m_B} = \frac{\text{Kg de Vapor de agua}}{\text{Kg de aire seco}} \quad (3)$$

La función $W_D=f(X)$, donde muestra la cantidad de humedad removida desde el material secado por unidad de tiempo por unidad de superficie secada (ZEKI, 2013).

$$W_D = -\frac{m dX}{A dt} \quad (4)$$

$$N = \frac{dX}{dt} \quad (5)$$

La explicación de la forma de la curva de secado está conectada con el fenómeno de transferencia de masa y calor. Antes del secado la superficie del material está cubierta con una capa delgada de líquido la cual puede ser tratada como humedad desatada, libre o capilar. La evaporación empieza con el contacto con el aire. Considerando la resistencia de la transferencia de masa, tenemos las condiciones externas y la capa circulante de gas; limitando la velocidad de secado. Así la velocidad de evaporación puede expresarse como el coeficiente de transferencia de masa y un gradiente de humedad del aire (SINGH Y HELDMAN, 2014).

$$W_D = k_g(Y_s - Y) \quad (6)$$

Donde Y y Y_s son la humedad del ambiente circulante. El coeficiente de transferencia de masa k_g para una velocidad de gas constante en relación con el material, permanecerá constante. La humedad Y_s corresponde a las condiciones de saturación en la temperatura de la capa de líquido (T_s). Como la evaporación de la humedad requiere de la misma cantidad de calor latente de evaporación, la superficie del líquido después de algún tiempo alcanzará una temperatura de equilibrio (Periodo inicial de secado), así la cantidad de calor

proveída hacia la superficie desde el aire circulante será igual al calor necesario para el cambio de fase. La humedad Y_s permanece constante. Como resultado de los parámetros constantes del proceso, la humedad del aire Y no cambia. Este valor es igual a la velocidad de evaporación en una superficie libre. Sin embargo, se ha demostrado que $W_{D cr}$ depende del tipo de material secado y usualmente es menor que el 30% de los valores obtenidos en el proceso de la evaporación de líquidos en una superficie libre (SINGH Y HELDMAN, 2014).

Como ya es bien sabido en el periodo inicial de secado, el cuerpo a secar y su superficie están cubiertas con una capa de líquido, teniendo una temperatura menos a la temperatura de equilibrio T_s . Es más raro cuando el secador es alimentado con material húmedo a una temperatura $T > T_s$ (ZEKI, 2013).

Cuando $X < X_{cr}$ la cantidad de humedad que alcanza la superficie del cuerpo a secar empieza a caer gradualmente. Como resultado, la presión de vapor arriba de la superficie del material también empieza a decrecer de acuerdo a la ecuación 4 la velocidad secado decrece. Entonces nosotros nos encontramos el periodo de caída de la velocidad de secado en este periodo la velocidad de secado es controlado por el transporte de la humedad del material (condiciones internas) la cuales dependen del gradiente de la concentración de humedad.

- Tiempo de secado

Según SINGH Y HELDMAN, (2014) menciona que el tiempo de secado depende del material, esto define las características que tendrá la curva de secado.

El tiempo de secado debe ser determinado separadamente para el primer y segundo periodo de secado (ALVARADO, 1996).

La Ecuación 4 define la velocidad de secado, esta puede reacomodarse para obtener el tiempo de secado.

$$\int_0^t dt = \frac{m_s}{A} \int_{X_2}^{X_{cr}} \frac{dX}{W_D} \quad (7)$$

Donde X_1 y X_2 son el contenido de humedad desde el tiempo cero al tiempo t , respectivamente.

- Periodo constante de secado

El secado en este periodo es constante y por lo tanto de la Ecuación 7 obtenemos el tiempo para la primera parte del periodo de secado.

$$t_I = \frac{m_s}{A \cdot W_{DII}} (X_1 - X_{cr}) \quad (8)$$

Obsérvese que $X_2 = X_{cr}$ en la ecuación 7 esto es porque es el contenido de humedad al final del primer periodo. En este periodo de secado influyen la velocidad de secado W_D depende de los coeficientes de transferencia de calor y masa (h y kg) entre el agente de secado y la superficie a secar.

Sin embargo, los materiales porosos representan un reto debido a su estructura no uniforme que crea dificultades en la estimación del contenido

crítico de humedad. Es por eso que a veces es mejor hacer experimentos bajo condiciones similares a las que se usan en la práctica en la industria (SINGH Y HELDMAN, 2014).

Periodo de caída de secado

Este periodo de caída de secado puede comportarse de manera lineal como lo muestra la curva de velocidad de secado, pero también puede comportarse de manera no lineal por lo cual requiere un estudio más minucioso del comportamiento de la curva de secado. En este estudio consideraremos el caso lineal de la curva de caída secado.

La forma de la velocidad de la curva de secado depende del tipo de cuerpo, la velocidad de secado en el primer periodo de secado y el contenido crítico de humedad.

Ahora tomando la ecuación 8 podemos construir una ecuación similar en la cual la velocidad de secado depende del contenido de humedad.

$$t_{II} = \frac{m_s}{A} \int_{X_2}^{X_{cr}} \frac{dX}{W_{DII}} \quad (9)$$

Donde X_2 es el contenido final de humedad en el material.

Podemos decir que existe una dependencia de $W_{DII}=f(X)$ que es lineal y puede ser escrita de la siguiente manera.

$$w_{DII} = aX + b \quad (10)$$

Sustituyendo esta ecuación en la Ecuación 9 obtenemos:

$$t_{II} = \frac{m_s}{A} \int_{X_2}^{X_{cr}} \frac{dX}{aX + b} \quad (11)$$

Realizando la integración obtenemos:

$$t_{II} = \frac{m_s}{aA} \ln \frac{aX_{cr} + b}{aX_2 + b} \quad (12)$$

Los coeficientes pueden ser obtenidos de la siguiente manera.

$$a = \frac{W_{DI} + W_{DII}}{X_{cr} + X_2} \quad (13)$$

$$W_{DII} = aX_2 + b \quad (14)$$

Sustituyendo estos coeficientes (a y b) en la Ecuación 12 obtenemos:

$$t_{II} = \frac{m_s}{A} \frac{X_{cr} - X_2}{W_{DI} + W_{DII}} \ln \frac{W_{DI}}{W_{DII}} \quad (15)$$

Finalmente, el tiempo total del proceso es la suma de los tiempos tomados en los dos periodos.

$$t = t_I - t_{II} \quad (16)$$

t_I : Tiempo secado primer periodo, t_{II} : Tiempo de secado segundo periodo

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Ingeniería de Alimentos, Análisis Sensorial y Control de Calidad de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) en las fechas del 22-04-2015 al 09-06-2015, situado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco, a una altitud de 660 m.s.n.m. a 09° 17'08" de Latitud Sur, a 75° 59'52" de Latitud Oeste con clima tropical húmedo y con una humedad relativa media de 84% y temperatura media anual de 24°C.

3.2. Materiales, equipos y reactivos

3.2.1. Materia prima

La materia prima empleada fueron las plantas de stevia, proveniente de la localidad de Aucayacu, distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco.

3.2.2. Equipos de laboratorio

Secador de bandejas con alimentación eléctrica. Termo higrómetro CEM DT-625, anemómetro CEM DT-620, balanza analítica electrónica OHAUS, modelo AP210s serial number 113032314, computadora modelo 592V S (Samsung Electronics Co., Ltd.) KS15SCVPR/PES instalada con programa,

Balanza analítica modelo ESJ-210-4 (Digital precisión), estufa tipo LP 201/AL con temperatura hasta 200. Equipo micro Kjeldahl para la determinación de proteínas, equipo de titulación para medir la acidez (bureta auto enrasable de 10 mL), pH - metro (Mettler Toledo Seven Easy) pH = 0 - 14, T°= 0 - 100°C, vernier calipers-UYUSTOOLS profesional.

3.2.3. Materiales de laboratorio

Vasos de precipitación (20000 mL, 1000 mL, 10 mL), micropipetas regulables de 10 – 100 µL, crisol, placas petri, desecador.

3.2.4. Otros materiales

Cajas hecho de malla 2, bolsa de alta densidad, mesa de acero inoxidable, tamiz, selladora marca STANDER SD-054, Papel aluminio, tijera, cartulina negra.

3.3. Métodos de análisis

Análisis Físicoquímico

- **Determinación de humedad:** Se empleó el método 23.003 A.O.A.C. (2000).
- **Determinación del tiempo de secado.** Se empleó la metodología recomendada por SINGH Y HELDMAN, (2014).
- **Evaluación microbiológica:**
 - Numeración de microorganismos aerobios viables (NMAV), según la ICMSF (1983).
 - Numeración de mohos y levaduras, según la ICMSF (1983).

3.4. Metodología experimental

3.4.1. Descripción para la determinación de los parámetros óptimos en el proceso de secado las hojas de stevia.

A continuación, se detalla cada uno de las actividades que se realizaron para el proceso de secado de las hojas de stevia.

- Materia prima (plantas de stevia): Las plantas que se utilizaron en el proceso de secado estaban en el estado fresco.

- Lavado: La stevia recolectada fueron sometidas a un lavado por aspersión e inmersión en tinas, con el fin de eliminar las sustancias extrañas las cuales se encuentran adheridas a las superficies, teniendo cuidado que las hojas no sufra daño mecánico.

- Desinfección: La stevia lavada se desinfecto con una solución de hipoclorito de sodio al 50 ppm (JERIA y POZO, 2011).

- Escurrido: La stevia se colocó en tamices con el objeto que fluya el agua que quedo después de la desinfección.

- Deshojado y selección: Se procedió a realizar la selección tomando en cuenta el color, de preferencia hojas verdes, sin materias extrañas, partes sanas, que no tengan problemas fitosanitarios. Esta actividad se la realizó en la mesa de selección.

- Oreado: luego se sometieron las hojas a un oreado a la sombra con el fin de que reduzcan en porcentaje de agua

- Pesado: Se pesó la materia prima se realizó con la ayuda de una balanza digital.

- Secado: Los experimentos de secado de capa delgada se

realizaron en un secador por convección forzada que consiste en un extractor, un acondicionador de aire, ductos para la circulación del aire, una tobera de entrada con deflectores en su interior y una cámara de secado con charolas en su interior. El secador se instrumentó con sensores de temperatura y una balanza, con la finalidad de monitorear la pérdida de humedad y temperatura del aire de secado en diferentes puntos estratégicos del secador y a lo largo de todo el proceso. Los datos fueron adquiridos por medio de sensores de temperatura conectadas a una computadora personal. La velocidad del aire fue monitoreada por medio de un termo anemómetro. El contenido de humedad de las hojas de stevia fueron monitoreadas mediante una balanza digital conectada a la PC personal, cada minuto durante el proceso de secado para determinar las curvas de secado. Las hojas de stevia fueron en moldes de secado de 3x5x9cm y de 5x5x9cm sobre una charola (es parte del equipo para que soporte la muestra a tratar). Las hojas se colocaron al equipo de secado (secador de bandejas), con temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C con espesores de cama de 3 cm y 5 cm dependiendo del tratamiento. Se tomó nota del tiempo y peso que fue perdiendo el producto durante el proceso, con intervalos de 1 min para cada tratamiento. Se usó un cronómetro y una balanza electrónica, llegando a obtener un peso constante para cada espesor de cama. Este proceso se realizó manteniendo constantes: la humedad relativa y velocidad del aire.

- Enfriado: Las hojas secas se enfriaron a temperatura ambiente antes de envasar y sin demoras en el tiempo para que no absorban humedad.

- Pesado: Las hojas secas se pesaron en una balanza electrónica con el fin de determinar rendimientos a través del balance de materia.

- Envasado: Se utilizaron bolsas de polietileno N° 10000, los cuales nos brindan una máxima impermeabilidad posible, conservándose de buena forma, esta actividad se realizó de manera manual. Luego del envasado el producto se procedió a etiquetar manualmente. Se tomó las muestras para realizar análisis al producto terminado, tales como: microbiológicos (mohos, levaduras y recuento total) estos se realizaron a los cero días y 60 días después de almacenamiento; y, organolépticos (color, dulzor y sabor), estos se realizaron el primer día, luego 15 días y a 30 días después de almacenamiento, como se muestra en la Figura 1.

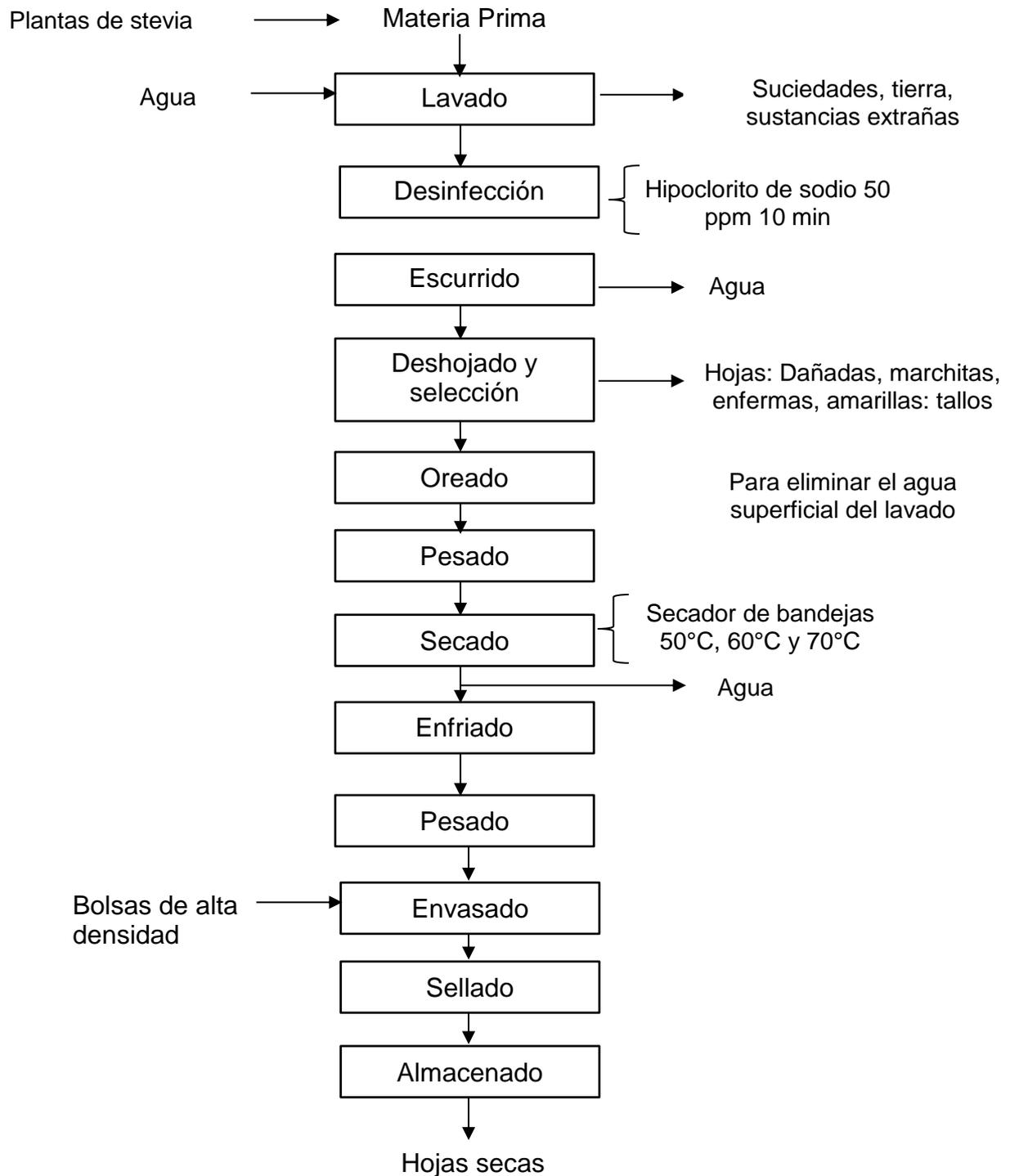


Figura 1. Diagrama de flujo para el secado de las hojas de stevia.

- Sellado: Se realizó con una selladora de impulso con el objeto de que exista mayor seguridad para que la hoja no capte humedad del ambiente.
- Almacenado: Las hojas secas embolsadas se almacenaron en una campana evitando el contacto directo con la luz solar.

En la Figura 2 se presenta las evaluaciones a realizarse fueron: tiempo de secado y humedad.

En la Figura 3 se observa el diseño experimental para evaluar el efecto de la temperatura y espesor de cama.

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante el diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial de 2x3 con triplicata.



Figura 2. Secador por convección, interconectado a una computadora

Cuadro 2. Temperatura y espesor de la cama utilizadas en el secado de hojas de stevia.

Variables de secado	Valores de las variables para los experimentos		
	Temperatura del aire (°C)	A1: 50 °C	A2: 60 °C
Espesor de cama de secado	B1: 3 cm	B2: 5 cm	

3.4.2. Ajuste del modelo de capa delgada

Para el ajuste y modelamiento matemático de los datos experimentales de las curvas de secado, se utilizó el modelo difusional de la solución de la segunda Ley de Fick (Ec 17) para una geometría de lámina infinita para tiempos largos, según las siguientes ecuaciones (RADÜNZ *et al.*, 2010).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} * \exp \left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} * t}{4L^2} \right] \quad (17)$$

Considerando un término de la sumatoria, entonces

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-\frac{\pi^2 D_{eff} * t}{4L^2} \right] \quad (18)$$

Luego

$$\ln(MR) = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \left[\frac{\pi^2 D_{eff} * t}{4L^2} \right] \quad (19)$$

También se tiene que:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (20)$$

Los modelos empíricos se muestran en el Cuadro 3, los cuales utilizan como variable dependiente la fuerza impulsora reducida (MR) descrita con la ecuación 2, que relaciona la gradiente de la humedad de la muestra a tiempo real con la humedad inicial y la humedad de equilibrio. Luego, se asume

de la ecuación 1 que la difusividad ($Deff$) es constante. Dónde: M_t es el contenido de humedad a tiempo real (g agua/g m.s.); M_o es el contenido de humedad inicial (g agua/g m.s.) y Meq es el contenido de humedad de equilibrio (g agua/g m.s.). MR es la fuerza impulsora reducida (adimensional); $Deff$ es el coeficiente efectivo de difusividad de agua (m^2/s); t es el tiempo (segundos), L es el medio espesor de la lámina finita (m) y n es el número de series de la sumatoria. (RADÜNZ *et al.*, 2010).

La relación de humedad (MR) de secado de capa delgada, la stevia fue colocada en celdas elaboradas de 3x5x9 cm y de 5x5x9 cm al tiempo t , los modelos empleados en el análisis de los datos experimentales se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Modelo difusional de secado.

Nro.	Nombre del modelo	Modelo	Referencias
1	Newton	$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = e^{-kt}$	Togrul y Pehlivan (2002)
2	Henderson y Pabis	$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = ae^{-kt}$	Henderson y Pabis (1961)
3	Midilli <i>et al.</i>	$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = ae^{-kt^n} + bt$	Midillini <i>et al.</i> (2002)
4	Logarítmico	$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = ae^{-kt} + c$	Akpinar y Bicer (2005)

Fuente: RADÜNZ *et al.*, (2010)

La energía de activación, que expresa la dependencia de la difusividad en función de la temperatura, fue calculada por la ecuación de Arrhenius:

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_o) - \frac{E_a}{R*T} \quad (21)$$

D_{eff} =Difusividad efectiva (m^2*s);

D_o =Factor de Arrenius (m^2*s);

E_a =Energia de activación ($Jmol^{-1}$);

R= Constante universal de los gases ($8, 3143 J. mol^{-1} K^{-1}$);

T = Temperatura (K).

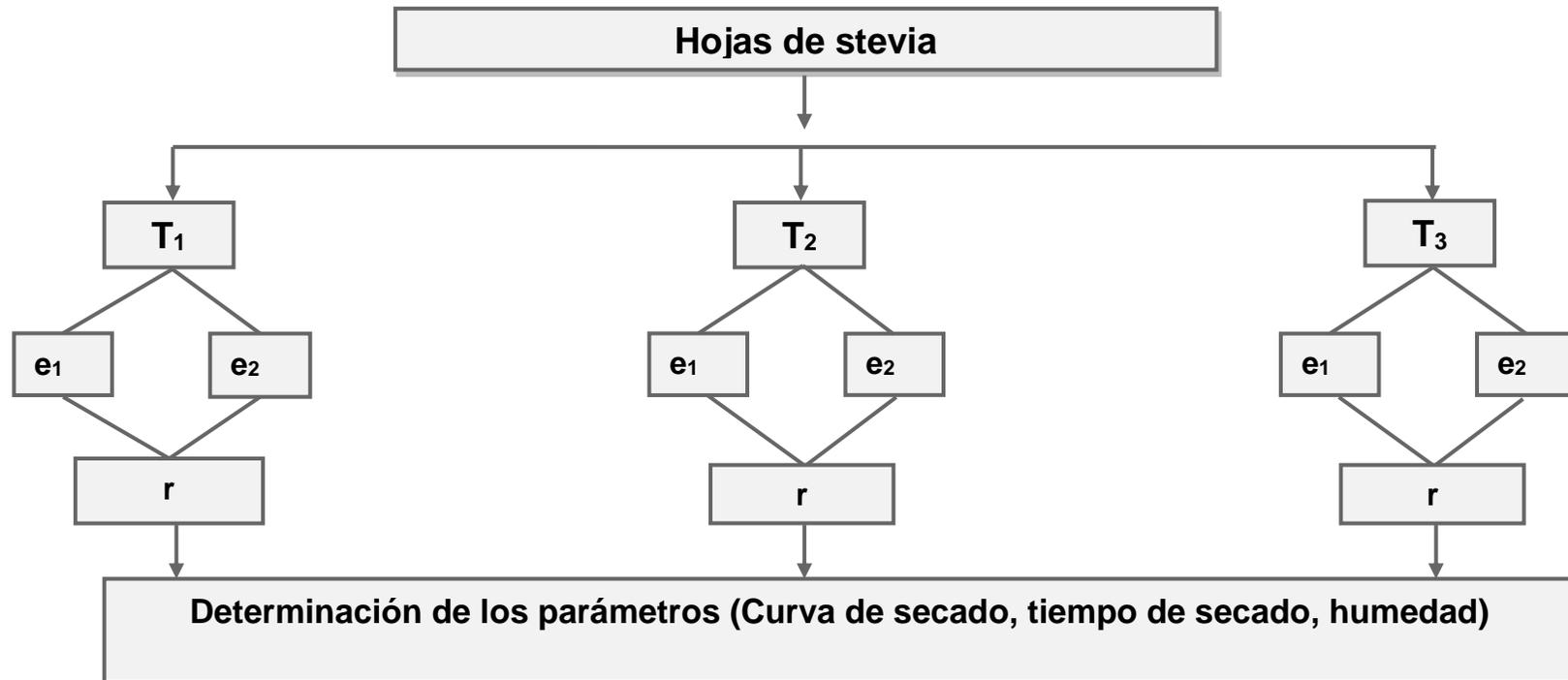
Se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) como primer criterio para la selección del modelo que mejor describe los datos experimentales de secado, en capa delgada de las hojas de stevia. Además del coeficiente de determinación, el mejor ajuste de los datos experimentales también fue seleccionado con base en diversos parámetros estadísticos, tales como la reducción chi-cuadrada (χ^2), la raíz media de los errores cuadrados ($RMSE$) y la suma de los errores cuadrados de las desviaciones entre los datos experimentales y los valores teóricos calculados (SSE). Para obtener el mejor ajuste de los datos experimentales, R^2 debe de ser mayor (lo más cercano a 1) y la χ^2 , $RMSE$ y SSE debe de ser menor, tendiendo a cero (PANCHARIYA *et al.*, 2002; GHAZANFARI *et al.*, 2006). Los parámetros estadísticos fueron calculados usando las siguientes relaciones:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n MR_{exp} * MR_{cal}]^2}{\sum_{i=1}^n MR_{exp}^2 * \sum_{i=1}^n MR_{cal}^2} \quad (22)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [MR_{exp} - MR_{cal}]^2}{N - Z} \quad (23)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [MR_{cal} - MR_{exp}]^2 \right]^{1/2} \quad (24)$$

$$SSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [MR_{exp} - MR_{cal}]^2 \quad (25)$$



T: temperatura T_1 : 50°C T_2 : 60°C T_3 : 70°C

e: espesor de cama e_1 : 3 cm e_2 : 5 cm

$r=3$ triplicata

Figura 3. Diseño experimental para evaluar el efecto de la temperatura y espesor de cama.

3.4.3. Evaluación microbiológica de las hojas de stevia

La evaluación microbiológica se realizó de los tratamientos a los 0 y 30 días de secado. Para ello se hizo la numeración de microorganismos aerobios viables y la numeración de mohos y levaduras.

Los resultados de la evaluación microbiológica fueron analizados mediante Diseño Completo al Azar (DCA) por replicata.

3.4.4. Evaluación sensorial de las hojas de stevia

Se realizó colocando en pirex las hojas secas de stevia de los diferentes tratamientos. Los atributos evaluados fueron el color, dulzor y sabor desde el primer día, a los 15 días y a los 30 días después del almacenamiento utilizando una escala hedónica de 5 puntos como se muestra en el Anexo 10.

Procedimiento:

- Se utilizaron con panel de 25 catadores, los cuales con la ayuda de una guía instructiva para evaluar color, dulzor y sabor se encargaron de calificar según sus preferencias.

Los resultados de la evaluación sensorial fueron analizados mediante el Diseño Completo al Azar (DCA) con triplicata.

En el Anexo 15 observar los resultados del análisis sensorial de las hojas de stevia.

IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los parámetros óptimos para el secado de las hojas de stevia por convección.

La prueba consistió en dejar secar una muestra de hojas de stevia en un horno de laboratorio, a una temperatura fija y esperar un tiempo determinado de acuerdo al método 23.003 A.O.A.C. (1997). El valor del promedio del contenido de humedad de las hojas de stevia fue de $87,217 \pm 0,749 \%$ y $12,783 \pm 0,759 \%$ de materia seca, determinándose el porcentaje de humedad en base seca de $6,842 \pm 0,435$ g de agua/g de materia seca como se observa en el Cuadro 4. Se determinó una humedad en base húmeda de $84,14\% \pm 0,01\%$ ($5,30 \pm 0,01$ g agua/g sólidos secos) y $15,86\% \pm 0,01\%$ de sólidos secos el cual concuerda con los valores encontrados por JERIA Y POZO (2011). En el Anexo 1, se muestran los cálculos de secado.

Cuadro 4. Humedad inicial de las hojas de stevia.

Repeticiones	Porcentaje de humedad %	Porcentaje de materia Seca %	Porcentaje de humedad (base seca)
r ₁	86,101	13,900	6,195
r ₂	87,611	12,390	7,071
r ₃	87,483	12,517	6,989
r ₄	87,675	12,325	7,113
Promedio	87,217	12,783	6,842
Des. estándar	0,749	0,759	0,435
Max	87,675	13,900	7,113
Min	86,101	12,325	6,195

4.2. Humedad final por tratamiento de las hojas de stevia.

En el Anexo 2, se muestra los datos de tiempo, temperatura y pesos a 3 cm de espesor, 5 cm de espesor a diferente temperatura de 50 °C, 60 °C y 70 °C. En el Cuadro 5, se muestra los resultados de la humedad en base seca (g de agua /g de solido seco) de las hojas de stevia al finalizar los tratamientos.

Cuadro 5. Contenido de humedad final en base seca.

Tratamientos / repeticiones	I	II	III	\bar{X}
	g agua/g ss	g agua/g ss	g agua/g ss	g agua/g ss
T ₁	3,6526	3,0376	2,6814	3,1239
T ₂	2,3025	2,640	2,2682	2,4036
T ₃	2,4760	2,344	2,6242	2,4814
T ₄	2,0505	1,9176	1,9615	1,9765
T ₅	2,2420	2,7853	1,8408	2,2893
T ₆	1,2541	1,7514	2,4768	1,8274

En el anexo 4, muestran los datos descriptivos para la humedad final de los 6 tratamientos, observándose que a una temperatura de 50 °C (T₁) con un espesor de 3 cm se obtuvo la mayor humedad de 3,1239 g agua/g s.s, mientras que temperatura de 70 °C (T₆) con un espesor de 5 cm se obtuvo la menor humedad de 1,8274 g agua/g s.s.

En el anexo 5, se muestra el análisis de varianza realizada a las humedades finales por cada tratamiento, observándose que existe significación alta para el modelo corregido, para las intersecciones, a diferentes temperaturas y del espesor, por lo tanto, se realizó las pruebas correspondientes: Tukey para tratamientos, DMS para factores y gráfica para interacción.

Realizada la prueba de tukey se puede observar que existen dos rangos diferentes, como se muestra en el anexo 6. En donde las medias han sido ordenadas de mayor a menor porque así lo establece la prueba de Tukey. Para fines de la investigación se ha considerado los mejores tratamientos de secado

a T₂ (60 °C) con 2,244 g agua/g s.s. de y el tratamiento T₃ (70 °C) con un promedio en base seca (g agua/g s.s.) de 2,05. Del mismo modo se puede observar en el Anexo 7 las comparaciones múltiples entre tratamientos.

En la Figura 4, se puede observar el gráfico de perfil entre las medias marginales estimadas en función de la temperatura, observándose a 5 cm de espesor de cama muestra humedades en base seca menores a 3 cm de espesor de cama. También podemos observar a 50 °C con un espesor de 5 cm de cama las medias estimadas son similares a los de 3 cm de espesor de cama por 70 °C de temperatura.

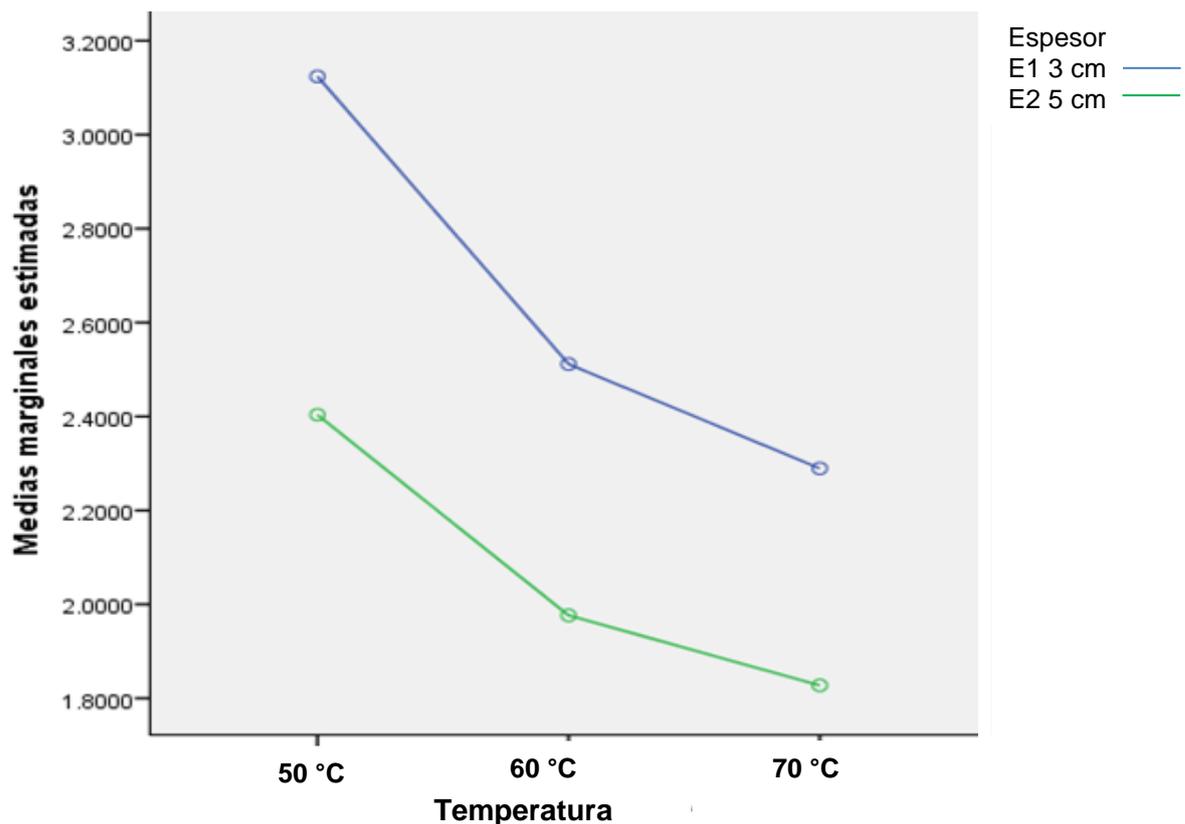


Figura 4. Medias marginales estimadas en función de la temperatura.

De la Figura 4 y Anexo 4, sobre los datos estadísticos descriptivos para la humedad final de las hojas de stevia, se puede observar comportamientos similares entre los espesores de 3 y 5 cm, estableciendo que la humedad final de las hojas de la stevia es de 2,6415 g agua/g ss en promedio para un espesor de 3 cm de producto y así mismo un promedio de 2,0691 g agua/g ss de humedad final para un espesor de 5 cm de producto. Esto concuerda con lo que manifiesta SINGH y HELDMAN (2014), la composición estructural de la planta y el contenido de agua es determinante en el comportamiento de secado.

4.3. Curvas de velocidad de secado de las hojas de stevia.

En las Figuras 5 y 6, se observa claramente la influencia del espesor de cama y de la temperatura sobre el proceso de secado de las hojas de stevia.

Al aumentar la temperatura y el espesor de cama de la hoja de stevia se disminuye significativamente el tiempo de secado, es decir se necesita menos tiempo para finalizar el proceso de secado a una temperatura de 70°C con un espesor de 3 cm de secado. Los tiempos de secado fueron de 4500s (1,25 h); 15000s (4,16h) y 16620 s (4,616h) a 3 cm de espesor de cama a 70 °C, 60 °C y 50 °C respectivamente como se observa en la Figura 5. También 8820s (2,45 h); 17880s (4,962h) y 21840s (6,066h) a 5 cm de espesor de cama a 70 °C, 60 °C y 50 °C respectivamente como se observa en la Figura 6. También se observa que aproximadamente en la primera hora de secado (dependiendo del espesor), la humedad en base seca decrece linealmente ($R^2 > 90\%$), esto es, dW/dt es una constante, al igual que la velocidad de secado para éste mismo periodo lo que también es mencionado por ZEKI, (2013). De igual forma, después de la primera hora de secado la velocidad disminuye con mayor rapidez (Periodo decreciente)

hasta llegar a su humedad de equilibrio. Esta etapa se caracteriza porque en ella ocurre la mayor parte del secado, pues la humedad se difunde con menor velocidad a través del sólido. También se detalla las humedades de equilibrio en base seca, para 50 °C es 3,282 g de agua/g s.s, 2,738 g de agua/g s.s para 60 °C y 2,546 g de agua/g s.s para 70 °C a 3 cm de espesor de cama de la muestra de las hojas de Stevia; también se observa que para a para 50 °C es 2,233 g de agua/g s.s, 2,012 g de agua/g s.s para 60 °C y 1,254 g de agua/g s.s para 70 °C a 5 cm de espesor de cama de la muestra de las hojas de stevia.

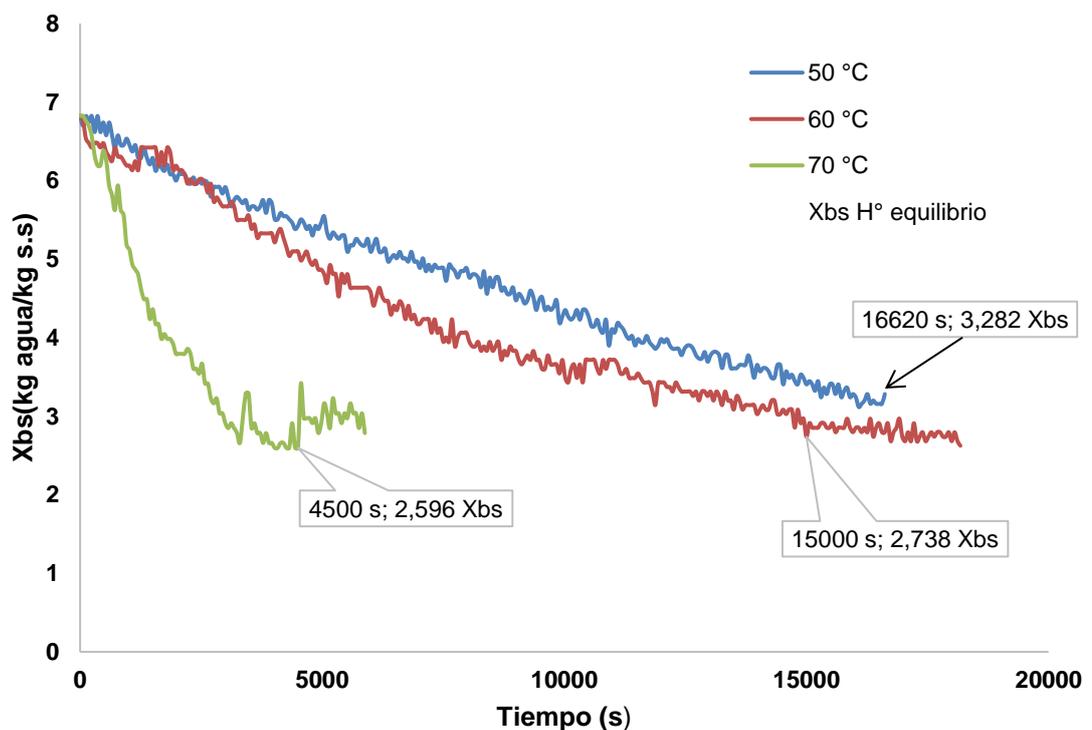


Figura 5. Curvas de rapidez de secado a 5 cm de espesor a diferentes temperaturas.

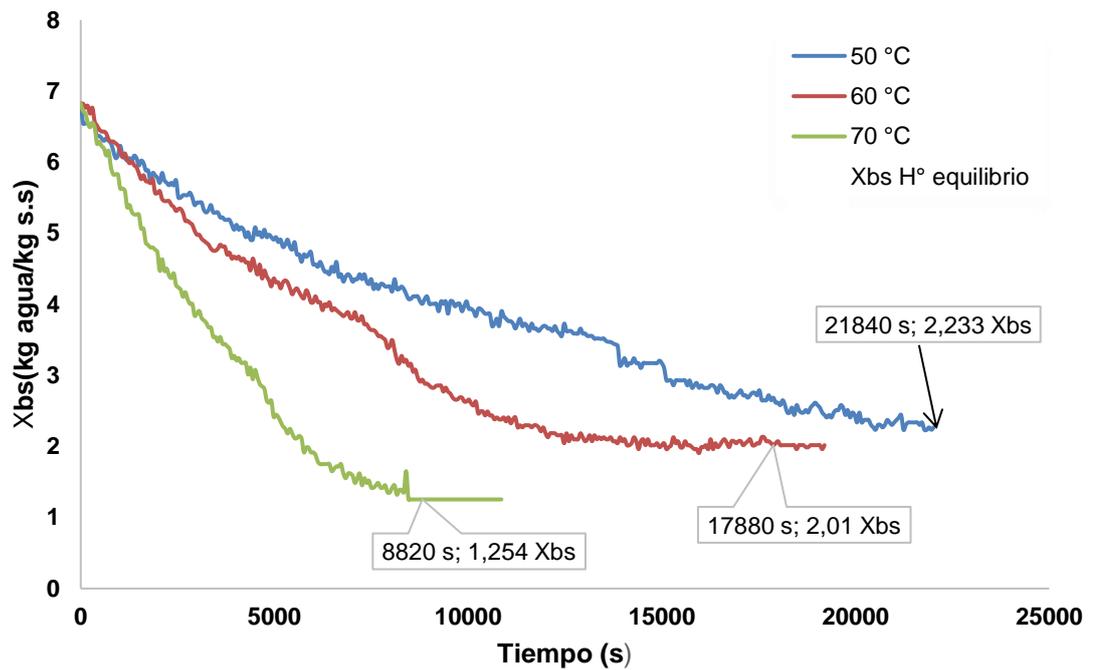


Figura 6. Curvas de rapidez de secado a 5 cm de espesor a diferentes temperaturas.

4.4. Ajustes a modelos cinéticos de secado para la stevia.

En el Cuadro 6 se presentan los valores de las constantes de los modelos matemáticos teóricos de Newton (k), Page (k,n), Henderson y Pabis (k,a) y el logarítmico (k, a y b), observándose los valores de R^2 a 3 cm de espesor de cama a 50, 60 y 70 °C de temperatura de secado.

Cuadro 6. Coeficientes de los modelos con la temperatura a 3 cm de espesor de cama.

Modelo	Nombre Del Modelo	3 cm de espesor					
		50 °C		60 °C		70 °C	
$MR = \exp^{-kt}$	Newton	K	0,171	K	0,216	K	0,834
		R ²	0,989	R ²	0,98	R ²	0,945
$MR = \exp^{-kt^n}$	Page	K	0,189	K	0,241	K	0,815
		n	0,906	n	0,882	n	0,758
		R ²	0,994	R ²	0,983	R ²	0,971
$MR = a * \exp^{-kt}$	Henderson y Pabis	K	0,952	K	0,952	K	0,967
		a	0,181	a	0,181	a	0,792
		R ²	0,954	R ²	0,954	R ²	0,949
$MR = a * \exp^{-kt} + b$	Logarítmico	K	0,153	K	0,366	K	1,758
		a	1,011	a	0,748	a	0,71
		b	-0,037	b	0,271	b	0,308
		R ²	0,995	R ²	0,989	R ²	0,988

En el Cuadro 7 se presentan los valores de las constantes de los modelos matemáticos teóricos de Newton (k), Page (k,n), Henderson y Pabis (k,a) y el logarítmico (k, a y b), observándose los valores de R² a 5 cm de espesor de cama a 50, 60 y 70 °C de temperatura de secado.

Cuadro 7. Coeficientes de los modelos con la temperatura a 5 cm de espesor de cama.

Modelo	Nombre Del Modelo	5 cm de espesor					
		50 °C		60 °C		70 °C	
$MR = exp^{-kt}$	Newton	K	0,197	K	0,316	K	0,679
		R ²	0,968	R ²	0,978	R ²	0,991
$MR = exp^{-kt^n}$	Page	K	0,255	K	0,364	K	0,682
		n	0,8	n	0,836	n	0,998
		R ²	0,991	R ²	0,979	R ²	0,991
$MR = a * exp^{-kt}$	Henderson Y Pabis	K	0,177	K	0,29	K	0,68
		a	0,936	a	0,959	a	1,002
		R ²	0,988	R ²	0,969	R ²	0,991
$MR = a * exp^{-kt} + b$	Logarítmico	K	0,226	K	0,493	K	0,77
		a	0,823	a	0,811	a	0,96
		b	0,127	b	0,203	b	0,056
		R ²	0,99	R ²	0,988	R ²	0,992

RADÜNZ *et al.*, (2010), utilizó seis temperaturas de aire de secado (40, 50, 60, 70, 80 e 90 °C), con el objetivo de estudiar la cinética de secado de carqueja (*Baccharis trimera*). Los autores ajustaban los datos experimentales a doce modelos matemáticos, concluyendo que el modelo de MIDILLI *et al.* (2002) presentó el mejor ajuste a los datos para el rango de temperatura estudiado (40 a 90 °C), y el modelo de Page presentó un ajuste adecuado a los datos experimentales para el rango de temperatura de 60 a 90 °C.

El secado de tomillo (*Thymus vulgaris*) fue realizada por DOYMAZ (2010) utilizando temperatura del aire de secado en el rango de 40 a 60 °C, velocidad del aire de 2 m s⁻¹ y la humedad relativa de 14 a 45%. Fueron utilizados varios modelos matemáticos a los datos experimentales y el modelo de MIDILLI *et al.* (2002) fue que mejor se ajusta a los datos experimentales. Para el secado de las hojas louro (*Laurus nobilis* L.), DEMIR *et al.* (2004) utilizaron diferentes métodos de secado (aire a 40, 50 y 60 °C, secado a sol y sombra). Entre los diversos modelos matemáticos ajustados a los datos experimentales, el modelo de Page fue el que mejor describía el proceso de secado para las condiciones estudiadas. En estudio realizado con hojas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), ARSLAN Y OZCAN (2008) utilizaron 3 métodos de secado (a sol con temperaturas en un rango de 20 a 30 °C, estufa a 50 °C y en microondas a 700 W).

En el Cuadro 8, se muestran los resultados de los R cuadrados de los 4 modelos matemáticos Newton, Page, Henderson y Pabis y el logarítmico a 3 cm y a 5 cm de espesor de cama, claramente se detalla que los mayores valores de los R cuadrados pertenecen al modelo Matemático Logarítmico, comparado con los otros modelos matemáticos. Se puede observar que el modelo que presento el peor resultado fue el de Newton cuyos valores del coeficiente de determinación (r^2) fueron de 0,989; 0,980; 0,980; 0,968; 0,968 y 0,9780, respectivamente. Con el modelo logarítmico es el que más aproximación se obtuvo a la cinética de secado de las hojas de stevia considerándose a este método el modelo adecuado.

Cuadro 8. Resultados de los R^2 de los modelos matemáticos a 3 cm y a 5 cm de espesor de cama.

.Modelo	3 cm			5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
MR1 Newton	0,989	0,980	0,980	0,968	0,968	0,978
MR2 Page	0,994	0,983	0,983	0,991	0,991	0,979
MR3 Henderson y Pabis	0,995	0,954	0,954	0,988	0,988	0,969
MR4 Logarítmico	0,995	0,989	0,989	0,990	0,990	0,988

En general, los modelos que mejor se ajustaron a los diferentes tratamientos planteados en este trabajo fueron los de modelo Logaritmo y el de Page y la aproximación a la difusión, debido a que tienen en cuenta la variación del parámetro cinético k , mostrando incidencias significativas al momento de representar los datos experimentales. A pesar de que los modelos utilizados solo relacionan la pérdida de humedad con el tiempo, proporcionan un ajuste adecuado para predecir los periodos teóricos de secado. Aunque no incluyan otro tipo de variables como geometría, porosidad, presión y temperatura, demuestran su eficacia y sencillez, facilitando la aplicación de estos sin necesidad de información adicional.

Cabe resaltar que las siglas:

MR1 corresponde a las diferencias de humedades, donde en el modelo de Newton se halla el valor de K .

MR2 corresponde a las diferencias de humedades, donde en el modelo de Page se halla el valor de K y n .

MR3 corresponde a las diferencias de humedades, donde en el modelo de Henderson y Pabis se halla el valor de K y a.

MR4 corresponde a las diferencias de humedades, donde en el modelo Logarítmico se halla el valor de K, a y b.

Cuya fórmula matemática se muestra en el Cuadro 3.

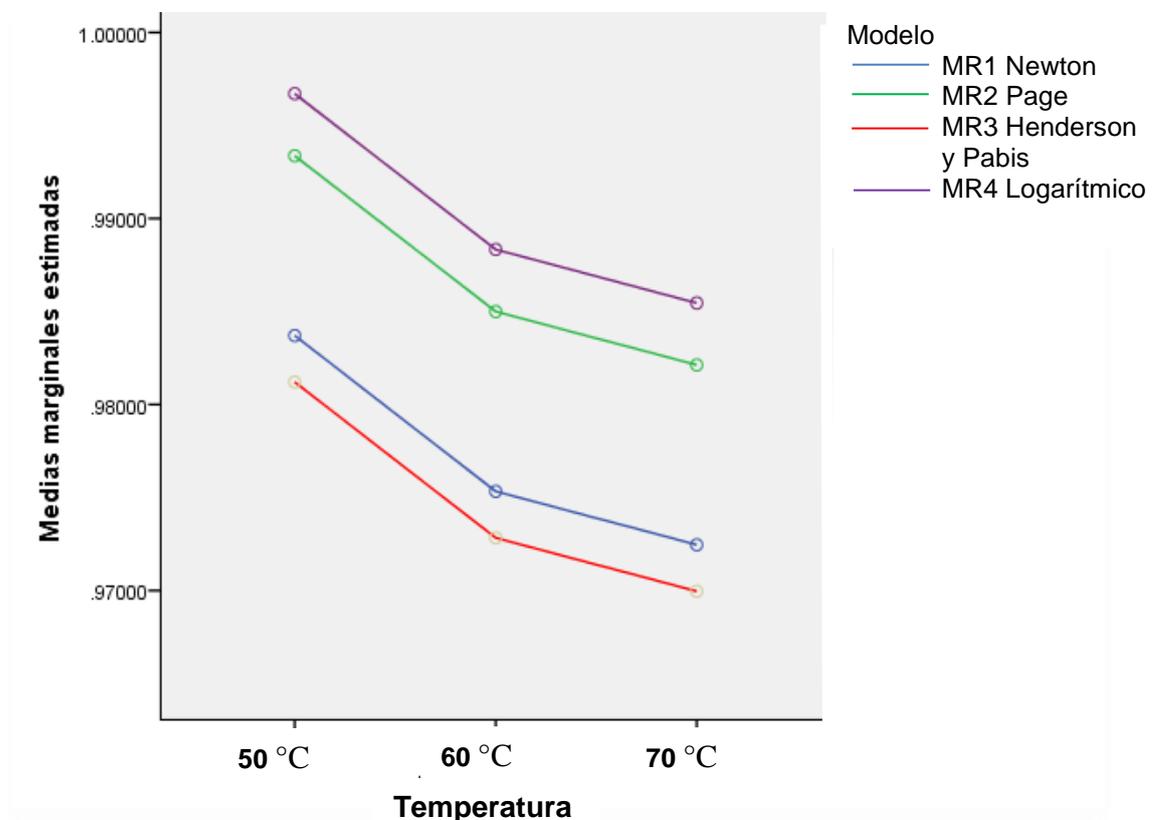


Figura 7. Medias marginales estimadas por tratamiento y modelo.

En el Anexo 8, sobre el análisis de variancia a los R cuadrados de los modelos matemáticos aplicados a los diferentes tratamientos, se detalla que no existe diferencia significativa entre espesores de cama ni por tratamiento por temperatura, pero sin embargo existe diferencia significativa entre los ajustes a los modelos matemáticos.

En la Figura 8 (Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 50 °C con un espesor de 3 cm); en la Figura 9 (Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 60 °C con un espesor de 3 cm. y en la Figura 10 (Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 70 °C con un espesor de 3 cm), observándose que a mayor temperatura de secado existe mayor dispersión entre los modelos.

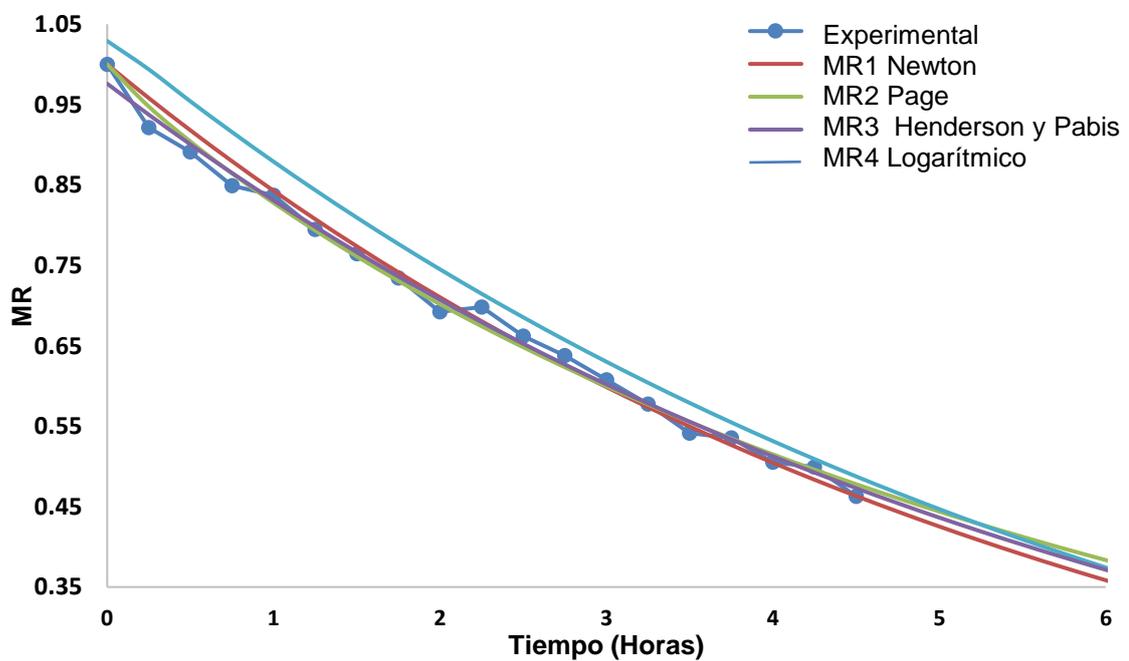


Figura 8. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 50 °C con un espesor de 3 cm.

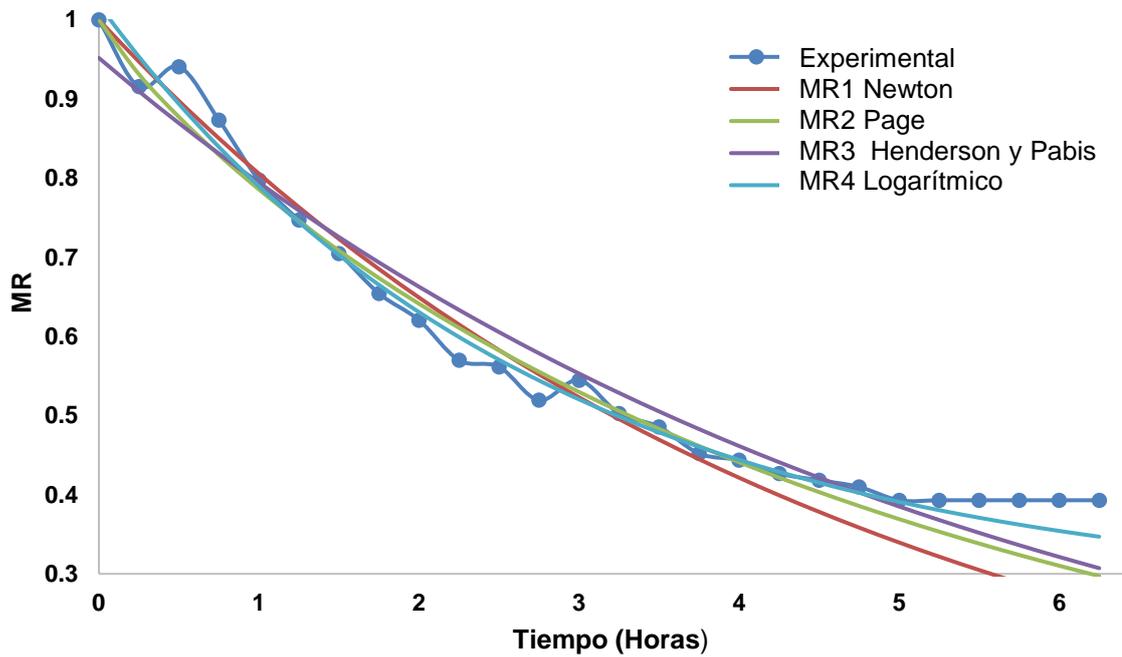


Figura 9. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 60 °C con un espesor de 3 cm.

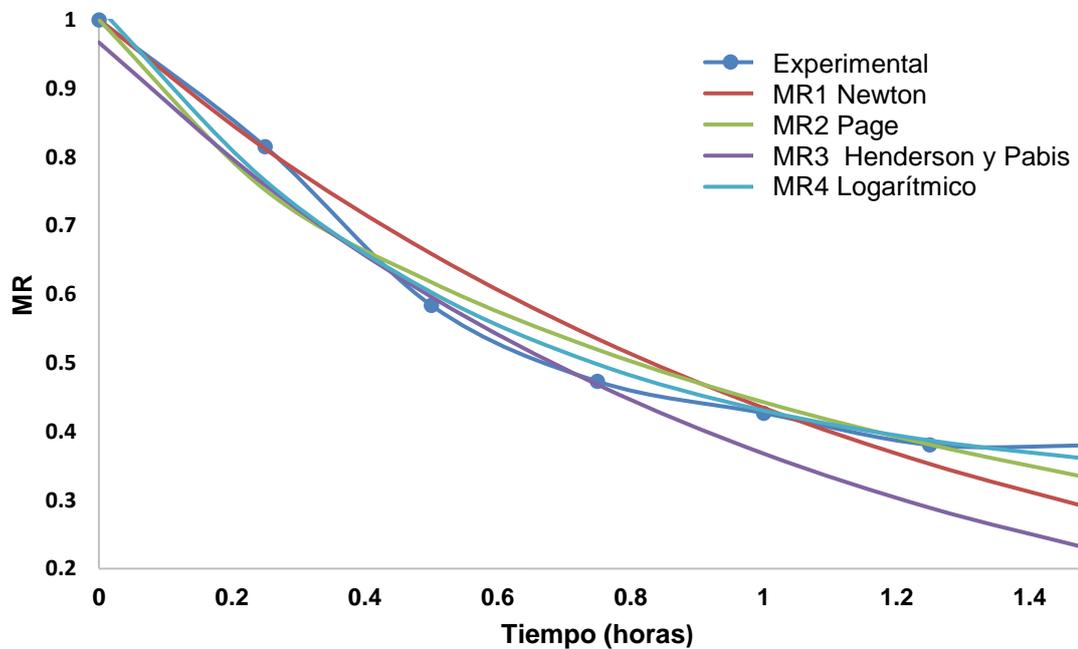


Figura 10. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 70 °C con un espesor de 3 cm.

En la Figura 11 (Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 50 °C con un espesor de 5 cm); en la Figura 12 (Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 60 °C con un espesor de 5 cm. y en la Figura 13 (Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 70 °C con un espesor de 5 cm), observándose que a mayor temperatura de secado existe mayor dispersión entre los modelos.

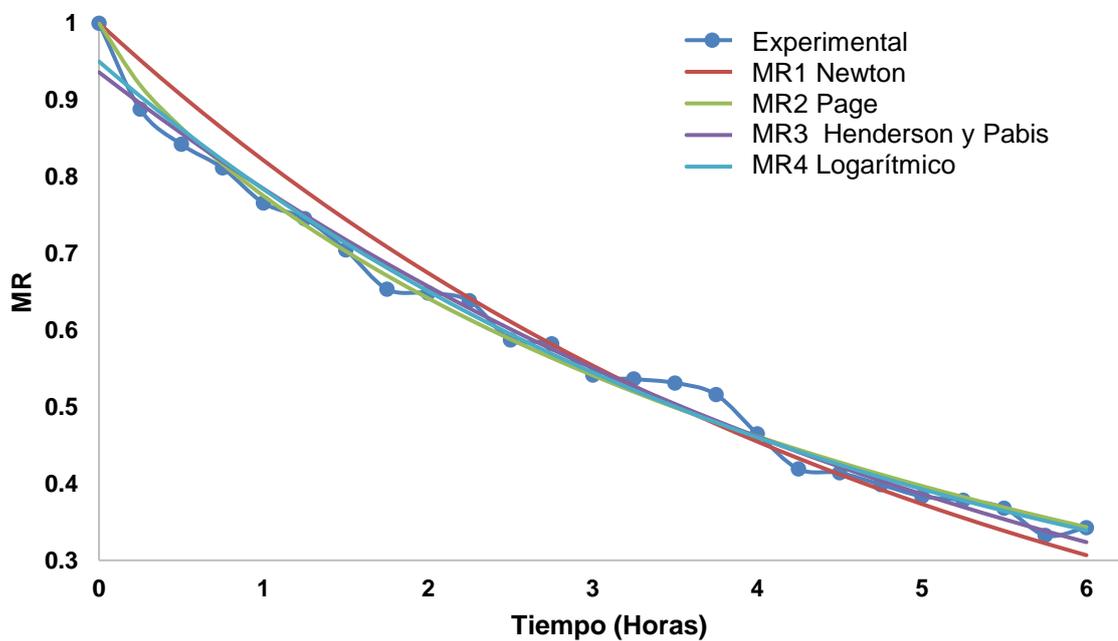


Figura 11. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 50 °C con un espesor de 5 cm.

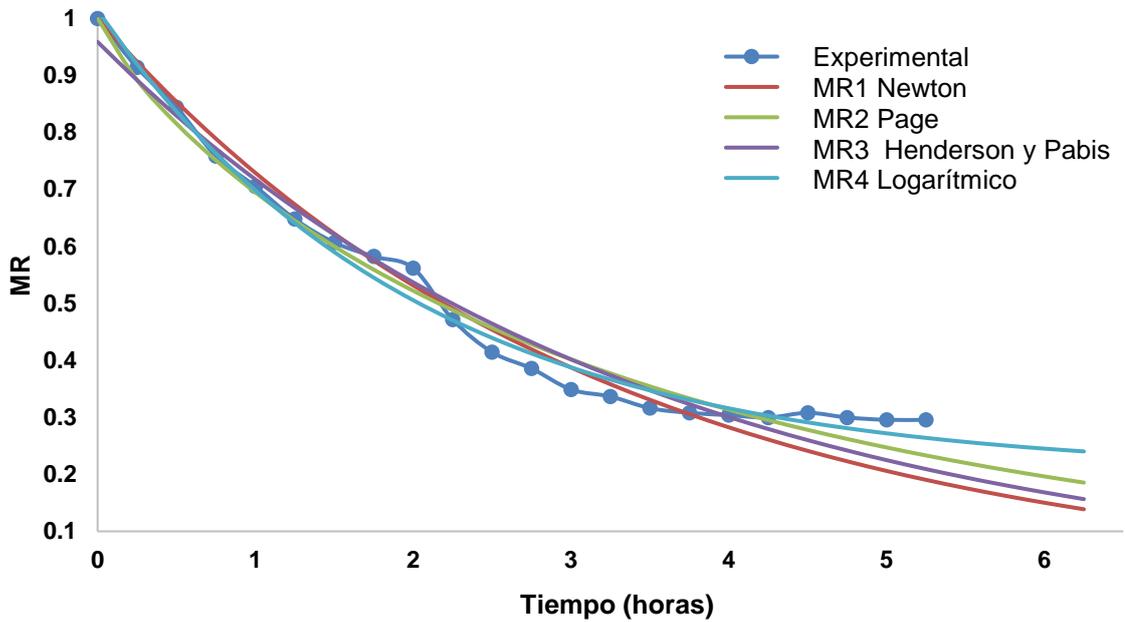


Figura 12. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 60 °C con un espesor de 5 cm.

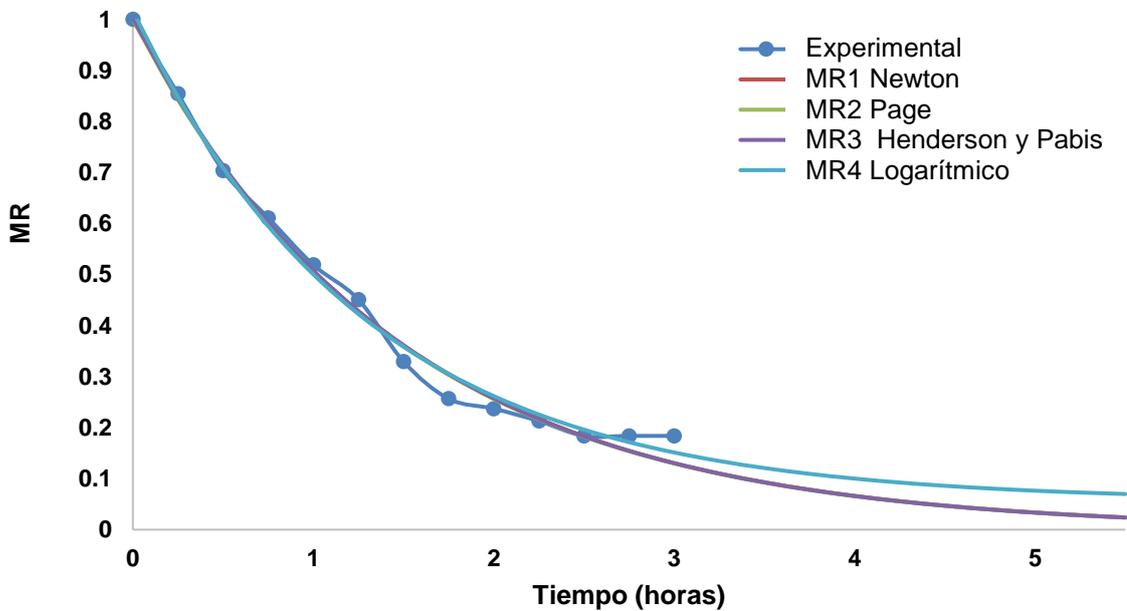


Figura 13. Variación de los resultados de MR, para la temperatura de 70 °C con un espesor de 5 cm.

4.5. Cálculo del Coeficiente de difusividad efectiva y energía de activación

Para el cálculo del coeficiente de difusividad efectiva, se utilizó la solución analítica de la segunda ecuación de Fick, la cual resulta adecuada para fenómenos difusivos durante la transferencia de masa en el alimento durante el secado hasta alcanzar el equilibrio. Asumiendo que los descartes de la hoja de stevia se asemejan a una lámina infinita, que la transferencia de masa es unidimensional y los tiempos de secado son largos, la expresión matemática del modelo se puede escribir como:

$$\ln MR = \ln \left(\frac{8}{\pi} * \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L_0^2} \right) \quad (26)$$

Donde: D_{eff} es el coeficiente de difusividad efectiva (m/s^2) y L_0 es el semiespesor de la capa a secar (m). D_{eff} es determinado a través de la gráfica de los datos experimentales de $\ln(MR)$ versus tiempo, a través de la pendiente:

$$\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L_0^2} \quad (27)$$

En general, la influencia de la temperatura de secado sobre el coeficiente de difusividad efectiva del agua en los alimentos sigue una tendencia tipo Arrhenius, la relación descrita por la ecuación (2) y al representar el $\ln D_{eff}$ vs $1/T$ se obtiene una línea recta de cuya pendiente se obtiene la E_a y de la ordenada al origen se obtiene el factor de Arrhenius (D_0).

$$D_{eff} = D_0 \exp \frac{E_a}{RT} \quad (28)$$

Donde: D_0 es el factor de Arrhenius, R es la constante universal de los gases y T es la temperatura absoluta.

En el cuadro 9, se verifica que los valores de la difusividad efectiva van desde $1,4975 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a $1,37319 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a 50 y 70°C con un espesor de cama de 3 cm. A 5 cm de espesor de cama entre 50 y 70°C se obtiene valores de difusividad efectiva de $1,234289 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a $6,348265 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. También se observa la clara dependencia de este parámetro con la temperatura, esto es a medida que aumentó la temperatura de secado aumentó en $1,37319 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a 3 cm de espesor y $6,335922 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a 5 cm de espesor la difusividad D_{eff} .

Cuadro 9. Difusividad efectiva D_{eff} , energía de activación E_a y factor de Arrhenius D_0 .

Espesor	Temp (°C)	D_{eff} (m^2/s)	$1/T$ (K^{-1})	Pendiente	R^2	E_a (Kj/mol)	D_0 (m^2/s)
3 cm	50	1,497520E-10	0,003095				
	60	1,613550E-09	0,003002	-3,99E-05	0,999	3,3175	1,026
	70	1,373194E-09	0,002914				
5 cm	50	1,234289E-10	0,003095				
	60	2,552072E-09	0,003002	-1,09E-04	0,993	9,1076	1,021
	70	6,348265E-08	0,002914				

Los valores de la difusividad efectiva obtenidos en ese trabajo difieren de aquellos de DOYMAZ (2010) al estudiar el secado de esa misma especie, en el rango de temperatura de 40 a 60 °C y velocidad del aire de 2 m s^{-1} . Ese autor observó que los valores fueron de $1,097$ a $5,991 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Da ROCHA *et al.*, (2011), en el estudio de la cinetica de secado del tomillo encontró a 30 °C una difusividad de $3,689 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ y a 70 °C una difusividad de $1,190 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ SIMAL

et al. (2000) evaluó el secado de las hojas de sábila y el valor de la difusividad efectiva varió desde 5,64 a $18,1 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, para el rango de temperatura de 30 a 70 °C. PANCHARIYA *et al.* (2002) observaron en el secado de té negro, que la difusividad fue de 1,141 a $2,985 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para el rango de temperatura de 80 a 120 °C. THERDTHAI y ZHOU (2009) encontraron para el secado de las hojas de menta, valores de 0,96 e $1,9 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para la temperatura de 60 e 70 °C, respectivamente.

Los resultados del Cuadro 9, indican que, aumentando la temperatura de secado y el espesor de cama, los valores de la difusividad efectiva aumentan. Esta tendencia concuerda con los resultados obtenidos por GIRALDO-ZUNIGA *et al.*; (2010) en el secado de pulpa de cupuazu, en donde se señala, además, que la difusividad efectiva varia conforme se modifican las condiciones del proceso de secado (temperatura, velocidad del aire, espesor de cama, etc.) y no depende del producto a secar. Otros estudios que también obtienen esta relación entre la temperatura y la difusividad del agua son los realizados por PUENTE-DÍAZ *et al.* (2013) al secar con infrarrojo subproductos del limón; Vega (2005) en el modelado de la cinética de secado del pimiento rojo, en donde además se concluye que la humedad inicial y el diámetro del producto también son influyentes.

La energía de activación para la difusión de agua para las hojas de tomillo en condiciones estudiadas fue de 77,16 kJ mol⁻¹. Este valor es muy próximo al encontrado por Da ROCHA *et al.*; (2011), en el estudio de la cinética de secado del tomillo encontró la energía de activación de agua para las hojas de tomillo de

77,16 kJmol⁻¹. DOYMAZ (2010) al trabajar en el secado de esta misma especie, siendo el valor encontrado de 73,84 kJ mol⁻¹. La energía de activación para el secado de diversos productos viene siendo foco de estudios de varios trabajos, como, por ejemplo, SIMAL *et al.* (2000) donde encontró el valor de la energía de activación de 24,40 kJ mol⁻¹ para babosa, 82,93 kJ mol⁻¹ para menta (PARK *et al.*, 2002) y 31,79 kJ mol⁻¹ para básmamo de limón (BARBOSA *et al.*, 2007).

4.6. Carga microbiológica en la hoja de stevia al inicio y al final del secado.

En el Cuadro 10 se observa recuento de mohos y levaduras a los cero días donde el mínimo es de 1×10^3 ufc/g y el máximo es de 2×10^3 ufc/g y el recuento de microorganismos viables aerobios mesófilos mínimo es de $1,8 \times 10^3$ ufc/g y el máximo es de 6×10^3 ufc/g. A los 60 días el recuento de mohos y levaduras es de 1×10^3 ufc/g y el máximo es de 17×10^3 ufc/g y el recuento de microorganismos viables aerobios viables mínimo es de $3,0 \times 10^3$ ufc/g y el máximo es de 11×10^3 ufc/g. DIGESA (2003) establece las norma sanitaria en los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano, donde especifica que para especies y condimentos secados estableciendo un valor m (valor umbral del número de bacterias) como minino es de para mohos y levaduras de 1×10^3 ufc/g, mientras que para M(valor límite del número mohos y levaduras) es 1×10^4 ufc/g. Para aerobios mesófilos viables para especies y condimentos secados estableciendo un valor m (valor umbral del número de bacterias) como minino 1×10^5 ufc/g, mientras que para M (valor límite del número aerobios mesófilos viables) es 1×10^6 ufc/g. Los datos obtenidos en las muestras en estudio se encuentran dentro del rango establecido por DIGESA (2003).

Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua, es así, que ZEKI, (2013), dice: los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso, sin embargo, es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso, para preservar el sabor y su valor nutritivo. Además, se puede observar que a temperaturas bajas de secado se elimina sólo el agua en cambio a altas temperaturas de secado se evapora el agua y ciertos compuestos volátiles como: alcaloides, compuestos aromáticos y otros. También se observa, que cuando aumenta el espesor del material en 66,7 %, se obtiene un incremento del 13,78 % de la humedad final para de la hoja de stevia. En el secado, los alimentos pierden su contenido de humedad, dando como resultado el aumento en la concentración de nutrientes; vitaminas, proteínas, carbohidratos, están presentes en mayor cantidad en los alimentos secados que en los frescos.

Cuadro 10. Carga microbiológica en la hoja de stevia al inicio y al final del secado.

Tratamiento	Indicador	Tiempo	
		0 Días (ufc/g)	60 Días (ufc/g)
T ₁	NML	2x10 ³	17x10 ³
	NMAV	1,8x10 ³	4,5x10 ³
T ₂	NML	1x10 ³	5x10 ³
	NMAV	5x10 ³	3x10 ³
T ₃	NML	1x10 ³	6x10 ³
	NMAV	6x10 ³	11x10 ³
T ₄	NML	1x10 ³	2x10 ³
	NMAV	4x10 ³	4x10 ³
T ₅	NML	1x10 ³	2x10 ³
	NMAV	5x10 ³	6x10 ³
T ₆	NML	ausencia	1x10 ³
	NMAV	4x10 ³	4x10 ³

NML= Numero de mohos y levaduras

NMAV= Numero de microorganismos aerobios viables

4.7. Evaluación sensorial.

El análisis de varianza (ANOVA) se determinó para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplicó para contrastar la igualdad de medias del espesor y temperatura de secado, así como también entre los atributos (sabor, dulzor y color).

Del Anexo 11, podemos observar que entre los factores espesor y atributos no existe diferencia significativa, sin embargo, para el factor temperatura existe diferencia altamente significativa, en tal sentido se realizó la prueba de tukey.

Del Anexo 12, podemos observar, que al comparar entre los factores de atributo (dulzor, Color y sabor), no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Del Cuadro 11 podemos observar que entre los tratamientos a 50 °C y 60 °C no existe diferencia significativa, entre 50 °C, 60 °C y entre 70 °C existe diferencia altamente significativa.

Cuadro 11. Comparaciones múltiples sensoriales entre temperaturas.

(I)Temp.	(J)Temp.	Diferencia de medias (I-J)	Error	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
50 °C	60 °C	0,06	0,118	0,876	-0,22	0,34
	70 °C	0,96*	0,118	0,000	0,69	1,24
60 °C	50 °C	-0,06	0,118	0,876	-0,34	0,22
	70 °C	0,91*	0,118	0,000	0,63	1,18
70 °C	50 °C	-0,96*	0,118	0,000	-1,24	-0,69
	60 °C	-0,91*	0,118	0,000	-1,18	-0,63

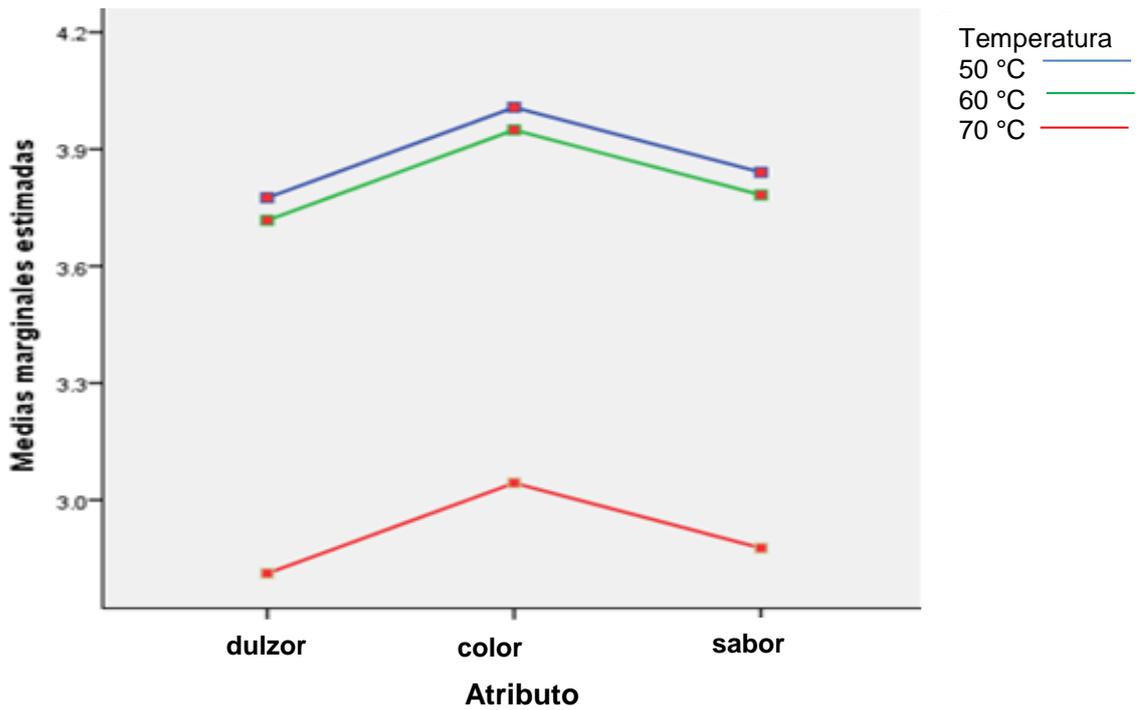


Figura 14. Comparación de medias para atributos a 3 cm de espesor de cama.

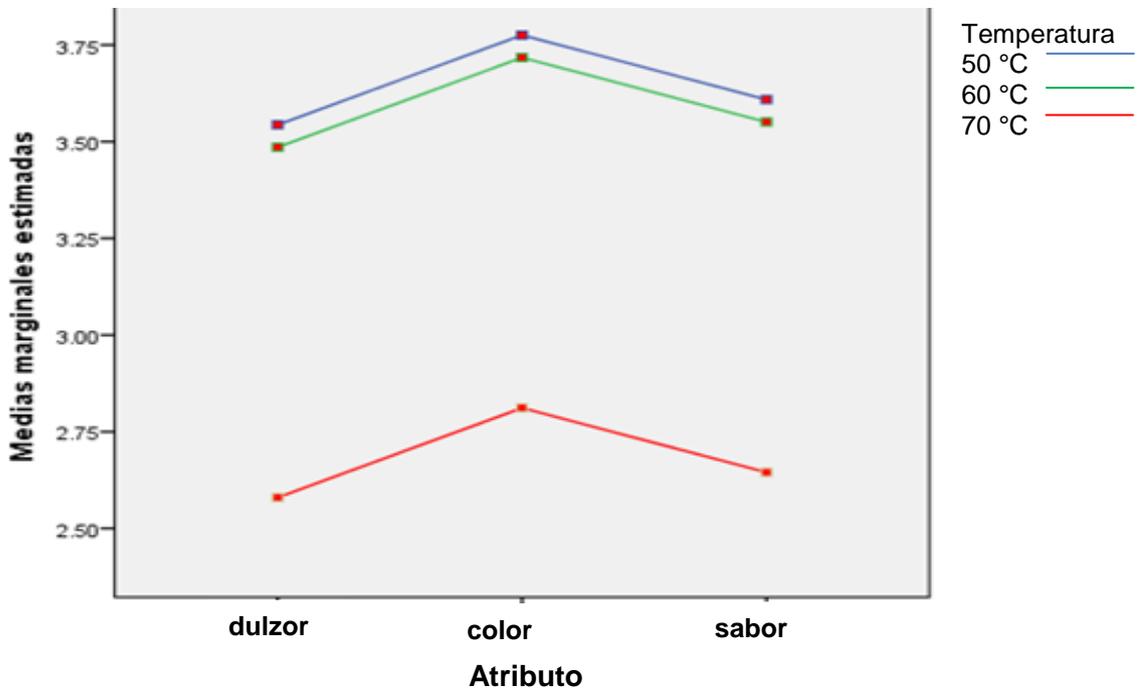


Figura 15. Comparación de medias para atributos a 5 cm de espesor de cama.

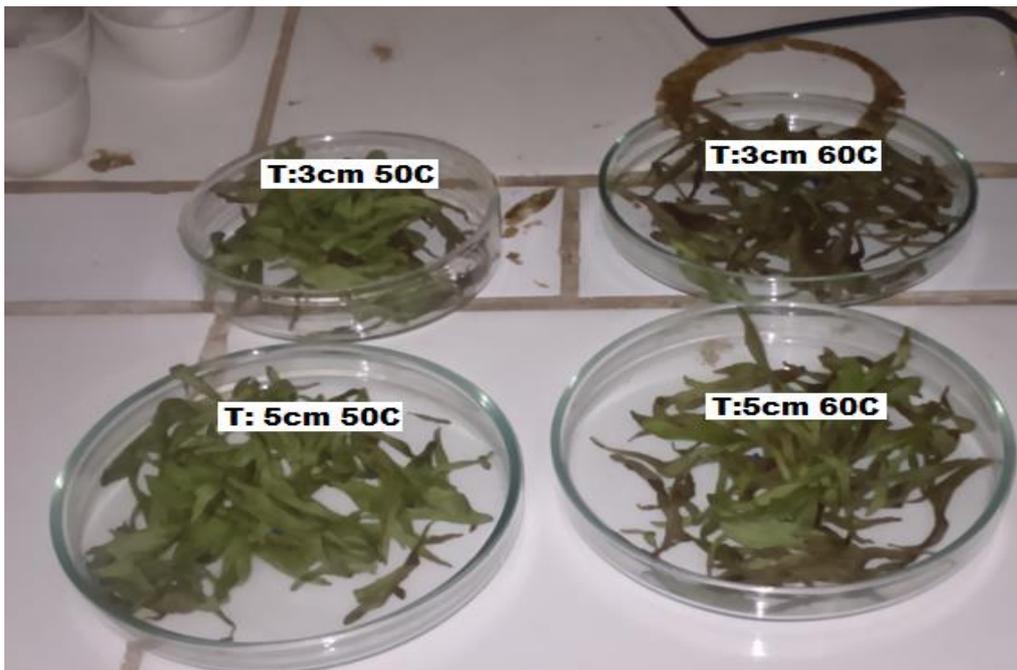


Figura 16. Muestras de las hojas de stevia secas de 3 y 5 cm de espesor a las temperaturas de 50 y 60 °C.

En la Figura 16, según el análisis sensorial, se muestra la diferencia de color de las hojas de stevia a 3 y 5 cm de espesor a temperatura de 50 y 60 °C, diferenciándose que a 3 y 5cm de espesor y a 50 °C se mantiene un color aceptable, mientras que a 60 °C presenta un color verde pardeado por el tratamiento no deseable.

En el Anexo 13 y 14 se observa el análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA) para 3 y 5 cm.

V. CONCLUSIONES

Considerando las condiciones experimentales de la investigación, se concluye:

- El parámetro óptimo para el secado de la hoja de la stevia es de 277 minutos con aire caliente a 50° C con 3 cm de espesor de cama y velocidad del aire de 1,5 m/s.
- Los modelos matemáticos evaluados se ajustaron a las curvas de secado, siendo el modelo logaritmo que ajusto a la cinética de secado de las hojas de stevia a 50°C, 60°C y 70°C a 3 cm y 5 cm de espesor de cama. Los valores de los coeficientes de difusividad efectiva variaron entre $1,4957 \cdot 10^{-10}$ a $6,3486 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. El valor de energía de activación para la difusión del agua en el secado fue de 3,3175 a 9,1076 kJ mol⁻¹.
- El recuento de mohos y levaduras como de microorganismos aerobios viables mesófilos al inicio y al final del almacenamiento de las hojas de stevia se encuentran dentro de los rangos permisibles.
- En la evaluación sensorial el de 50 °C con 3 cm de espesor de cama en el tributo dulzor obtuvo la mayor puntuación 5 (muy fuerte) y 4 (ligeramente fuerte), en color obtuvo 4 (me gusta moderadamente) y en astringencia 4 puntos (me gusta moderadamente).

VI. RECOMENDACIONES

De los resultados y de las conclusiones establecidas en el presente trabajo de investigación se recomienda:

- Realizar estudios sobre la variación de los antioxidantes de las hojas de stevia variando las temperaturas y velocidades de aire.
- Realizar estudios de la variación de los antioxidantes de las hojas de stevia variando los métodos de secado, por liofilización, por atomización y por lecho fluidizado.
- Determinar modelos matemáticos a las curvas de secado por liofilización, atomización y por lecho fluidizado para describir la cinética de secado de las hojas de stevia.

SUMMARY

DRYING OF STEVIA LEAVES (*Stevia rebaudiana* Bertoni) BY CONVECTION, MICROBIOLOGICAL AND SENSORY EVALUATION.

The research was developed at Food Engineering and Food Quality Control Laboratories of the Universidad Nacional Agraria de la Selva. The objectives were to determine the optimal parameters for the convection drying of stevia leaves, the drying curves of the stevia leaves, and the microbiological burden on the stevia leaf at the beginning and at the end of the drying and the sensory evaluation of the dried stevia leaves.

The samples were fresh stevia leaves. The data were analyzed using the Randomized Complete Block design (RCB) and Turkey's test ($p \leq 0,05$), using SPSS program 20. The physical characteristics of Stevia leaves were $33,756 \pm 2,317$ mm long, $10,582 \pm 1,083$ mm wide, $0,141 \pm 0,019$ grams, while the area was $2,342 \pm 0,185$ cm², the leaves were prepared to be dried by forced convection at 50 °C, 60 °C and 70 °C to 3 cm and 5 cm of thickness of the drying bed, taking the data of moisture loss through the interface of a computer.

The fresh leaves with 87,217% of moisture were spray-washed and disinfected with a sodium hypochlorite solution 50 ppm, shade-dried for 30 minutes the average initial weight of stevia leaves were 15,2667 g, and dehydrated to obtain the dried leaf's commercial moisture 3,12337 g water/g s.s. using 277 minutes to be dried with hot air at 50 °C with 3 cm of bed thickness on the drying at a

constant airspeed of 1.5 m/s. They were cooling the environment for 30 minutes, being carried in polyethylene bags at 10 g and sealed. The evaluated mathematical models were adjusted to the drying curves.

From proposed models to describe the drying kinetics of stevia leaves as the logarithm model $MR = 1,0011 * exp^{-0,153t} - 0,037$ obtained the best fit for the drying curves at 50 °C, 60 °C and 70 °C to 3 cm and 5 cm of thickness on the bed. The values of coefficients of effective diffusivity varied between $1,4957*10^{-10}$ a $6,3486*10^{-8} m^2s^{-1}$. The value of activation energy for the diffusion of water in the drying of the stevia leaves was from 3,3175 to 9,1076 kJ mol⁻¹.

The data obtained from microbiological burden on the stevia leaf at the beginning and at the end of drying are within the allowable range. The sensory evaluation of 50 °C with 3 cm of thickness on the bed, in attribute in sweetness it obtained the highest scores of 5 (very strong) and 4 (slightly strong), in color it obtained the score of 4 (I like it at a moderate level) and in astringency it obtained the score of 4 (I like it a moderate level).

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABOU, A.E., ABOU, A.A., ABU, M.F. 2010. Physico-chemical assessment of natural sweeteners steviosides produced from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant. African Journal of Food Science, Cairo. 4(5):269-281.
- Akpinar E.K., Bicer Y. 2005. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. International Journal of Food Science & Technology, 40(1): 1-9.
- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural. Trad. por George W Latimer. Chemistry. 19 Edition, Washington U.S.A.
- ALVARADO, J. 1996. Propiedades físicas de frutas: IV. Difusividad y conductividad térmica efectiva de pulpas. Latin American Applied Research, Bahía Blanca, Argentina. 24: 41-47.
- ARSLAN, D.; OZCAN, M. M.. 2008. Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and color characteristics of rosemary leaves. Energy Conversion and Management, v.49, p.1258-1264.
- BARBA, F.J., NIEVES, M., MIRACLE, C.I., ESTEVE, M., RODRIGO, D. 2010. *Stevia rebaudiana* Bertoni a natural antioxidant/antimicrobial for high pressure processed fruit extract: Processing parameter optimization. Food Chem, Valencia, España. 148:261-267.

- DA ROCHA, R.; MELO, E.; CORBÍN, J.; BERBERT, P.; DONZELES, I.; TABAR, J. 2012. Cinética del secado del tomillo (*Thymus vulgaris* L.) 2012. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.6, p.675–683, Campina Grande. Brasil.
- DEMIR, V.; GUNHAN, T.; YAGCIOGLU A. K.; DEGIRMENCIOGLU, A. 2004. Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. *Biosystems Engineering*, v.88, p.325-335..
- DÍAZ, C. 2014. Determinación del método óptimo de extracción de esteviósido y rebaudiosido de las hojas de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) a nivel piloto en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la Universidad Nacional del Callao. Tesis Ing. Químico. Callao, Perú. Universidad Nacional del Callao. 82 p.
- DIGESA. 2003. Proyecto de actualización de la rm n° 615-2003 sa/dm. Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano
- DOYMAZ, I. 2010. Drying of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and selection of a suitable thin-layer drying model. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.1, p.1-8.
- FAO. 2004. *Stevia rebaudiana*. Ecocrop. [en línea]: (<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=10084>.) documento 24 enero del 2015.

- FUNCFOS: Fundación Colombiana para el Desarrollo y Fomento Social. 2010. Manual de la stevia, Cundinamarca (Colombia). Manual. 23p.
- GIRALDO-ZUNIGA, A.; ARÉVALO-PINEDO, P; SILVA, A.; SILVA, P.; VALDES-SERRA, J.; PAVLAK, M. 2010. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 30(1): 179-182.
- GHAZANFARI, A.; EMAMI, S.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S. 2006. Thin-layer drying of flax fiber: I. Analysis of modeling using Fick's second law of diffusion. *Drying Technol.*, 24: 1631-1635.
- GOYAL, S., y SAMSHER, G. 2010. Stevia (*Stevia rebaudiana*) a bio-sweetener: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. Meerut, India. 6:1-10.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. 1961. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research* 6, 169-174.
- HERRERA, C., GOMEZ J., GONZALEZ, C. 2012. El cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en condiciones agroambientales de Nayarit México. Instituto nacional de investigaciones forestales y agrícolas y pecuarias, Nayarit (México). Folleto técnico n. 19. 31 p.
- JERIA, H., POZO, A. 2011. Estudio del secado convectivo de hojas de *stevia rebaudiana* y factibilidad técnico-económica de una planta elaboradora de edulcorante a base de stevia. Tesis. Universidad de Chile. Santiago, Chile

- JENTZER, J., ALIGNAN, M., VACA, G., RIGAL, L., VILAREM, G. 2015. Response surface methodology to optimise Accelerated Solvent Extraction of steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Food Chemistry*, Toulouse, France. 166: 561-567
- KAUSHIK, R., PRADEEP, N., VAMSHI, V., GEETHA, M., USHA, A. 2010. Nutrient composition of cultivated stevia leaves and the influence of polyphenols and plant pigments on sensory and antioxidant properties of leaf extracts. *Journal of Food Science and Technology*. Mysore, India. 47:27–33.
- MARTÍNEZ, P., T. 2002. *La Hierba Dulce. Historia, Usos y Cultivo de la Stevia rebaudiana* Bertoni. 1ra ed. Albacete, España.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAZ, Z. 2002. A new model for single-layer drying. *Drying Technology* 20: 1503-1513.
- MISHRA, P., SINGH, R., KUMAR, U., PRAKASH, V. 2010. *Stevia rebaudiana*. A magical sweetener. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*, Allahabad, India. 5: 62–74.
- MUÑOZ, C. 2002. Determinación de la difusividad térmica en pasta de Murta (*Ugni molinae* Turcz), en función de la temperatura. Tesis para optar el grado de Licenciado en Ing. en Alimentos. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 89 p.
- PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. 2002. Thin-layer modeling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, Davis, 52 (4): 349-357.

- PUENTE-DÍAZ, L; ECHEGARAY- PACHECO, E; CASTRO- MONTERO, E; DI SCALA, K. 2013. Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón (*Citrus limon* (L.) Burm. F. Cv. Genova). *Dyna*, año 80, Nro. 181, pp. 91-97. Medellín.
- RADÜNZ, L.L.; MELO, E.C.; ROCHA, P.P.; BERBERT, P.A.; GRACIA, L.M.N. 2010. Study of essential oil from guaco leaves submitted to different drying air temperature. *Engenharia na Agricultura*, 18: 241-247.
- RAZO, C. 2011. Diseño de una planta piloto para la industrialización de stevia en la comunidad Cueva De Los Monos, Cantón Sacha, Provincia de Orellana. Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Agroindustrial Escuela Politécnica Nacional Facultad De Ingeniería Química Y Agroindustria. Quito, Escuela Politécnica Nacional. 138 p.
- SAVITA, S., SHEELA, K., SUNANDA, S., SHANKAR, A., RAMAKRISHNA, P. 2004. *Stevia rebaudiana* .A functional component for food industry. *Journal of Human Ecology*, Karnataka, India. 15(4): 261-264.
- SERIO, L. 2010. La *Stevia rebaudiana*, une alternative au sucre. *Nutrithérapie*, Springer- Verlag France. 8: 26-32.
- 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, p.109-114.
- SINGH, P., y HELDMAN, D. 2014. *Introduction to Food Engineering* (Fifth Edition). Elsevier Inc. All rights reserved. p. 421-474.

- TADHANI, M., y SUBHASH, R. 2006. Preliminary studies on *Stevia rebaudiana* leaves: Proximal composition, mineral analysis and phytochemical screening. *Journal of Medical Sciences, Gujarat, India.* 6(3): 321-326.
- THERDTHAI, N.; ZHOU, W. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering*, v.91, p.482- 489.
- TOGRUL I.T., PEHLIVIAN D. (2002). Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers *Journal of Food Engineering*, 55(1): 209-216.
- TUCKER, A., y DEBAGGIO, T. 2009. The enciplopedia of herbs. A comprehensive reference to herbs of flavor and fragrance. Segunda edición. Editorial Timer Press. Londres, Inglaterra. 599 p.
- VEGA, L. 2005. Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum Annum* L.) cv Lamuyo. . *Revista Información Tecnológica.* , 3-11.
- VILLAGRAN, J.A., HUAYAMAVE, B.C., LARA, G.J., MALUK, S.O. 2010. Stevia: Producción y Procesamiento de un Endulzante Alternativo. Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador. (Abstrac).
- ZEKI, B. 2013. *Food Process Engineering and Technology*, Second Edition. Academic Press.US. p. 77-125.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Cálculos de secado.

1.1 Determinación de humedad en base seca de hojas de stevia

Se inicia con 13,6 g (Mh) de materia fresca (stevia) con las siguientes

Humedades:

$$X = 87,2172 \% \text{ de agua}$$

$$X = 12,7830 \% \text{ S.S.}$$

$$S = \frac{Mh * Ms}{Mh}$$

Donde:

Mh=Materia Húmeda

Ms=Materia Seca

S =Peso del solido seco

$$S = \frac{Mh * Ms}{Mh} = \frac{13,6 \text{ g m. h.} * 12,7830 \text{ g s. s.}}{100 \text{ g m. h.}} = 1,73848 \text{ g s. s.}$$

$$X_{bs} = \frac{Mh - S}{S}$$

Donde:

Mh=Materia Húmeda

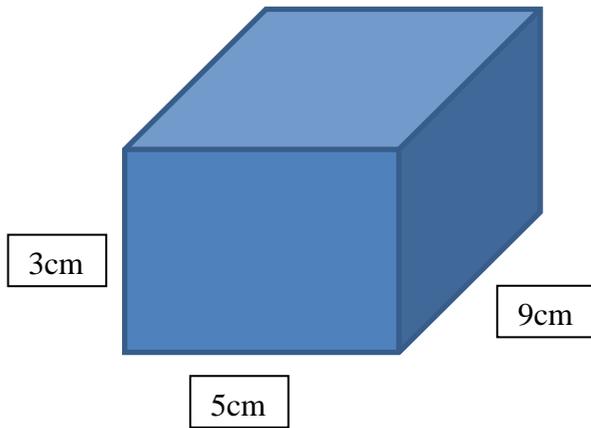
S =Peso del solido seco

Xbs=Humedad en base seca

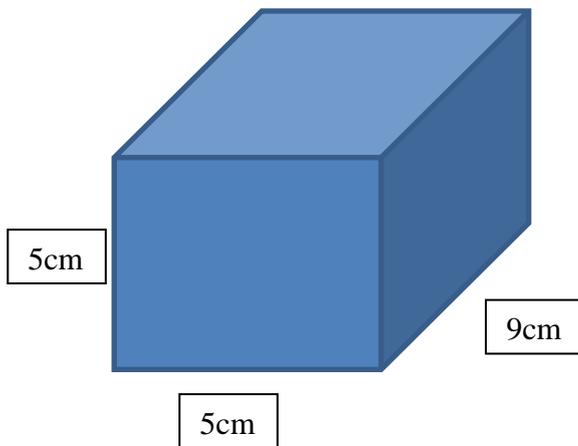
$$X_{bs} = \frac{Mh - S}{S} = \frac{13,6 \text{ g m. h.} - 1,73848 \text{ g s. s.}}{1,73848 \text{ g m. h.}} = 6,8229 \text{ g s. s.}$$

1.2 Cálculo del área de secado.

$$A_{3 \text{ cm de espesor}} = 3 \text{ cm} * 5 \text{ cm} * 2 + 9 \text{ cm} * 5 \text{ cm} * 4 = 210 \text{ cm}^2$$



$$A_{5 \text{ cm de espesor}} = 5 \text{ cm} * 5 \text{ cm} * 2 + 9 \text{ cm} * 5 \text{ cm} * 4 = 230 \text{ cm}^2$$



1.3 Cálculo de la velocidad de secado

$$W = \frac{S(x_2 - x_1)}{A(t_2 - t_1)} \quad \frac{g_{H_2O}}{s * cm^2}$$

Donde:

W=velocidad de secado $\frac{g_{H_2O}}{s * cm^2}$

S=Peso del sólido seco

X₂=Humedad final

X₁=Humedad inicial

T₂=Tiempo final

T₁=Tiempo inicial

$$W = \frac{1.73848 \text{ g s. s.} * (6.7654 - 6.8229) \text{ g H}_2\text{O/g s. s.}}{210 \text{ cm}^2(0 - 60) \text{ s}} = 7.933539683^{-6} \frac{g_{H_2O}}{s * cm^2}$$

Anexo 2. Datos de tiempo y temperatura de secado a 3cm y 5cm de espesor.

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
0	6,8228898	6,8228898	6,8228898
60	6,6993705	6,7653685	6,8228898
120	6,8228898	6,5352835	6,759802
180	6,7405436	6,4777623	6,6967141
240	6,8228898	6,420241	6,5705385
300	6,6170243	6,4777623	6,3181872
360	6,8228898	6,4777623	6,1920116
420	6,6170243	6,420241	6,1920116
480	6,7405436	6,4777623	6,381275
540	6,5758512	6,3627198	6,2550994
600	6,7405436	6,3051985	5,9396603
660	6,5758512	6,2476773	5,8134846
720	6,4111587	6,420241	5,6242212
780	6,5758512	6,3051985	5,9396603
840	6,4523318	6,3051985	5,6242212
900	6,4523318	6,2476773	5,5611334
960	6,534678	6,190156	5,1826064
1020	6,4523318	6,190156	5,1195186
1080	6,3699856	6,1326348	4,9302552
1140	6,4523318	6,2476773	4,8671673
1200	6,2876394	6,1326348	4,8040795
1260	6,2876394	6,420241	4,614816
1320	6,4111587	6,420241	4,4886404
1380	6,2876394	6,420241	4,4886404
1440	6,2052932	6,420241	4,2362891
1500	6,2876394	6,420241	4,3624648
1560	6,122947	6,420241	4,1732013
1620	6,2052932	6,190156	4,1732013
1680	6,1641201	6,3627198	3,9839378
1740	6,122947	6,190156	4,0470257
1800	6,2052932	6,420241	3,9839378
1860	6,0817739	6,3627198	3,9839378
1920	6,0817739	6,1326348	3,92085
1980	5,9994277	6,190156	3,7946744
2040	6,0817739	6,1326348	3,7946744
2100	6,0817739	6,1326348	3,7946744
2160	6,0817739	6,0751135	3,7946744
2220	5,9994277	5,9600711	3,8577622
2280	5,9582546	6,0175923	3,7946744

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
2340	6,0406008	5,9600711	3,6054109
2400	5,9582546	5,9600711	3,6054109
2460	5,9994277	6,0175923	3,5423231
2520	5,9582546	6,0175923	3,6684987
2580	5,9994277	5,9600711	3,4161475
2640	5,9582546	5,8450286	3,4161475
2700	5,7935622	5,9600711	3,226884
2760	5,9170815	5,7299861	3,1637962
2820	5,9170815	5,7875073	3,226884
2880	5,9170815	5,7299861	3,0376205
2940	5,8347353	5,6724648	3,0376205
3000	5,9170815	5,6724648	2,9114449
3060	5,7935622	5,6724648	2,8483571
3120	5,6700429	5,7299861	2,9114449
3180	5,7523891	5,6724648	2,8483571
3240	5,7935622	5,4999011	2,7852692
3300	5,7523891	5,4999011	2,6590936
3360	5,711216	5,4999011	2,9745327
3420	5,7523891	5,4999011	3,2899718
3480	5,6288698	5,5574223	3,2899718
3540	5,6700429	5,3848586	2,8483571
3600	5,6700429	5,4423798	2,9114449
3660	5,6288698	5,2698161	2,7852692
3720	5,6700429	5,3273373	2,7852692
3780	5,7523891	5,3273373	2,6590936
3840	5,5876967	5,3273373	2,7852692
3900	5,7523891	5,3273373	2,6590936
3960	5,711216	5,3273373	2,6590936
4020	5,5053504	5,2122948	2,5960058
4080	5,5053504	5,3273373	2,5960058
4140	5,5876967	5,3848586	2,6590936
4200	5,5465235	5,2698161	2,6590936
4260	5,5465235	5,1547736	2,5960058
4320	5,50535044	5,0397311	2,596006
4380	5,46417734	5,0972523	2,911445
4440	5,38183113	5,0972523	2,596006
4500	5,42300424	5,0972523	2,596006
4560	5,50535044	4,9822098	3,416147
4620	5,46417734	5,0397311	2,974533
4680	5,38183113	5,0972523	2,974533
4740	5,42300424	4,9822098	2,974533
4800	5,29948492	4,9246886	2,911445

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
4860	5,42300424	4,9822098	2,974533
4920	5,38183113	4,8671673	2,785269
4980	5,46417734	4,8671673	2,911445
5040	5,54652355	4,8096461	3,163796
5100	5,34065803	4,6946036	3,037621
5160	5,25831182	4,9246886	2,848357
5220	5,34065803	4,8096461	3,226884
5280	5,29948492	4,8096461	3,037621
5340	5,25831182	4,5220398	3,037621
5400	5,29948492	4,8096461	2,911445
5460	5,29948492	4,6946036	3,037621
5520	5,0936194	4,8096461	2,974533
5580	5,17596561	4,6370823	3,163796
5640	5,17596561	4,6370823	3,037621
5700	5,25831182	4,6370823	3,037621
5760	5,21713872	4,6370823	2,848357
5820	5,17596561	4,6370823	3,037621
5880	5,17596561	4,6370823	2,785269
5940	5,25831182	4,6370823	
6000	5,0936194	4,5795611	
6060	5,17596561	4,4069973	
6120	5,25831182	4,5220398	
6180	5,0936194	4,6370823	
6240	5,0936194	4,5220398	
6300	5,13479251	4,4645186	
6360	4,97010009	4,4645186	
6420	5,0112732	4,2919548	
6480	5,0524463	4,4069973	
6540	5,011273	4,349476	
6600	5,093619	4,464519	
6660	5,011273	4,406997	
6720	5,011273	4,234434	
6780	4,9701	4,406997	
6840	5,093619	4,234434	
6900	4,9701	4,291955	
6960	4,9701	4,176912	
7020	4,887754	4,176912	
7080	5,011273	4,234434	
7140	4,846581	4,234434	
7200	4,928927	4,234434	
7260	4,846581	4,06187	
7320	4,928927	4,234434	

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
7380	4,887754	4,06187	
7440	4,887754	4,119391	
7500	4,887754	3,946827	
7560	4,723061	4,004349	
7620	4,928927	3,946827	
7680	4,887754	4,234434	
7740	4,846581	3,889306	
7800	4,764235	4,004349	
7860	4,846581	4,06187	
7920	4,846581	4,06187	
7980	4,887754	4,06187	
8040	4,764235	3,946827	
8100	4,805408	3,889306	
8160	4,805408	3,889306	
8220	4,764235	3,946827	
8280	4,640715	3,831785	
8340	4,846581	3,889306	
8400	4,558369	3,831785	
8460	4,764235	3,946827	
8520	4,640715	3,831785	
8580	4,764235	3,889306	
8640	4,764235	3,946827	
8700	4,599542	3,716742	
8760	4,640715	3,831785	
8820	4,558369	3,774264	
8880	4,558369	3,889306	
8940	4,640715	3,831785	
9000	4,476023	3,831785	
9060	4,558369	3,716742	
9120	4,517196	3,659221	
9180	4,43485	3,716742	
9240	4,476023	3,774264	
9300	4,599542	3,716742	
9360	4,517196	3,831785	
9420	4,352504	3,716742	
9480	4,476023	3,716742	
9540	4,517196	3,6017	
9600	4,352504	3,6017	
9660	4,393677	3,774264	
9720	4,352504	3,659221	
9780	4,393677	3,659221	
9840	4,476023	3,659221	

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
9900	4,187811	3,544179	
9960	4,270157	3,716742	
10020	4,352504	3,486657	
10080	4,270157	3,429136	
10140	4,228984	3,6017	
10200	4,270157	3,659221	
10260	4,352504	3,486657	
10320	4,228984	3,659221	
10380	4,352504	3,429136	
10440	4,352504	3,716742	
10500	4,270157	3,716742	
10560	4,146638	3,716742	
10620	4,146638	3,716742	
10680	4,228984	3,6017	
10740	4,105465	3,544179	
10800	4,064292	3,716742	
10860	4,228984	3,6017	
10920	3,899599	3,716742	
10980	4,105465	3,716742	
11040	4,064292	3,716742	
11100	4,187811	3,659221	
11160	4,146638	3,544179	
11220	4,105465	3,544179	
11280	4,023119	3,6017	
11340	3,981946	3,486657	
11400	4,023119	3,486657	
11460	3,899599	3,486657	
11520	3,981946	3,544179	
11520	3,981946	3,544179	
11580	3,940772	3,486657	
11640	3,940772	3,429136	
11700	4,023119	3,429136	
11760	3,940772	3,429136	
11820	3,899599	3,314094	
11880	3,858426	3,14153	
11940	3,899599	3,429136	
12000	3,981946	3,429136	
12060	3,940772	3,429136	
12120	3,981946	3,371615	
12180	3,899599	3,371615	
12240	3,858426	3,314094	
12300	3,858426	3,429136	

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
12360	3,858426	3,371615	
12420	3,77608	3,314094	
12480	3,858426	3,314094	
12540	3,899599	3,314094	
12600	3,899599	3,314094	
12660	3,858426	3,256572	
12720	3,77608	3,314094	
12780	3,734907	3,199051	
12840	3,734907	3,314094	
12900	3,817253	3,314094	
12960	3,693734	3,256572	
13020	3,77608	3,314094	
13080	3,817253	3,199051	
13140	3,817253	3,314094	
13200	3,77608	3,256572	
13260	3,611388	3,14153	
13320	3,77608	3,314094	
13380	3,77608	3,199051	
13440	3,611388	3,199051	
13500	3,611388	3,084009	
13560	3,611388	3,256572	
13620	3,652561	3,199051	
13680	3,652561	3,084009	
13740	3,652561	3,14153	
13800	3,77608	3,14153	
13860	3,652561	3,14153	
13920	3,487868	3,14153	
13980	3,652561	3,026487	
14040	3,570215	3,084009	
14100	3,611388	3,14153	
14160	3,611388	3,084009	
14220	3,570215	3,084009	
14280	3,487868	3,199051	
14340	3,487868	3,199051	
14400	3,652561	3,026487	
14460	3,652561	3,026487	
14520	3,405522	3,084009	
14580	3,570215	3,026487	
14640	3,487868	3,084009	
14700	3,529041	3,084009	
14760	3,446695	2,853924	
14820	3,405522	3,084009	

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
14880	3,529041	2,911445	
14940	3,487868	2,968966	
15000	3,405522	2,738881	
15060	3,446695	2,911445	
15120	3,405522	2,853924	
15180	3,323176	2,853924	
15240	3,446695	2,853924	
15300	3,24083	2,911445	
15360	3,364349	2,911445	
15420	3,282003	2,853924	
15480	3,405522	2,853924	
15540	3,405522	2,911445	
15600	3,282003	2,796402	
15660	3,405522	2,853924	
15720	3,24083	2,853924	
15780	3,323176	2,853924	
15840	3,364349	2,968966	
15900	3,24083	2,853924	
15960	3,282003	2,796402	
16020	3,24083	2,853924	
16080	3,11731	2,853924	
16140	3,158484	2,796402	
16200	3,199657	2,853924	
16260	3,282003	2,796402	
16320	3,158484	2,968966	
16380	3,199657	2,738881	
16440	3,158484	2,853924	
16500	3,158484	2,911445	
16560	3,158484	2,796402	
16620	3,282003	2,796402	
16680		2,911445	
16740		2,68136	
16800		2,796402	
16860		2,853924	
16920		2,968966	
16980		2,738881	
17040		2,68136	
17100		2,796402	
17160		2,68136	
17220		2,911445	
17280		2,68136	
17340		2,738881	

Tiempo (s)	3 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
17400		2,796402	
17460		2,68136	
17520		2,738881	
17580		2,796402	
17640		2,73888114	
17700		2,79640239	
17760		2,79640239	
17820		2,73888114	
17880		2,73888114	
17940		2,79640239	
18000		2,68135989	
18060		2,79640239	
18120		2,68135989	
18180		2,62383865	

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
0	6,8228898	6,8228898	6,8228898
60	6,5447426	6,8228898	6,7234463
120	6,5447426	6,767012	6,6902984
180	6,5447426	6,7949509	6,5577071
240	6,5099742	6,6831953	6,4914114
300	6,5447426	6,767012	6,5577071
360	6,5099742	6,5714397	6,4914114
420	6,3709006	6,515562	6,2593765
480	6,3709006	6,4596842	6,2925244
540	6,3361322	6,4317453	6,2262287
600	6,3013638	6,4317453	6,1930809
660	6,3361322	6,4038064	6,0936373
720	6,3013638	6,3199897	6,159933
780	6,2665954	6,2920508	5,9278981
840	6,1622902	6,2920508	5,8284546
900	6,057985	6,2641119	5,8284546
960	6,0927534	6,236173	5,8284546
1020	6,231827	6,1523564	5,6295676
1080	6,0927534	6,0685397	5,6295676
1140	6,057985	6,1244175	5,5964198
1200	6,0232166	6,0406008	5,3643849
1260	6,057985	5,984723	5,3975327
1320	6,0232166	6,0126619	5,2980892
1380	6,0927534	5,9567841	5,2649414
1440	6,057985	5,9288452	5,2649414
1500	5,9536798	5,8450286	5,2649414
1560	6,0232166	5,7612119	5,0660544
1620	5,9884482	5,8170897	5,0660544
1680	5,884143	5,733273	4,8671673
1740	5,884143	5,733273	4,8340195
1800	5,7450694	5,7053341	4,8008717
1860	5,8493746	5,7612119	4,8008717
1920	5,8146062	5,5656396	4,7677238
1980	5,7798378	5,5656396	4,734576
2040	5,710301	5,5935785	4,4693933
2100	5,8493746	5,481823	4,6351325
2160	5,7450694	5,4538841	4,4693933
2220	5,710301	5,4538841	4,5025411
2280	5,6755326	5,4538841	4,4030976
2340	5,710301	5,3980063	4,3699498
2400	5,6755326	5,3700674	4,4362454
2460	5,7450694	5,3141896	4,2705062

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
2520	5,5016906	5,3421285	4,2373584
2580	5,5016906	5,3421285	4,2042106
2640	5,536459	5,2862507	4,1047671
2700	5,536459	5,1744951	4,1710627
2760	5,536459	5,1744951	4,0716192
2820	5,5712274	5,1465563	4,0053235
2880	5,5016906	5,1186174	4,0053235
2940	5,3973854	5,0348007	3,8395844
3000	5,4321538	4,9789229	3,8727322
3060	5,4321538	4,9789229	3,90588
3120	5,4321538	4,9230451	3,8064365
3180	5,3278486	4,8951062	3,7732887
3240	5,2930802	4,8671673	3,7401408
3300	5,3278486	4,8392284	3,6738452
3360	5,3973854	4,7833507	3,6738452
3420	5,2930802	4,7554118	3,5412538
3480	5,2930802	4,7554118	3,5412538
3540	5,2930802	4,7833507	3,4749581
3600	5,2235434	4,8392284	3,5412538
3660	5,2235434	4,8112895	3,4418103
3720	5,188775	4,8112895	3,4418103
3780	5,188775	4,699534	3,4086625
3840	5,188775	4,7274729	3,3755146
3900	5,1192382	4,6436562	3,2429233
3960	5,0497014	4,6715951	3,2760711
4020	5,1192382	4,6436562	3,2097754
4080	5,0497014	4,6715951	3,2429233
4140	5,0844698	4,6157173	3,1766276
4200	5,0497014	4,6436562	3,1766276
4260	4,9453962	4,5877784	3,1766276
4320	5,01493303	4,5877784	3,010888
4380	4,91062783	4,4760228	3,110332
4440	4,91062783	4,6436562	2,944593
4500	5,08446983	4,5319006	3,077184
4560	4,98016463	4,4201451	2,977741
4620	5,01493303	4,5598395	2,878297
4680	4,94539623	4,3642673	2,845149
4740	5,04970143	4,4760228	2,812001
4800	4,94539623	4,3922062	2,646262
4860	4,98016463	4,3363284	2,613114
4920	4,94539623	4,2525117	2,646262
4980	4,91062783	4,3642673	2,414227

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
5040	4,94539623	4,3083895	2,447375
5100	4,87585943	4,3083895	2,414227
5160	4,91062783	4,2245728	2,347932
5220	4,80632263	4,3083895	2,281636
5280	4,84109103	4,3363284	2,248488
5340	4,91062783	4,3083895	2,182192
5400	4,80632263	4,2245728	2,248488
5460	4,77155423	4,1407561	2,182192
5520	4,87585943	4,1966339	2,115897
5580	4,70201744	4,2245728	2,115897
5640	4,70201744	4,168695	2,149045
5700	4,59771224	4,1128172	2,115897
5760	4,70201744	4,0848784	1,91701
5820	4,66724904	4,1966339	1,983305
5880	4,70201744	4,1407561	1,983305
5940	4,73678584	4,0290006	1,91701
6000	4,56294384	4,0290006	1,91701
6060	4,56294384	4,1128172	1,883862
6120	4,52817544	4,0290006	1,784418
6180	4,59771224	4,0290006	1,751271
6240	4,52817544	3,917245	1,751271
6300	4,45863864	4,0010617	1,751271
6360	4,45863864	3,9731228	1,751271
6420	4,42387024	4,0290006	1,751271
6480	4,52817544	3,917245	1,651827
6540	4,458639	3,945184	1,684975
6600	4,597712	3,917245	1,718123
6660	4,389102	3,889306	1,718123
6720	4,42387	3,861367	1,751271
6780	4,319565	3,833428	1,618679
6840	4,389102	3,861367	1,552384
6900	4,42387	3,889306	1,618679
6960	4,389102	3,805489	1,618679
7020	4,319565	3,805489	1,585531
7080	4,354333	3,889306	1,486088
7140	4,354333	3,777551	1,552384
7200	4,42387	3,777551	1,618679
7260	4,354333	3,833428	1,45294
7320	4,42387	3,721673	1,552384
7380	4,319565	3,721673	1,486088
7440	4,284797	3,665795	1,519236
7500	4,354333	3,637856	1,419792

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
7560	4,21526	3,637856	1,419792
7620	4,284797	3,609917	1,45294
7680	4,21526	3,554039	1,486088
7740	4,284797	3,554039	1,419792
7800	4,284797	3,526101	1,419792
7860	4,250028	3,498162	1,45294
7920	4,250028	3,386406	1,353497
7980	4,250028	3,414345	1,353497
8040	4,180491	3,498162	1,419792
8100	4,354333	3,358467	1,45294
8160	4,21526	3,218773	1,320349
8220	4,21526	3,162895	1,386644
8280	4,250028	3,27465	1,386644
8340	4,21526	3,190834	1,353497
8400	4,145723	3,218773	1,651827
8460	4,076186	3,134956	1,254053
8520	4,076186	3,162895	1,254053
8580	4,110955	3,051139	1,254053
8640	4,110955	3,079078	1,254053
8700	4,110955	2,967323	1,254053
8820	4,006649	2,939384	1,254053
8880	4,076186	2,883506	1,254053
8940	4,110955	2,883506	1,254053
9000	4,006649	2,855567	1,254053
9060	4,006649	2,827628	1,254053
9120	4,006649	2,827628	1,254053
9180	4,006649	2,855567	1,254053
9240	3,902344	2,855567	1,254053
9300	4,041418	2,855567	1,254053
9360	4,006649	2,77175	1,254053
9420	4,041418	2,827628	1,254053
9480	3,867576	2,77175	1,254053
9540	4,041418	2,743812	1,254053
9600	4,041418	2,687934	1,254053
9660	3,971881	2,659995	1,254053
9720	4,006649	2,659995	1,254053
9780	4,006649	2,687934	1,254053
9840	3,902344	2,687934	1,254053
9900	3,971881	2,632056	1,254053
9960	4,041418	2,632056	1,254053
10020	3,937113	2,659995	1,254053
10080	3,937113	2,604117	1,254053

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
10140	3,902344	2,576178	1,254053
10200	3,832807	2,632056	1,254053
10260	3,937113	2,464423	1,254053
10320	3,937113	2,492362	1,254053
10380	3,902344	2,492362	1,254053
10440	3,867576	2,436484	1,254053
10500	3,867576	2,492362	1,254053
10560	3,867576	2,436484	1,254053
10620	3,693734	2,436484	1,254053
10680	3,728502	2,380606	1,254053
10740	3,798039	2,408545	1,254053
10800	3,693734	2,380606	1,254053
10860	3,902344	2,380606	1,254053
10920	3,832807	2,408545	
10980	3,798039	2,352667	
11040	3,763271	2,408545	
11100	3,763271	2,324728	
11160	3,728502	2,380606	
11220	3,658965	2,408545	
11280	3,728502	2,26885	
11340	3,798039	2,296789	
11400	3,693734	2,26885	
11460	3,728502	2,296789	
11520	3,693734	2,296789	
11580	3,624197	2,296789	
11640	3,728502	2,26885	
11700	3,658965	2,296789	
11760	3,658965	2,296789	
11820	3,624197	2,26885	
11880	3,658965	2,212973	
11940	3,693734	2,26885	
12000	3,693734	2,185034	
12060	3,658965	2,129156	
12120	3,658965	2,185034	
12180	3,624197	2,185034	
12240	3,693734	2,185034	
12300	3,624197	2,157095	
12360	3,589429	2,157095	
12420	3,55466	2,157095	
12480	3,728502	2,045339	
12540	3,624197	2,185034	
12600	3,624197	2,073278	

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
12660	3,624197	2,157095	
12720	3,589429	2,101217	
12780	3,589429	2,101217	
12840	3,589429	2,101217	
12900	3,658965	2,185034	
12960	3,589429	2,129156	
13020	3,589429	2,073278	
13080	3,55466	2,101217	
13140	3,55466	2,157095	
13200	3,55466	2,073278	
13260	3,515587	2,157095	
13320	3,519892	2,101217	
13380	3,518512	2,129156	
13440	3,512347	2,101217	
13500	3,519892	2,129156	
13560	3,485123	2,101217	
13620	3,471943	2,101217	
13680	3,469892	2,129156	
13740	3,450355	2,073278	
13800	3,43466	2,073278	
13860	3,415587	2,045339	
13920	3,137439	2,129156	
13980	3,172208	2,073278	
14040	3,241745	2,101217	
14100	3,137439	2,0174	
14160	3,172208	2,0174	
14220	3,172208	2,045339	
14280	3,241745	2,129156	
14340	3,172208	2,073278	
14400	3,172208	1,961523	
14460	3,102671	2,073278	
14520	3,172208	2,101217	
14580	3,172208	2,0174	
14640	3,172208	2,101217	
14700	3,172208	2,0174	
14760	3,172208	2,0174	
14820	3,172208	2,0174	
14880	3,172208	2,045339	
14940	3,206976	1,989461	
15000	3,172208	2,0174	
15060	3,102671	2,045339	
15120	2,928829	1,961523	

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
15180	2,928829	1,989461	
15240	2,928829	2,0174	
15300	2,859292	2,129156	
15360	2,928829	2,045339	
15420	2,928829	2,073278	
15480	2,928829	1,989461	
15540	2,928829	1,989461	
15600	2,928829	2,073278	
15660	2,859292	2,0174	
15720	2,928829	2,0174	
15780	2,824524	1,989461	
15840	2,859292	1,961523	
15900	2,894061	1,961523	
15960	2,824524	1,905645	
16020	2,859292	1,989461	
16080	2,824524	1,989461	
16140	2,824524	2,0174	
16200	2,824524	1,961523	
16260	2,859292	2,101217	
16320	2,859292	1,961523	
16380	2,824524	2,045339	
16440	2,754987	1,989461	
16500	2,859292	2,0174	
16560	2,824524	2,073278	
16620	2,754987	2,101217	
16680	2,754987	2,045339	
16740	2,68545	1,989461	
16800	2,720219	2,073278	
16860	2,68545	2,073278	
16920	2,720219	2,045339	
16980	2,754987	2,073278	
17040	2,789755	2,073278	
17100	2,720219	2,0174	
17160	2,720219	2,045339	
17220	2,68545	2,073278	
17280	2,720219	2,101217	
17340	2,754987	2,0174	
17400	2,754987	2,0174	
17460	2,720219	2,045339	
17520	2,789755	2,045339	
17580	2,650682	2,129156	
17640	2,650682	2,129156	

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
17700	2,650685	2,073278	
17760	2,720218	2,073278	
17820	2,650681	2,045339	
17880	2,685450	2,017400	
17940	2,615913	2,045339	
18000	2,615913	2,073278	
18060	2,581145	2,017400	
18120	2,650681	2,017400	
18180	2,581145	2,017400	
18240	2,476839	2,017400	
18300	2,476839	2,017400	
18360	2,546376	2,017400	
18420	2,442071	2,017400	
18480	2,581145	1,961522	
18540	2,511608	2,017400	
18600	2,476839	2,017400	
18660	2,476839	2,017400	
18720	2,511608	1,989461	
18780	2,476839	1,989461	
18840	2,546376	2,017400	
18900	2,581145	2,017400	
18960	2,615913	2,017400	
19020	2,581145	2,017400	
19080	2,546376	2,017400	
19140	2,476839	1,961522	
19200	2,442071	2,017400	
19260	2,407303		
19320	2,442071		
19380	2,407303		
19440	2,476839		
19500	2,511608		
19560	2,511608		
19620	2,581145		
19680	2,546376		
19740	2,442071		
19800	2,511608		
19860	2,407303		
19920	2,47684		
19980	2,442072		
20040	2,337766		
20100	2,47684		
20160	2,337766		

Tiempo (s)	5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C
20220	2,372535		
20280	2,372535		
20340	2,372535		
20400	2,302998		
20460	2,26823		
20520	2,233461		
20580	2,302998		
20640	2,302998		
20700	2,26823		
20760	2,302998		
20820	2,372535		
20880	2,337766		
20940	2,302998		
21000	2,337766		
21060	2,372535		
21120	2,407303		
21180	2,442072		
21240	2,233461		
21300	2,302998		
21360	2,337766		
21420	2,337766		
21480	2,337766		
21540	2,337766		
21600	2,337766		
21660	2,302998		
21720	2,337766		
21780	2,233461		
21840	2,233461		
21900	2,26823		
21960	2,233461		
22020	2,26823		

Anexo 3. Datos para la obtención del modelo de secado.

Tiempo (horas)	3 cm			5 cm		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
	ln(MR1)	ln(MR2)	ln(MR3)	ln(MR1)	ln(MR2)	ln(MR3)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	-0,082	-0,088	-0,204	-0,119	-0,090	-0,158
0,5	-0,115	-0,061	-0,538	-0,172	-0,169	-0,351
0,75	-0,164	-0,135	-0,749	-0,209	-0,277	-0,492
1	-0,178	-0,226	-0,852	-0,267	-0,349	-0,656
1,25	-0,230	-0,292	-0,966	-0,294	-0,434	-0,796
1,5	-0,268	-0,350	-0,969	-0,350	-0,499	-1,110
1,75	-0,309	-0,424		-0,425	-0,541	-1,360
2	-0,368	-0,477		-0,433	-0,577	-1,439
2,25	-0,359	-0,562		-0,449	-0,751	-1,547
2,5	-0,412	-0,577		-0,532	-0,881	-1,694
2,75	-0,450	-0,655		-0,541	-0,953	-1,694
3	-0,498	-0,607		-0,614	-1,053	-1,694
3,25	-0,549	-0,688		-0,623	-1,089	
3,5	-0,614	-0,722		-0,633	-1,152	
3,75	-0,625	-0,794		-0,662	-1,178	
4	-0,683	-0,813		-0,766	-1,191	
4,25	-0,695	-0,852		-0,870	-1,205	
4,5	-0,770	-0,872		-0,882	-1,178	
4,75		-0,892		-0,920	-1,205	
5		-0,934		-0,959	-1,218	
5,25		-0,934		-0,972	-1,218	
5,5		-0,934		-0,999		
5,75		-0,934		-1,101		
6		-0,934		-1,071		
6,25		-0,934				

Anexo 4. Datos estadísticos descriptivos para la humedad final de las hojas de stevia.

Temperatura	Espesor	Media	Desviación típica	N
T1 (50 °C)	3 cm	3,1239	0,49131	3
	5 cm	2,4035	0,20542	3
	Total	2,7637	0,51874	6
T2 (60 °C)	3 cm	2,5115	0,09976	3
	5 cm	1,9765	0,06771	3
	Total	2,2440	0,30279	6
T3 (70 °C)	3 cm	2,2893	0,47402	3
	5 cm	1,8274	0,61488	3
	Total	2,0584	0,55238	6
Total	3 cm	2,6415	0,50901	9
	5 cm	2,0691	0,41627	9
	Total	2,3553	0,53870	18

Anexo 5. Análisis de varianza para la humedad final de las hojas de stevia.

Origen	G.L.	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig. 5%
Modelo corregido	3	3,078	1,026	7,744	0,003
Intersección	1	99,861	99,861	753,634	0,000
Temperatura	2	1,604	0,802	6,053	0,013
Altura	1	1,474	1,474	11,127	0,005
Error	14	1,855	0,133		
Total	18	104,794			
Total corregida	17	4,934			

Anexo 6. Medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

	TEMPERATURA	N	Subconjunto	
			1	2
DHS de Tukey	T3 70C	6	2,058400	
	T2 60C	6	2,244033	2,244033
	T1 50C	6		2,763717
	Sig.		0,692	0,091

Anexo 7. Comparaciones múltiples entre tratamientos.

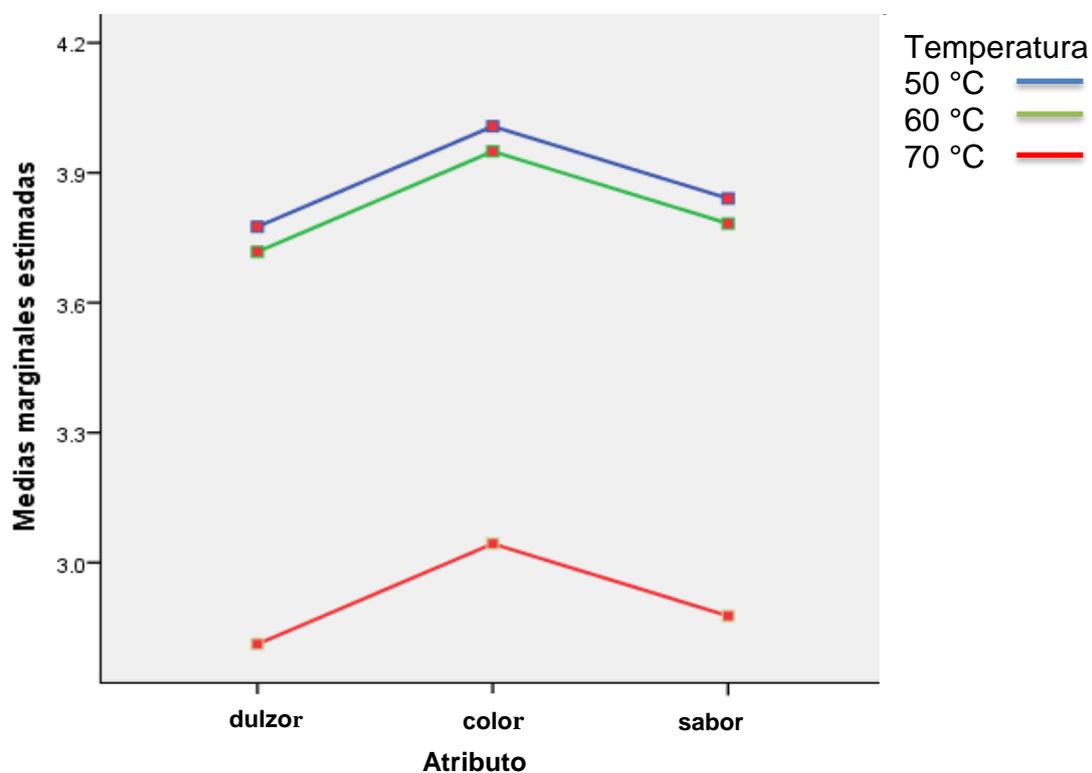
Pruebas	Temperaturas		Diferencia de medias (I-J)	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
DHS de Tukey	T1 50	T2 60 °C	0,51960	0,091	-0,077179	1,116545
	°C	T3 70 °C	0,70531*	0,021	0,108455	1,302179
	T2 60	T1 50 °C	-0,519683	0,091	-1,116545	0,077179
	°C	T3 70 °C	0,185633	0,692	-0,411229	0,782495
	T3 70	T1 50 °C	-0,705317*	0,021	-1,302179	-0,108455
	°C	T2 60 °C	-0,185633	0,692	-0,782495	0,411229
DMS	T1 50	T2 60 °C	0,519683*	0,039	0,032233	1,007133
	°C	T3 70 °C	0,705317*	0,008	0,217867	1,192767
	T2 60	T1 50 °C	-0,519683*	0,039	-1,007133	-0,032233
	°C	T3 70 °C	0,185633	0,423	-,301817	0,673083
	T3 70	T1 50 °C	-0,705317*	0,008	-1,192767	-0,217867
	°C	T2 60 °C	-0,185633	0,423	-,673083	0,301817

Anexo 8. Análisis de Variancia a los R^2 de los modelos matemáticos aplicados a los diferentes tratamientos.

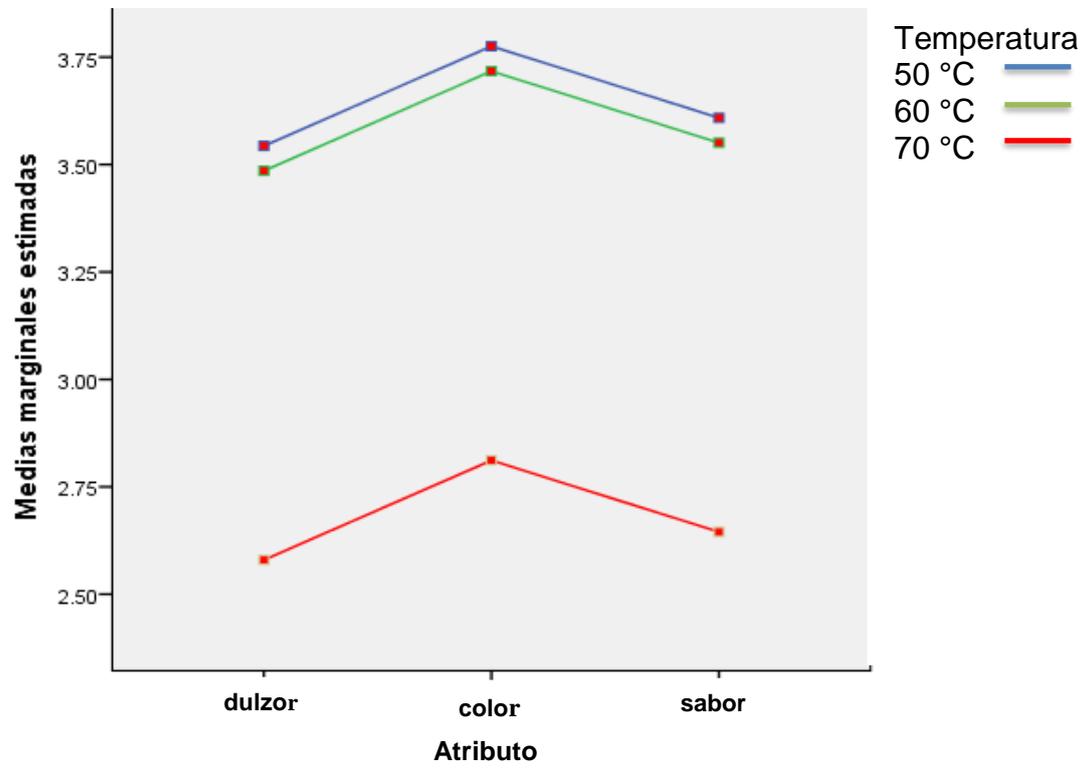
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,002 ^a	6	0,000	2,675	0,051
Intersección	23,154	1	23,154	2878,81	0,000
Espesor	3.750E-007	1	3,750E-007	0,004	0,951
Temperatura	0,001	2	0,000	2,831	0,087
Modelo Mat.	0,001	3	0,000	3,461	0,040
Error	0,002	17	9,652E-005		
Total	23,157	24			
Total corregida	0,003	23			

Anexo 9. Medias marginales en el análisis sensorial.

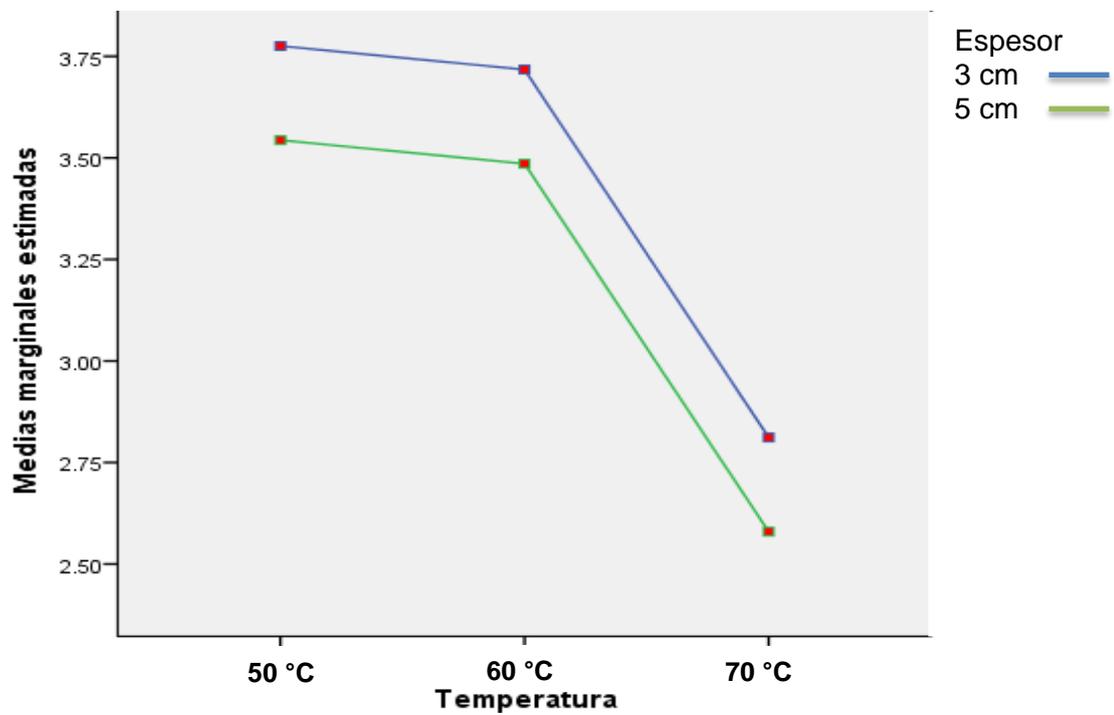
Medias marginales estimadas de puntaje en espesor 3 cm.



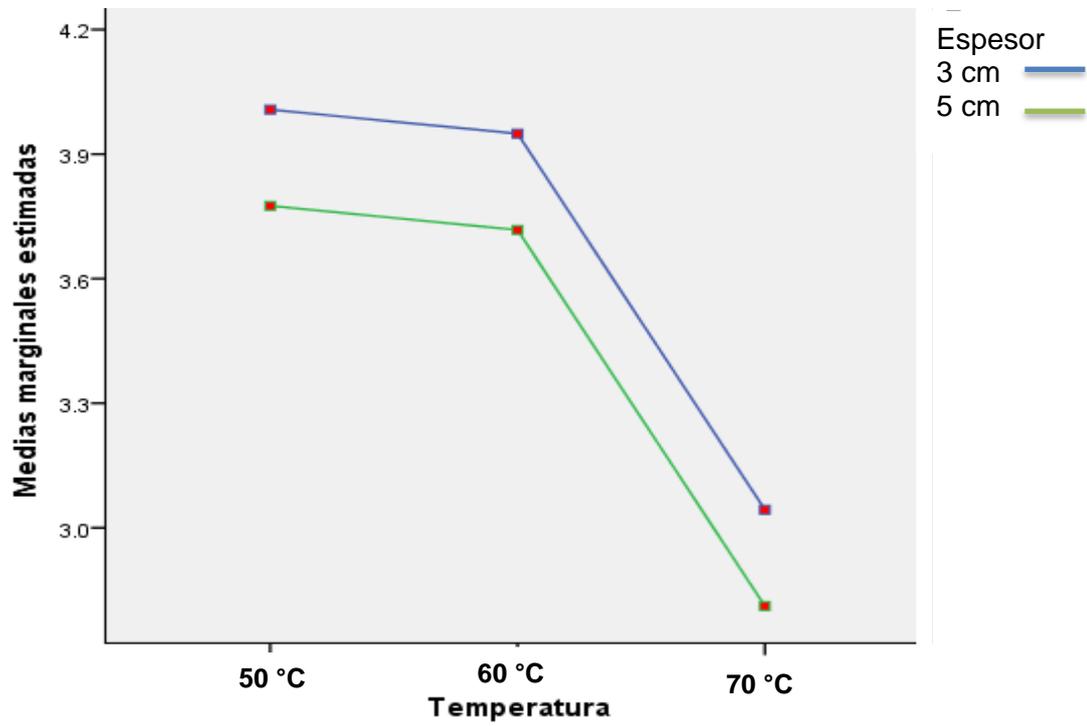
Medias marginales estimadas de puntaje en espesor 5 cm.



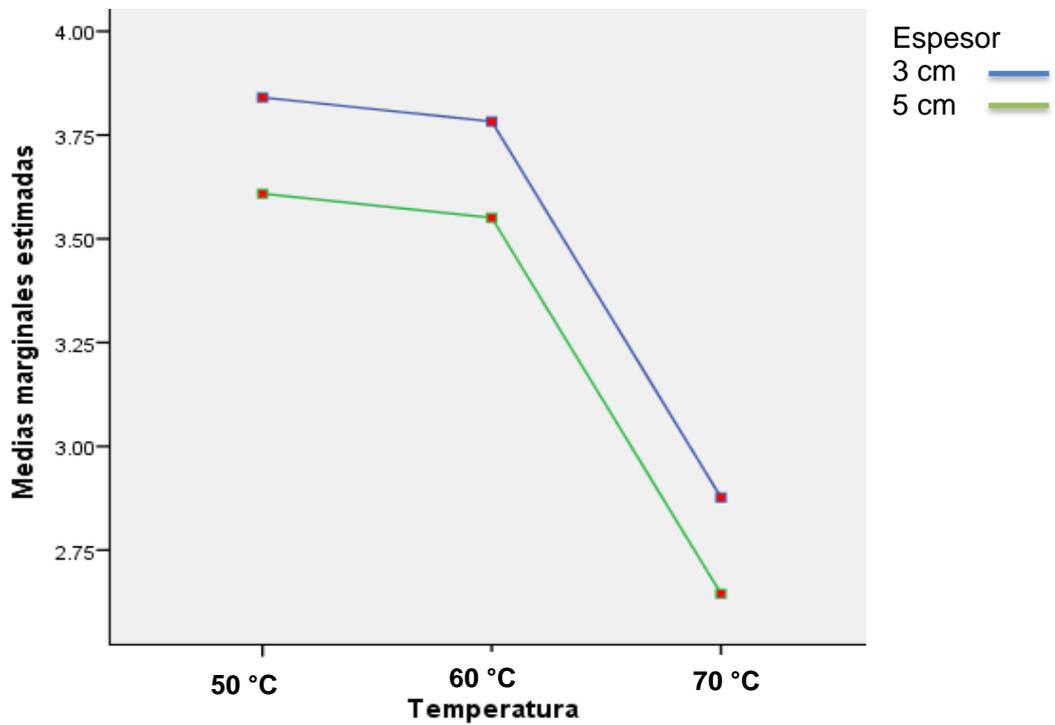
Medias marginales estimadas de puntaje en atributo dulzor



Medias marginales estimadas de puntaje en atributo color



Medias marginales estimadas de puntaje en atributo sabor



Anexo 10. Cartilla de evaluación.**Producto:** Stevia**Fecha:****Hora:**

Marcar con una **X** en el cuadro de cada muestra en la escala que crea conveniente.

Atributo Color

Observe fijamente y marque la escala que crea conveniente

Escala	Muestras									
Me gusta mucho										
Me gusta moderadamente										
Me es indiferente										
Me disgusta moderadamente										
Me disgusta mucho										

Atributo Dulzor

Para este atributo coger una sola hoja y degustar.

Escala	Muestras									
Muy fuerte										
Ligeramente fuerte										
Normal										
Ligeramente débil										
Muy débil										

Atributo Astringencia

Pruebe las muestras y marque la escala que crea conveniente

Escala	Muestras									
Me gusta mucho										
Me gusta moderadamente										
Me es indiferente										
Me disgusta moderadamente										
Me disgusta mucho										

Observaciones:.....

Fuente: Elaboración propia

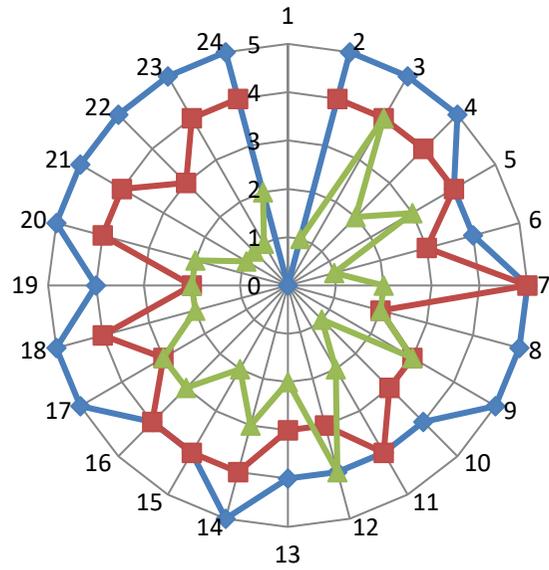
Anexo 11. Análisis de Variancia entre el espesor, temperatura de secado y atributos sensoriales (Sabor, dulzor y color).

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	84,493	5	16,899	17,477	0,000
Intersección	2072,697	1	2072,697	2143,74	0,000
Espesor	1,855	1	1,855	1,919	0,167
Atributo	3,135	2	1,567	1,621	0,199
Temperatura	80,623	2	40,312	41,693	0,000
Error	394,486	408	0,967		
Total	5099,000	414			
Total corregida	478,978	413			

Anexo 12. Comparaciones múltiples entre atributos.

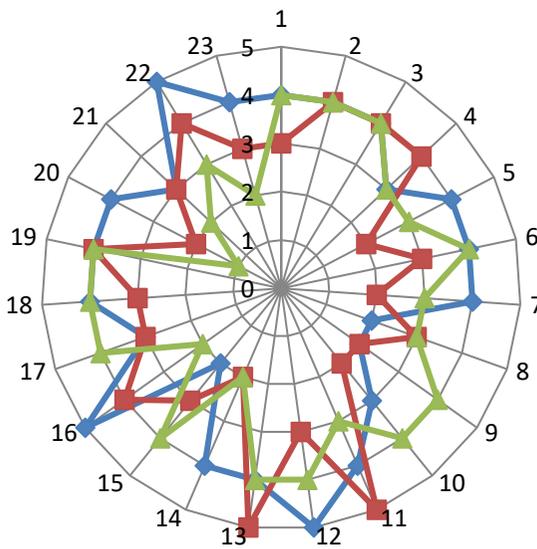
(I)Atributo	(J)Atributo	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Dulzor	color	-0,12	0,118	0,590	-0,39	0,16
	sabor	0,05	0,118	0,904	-0,23	0,33
Color	dulzor	0,12	0,118	0,590	-0,16	0,39
	sabor	0,17	0,118	0,338	-0,11	0,45
Sabor	dulzor	-0,05	0,118	0,904	-0,33	0,23
	color	-0,17	0,118	0,338	-0,45	0,11

Anexo 13. Análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA) para 3 cm.



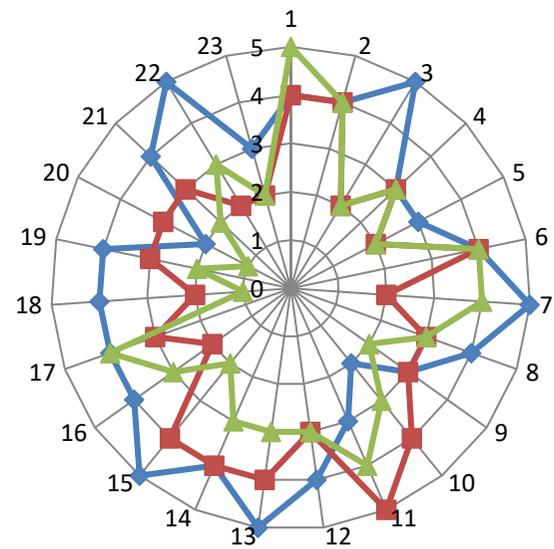
DULZOR

◆ 50 °C ■ 60 °C ▲ 70 °C



COLOR

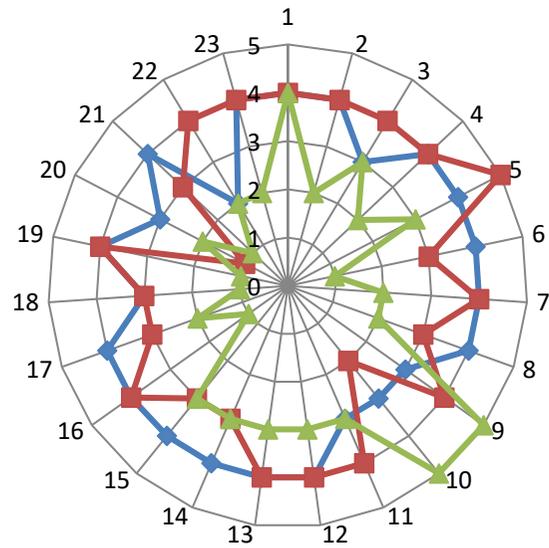
◆ 50 °C ■ 60 °C ▲ 70 °C



ASTRINGENCIA

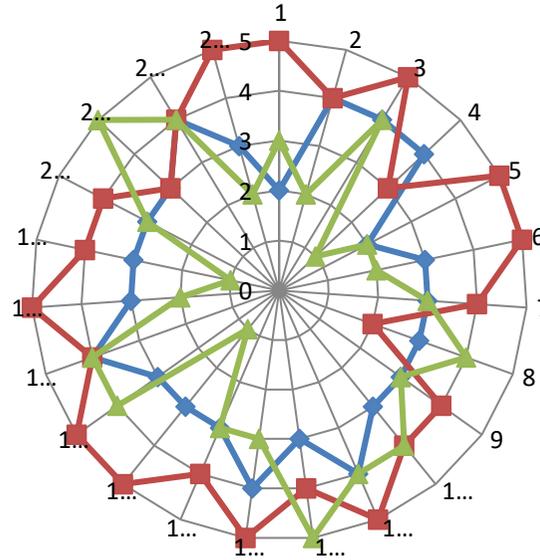
◆ 50 °C ■ 60 °C ▲ 70 °C

Anexo 14. Análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA) para 5 cm



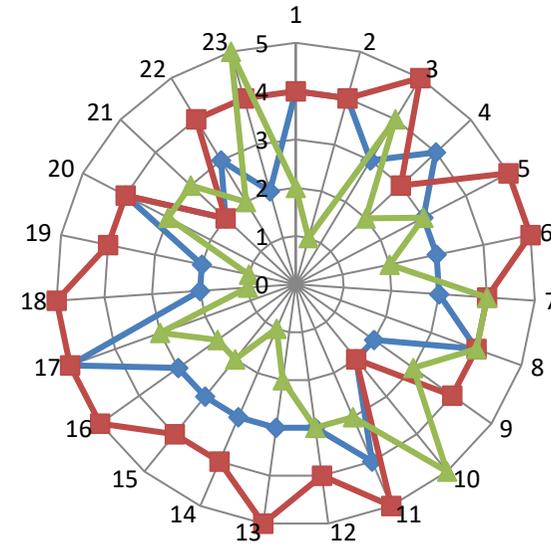
DULZOR

◆ 50 °C ■ 60 °C ▲ 70 °C



COLOR

◆ 50 °C ■ 60 °C ▲ 70 °C



ASTRINGENCIA

◆ 50 °C ■ 60 °C ▲ 70 °C

Anexo 15. Resultados de la evaluación sensorial.

3 cm									5 cm								
Dulzor			Color			Sabor			Dulzor			Color			Sabor		
50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
5	4	1	4	3	4	4	4	5	4	4	4	2	5	3	4	4	2
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2	4	4	1
5	4	2	4	4	4	5	2	2	3	4	3	4	5	4	3	5	4
4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	2	4	3	1	4	3	2
4	3	1	4	2	3	3	2	2	4	5	3	2	5	2	3	5	3
5	5	2	4	3	4	4	4	4	4	3	1	3	5	2	3	5	2
5	2	2	4	2	3	5	2	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4
5	3	3	2	3	3	4	3	3	4	3	2	3	2	4	4	4	4
4	3	1	2	2	4	3	3	2	3	4	5	3	4	3	2	4	3
4	4	2	3	2	4	2	4	3	3	2	5	3	4	4	2	2	5
4	3	4	4	5	3	3	5	4	3	4	3	4	5	4	4	5	3
4	3	2	5	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	5	3	4	3
5	4	3	4	5	4	5	4	3	4	4	3	4	5	3	3	5	2
4	4	2	4	2	2	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	1
4	4	3	2	3	4	5	4	2	4	3	3	3	5	1	3	4	2
5	3	3	5	4	2	4	2	3	4	4	1	3	5	4	3	5	2
5	4	2	3	3	4	4	3	4	4	3	2	4	4	4	5	5	3
4	2	2	4	3	4	4	2	1	3	3	1	3	5	2	2	5	1
5	4	2	4	4	4	4	3	2	4	4	1	3	4	1	2	4	1
5	4	1	4	2	1	2	3	1	3	1	2	3	4	3	4	4	3
5	3	1	3	3	2	4	3	2	4	3	1	3	3	5	2	2	3
5	4	1	5	4	3	5	2	3	2	4	2	4	4	4	3	4	2
5	4	2	4	3	2	3	2	2	4	4	2	3	5	2	2	4	5

Anexo 16. Dimensiones de las hojas stevia.

Las dimensiones y el peso de las hojas frescas de stevia se muestran en el Cuadro 4. Los promedios de las dimensiones son: largo $33,756 \pm 2,317$ mm, ancho $10,582 \pm 1,083$ mm, el peso fue $0,141 \pm 0,019$ g mientras que el área fue de $2,342 \pm 0,185$ cm². Similares a lo reportado por JERIA Y POZO (2011).

Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Area(cm ²)*
1	36,470	11,680	0,174	2,580
2	32,810	12,190	0,157	2,180
3	34,710	11,580	0,161	2,710
4	37,980	11,260	0,153	2,430
5	32,070	10,200	0,130	2,130
6	31,410	9,870	0,129	2,090
7	32,250	9,570	0,126	2,300
8	35,810	10,730	0,143	2,300
9	31,540	9,950	0,123	2,400
10	32,510	8,790	0,118	2,300
Promedio	33,756	10,582	0,141	2,342
Desviación estándar	2,317	1,083	0,019	0,185
Mínimo	31,410	8,790	0,118	2,090
Máximo	37,980	12,190	0,174	2,710

* Método del papel milimetrado

Calculamos la superficie a medir sobre un papel milimetrado y contamos cuadros.

Primero contamos cuadrados grandes (cm² o cuadrados de 5x5 mm según el tamaño de la superficie) y finalmente mm² en zonas de los bordes.

Anexo 17. Fotografías de la investigación.

Desinfectando las plantas de stevia con hipoclorito de sodio



Las hojas ya seleccionadas y colocadas en las celdas elaboradas



La celda elaborada y pesada colocada en la secadora de bandejas



Equipo para medir la velocidad del aire de la secadora de bandejas



Equipo para medir la humedad relativa de la secadora de bandejas



Las muestras selladas listas para almacenarlas en la campana



Las muestras almacenadas en una campana cubierta de papel aluminio para evitar que le lleguen los rayos del sol.



Resultados de la evaluación microbiológica de aerobios mesófilos a las hojas secas de stevia



Resultados de la evaluación microbiológica de mohos y levaduras de las hojas secas de stevia



Realizando el análisis sensorial de las hojas secas de stevia