

ISSN: 2594-0937

REVISTA ELECTRÓNICA MENSUAL

Debates sobre *i*nnovación

DICIEMBRE
2019

VOLUMEN 3
NÚMERO 2

XVIII Congreso Latino Iberoamericano de Gestión Tecnológica
ALTEC 2019 Medellín



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Xochimilco



MEGI
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN
Y POLÍTICAS DE INNOVACIÓN



LALICS

LATIN AMERICAN NETWORK FOR ECONOMICS OF LEARNING,
INNOVATION AND COMPETENCE BUILDING SYSTEMS

Cambio tecnológico aplicado a la seguridad alimentaria para la sostenibilidad de pequeños y medianos productores de Tomillo (*thymus vulgaris*)

Carlos Osvaldo Velásquez Santos
Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Colombia
carlosvelasquez@itm.edu.co

Julián Alberto Uribe Gómez
Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Colombia
julianuribe@itm.edu.co

Resumen

El tomillo (*Thymus vulgaris*) es una planta aromática utilizada en medicina y en gastronomía, y por sus propiedades se considera apta para el consumo humano, el tomillo para su uso y comercialización debe cumplir con la norma técnica NTC 4423 (ICONTEC, 1998), la cual se refiere a la industria alimentaria, especias y condimentos. Sin embargo, para ser comercializado se realiza el proceso de secado o deshidratación mediante dos formas: tradicional o incluyendo mejoras como componentes tecnológicos. A partir de esto, el objetivo principal es caracterizar experimentalmente el sistema tecnológico utilizado en el proceso de secado, con el fin de contribuir en el aumento de la eficiencia del proceso de secado y mejora de la calidad del producto a comercializar. Para ello se evaluaron las propiedades físicas del producto, luego, se determinó el caudal óptimo teniendo en cuenta los factores: humedad, temperatura y el tiempo de secado mediante un diseño experimental de superficie de respuesta. La temperatura se presenta como el factor más significativo sobre la humedad final del tomillo (*Thymus vulgaris*) deshidratado con valor $p=0,0124$ con un nivel de significancia del 90%. A las condiciones de temperatura halladas se observa que el mejor caudal se ajusta a la región entre 2050–2100 RPM que corresponden con la mejor región de temperaturas de 52–53°C.

Palabras clave

Deshidratado, Diseño Experimental, Tecnología

1. Introducción

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

En el municipio de Cocorná, Antioquia, Colombia, existen cultivadores de este producto, el cual hace parte de sus ingresos, al vender tomillo (*Thymus vulgaris*) en verde y también deshidratado, pero sin cumplir la normatividad técnica NTC 4423. A partir de este aspecto se concluye que esta zona no cuenta con una industria desarrollada de ingredientes naturales, encontrándose la siguiente problemática (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009):

- Falta de investigación aplicada al desarrollo de productos.
- Falta de tecnología.
- Falta de comunicación y trabajo conjunto entre la academia y el sector privado.
- No existe la tecnología ni la experticia para el desarrollo de productos de alta calidad.

Estos deben también estar atentos al cultivo porque cualquier fitopatología presente o factores asociados al cultivo como la falta de abono hace que el producto sea rechazado para su venta.

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

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

El secador ha sido modificado, implementándole un variador de velocidad marca General Electric Modelo AF 300 Mini para 2 kW de potencia y un Motor trifásico marca Baldor de 0.5 Hp (Caballos de fuerza), el cual posibilita variar la velocidad del motor, en este caso, medida en revoluciones por minuto (RPM). Esta adición permite variar el caudal de secado del ventilador, esto con el fin de encontrar el rango del caudal óptimo de secado y la temperatura. Con la reducción de la cantidad de agua disponible, hasta niveles seguros para almacenamiento se reducirá la actividad del agua y la velocidad de las reacciones químicas en el producto, así como el desarrollo de microorganismos. El alto contenido en agua en las células y tejidos de las plantas, en torno al 60% - 80%, hacen que el secado tenga una importancia fundamental para evitar la fermentación o degradación de los principios activos. (Christensen & Kaufmann, 1974, Reis, Mariot, & Steenbock, 2003).

El tiempo de secado depende del flujo del aire, la temperatura y la humedad relativa del aire, es decir, de las condiciones de operación del proceso de secado (Rodríguez, Melo, Mulet, & Bon, 2013). Cuanto mayor es la temperatura y mayor flujo de aire, más rápido es el secado (Brooker, Baker-Arkema, & Hall, 1992). La temperatura de secado es determinada por la sensibilidad de los principios activos de la planta, por lo tanto, para cada especie, existe una temperatura ideal de secado. Los principales objetivos y ventajas de realizar el secado son: la facilidad de conservación del producto hasta la estabilidad de los componentes aromáticos a temperatura ambiente durante un largo tiempo, la protección contra la degradación oxidativa y enzimática, reducir el peso y

tamaño, no tener que refrigerarlo durante el transporte y almacenamiento y la disponibilidad del producto durante todas las épocas del año (Doymaz, 2010).

2. Metodología

Para llegar a la solución de este problema, en primer lugar, se tomaron los valores de referencia la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998), luego se profundiza en el estado del arte acerca del deshidratado del tomillo a nivel mundial, latinoamericano, nacional y regional para terminar con las bases teóricas del secado de los alimentos. Posterior se trata sobre la metodología, que incluye el diseño experimental, que se seleccionó para el análisis de los resultados. Para este diseño se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) o Response Surface Methodology (RSM) que es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para el desarrollo, mejoramiento y optimización de procesos. Se utilizó hoja electrónica de Microsoft Excel® para tabular los datos y el análisis se llevó a cabo mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurion v15.1 (Statpoint, USA). Finalmente, se muestra la determinación del caudal óptimo para el tomillo y las conclusiones

Secado de plantas aromáticas y medicinales

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

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

En la tabla 1 se observan diferentes porcentajes de humedad exigidos por Ministerio de salud pública (1991).

Tabla 1. Porcentaje de humedad exigido

HIERBA	HUMEDAD MAXIMA (%)
Albahaca dulce	10
Laurel	15
Mejorana	15
Orégano	15
Romero	15
Salvia	12
Tomillo	12

Fuente: (Ministerio de salud pública, 1991)

La cantidad de agua a extraer en un proceso de deshidratación, no debe superar los valores exigidos por la norma NTC 4423 (ICONTEC, 1998). Además, debe entregarse al cliente en estado adecuado para evitar que presente resequedad y otros defectos. La planta no debe presentarse al comercio

reseca y quebradiza, tal que al manipularla se convierta en polvo. En general, en el comercio existen valores establecidos de contenido de humedad para el tomillo (*Thymus vulgaris*) o sus partes.

La humedad del aire del sitio donde se realiza el secado debe ser inferior al 70% ya sea que se utilice secado al aire libre como secado mecánico, y deberá renovarse a medida que sea necesario en tanto el producto no haya cedido el agua que contiene en exceso.

Los productos que se deben secar o los órganos de los vegetales que se someten a desecado pueden ser hojas, flores, frutos, semillas, raíces, cortezas, o plantas enteras, cada uno de estos órganos puede estar completamente aislado de los otros o tener adherida una parte, como las hojas con una parte de las ramas, la raíz completa o descortezada o bien con el rizoma, entre otros.

Se pueden usar diversos métodos para el secado, el secado se puede realizar en horno natural o mecánico; de éste último, el más utilizado es el secado por aire caliente forzado. Siempre convendrá realizarlo en condiciones que no permitan la contaminación del vegetal ni la disminución de su calidad terapéutica y comercial (Campo, 2014).

3. Desarrollo

Determinación del porcentaje de humedad del tomillo

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

Se pesó una muestra de tomillo en una balanza analítica marca OHAUS, con una resolución de 0,001 g, el peso fue de 30,55 g, se calentó la muestra por 4 horas a 105 °C, hasta que diera peso constante, el cual fue de 5,6028 g, con este valor y el del peso inicial de la muestra se calculó el porcentaje de humedad de la muestra el cual fue del 81,66% de humedad en base húmeda.

El método de destilación azeotrópica, se basa en la destilación simultánea con un líquido inmiscible en proporciones constantes. es el más adecuado para especias como el tomillo, Para el caso en particular, la asociación americana de comercio de especias, en sus métodos oficiales analíticos recomienda el uso del benceno en lugar del tolueno.

Siguiendo el procedimiento se tomó una cantidad de 100 ml de benceno cuyo punto de ebullición es de 80°C, se vertió en la muestra de 30,55 g, luego se realizó el proceso de destilación, y se recolectó el volumen de líquido destilado. Se calculó la humedad en base húmeda del tomillo, la cual fue del 80%.

Realización de pruebas de secado

Para realizar las pruebas de secado, se dispuso de suficiente material a deshidratar como es el tomillo, luego se procedió a pesar la bandeja de secado vacía y luego con el tomillo, luego se colocaron las bandejas de secado dentro de la cámara de secado y se procedió al deshidratado del tomillo, para ello se seleccionaron intervalos de tiempo de 1 hora, para ir pesando cada hora las tres bandejas de secado. Se anotó cada hora el peso, la temperatura ambiente, la humedad relativa

y el flujo de gas consumido por el prototipo. Con estos datos se realizaron las tablas y las curvas de secado en el programa de Excel, dando como resultado las curvas de deshidratado del tomillo.

Aplicación del modelo estadístico

Para probar la hipótesis propuesta en la introducción de este artículo, se hará uso del diseño experimental factorial y el análisis pro metodología de superficie de respuesta (MSR), para validar la significancia y los efectos de la velocidad y la temperatura sobre la humedad, para eso se tabularon los datos en una hoja electrónica de Microsoft Excel© y el análisis de datos se llevó a cabo mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurion v15.1 (Statpoint, USA).

La tabla 2 presenta el número de muestras requeridas para llevar a cabo el diseño experimental, donde el test estadístico a utilizar será ANOVA de efectos fijos con interacción, donde se requiere calcular el tamaño de la muestra dada una probabilidad de error α , para esto se utiliza el software G*Power Universidad Dusseldorf, Alemania (Erdfelder, Faul, Buchner, & Lang, 2009) (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007).

Tabla 2. Tamaño de muestra requeridas para el diseño de experimentos

A priori: Tamaño de muestra requerida		
Entradas:	Tamaño del efecto	0,25
	α probabilidad de error	0,1
	Power (1- β err prob)	0,9
	Numerador df	1
	Número de grupos	2
Salidas:	Parámetro de no centralidad λ	8,68
	F critico	2,74
	Denominador df	137
	Tamaño de muestra total	139
	Power real	0,901

Fuente: (Erdfelder et al., 2009) (Faul et al., 2007).

Muestras experimentales

En Colombia, en la región de Antioquia, las muestras experimentales de Tomillo fueron suministradas por la Asociación de Productores de Plantas Aromáticas del Municipio de Cocorná (APAMCA), lugar en el cual fueron proporcionadas 285 muestras para la experimentación.

Diseño experimental

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) o *Response Surface Methodology (RSM)* es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para el desarrollo, mejoramiento y optimización de procesos. Es también importante en aplicaciones para el diseño, desarrollo y

formulación de nuevos productos, así como también el mejoramiento de los ya existentes. Las aplicaciones más conocidas de las técnicas de RSM están en el área industrial, particularmente en situaciones donde muchas variables pueden influenciar un resultado cualitativo o cuantitativo llamado “respuesta”. Las variables de entrada son conocidas como “variables independientes” y están bajo el control del técnico o investigador. La técnica se desarrolla en cuatro etapas:

1. Los factores críticos que son importantes en el estudio o proceso son identificados.
2. Se ha establecido un área o nivel de aplicación de los factores involucrados.
3. Son efectuados diseños experimentales específicos.
4. Los resultados de los diseños son analizados por RSM e interpretados.

Por lo tanto, la RSM permite:

- Mapeo de una superficie dentro de la región explorada.
- Escoger las condiciones de operación para obtener una respuesta específica.
- Buscar las condiciones óptimas, o por lo menos, las mejores condiciones en la región de interés (Barros, Spacino, & Bruns, 2001, Myers, Montgomery, & Anderson-Cook, 2016, Rodrigues & Lemma, 2005).

4. Resultados

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de la variable de respuesta Humedad en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, un efecto tiene un valor-P menor que 0,1, indicando que es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 90,0%.

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

La tabla 3 presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) para la primera secuencia de diseños factoriales completos desarrollada en este estudio. En ella se observa que la temperatura posee un efecto significativo sobre la variable de respuesta humedad ($p=0,0124$).

Tabla 3. Análisis de varianza para la humedad del thymus vulgaris

Fuente	SS	GI	MS	Razón-F	Valor-P
A (Caudal)	0,111	1	0,111	0,02	0,893
B (Temperatura)	102,66	1	102,666	18,74	0,0124
AA	0,560	1	0,5600	0,1	0,765
AB	1,575	1	1,575	0,29	0,620

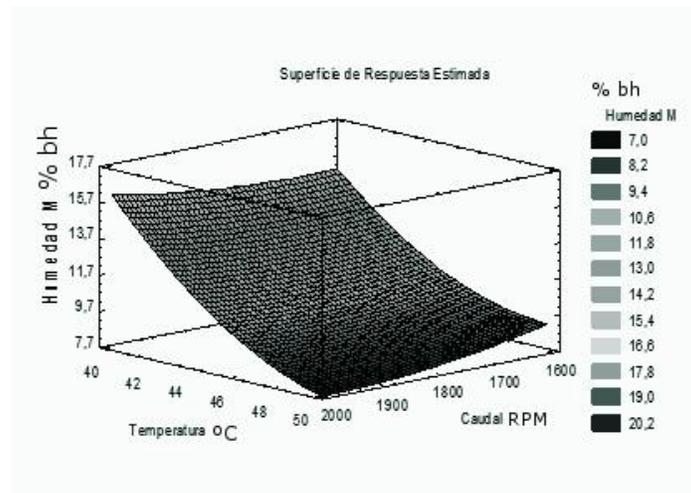
BB	8,239	1	8,239	1,5	0,287
Error total	21,91	4	5,479		
Total (corr.)	134,794	9			

Fuente: Autores

5. Discusión y análisis

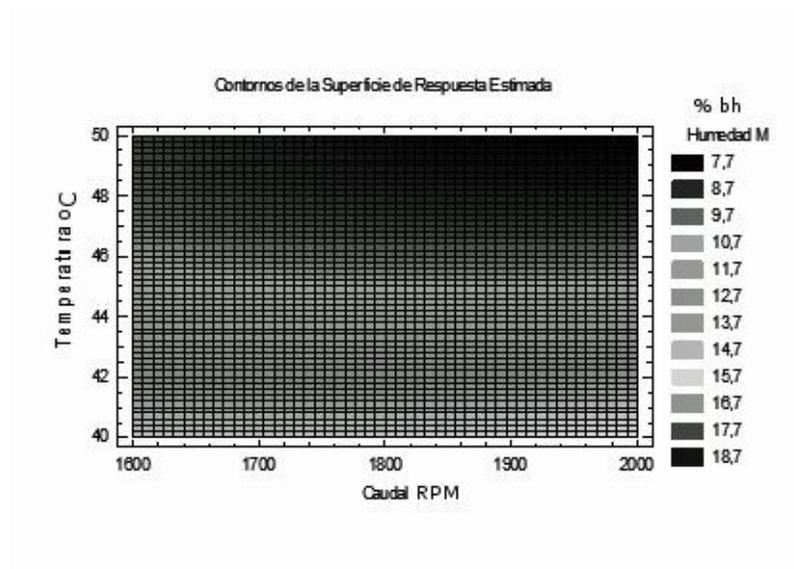
Las figuras 1 y 2 presentan la superficie y el contorno de la respuesta para la primera secuencia de secado de tomillo y la evaluación del efecto que la temperatura y el caudal (velocidad del aire) tienen sobre la humedad final. Los resultados indican que el mayor efecto es aportado por la temperatura del aire, aportando los menores valores de humedad entre 44 y 50°C sin dependencia del caudal, sin embargo, al evaluar los tiempos de secado para este rango de condiciones se encuentra que para obtener humedades inferiores al 10% se emplean tiempos de operación que alcanzan las 16 horas en función de bajas temperaturas y bajos caudales.

Figura 1. Superficie de respuesta para humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo.



Fuente: Autores

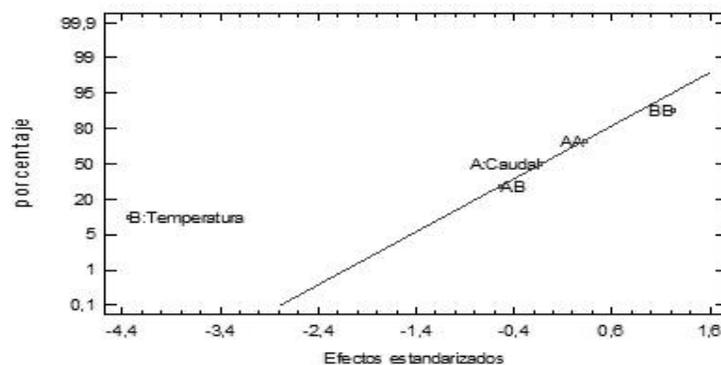
Figura 2. Contorno de la respuesta para humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo.



Fuente: Autores

La figura 3 presenta el gráfico de probabilidad normal para la variable respuesta humedad en función de los factores o variables independientes (temperatura y caudal), en esta figura se observa que la variable independiente temperatura se aleja de forma significativa de la recta normal corroborando con ello el efecto significativo expresado anteriormente en la tabla ANOVA.

Figura 3. Gráfico de probabilidad normal para la humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo.

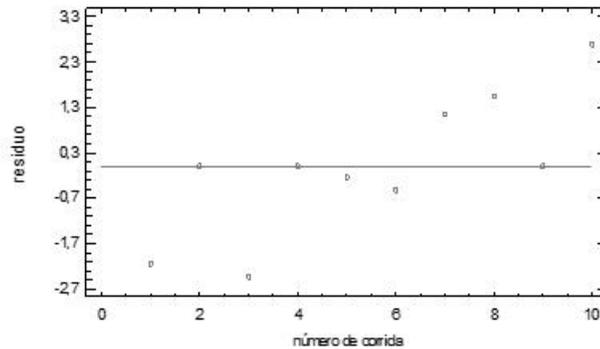


Fuente: Autores

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

a que la distribución de los errores es homogénea y se debe a una aleatorización previa de los ensayos.

Figura 4. Gráfico de residuos para la humedad en función de la temperatura y el caudal en el secado de tomillo.



Fuente: Autores

La ecuación 1 presenta el modelo de regresión obtenido, el cual presenta un coeficiente R^2 de 83,74%, con lo cual, se indica que es propicio la presentación de superficies y contornos de la respuesta, ya que el modelo explica en un porcentaje mayor al 70% la variabilidad del fenómeno aquí analizado. En la ecuación [1] se observa que existe un efecto lineal decreciente causado por los factores temperatura y caudal, sin embargo, se logra apreciar que la temperatura tiene un efecto de 4,42 veces sobre el caudal. Es decir, por cada cambio en el caudal la temperatura cambiará en 4,42 puntos. Los efectos cuadráticos no son significativos.

$$H = 129,91 - 0,004A - 4,42B + A^2 - 0,0005AB + 0,054B^2 \text{ (Ec.1)}$$

Donde H: humedad; B: Temperatura y A: Caudal.

6. Conclusiones

La temperatura se presenta como el factor más significativo sobre la humedad final del tomillo deshidratado con valor $p=0,0124$ con un nivel de significancia del 90%. A las condiciones de temperatura halladas se observa que el mejor caudal se ajusta a la región entre 2050 – 2100 rpm, que corresponden con la mejor región de temperaturas de 52–53°C.

Las condiciones más bajas en términos de temperatura de secado permiten obtener un producto con menor humedad final (8-12%) (Box & Wilson, 1951, Da Rocha et al., 2012), sin embargo, los tiempos requeridos para alcanzar estas humedades superan las 16 horas, lo que los hace inviables en términos de escalamiento industrial por el alto costo energético que implican.

Los resultados obtenidos en este estudio donde se evalúa el efecto de la temperatura del aire y el caudal sobre la humedad final del tomillo deshidratado indican que se puede obtener un producto que cumple los estándares de calidad exigidos en la normatividad, razones que permiten que pueda

ser comercializado o introducido en la cadena de valor de especias y condimentos de la industria de alimentos.

El tomillo deshidratado en las condiciones óptimas alcanza una humedad final del 12% cumpliendo lo establecido en la norma técnica NTC 4423 y siguiendo un planteamiento experimental basado en un DCCR con factores y niveles establecidos para un secador de fabricación nacional.

7. Referencias

- Barros, B., Spacino, I., & Bruns, R. (2001). *Como fazer experimentos - Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. (Unicamp, Ed.) (3. Ed.). Campinas: Unicamp.
- Box, G. E. P., & Wilson, K. B. (1951). On the experimental attainment of optimal conditions. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 13(1), 1–45. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2983966>
- Brooker, D. B., Baker-Arkema, F. W., & Hall, C. W. (1992). *Drying and storage of grains and oilseeds*. New York: Springer US.
- Campo, H. (2014). *Evaluación del secador mecánico para el secado de tomillo (thymus vulgaris) y su contribución en las características finales del producto para obtener el cumplimiento de la norma NTC 4423 (Icontec, 1998)*. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Christensen, C. M., & Kaufmann, H. H. (1974). Storage of cereal grain and their products. St. Paul: American Association of Cereal Chemists.
- Da Rocha, R. P., Melo, E. de C., Corbín, J. B., Berbert, P. A., Donzeles, S. M. L., & Tabar, J. A. (2012). Cinética del secado de tomillo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 16(6), 675–683. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000600013>
- Doymaz, I. (2010). Drying of thyme (*thymus vulgaris* L.) and selection of a suitable thin-layer drying model. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1, 1–8. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00488.x>
- Erdfelder, E., Faul, F., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- ICONTEC. (1998). *Industria Alimentaria, Especias y Condimentos* (No. NTC 4423). Bogotá Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2009). Cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines (pamc).
- Ministerio de salud pública. (1991). Resolución Número 4241 de 1991. *Resolución*. Bogotá Colombia.
- Myers, R., Montgomery, D., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiment* (4. Ed.). Wiley-Interscience Publication.
- Reis, M. S., Mariot, A., & Steenbock, W. (2003). Diversidade e domesticação de plantas medicinais. In UFRGS (Ed.), *Farmacognosia: da planta ao medicamento* (5.ed, pp. 43–74). Porto Alegre/Florianópolis.
- Rodrigues, M., & Lemma, A. (2005). *Planejamento de experimentos e otimização de processos* (1 ed.). Campinas: Casa do Pão.
- Rodriguez, J., Melo, E. C., Mulet, A., & Bon, J. (2013). Optimization of the antioxidant capacity of thyme (*Thymus vulgaris* L.) extracts: Management of the convective drying process assisted by power ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 793–799. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.016>

