

Optimización de la extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis*) utilizando diseños secuenciales

Optimization of the extraction by steam extraction of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) using sequential designs

Ricardo Sevillano¹; Raúl Siche^{1,*} ; Williams Castillo Martínez² ; Elias Silva¹ 

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de densidad de carga, flujo de vapor y condición de la materia prima en el rendimiento del aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) extraído por arrastre de vapor. La metodología experimental consiste en trabajar en la primera etapa con dos flujos de vapor (4 kg/h y 6 kg/h) relacionado con dos estados de materia prima (seca y fresca) y dos densidades de carga (1 kg y 3 kg). El aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) se extrajo de las hojas de Romero utilizando el método de destilación discontinua por corriente de vapor de agua. Todos estos factores fueron trabajados con la metodología Taguchi con un arreglo ortogonal $L_4 (2^3)$ a 3 niveles cada uno. En la segunda etapa de optimización se utilizó el MSR con un diseño compuesto central rotatable (DCCR) la cual se utilizó para evaluar el efecto de las variables densidad de carga y flujo de vapor. El DCCR consistió en un planeamiento factorial completo 2^2 , 4 puntos axiales y 3 repeticiones en el punto central totalizando 11 ensayos. Un modelo polinomial de segundo grado fue usado para predecir la respuesta. El mayor rendimiento de aceite esencial de Romero se obtiene cuando la materia prima se encuentra en la condición de seca, una densidad de carga de 1 kg y un flujo de vapor de agua de 5 kg/h, dándonos un 2,66% de rendimiento.

Palabras clave: aceite esencial; *Rosmarinus officinalis*; métodos de extracción; optimización.

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the effect of charge density, steam flow and condition of the raw material in the yield of the essential oil of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extracted by steam drag. The experimental methodology consists in working in the first stage with two steam flows (4 kg/h and 6 kg/h) related to two states of raw material (dry and fresh) and two densities of load (1 kg and 3 kg). The essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) was extracted from the leaves of Romero using the method of discontinuous distillation by stream of water vapor. All these factors were worked with the Taguchi methodology with an orthogonal arrangement $L_4 (2^3)$ at 3 levels each. In the second optimization stage, the MSR was used with a rotatable central composite design (DCCR) which was used to evaluate the effect of the load density and vapor flow variables. The DCCR consisted of a complete factorial planning 2^2 , 4 axial points and 3 repetitions in the central point totaling 11 trials. A second-degree polynomial model was used to predict the response. The highest yield of rosemary essential oil is obtained when the raw material is in the dry condition, a loading density of 1 kg and a steam flow of 5 kg / h, giving a 2.66% yield.

Keywords: essential oil; *Rosmarinus officinalis*; extraction methods; optimization.

¹ Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

² Universidad Nacional del Santa. Av. Universitaria, Nuevo Chimbote, Perú.

*Autor correspondiente: rsiche@unitru.edu.pe (R. Siche).

R. Siche  <https://orcid.org/0000-0003-3500-4928>

W. Castillo Martínez  <https://orcid.org/0000-0001-6917-1009>

E. Silva  <https://orcid.org/0000-0003-0606-0023>

Recibido: 21-02-2019

Aceptado: 10-04-2019

Introducción

Los aceites esenciales generan en el mercado mundial una continua renovación de tecnología y optimización de las mismas en su producción (Palacios y Castillo, 2015), estos aceites se pueden obtener mediante el método por arrastre de vapor (Patiño *et al.*, 2014), destilación molecular (Pramparo *et al.*, 2008), extracción con disolventes, por fluidos supercríticos y uso de microondas (Peredo-Luna *et al.*, 2009). Además, el impacto de estos procesos es mínimo en el medio ambiente (Cerpa, 2007; Véliz-Jaime y González-Dias, 2017). El uso de cada método es importante ya que puede estar asociado con la composición en la variación del aceite esencial, siendo el arrastre de vapor el procedimiento industrial más utilizado para la producción comercial de aceites esenciales (Sadhe *et al.*, 2019) pero no siempre el más eficiente (León *et al.*, 2015).

El aceite esencial de romero tiene diferentes usos en diferentes industrias como la cosmética, alimentaria y farmacéutica (Isman *et al.*, 2011; Lubbe y Verpoorte, 2011) además tiene virtudes como mejoramiento de la memoria a corto plazo (Filiptsova *et al.*, 2017), alivia dolencias de la cabeza y estómago (López-Muñoz *et al.*, 2006). También es usado como suplemento alimenticio en animales para mejorar la calidad y rendimiento de carne de pollo (Mohammadi *et al.*, 2019) además ofrece buenos resultados cuando se adiciona en películas alargando la vida útil de productos como carne (Lauriano de Sousa *et al.*, 2019; Llinares *et al.*, 2018), y vegetales como papas recién cortadas (Rizzo *et al.*,

2018), incluso son microencapsuladas para diferentes fines (De Barros *et al.*, 2014; Alipour *et al.*, 2019).

El precio del Romero por lo general es barato y su cultivo se realiza todo el año, en lugares en donde otros no prosperan especialmente en zonas humedad y no necesitan grandes cultivos para su cultivo (Lax, 2014). Por lo que esta sigue siendo un área muy promisoría para incentivar aún más la producción y diversificar su demanda.

Existe un amplio conocimiento del proceso para obtener aceites esenciales usando el agua como agente de extracción. Sin embargo, solo en algunas materias primas se ha realizado modificaciones para controlar y optimizar el proceso de extracción (Casado, 2018; Moreno *et al.*, 2010). Este análisis es importante porque permite formular modelados matemáticos descriptivos de esos fenómenos, determinar cuál es el impacto de las variables de operación en el rendimiento y calidad de los productos, dimensionar equipos a una escala superior, y simular el proceso. Así se evita la necesidad de construir una planta industrial o de realizar pruebas onerosas y numerosas a escala piloto, las cuales sólo sirven para una materia prima, determinadas condiciones de operación y escala de producción.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de densidad de carga, flujo de vapor y condición de la materia prima (seco y húmedo) en el rendimiento del aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) extraído por arrastre de vapor utilizando la metodología de Taguchi y el Diseño Compuesto Central Rotable.

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizó romero (*Rosmarinus officinalis*) procedente de los centros de producción del Distrito de Sihuas, Departamento de Ancash, Perú. El romero es lavado y secado a temperatura ambiente cambiándola de posición diariamente, para evitar formación de hongos, debido a su alto contenido de humedad. Posteriormente se separó la hoja y el tallo, conservando únicamente las hojas.

Unidad de destilación discontinua por corriente de vapor, automatizada, para la extracción de aceites esenciales de hierbas officinales (mod. udca-2/ev)

Esta planta piloto permite extraer, por corriente de vapor, las esencias presentes en las Hierbas. En esta instalación se efectúa la extracción de los aceites esenciales siguiendo el método de la destilación en corriente de vapor (Patiño *et al.*, 2014;

Wankat, 1988). Teniendo el cuidado de no llenar la caldera por encima del 75% de su capacidad. La materia prima cargada en la caldera C1 (**Figura 1**) es atravesada por el vapor proveniente del fondo, el cual extrae el aceite esencial. A continuación, la mezcla vapor/aceite es condensada en el condensador E1, enfriada en el intercambiador E2 y recogida en el tanque D1 (**Figura 1**).

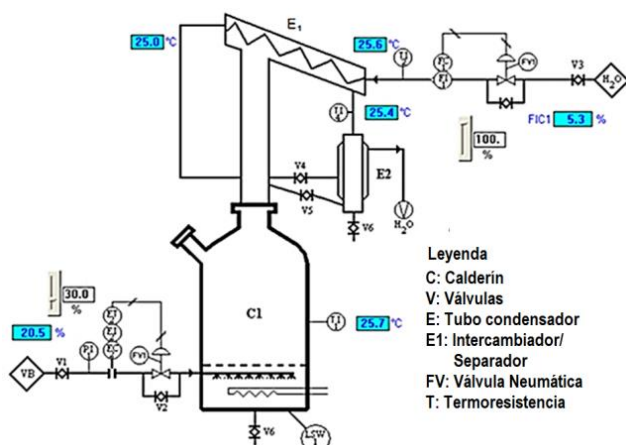


Figura 1. Esquema de funcionamiento de la unidad de destilación de vapor.

Esquema experimental

Primera etapa: Determinación de la influencia de los factores: flujo de vapor (kg/h), carga de materia prima (kg) y condición de materia prima

Para determinar y definir los factores que afectaron el proceso de extracción de aceite esencial de romero se realizó un "screening", en el cual se consideró como respuesta el peso del aceite esencial.

Para este screening se aplicó el diseño experimental correspondiente al criterio de "mayor es mejor" del método de Taguchi con arreglo ortogonal L_4 (4 experimentos) para la matriz interna, permitiendo estudiar los 3 factores a 2 niveles con 3 repeticiones. Al obtener mayor contenido de aceite, más fuerte será la señal que emite contra cualquier ruido externo que trate de inhibir la fuerza de la señal (**Hernández et al., 2015**).

Se determinó la influencia de los siguientes factores: flujo de vapor (4 kg/h y 6 kg/h), densidad de carga (1 kg y 3 kg) y condición de materia prima (seca o húmeda). Las muestras de aceite esencial obtenidas bajo estas condiciones fueron almacenadas en botellas de color ámbar a la temperatura de

-20 °C hasta el momento de evaluar sus características fisicoquímicas.

Se determinó la humedad de las hojas secas y frescas mediante el uso la estufa a una temperatura de 110 °C y un tiempo de 3 horas, dando como resultado un promedio de $68,551 \pm 0,828$ % de humedad para las hojas secas. Mientras que para las hojas frescas se obtuvo un promedio de $80,744 \pm 0,851$ %.

Segunda Etapa: Determinación de factores óptimos para la extracción de aceite esencial de romero

Para la determinación de los factores óptimos en la etapa de extracción de aceite esencial de Romero se utilizó el método de Superficie de Respuesta y el diseño central compuesto rotatable (DCCR). Se consideraron los factores que resultaron significativos de acuerdo al análisis de varianza realizado en el "screening" de Taguchi. Asimismo, los niveles por cada factor se establecieron a partir del criterio "el mayor es mejor" obtenido del screening.

Se realizó un Diseño Compuesto Central Rotatable (DCCR), donde se utilizó un planeamiento factorial completo 2^2 , 4 puntos axiales y 3 repeticiones en el punto central totalizando 11 ensayos (**Montgomery, 2006**).

En la **Tabla 1** se muestran los valores axiales utilizados en DCCR para la extracción de aceite esencial de Romero. En ambos procesos de extracción sus valores axiales son determinados mediante el programa Statistica®.

Tabla 1. Planeamiento de cada uno de los ensayos a realizarse para el proceso de extracción de aceite esencial de romero

Ensayos	X1	X2	Y1
	Real	Real	Rendimiento
1	4,3	1,3	Y1,1
2	5,7	1,3	Y1,2
3	4,3	2,7	Y1,3
4	5,7	2,7	Y1,4
5	4	2,0	Y1,5
6	6	2,0	Y1,6
7	5	1	Y1,7
8	5	3	Y1,8
9	5	2,0	Y1,9
10	5	2,0	Y1,10
11	5	2,0	Y1,11

X1: Flujo de Vapor (kg/h); X2: Carga M.P (kg); Y1: Rendimiento (%).

Análisis fisicoquímicos

Se determinó la humedad de la hoja de Romero por el método 934.06 (37.1.10) del **AOAC (1996)**, el índice de refracción y la densidad mediante el método **AOAC (1995)**, y la solubilidad en alcohol de acuerdo a la Norma ITINTEC 18510.

Análisis estadístico

Para la Primera Etapa se evaluaron la influencia de los factores aplicando el programa Statistica®, con un nivel de

significancia del 95% ($p < 0,05$) para determinar las diferencias significativas entre los factores en estudio para la extracción de aceite esencial. Para la segunda etapa; se utilizó una ecuación de regresión polinomial de segundo orden; la cual fue establecido en base a los análisis de los datos experimentales del Diseño Central Compuesto Rotable y las condiciones óptimas para la extracción fueron encontrados usando el Programa estadístico Statistica®.

Resultados y discusión

Selección de variables significativas

En la **Tabla 2** se presentan los resultados de la extracción de aceite esencial de romero según los tratamientos (corridas) establecidos del diseño experimental de Taguchi. Se observa que se obtiene un mayor rendimiento en el ensayo 3 (Flujo de vapor: 6 kg/h; MP: seca; carga: 3 kg) con un valor de $41,66 \pm 1,899$ g. Estos resultados obtenidos para los tres factores, se comprueban mediante los valores señal ruido (ETA) que generan, los cuales se muestran en la **Figura 2**, en la cual se aprecia a cada uno de los factores que se encuentran representados a través de líneas que tienen extremos que indican sus valores máximos y mínimos.

Así a mayor ETA hay una mayor influencia en la extracción de aceite esencial de romero. Las líneas rojas punteadas indican la significancia, es decir si un factor tiene límites más allá de los establecidos por las líneas de significancia se considera significativo. Para el factor flujo de vapor (kg/h) y densidad de carga de materia prima (kg) se observa que están superando el límite de las líneas de significancia es por ello que se considera un factor significativo

en la extracción de aceite esencial, por lo que se selecciona los niveles más altos ensayados que son en flujo de vapor 6 kg/h y carga de materia prima 3kg.

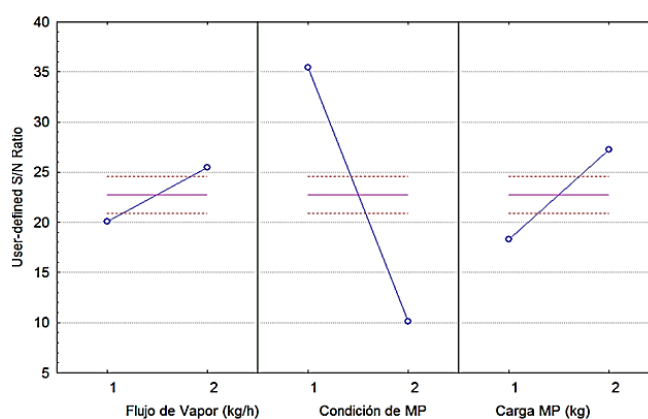


Figura 2. Valores señal/ruido (ETA) de cada factor evaluado para la cantidad de aceite esencial extraído aplicando el diseño Taguchi con arreglo ortogonal L_4 .

De otro lado, el factor condición de materia prima se caracteriza por sobrepasar los límites de significancia; lo cual hace que sea un factor altamente significativo, correspondiendo un mayor valor de señal/ruido (ETA) al estado en seco.

Tabla 2. Contenido de aceite esencial de romero y su respectivo rendimiento de acuerdo al diseño experimental de Taguchi con arreglo ortogonal L_4 (2^3)

Ensayo	Flujo de vapor (kg/h)	Condición de MP	Carga MP (kg)	Rendimiento (g)	Rendimiento (% P/P)
1	4	seca	1	$28,27 \pm 1,2499$	$2,83 \pm 0,1250$
2	4	fresca	3	$11,98 \pm 0,4632$	$0,59 \pm 0,0232$
3	6	seca	3	$41,66 \pm 1,8994$	$2,13 \pm 0,0950$
4	6	fresca	1	$7,898 \pm 1,1902$	$0,83 \pm 0,1190$

Por tanto, para las pruebas de superficie de respuesta se decidió trabajar con la premisa empleada por Taguchi de que “mayor es mejor” tomando así la condición de materia prima seca como factor constante, este resultado coincide con lo manifestado por **Quintero *et al.* (2004)** quien afirma que la extracción de los aceites esenciales es mejor y más rápida al eliminarse un gran porcentaje de agua.

El análisis estadístico del ANOVA ($p < 0,05$) confirmó los resultados obtenidos, el que concluyó que los factores Flujo de Vapor (kg/h), condición de materia prima y carga de materia prima (kg) fueron factores altamente significativos ($p = 0,000096$, $0,000000$ y $0,000002$, respectivamente menores a $p < 0,05$).

Optimización

Del estudio preliminar usando el método de Taguchi, los factores que condicionaron el proceso de extracción de aceite esencial de Romero fueron el flujo de vapor (X1, kg/h) y Carga de Materia Prima (X2, kg), los mismos que fueron seleccionados para encontrar las condiciones óptimas en el proceso de extracción mediante la MSR usando el diseño compuesto central rotatable (DCCR a un $p < 0,05$). La condición de Materia Prima se mantuvo constante en los ensayos. Aplicando el diseño y considerando los factores seleccionados arriba se trabajó con los valores ya establecidos (**Tabla 3**).

Tabla 3. Diseño central compuesto rotatable del método de superficie de respuesta para la extracción de aceite esencial de romero

Ensayo	X1	X2	Rendimiento Experimental (%)
1	4,3	1,3	2,30
2	5,7	1,3	2,35
3	4,3	2,7	0,75
4	5,7	2,7	1,66
5	4	2,0	1,01
6	6	2,0	2,25
7	5,0	1	2,66
8	5,0	3	1,18
9	5,0	2,0	1,21
10	5,0	2,0	1,13
11	5,0	2,0	1,16

X1: Flujo de Vapor (Kg/h); X2: Carga M.P (Kg)

El mayor rendimiento de aceite esencial de romero fue de 2,66%, a un flujo de vapor de

5,0 kg/h y una carga de materia prima de 1 kg (ensayo 7, **Tabla 3**), y el menor rendimiento de aceite esencial de romero fue de 0,75% a un flujo de vapor de 4,3 kg/h y a una carga de materia prima de 2,7 kg (ensayo 3).

Los ensayos 1 y 2 se realizaron a carga de materia prima fija pero el rendimiento de aceite esencial de romero es mayor en el ensayo 2 esto se debe al incremento en el valor del flujo de vapor esto también se observa en los ensayos 3, 4, 5 y 6; por lo tanto se determinó que el flujo de vapor influyó en gran medida respecto a la carga de materia prima en el rendimiento de aceite esencial de romero concluyendo que a mayor flujo de vapor y sin tomar en cuenta la carga de materia prima, el rendimiento de aceite esencial aumentan.

En los ensayos 7 y 8 el flujo de vapor es fijo y los rendimientos de aceite esencial es mayor en el ensayo 7 a pesar de haber utilizado menos carga de materia prima

Se observa también que en los ensayos 1, 2, 6 y 7 alcanzaron los mayores valores de rendimientos de aceite esencial comprendidos en el rango de 2,25% a 2,66. Los ensayos 1 y 6 alcanzan valores cercanos al ensayo 2 resultando favorable trabajar con los rendimientos de estos ensayos, por presentar baja carga de materia prima.

Los ensayos 3, 5, y 10 presentan bajo rendimiento porcentual de aceite esencial 0,75%, 1,01% y 1,13% respectivamente, debido a una inadecuada combinación entre las variables de flujo de vapor y carga de materia prima.

Así mismo en los ensayos centrales 9, 10 y 11 con flujo de vapor de 5 kg/h y carga de materia prima de 2 kg se alcanzó un rendimiento promedio de 1,16%, mientras que con una carga de materia prima de 1 kg y al mismo flujo de vapor de 5kg/h se alcanzó el mayor rendimiento que es de 2,66% (ensayo 7).

Una ecuación de regresión múltiple fue generada relacionando la respuesta contenido de aceites esenciales de Romero extraídos (X3, g) para los niveles codificados de las variables X₁: Flujo de Vapor (kg/h) (h) y Carga Materia Prima (kg).

La ecuación del modelo ajustado que predice la extracción de aceite esencial fue la siguiente:

$$\text{Rendimiento (\%)} = 19,01586 - 4,9593*FV + 0,45863*FV2 - 5,87721*C + 0,74652*C2 + 0,42496*FV*C$$

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual. Para saber si una variable es o no estadísticamente significativa estos valores de p deben de ser menores al 5%. El análisis de los datos experimentales y la predicción de los valores para la variable respuesta indicaron un ajuste de un $p < 0,05$ y un $R^2 > 0,65$. De otro lado, cuando un modelo se ha establecido, se realiza un análisis de la varianza para evaluar la eficacia del modelo que representan los datos

Así para evaluar la eficacia del modelo matemático encontrado para las condiciones óptimas de la extracción de aceite esencial, se procedió a realizar el análisis de varianza en donde los resultados indicaron que los factores flujo de vapor y densidad de carga de materia prima presentaron un $p < 0,05$, indicando que ellos son significativos con un nivel de confianza de 95%. Mientras que sus interacciones presentaron también un $p < 0,05$, por lo tanto, también fueron significativas. El modelo seleccionado representó adecuadamente los datos para todas las respuestas obtenidas.

Los modelos son significativos, es decir son adecuados para describir los resultados a través de la superficie de respuesta. En la extracción de aceite esencial, el valor R^2 para la respuesta de rendimiento de aceite esencial es de 0,981 con lo cual podemos afirmar que el modelo explica el 98% de la variabilidad del rendimiento y solo un 2% de la variabilidad no es explicada por el modelo resultando un buen predictor de este; **Montgomery (2006)** el valor del coeficiente de determinación (R^2) es también muy alto por lo que defiende la alta significancia del modelo. Esto indica que las variables en el planteamiento y en los rangos establecidos predicen adecuadamente el valor del aceite esencial de Romero, por otro lado, el ANOVA indica que el modelo explica de manera significativa ($p < 0,05$) el rendimiento por lo que se concluye que el modelo de segundo orden se aproxima adecuadamente a la superficie de respuesta. Estos dos indicadores validan estadísticamente la bondad del modelo, por

lo que recién se procede a realizar un análisis por superficie respuesta.

Superficie de respuesta y gráfica de contorno

Las líneas de contorno de la superficie relación de carga de materia prima-flujo de vapor (**Figura 3**), infieren que aún se está lejos de la región del óptimo pues no es apreciable ningún tipo de cambio de curvatura en la tendencia creciente que el comportamiento posee. Sin embargo, son estas dos variables, y esta interacción las necesarias para realizar el proceso de optimización, aumentando gradualmente el rendimiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la **Figura 3** y del análisis estadístico realizado, se obtuvo que los parámetros para extraer los mayores rendimientos se alcanzan con bajas cargas de materia prima (0,8 a 1 kg) con flujos de vapor entre 3,8 a 6,2 kg/h. Siendo que se busca también reducir costos, se recomendaría bajos flujos de vapor (3,8 a 4,2 kg/h). También es posible obtener altos rendimiento con altas cargas de materia prima (2,8 a 3,2 kg) y altos flujos de vapor (6 a 6,2 kg/h), aunque en estas condiciones el proceso se encarecería.

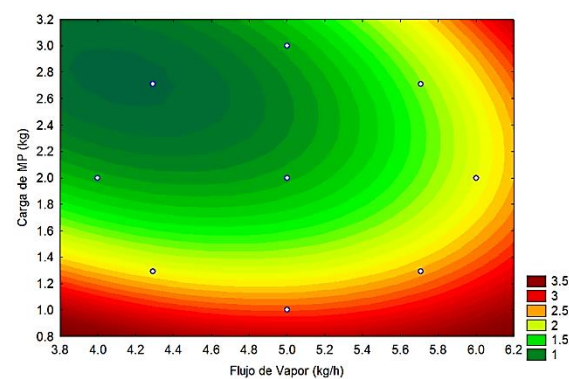


Figura 3. Curvas de nivel de superficie de respuesta para un mayor contenido de aceite esencial de Romero en función a los factores Carga de Materia Prima y Flujo de Vapor.

La extracción del aceite esencial de romero mediante la técnica de destilación por arrastre de vapor resultó ser efectiva, las primeras gotas de aceite comenzaron a salir entre los 20 y 30 minutos e inmediatamente se dio la separación de fases.

El tiempo de destilación se determinó durante los primeros experimentos observando que inicialmente se obtenía el mayor

volumen de aceite y entre las dos y tres cuartos horas llegaba a su límite, por lo tanto, se estandarizó el método especificando un tiempo de una hora aproximadamente para todas las réplicas realizadas. Los rendimientos de extracción para aceites esenciales varían del 0,5 al 2%. **Pérez, (2006)** y **Santacruz (2006)** reportaron que utilizando la misma metodología el rendimiento para el aceite del té de limón, laurel y cilantro es menor a 0,86%. **Martinello (2005)** indica que con extracción por solvente se obtuvo un rendimiento promedio de 15,5% y con destilación por arrastre de vapor su resultado fue de 1,3%. **Mateus (2006)** obtuvo mediante destilación por arrastre de vapor probando diferentes condiciones de vapor y de empaque, revela que obtuvo un rendimiento promedio de 0,66. Mientras que **López y Caso (2015)** obtuvieron rendimientos de 0,76% para hojas de eucalipto y 0,214% para hojas y frutos de *schinus molle*.

Cerpa (2007), menciona que mediante la técnica de hidrodestilación se obtuvo un rendimiento de 1,35%, en condición seca utilizando las flores y hojas del Romero español con ello comprueba una vez más que el proceso y las condiciones de operación implementadas en esta metodología arroja resultados superiores a los reportados en la literatura con destilación por arrastre de vapor.

Con los resultados obtenidos es notorio que la densidad de carga empleada para la

destilación es un factor decisivo en el rendimiento, como era de esperarse hay efecto significativo en la densidad de carga utilizada ($p=0,000075$) y a menor densidad de carga, mayor rendimiento. Se observa como varía el rendimiento en cada experimento para las diferentes cargas utilizadas, para el ensayo de 2,7 - 3 kg se obtiene un rendimiento muy bajo lo cual nos indica que usando esa cantidad de muestra los resultados obtenidos serían poco reproducibles. Para 1 kg se obtuvo un rendimiento mayor, la elección final va a depender del volumen de aceite que se quiera utilizar, para efectos de esta investigación no eran necesarias grandes cantidades de aceite, por lo tanto, se considera que la cantidad de romero más conveniente es de 1 kg.

Validación del modelo matemático

Para validar el modelo matemático de la extracción de aceite esencial, fue necesario comprobar los valores de las variables que optimizan el rendimiento de extracción (%) de aceite esencial, para saber qué tan lejos o cerca se encuentran de los valores reales.

En la **Tabla 4** se denotan los resultados obtenidos, se obtuvo un máximo valor de rendimiento de aceite esencial de 2,66%. Comparando este valor (2,66%) con el teórico previsto por el modelo (2,68%) se encontró un bajo desvío (0,79%), corroborando el buen ajuste del modelo.

Tabla 4. Valores de rendimientos de Aceite Esencial experimentales y previstos por el modelo con condiciones optimizadas

Flujo Vapor(Kg/h)	Densidad de Carga (kg)	Rendimiento (g)	Rendimiento Experimental (%)	Modelado	Desvío (%)
4,3	1,3	29,715	2,30	2,19	4,88
5,7	1,3	30,3875	2,35	2,44	3,63
4,3	2,7	20,4062	0,75	0,68	10,14
5,7	2,7	44,8223	1,66	1,78	7,31
4	2,0	20,2544	1,01	1,15	13,37
6	2,0	44,9141	2,25	2,10	6,40
5,0	1	26,5812	2,66	2,68	0,79
5,0	3	35,283	1,18	1,15	2,51
5,0	2,0	24,1323	1,21	1,17	3,34
5,0	2,0	22,6248	1,13	1,17	3,11
5,0	2,0	23,2198	1,16	1,17	0,46

Conclusiones

Utilizando la metodología de Taguchi se determinó que el factor condición de materia de prima en estado seco sobrepasa los límites de significancia, lo cual lo hace un factor altamente significativo en comparación con los factores flujo de vapor y densidad de carga las cuales fueron valores poco significativos.

Utilizando el DCCR se obtuvo que el mayor rendimiento de aceite esencial de Romero fue de 2,66%, a un flujo de vapor de 5,0 kg/h, una densidad de carga de 1 kg y una condición de materia prima seca.

El rendimiento se encuentra superando el límite superior esperado para el aceite esencial de romero, que varía de 0,5 a 2%.

Del manejo de los resultados mediante un diseño de superficie respuesta y utilizando el software Statistica®, se determinó que la mayor significancia la obtuvieron la variable B (densidad de carga de materia prima) y la variable A (flujo de vapor) respectivamente estos factores tienen efectos estadísticamente significativos en el rendimiento para un 95,0% de confianza.

Referencias bibliográficas

- AOAC. 1996. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. U.S.A.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. U.S.A.
- Alipour, M.; Saharkhiz, M.J.; Niakousari, M.; Seidi Damyeh, M. 2019. *Scientia Horticulturae* 243: 131-139.
- Cerpa, M. 2007. Hidrodestilación de Aceites Esenciales: Modelado y Caracterización. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid. España. 304 pp.
- Casado, I. 2018. Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid. España. 85 pp.
- De Barros, R.V.; Marques, G.R.; Borges, S.V.; Botrel, D. A. 2014. Effect of solids content and oil load on the microencapsulation process of rosemary essential oil. *Industrial Crops and Products* 58: 173-181.
- Hernández, A.; de la Paz, M.; García, L. 2015. La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad. *Investigación Operativa XXIII(37)*: 65-83.
- Isman, M.B.; Miresmaili, S.; Machial, C. 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem Reviews* 10: 197-204.
- Lauriano de Souza, V. G.; Pires, J.R.A.; Vieira, É.T.; Coelho, I.M.; Duarte, M.P.; Fernando, A. L. 2019. Activity of chitosan-montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary essential oil: From in vitro assays to application in fresh poultry meat. *Food Hydrocolloids* 89: 241-252.
- Lax, V. 2014. Estudio de la variabilidad Química, propiedades antioxidantes y biocidas de poblaciones espontáneas de *Rosmarinus officianilis* L. en la región de Murcia. Tesis de doctorado, Universidad de Murcia. España. 152 pp.
- León, G.; Osorio, M.; Martínez, R. 2015. Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L. *Revista Cubana de Farmacia* 49(4): 742-750.
- Lubbe, A.; Verpoorte, R. 2011. Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products* 34: 785-801.
- Linares, R.; Santos, J.; Trujillo-Cayado, L.; Ramírez, P.; Muñoz, J. 2018. Enhancing rosemary oil-in-water microfluidized nanoemulsion properties through formulation optimization by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology* 97: 370-375.
- Filipstova, O.V.; Gazzavi-Rogozina, L.V.; Timoshyna, I.A.; Naboka, O.I.; Dyomina, Y.V.; Ochkur, A.V. 2017. The essential oil of rosemary and its effect on the human image and numerical short-term memory. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(2): 107-111.
- Martinello, M.; Pramparo, M. 2005. Poder antioxidante de extractos de romero concentrados por destilación molecular. *Inf. tecnol.* 16(5):17-20.
- Mateus, E.; Lopes, C.; Nogueira, T.; Lourenço, J.; Curto, M. 2006. Pilot Steam Distillation of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) from Portugal. *Silva Lusitana* 14(2): 203 -217.
- Mohammadi, A.; Ghazanfari, S.; Davvod, S. 2019. Comparative effects of dietary organic, inorganic, and Nano-selenium complexes and rosemary essential oil on performance, meat quality and selenium deposition in muscles of broiler chickens. *Livestock Science* 226: 21-30.
- Moreno, J.; López, G.; Siche, R. 2010. Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria* 1(2): 147-154.
- Montgomery, D. 2006. Diseño y análisis de experimentos. Editorial LIMUSA. México, D.F. México. 681 pp.
- Palacios, L.; Castillo, W. 2015. Modelamiento de extracción del aceite esencial de *Aloysia citriodora* y *Schinus molle*. *Revista Ingeniería* 2(2): 14-24.
- Patiño, L.; Saavedra, A.; Martínez, J. 2014. Extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de romero. Ed. Ciencias Tecnológicas y Agrarias Sucre, Bolivia. 14 pp.
- Pérez, T. 2006. Efectividad de los Vapores de Aceites de Tomillo y Orégano como agentes antibacterianos. Universidad de las Américas, Puebla.

- Pramparo, M.; Leone, I.; Martinello, M.A. 2008. Simulation of deacidification process by molecular distillation of deodorizer distillate. *Latin American Applied Research* 38: 299-304.
- Quintero, A.; González N.; Staschenko E. 2004. Aceite esencial de las hojas de *Eucalyptus globulus*. Tesis de grado. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal. Estado Táchira, Venezuela. 157 p.
- Rizzo, V.; Amoroso, L.; Licciardello, F.; Mazzaglia, A.; Muratore, G.; Restuccia, C.; Lombardo, S.; Pandino, G.; Strano, M.; Mauromicale, G. 2018. The effect of sous vide packaging with rosemary essential oil on storage quality of fresh-cut potato. *LWT-Food Science and Technology* 94: 111-118.
- Sadeh, D.; Nitzan, N.; Chaimovitch, D.; Shachter, A.; Ghanim, M. 2019. Interactive effects of genotype, seasonality and extraction method on chemical compositions and yield of essential oil from rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Industrial Crops & Products* 138: 1114-19.
- Santacruz, Y. 2006. Efectividad de hipoclorito de sodio y aceites esenciales de semilla de cilantro y hojas de laurel. Universidad de las Américas, Puebla.
- Wankat, P.C. 1988. Equilibrium staged separations. Separation in chemical yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food Chemistry* 99: 19-23.
- Véliz-Jaime, M.; González-Dias, Y. 2017. Evaluación técnico-económica para la obtención de aceites esenciales y su impacto en el medio ambiente. *Ciencia en su PC* 4: 103-115.