

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



**Cinética de hidrodestilación asistida por microondas (MWHD)
en la extracción de aceite esencial de semillas de anís
(*Pimpinella anisum L.*)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Alimentos

Autor:

Javier Elisban Machaca Adco

Elio Obando Cutipa Mancha

Asesor:

Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe

Juliaca, diciembre del 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“CINÉTICA DE HIDRODESTILACIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (MWH) EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE SEMILLAS DE ANÍS (PIMPINELLA ANISUM L.)”** de los autores **Javier Elisban Machaca Adco** y **Elio Obando Cutipa Mancha** tiene un índice de similitud de 1% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 28 días del mes de diciembre del año 2023.



Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunqui, a 22 día(s) del mes de diciembre del año 2023, a las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mrs. Carmen Rosa Espaza Numerus, el (la) secretario(a) Ing. Enrique Mamani Guala y los demás miembros: Ing. Ana Mónica Torres Jimenez y el (la) asesor(a) Ing. Joel Torres Loaguira Quipe

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: *Técnica de hidrodestilación asistida por microondas (MWHO) en la extracción de aceite esencial de semillas de anís (Pimpinella anisum L.)*

del(los) bachiller(es): a) Javier Elisban Machaca Aedo b) Elío Obando Lutiza Mancha c)

conducente a la obtención del título profesional de: *Ingeniero de Alimentos*

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): *Javier Elisban Machaca Aedo*

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<i>Aprobado</i>	<i>18</i>	<i>A-</i>	<i>Muy Bueno</i>	<i>Sobresaliente</i>

Bachiller (b): *Elío Obando Lutiza Mancha*

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<i>Aprobado</i>	<i>18</i>	<i>A-</i>	<i>Muy Bueno</i>	<i>Sobresaliente</i>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior
Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a
[Firma]
Asesor/a
[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro
[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a

Miembro

Bachiller (c)

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a Dios y a aquellos que han desempeñado un papel crucial en la realización de esta tesis científica. Queremos destacar especialmente el invaluable aporte del Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe, nuestro orientador, por su guía experta y apoyo constante. Agradecemos también a la Mg. Sc. Carmen Rosa Apaza Humerez por su contribución significativa. No podemos pasar por alto el respaldo inquebrantable de nuestra familia, cuyo apoyo ha sido fundamental. Apreciamos sinceramente la influencia de todos en este trabajo científico. ¡Gracias por su dedicación y respaldo!

INDICE

I.	Introducción.....	10
II.	Materiales y métodos.....	11
	2.1. Acondicionamiento de materia prima.....	11
	2.2. Extracción hidrodestilativa mediante microondas	11
	2.3. Diseño experimental y análisis estadístico.....	12
	2.4. Modelado cinético para la extracción.....	13
	2.5. Modelado cinético de segundo orden	13
	2.6. Cinética de extracción empleando el modelo difusional de Fick.....	15
	2.7. Análisis de cromatografía de gases (GC-MS)	16
III.	Resultados y Discusión.....	16
	3.1. Impacto de las variables de proceso en la eficiencia de la extracción de aceite esencial de anís.	16
	3.2. Modelado cinético.....	18
	3.3. Difusión de Fick.....	19
	3.4. Modelo estadístico mediante metodología factorial.....	21
	3.5. Análisis de Superficie de Respuesta (RMS)	23
	3.6. Composición química de aceite esencial	25
IV.	Conclusiones	27
V.	Referencias.....	28
	ANEXO A. RESOLUCION DE EXPEDITO	32
	ANEXO B. EVIDENCIA DE SUMISION	33

INDICE TABLAS

Tabla 1 Aplicación del diseño factorial 3^3	12
Tabla 2 Linealización del modelo cinético de segundo orden.....	19
Tabla 3 Valores obtenidos de los métodos de hidrodestilación (HD) y destilación asistida por microondas (MWHD) para el coeficiente de difusión (Def) y el tiempo de degradación t(difusión) del aceite esencial de anís.....	20
Tabla 4 Análisis de varianza	22
Tabla 5 Compuestos químicos de los AE mediante espectrometría de masas y cromatografía de gases combinadas.	25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación del rendimiento (%) en la extracción de AE.	17
Figura 2. Comparación de los resultados calculados y los datos experimentales del aceite	20
Figura 3. Ilustra la relación entre la potencia de microondas (P) y el coeficiente de difusión del aceite esencial de anís (D_{ef})	21
Figura 4. Diagrama de dispersión.....	23
Figura 5. Diagrama de superficie de respuesta: Relación entre el rendimiento máximo y la potencia de microondas, así como la proporción sólido: líquido.	23
Figura 6. Gráfico de contorno	24
Figura 7. cromatograma del aceite esencial de anís	26

Cinética de hidrodestilación asistida por microondas (MWHD) en la extracción de aceite esencial de semillas de anís (*Pimpinella anisum L.*)

RESUMEN

Dentro del campo de la destilación convencional (HD), la hidrodestilación con asistencia de microondas (MWHD) es una técnica de vanguardia que utiliza a microondas como el componente principal para la destilación de aceites esenciales (AE). La finalidad de la investigación fue modelar el procedimiento de extracción y estudiar cómo los parámetros independientes inciden en el rendimiento de aceite esencial de anís. La constante k_2 , C_s y el coeficiente de difusión (D_{ef}) las cuales se determinaron mediante el modelado matemático de segundo orden y la difusión intrapartícula de Fick. Este proceso se realizó mediante una evaluación de regresión no lineal, los parámetros se validaron estadísticamente evaluando el error porcentual medio absoluto (MAE) y el coeficiente de determinación (R^2). La cantidad resultante de la condensación se midió cada 30 segundos durante los 38 minutos que duró el proceso de extracción. Además, se utilizó un experimento factorial 3^3 para determinar las variables significativas que afectan a la extracción del aceite de esencial. Este enfoque tuvo en cuenta tres factores experimentales distintos: la duración de la irradiación (10, 15 y 20 minutos), los niveles de potencia de microondas (500, 700 y 900 W), y la proporción de sólido: líquido (S/L) 1:2, 1:3 y 1:5 g/ml. Se identificaron condiciones óptimas que resultaron en un rendimiento máximo del 2.1%, específicamente con una relación de S/L 1:5, potencia de microondas de 864 W y la duración de exposición a la radiación fue de 20 minutos. Los coeficientes de difusión de transferencia de masa fueron de 3.61×10^{-13} , 6.57×10^{-13} , 6.75×10^{-13} m²/s a 500, 700 y 900 W respectivamente. El análisis de la composición química por cromatografía de gases (GC) mostró que el anetol es el componente predominante, constituyendo el 90,20% y el 90,92% del aceite total obtenido mediante hidrodestilación asistida por microondas (MWHD) e hidrodestilación (HD), respectivamente.

Palabras clave: Aceite esencial, semillas de anís, hidrodestilación por microondas, cinética, difusión de Fick.

Kinetics of microwave-assisted hydrodistillation (MWHD) in the extraction of essential oil from anise seeds (*Pimpinella anisum L.*)

Abstract

Within the field of conventional distillation (HD), microwave-assisted hydrodistillation (MWHD) is a state-of-the-art technique that uses microwaves as the main component for the distillation of essential oils (EO). The objective of the research was to model the extraction procedure and to study how independent parameters affect the obtaining anise essential oil. The k_2 constant, C_s and diffusion coefficient (D_{ef}) were determined by second order mathematical modeling and intraparticle Fick diffusion. This process was performed by nonlinear regression evaluation, the parameters were statistically validated by evaluating the mean absolute percentage error (MAE) and the coefficient of determination (R^2). The amount resulting from condensation was measured every 30 seconds during the 38-minute extraction process. In addition, a 33 factorial experiment it was used to find out the significant variables affecting the obtaining of the essential oil. This approach took into account three different experimental factors: irradiation duration (10, 15 and 20 minutes), microwave power levels (500, 700 and 900 W), and solid: liquid (S/L) ratio 1:2, 1:3 and 1:5 g/ml. Optimum conditions were identified that resulted in a maximum yield of 2.1%, specifically with an S/L ratio 1:5, microwave power of 864 W and the radiation exposure duration was 20 min. The mass transfer diffusion coefficients were 3.61×10^{-13} , 6.57×10^{-13} , 6.75×10^{-13} m²/s at 500, 700 and 900 W respectively. Chemical composition analysis by gas chromatography (GC) showed that anethole is the predominant component, constituting 90.20% and 90.92% of the total oil extraction by microwave-assisted hydrodistillation (MWHD) and distillation (HD), respectively.

Keywords: Essential oil, anise seeds, microwave hydrodistillation, kinetics, Fick diffusion.

I. Introducción

Durante décadas, la importancia del estudio ha experimentado un incremento notable de los aceites esenciales (AE), el interés de este tema surge no solo de sus propiedades fitoquímicas, sino también de mejorar la calidad de diversos productos (Ullah et al., 2019; Yauri Cantorin & Cotera Curi, 2018). Los aceites han sido reconocidos durante mucho tiempo por sus propiedades medicinales, que incluyen propiedades antisépticas, antioxidantes, antiinflamatorias y antifúngicas (Akhtar et al., 2008; Cotrado, 2016), quienes han subrayado su valor potencial.

"La planta de anís verde (*Pimpinella anisum L.*) es parte de la familia Apiaceae, originario del Mediterráneo y ampliamente cultivado en regiones templadas, ejemplifica la importancia de los aceites esenciales en los sectores alimentario y médico. Según investigaciones (Bastidas et al., 2017; Gutiérrez & Tunqui, 2017), los granos de esta planta son extensamente empleadas como condimentos y aromatizantes, y se ha documentado su aplicación terapéutica en el manejo de afecciones como la epilepsia.

La hidrodestilación asistida por microondas (MWHd) emergiendo como una técnica innovadora en la extracción de AE, promoviéndose en eficiencia y sostenibilidad, respecto a la tendencia actual hacia tecnologías sostenibles (Cotrado, 2016; T. P. Dao et al., 2021) han demostrado que este método no solo mejora los rendimientos de extracción, sino que también contribuye a la mitigación de la contaminación ambiental a comparación con el método convencional (HD). Las pesquisas realizadas por (Gómez et al., 2016; Pino et al., 2016) han evaluado la eficacia del rendimiento en la hidrodestilación de esta sustancia, obteniendo notables resultados y destacando sus propiedades bactericidas y antifúngicas.

El uso de altas frecuencias en el proceso de hidrodestilación por microondas produce una alta temperatura de operación, según (Kusuma & Mahfud, 2018; Leonel, 2015; Megawati et al., 2019). Este fenómeno provoca un aumento de los rendimientos un periodo de tiempo relativamente corto, pero puede afectar a la composición química aceite. Por lo tanto, es fundamental seleccionar métodos de extracción óptimos para maximizar la eficiencia y, al mismo tiempo, preservar la calidad y la autenticidad de los AE, lo cual es crítico tanto desde la consideración económica, así como la ambiental.

La presentación de modelos cinéticos en el contexto de la destilación al vapor de aceites esenciales (AE) se considera una etapa fundamental para simular procesos sin recurrir a métodos experimentales. Este enfoque facilita una comprensión global de la dinámica del proceso de extracción. La relevancia del modelado matemático en la destilación por vapor se encuentra en su capacidad para investigar estrategias alternativas y analizar la elección de

variables del proceso. (Cassel et al., 2009). Por lo tanto existe la necesidad de comprender los modelos cinéticos de nuevos procesos que minimizan los costos asociados a la extracción de aceites esenciales.

El modelo difusivo, que aplica la segunda ley de Fick en una geometría rectangular unidimensional en condiciones de régimen transitorio, abarca factores esenciales como el tiempo, la temperatura, las dimensiones de las partículas y la difusividad efectiva (Cassel & Vargas, 2006; Pumacahua et al., 2016). La rápida transición del aceite desde el interior de la materia hacia la parte superior se ve facilitada por las elevadas temperaturas de extracción y la difusión inmediata con el disolvente (Chaiklahan et al., 2014). El propósito del estudio es modelar el proceso de obtención del AE, utilizando dos modelos cinéticos: el modelado matemático de segundo orden y el modelado de la difusión basada en Fick.

II. Materiales y métodos

2.1. Acondicionamiento de materia prima

Se obtuvieron semillas deshidratadas de anís (*Pimpinella anisum L.*) originario del distrito de Curahuasi. Estos fueron obtenidos del mercado local mercado en la ciudad de Juliaca, Puno -Perú. En su etapa de preparación, se procedió a realizar un procedimiento de limpieza manual con el objetivo de eliminar impurezas y partículas no deseadas. Luego, las semillas fueron trituradas mediante el empleo de un molino de uso doméstico (modelo Oster BVSTBMH23-053, el objetivo de este procedimiento de molienda fue obtener un polvo de partículas finas, logrando una dimensión promedio de partícula de $200 \pm 20 \mu\text{m}$ según la metodología de usada por (Boudraa et al., 2021), cada extracción de aceites esenciales fue precedida por la repetición del procedimiento de molienda y tamizado.

2.2. Extracción hidrodestilativa mediante microondas

En los experimentos se empleó un microondas electrodoméstico (*SAMSUNG, MS32J5133AM*) con una frecuencia de funcionamiento de 2450 MHz y una potencia de 1000 vatios (W). Para acondicionarlo se perforó un orificio en la parte superior y se instaló el destilador Clevenger. Se colocó en el horno microondas, un balón de fondo plano, junto con la muestra y agua destilada. El vapor acuoso y el aceite esencial se extrajeron mediante radiación electromagnética y se dirigieron hacia el condensador Clevenger. Con un aparato Bernier (STANLEY MMPLG 78-440), se midió el volumen del aceite cada 30 segundos durante este proceso.

El aceite fue extraído, posteriormente decantado con precaución y separado para eliminar cualquier residuo de agua. Seguidamente, se almacenó en frascos de color ámbar con tapa hermética de 1,5 ml en un entorno oscuro y frío (aproximadamente 12 °C) hasta que se llevara a cabo el análisis subsiguiente, todo el procedimiento se llevó a cabo a una altitud de 3850 msnm.

Utilizando 50 gramos de anís en polvo y variando las proporciones materia prima-disolvente (1:2, 1:3, y 1:5 g/ml) durante 38 minutos por tratamiento, se realizó la hidrodestilación a distintas intensidades de potencia (500, 700, y 900 W) de acuerdo con el diseño factorial 3³, se aplicó la ecuación (1) para determinar el rendimiento de AE (%) según (Mollaei et al., 2019).

$$Yield \% = \frac{V}{W} * 100 \quad (1)$$

Donde, "V" denota la cantidad de aceite de anís extraído en gramos, "W" representa el peso del polvo de anís en gramos.

2.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Se exploró la repercusión de la relación entre las variables predictoras y las variables investigadas mediante el diseño factorial 3³. Los factores de investigación fueron: Proporción sólido-líquido, nivel de potencia de microondas y la duración de irradiación, que se codificaron como -1, 0 y 1. En la Tabla 1 se presentan los 27 tratamientos resultantes de estas codificaciones. Los resultados se informaron por triplicado. los datos experimentales se ajustaron mediante el programa Excel-Solver, aplicando la ecuación del modelo cinético de segundo orden Ec.8 y la ecuación de difusión de Fick Ec.15, luego, se aplicó la optimización de los datos mediante el programa Design Expert 7.0, con el fin de realizar la prueba de varianzas (ANOVA) y generar gráficos de superficie de respuesta (RMS).

Tabla 1. Aplicación del diseño factorial 3³

Factores	Nivel codificado (xi)		
	-1	0	1
A: Relación S/L (g/ml)	1:2	1:3	1:5
B: Potencia (W)	500	700	900
C: tiempo de irradiación (min.)	10	15	20
Nro. Corridas	Valor codificado (valor real)		
	X1 (A)	X2 (B)	X3 (C)
1	-1 (2)	-1 (500)	-1 (10)

2	-1 (2)	0 (700)	-1 (10)
3	-1 (2)	1 (900)	-1 (10)
4	0 (3)	-1 (500)	-1 (10)
5	0 (3)	0 (700)	-1 (10)
6	0 (3)	1 (900)	-1 (10)
7	1 (5)	-1 (500)	-1 (10)
8	1 (5)	0 (700)	-1 (10)
9	1 (5)	1 (900)	-1 (10)
10	-1 (2)	-1 (500)	0 (15)
11	-1 (2)	0 (700)	0 (15)
12	-1 (2)	1 (900)	0 (15)
13	0 (3)	-1 (500)	0 (15)
14	0 (3)	0 (700)	0 (15)
15	0 (3)	1 (900)	0 (15)
16	1 (5)	-1 (500)	0 (15)
17	1 (5)	0 (700)	0 (15)
18	1 (5)	1 (900)	0 (15)
19	-1 (2)	-1 (500)	1 (20)
20	-1 (2)	0 (700)	1 (20)
21	-1 (2)	1 (900)	1 (20)
22	0 (3)	-1 (500)	1 (20)
23	0 (3)	0 (700)	1 (20)
24	0 (3)	1 (900)	1 (20)
25	1 (5)	-1 (500)	1 (20)
26	1 (5)	0 (700)	1 (20)
27	1 (5)	1 (900)	1 (20)

2.4. Modelado cinético para la extracción

Los modelos cinéticos de segundo orden y la difusión de Fick se usan a menudo para ilustrar fenómenos del proceso de extracción de la relación de materia prima – solvente, así como lo explican los investigadores (Alara & Abdurahman, 2019; Kusuma & Mahfud, 2018; Megawati et al., 2019).

2.5. Modelado cinético de segundo orden

La ecuación polinómica de segundo según (Kusuma & Mahfud, 2018), la tasa de extracción puede expresarse como sigue:

$$\frac{dC_t}{dt} = k_2(C_s - C_t)^2 \quad (2)$$

K_2 ($L g^{-1} min^{-1}$) es la constante de velocidad de extracción, combinando las variables de la ecuación (2), obtenemos:

$$\frac{dC_t}{(C_s - C_t)^2} = k_2 dt \quad (3)$$

A partir de la ecuación (3), realizar la integración como sugiere (Ho et al., 2005) con las condiciones de contorno $C_t = 0$ en $t = 0$ y $C_t = C_t$ en $t = t$.

$$\frac{1}{(C_s - C_t)} - \frac{1}{C_s} = k_2 t \quad (4)$$

$$C_t = C_s - \frac{C_s}{(1 - C_s k_2 t)} \quad (5)$$

$$C_t = \frac{C_s^2 k_2 t}{(1 + C_s k_2 t)} \quad (6)$$

La ley de la tasa de extracción integrada de segundo orden, representada por la ecuación (6), tiene la siguiente conversión lineal.

$$\frac{t}{C_t} = \frac{1}{k_2 C_s^2} + \frac{t}{C_s} \quad (7)$$

La ecuación (7) puede utilizarse para determinar la rapidez de extracción (C_t/t):

$$\frac{C_t}{t} = \frac{1}{(1/k_2 C_s^2) + (t/C_s)} \quad (8)$$

La definición de la rapidez de extracción inicial h , con $C_t = t$ cuando t se aproxima a 0, es la siguiente:

$$h = k_2 C_s^2 \quad (9)$$

Finalmente se encuentra cambiando la ecuación (8) una vez más:

$$\frac{t}{C_t} = \frac{t}{C_s} + \frac{1}{h} \quad (10)$$

Trazando una línea entre t/C_t y t y calculando su pendiente e intersección, es posible determinar experimentalmente la tasa de extracción inicial (h), la capacidad de extracción (C_s) y la constante de la tasa de extracción (k_2).

2.6. Cinética de extracción empleando el modelo difusional de Fick

En una situación transitoria, según el modelo difusivo de Fick, el proceso de difusión se produce debido al gradiente de concentración entre la solución y las partículas de anís, teniendo en cuenta tanto la radio como el tiempo (Megawati et al., 2019), asumiendo que las partículas de aceite son esféricas.

$$\frac{1}{D_e} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \quad (11)$$

La ecuación (12) es el resultado de resolver la ecuación (11) separando las variables como sugieren (Megawati et al., 2013). Donde C representa el volumen inicial de aceite esencial en la partícula en el instante t (m/v), r denota el radio a lo largo de la dirección de difusión, y D_{ef} corresponde al coeficiente de difusión. Además, las condiciones límite son $C(r,0) = C_0$ y $C(R,t) = 0$.

$$C_{(r,t)} = \frac{2C_0R}{\pi} \sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{(-1)^n \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right)}{n} \frac{e^{-\left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 D_e t}}{r} \quad (11)$$

Calculando la tasa de extracción mediante la ecuación (13).

$$N_A = 8\pi C_0 D_e R \sum_{n=1}^{n=\infty} e^{-\left(\frac{\pi^2 D_e}{R^2}\right) n^2 t} \quad (13)$$

La ecuación 15 se puede utilizar para calcular la obtención de AE, la ecuación 16 para determinar el valor de β (1/min), Donde "n" representa la cantidad de términos en la serie, (D_{ef}) es el coeficiente de difusión en unidades de (m^2/min), "R" es el radio de masa, y "t" indica el tiempo de difusión en minutos.

$$x = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3 C_0} = \frac{6D_e}{R^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \int_{t=0}^{t=t} e^{-\left(\frac{\pi^2 D_e}{R^2}\right) n^2 t} \quad (12)$$

$$x = 1 - \frac{6}{n^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} e^{(-\beta n^2 t)} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{\pi^2 D_e}{R^2} \quad (16)$$

$$D_{ef} = \frac{R^2 \beta}{\pi^2} \quad (17)$$

2.7. Análisis de cromatografía de gases (GC-MS)

Se empleó el cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890, cuyo número de modelo de detector de espectrómetro de masas era 5975C. Las columnas que se utilizaron fueron DB-5ms, de 60 m x 250µm x 0,25 µm.°C y con una capacidad máxima de 325 °C, fijando la temperatura inicial de rampa en 40 °C, luego incrementando a razón de 5 °C cada minuto hasta llegar a 180°C, luego se elevó a 200 °C durante dos minutos a un ritmo de 2,5°C por minuto, tras alcanzar los 300 °C, la temperatura aumentó a un ritmo de 20 °C por minuto y se mantuvo así durante cinco minutos. El tiempo total de funcionamiento fue de 47 minutos. Se utilizó una relación de división de flujo de 20:1 para introducir 1µL de muestra. Se añadieron ml de diclorometano, empleando helio como gas transportador a una tasa de 1 ml/min. Después se procedió a la filtración evaluando los espectros de masas de los compuestos con la biblioteca NIST08 incorporadas en el cromatógrafo, se identificaron los compuestos químicos (Talleri & Mesía, 2010).

III. Resultados y Discusión

3.1. Impacto de las variables de proceso en la eficiencia de la extracción de aceite esencial de anís.

Los estudios llevados a cabo por (Franco-Vega et al., 2019; Jeyaratnam et al., 2016; Mollaei et al., 2019). de investigación sobre el proceso de destilación al vapor han demostrado que una serie de variables, como la relación materia prima/disolvente, el tiempo de hidrodestilación y la potencia de las microondas, pueden afectar al buen funcionamiento de la hidrodestilación asistida por microondas.

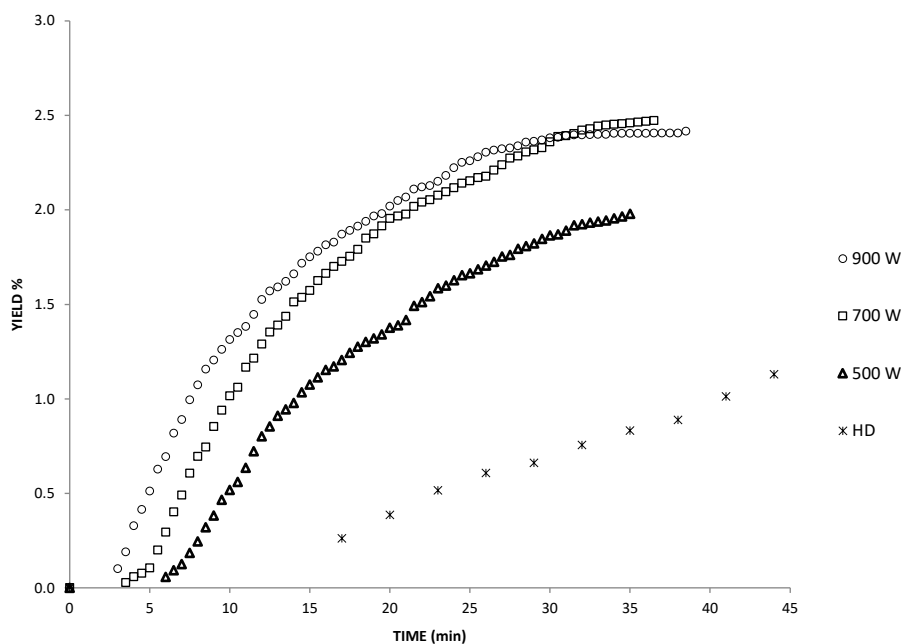


Figura 1. Comparación del rendimiento (%) en la extracción de AE.

El proceso de hidrodestilación para obtener el aceite esencial de las semillas de anís se realizó utilizando MWHD a 500, 700 y 900 W con una proporción de sustrato a solvente de 1:5, y los rendimientos máximos obtenidos se muestran en la Figura 1, que fue de $2,3 \pm 12\%$ a los 38 minutos, mientras que el método de hidrodestilación convencional (HD) produjo un rendimiento máximo de $0,9 \pm 0.1\%$ a los 60 minutos. Investigaciones anteriores han arrojado resultados variados en diversas condiciones de extracción y con diversos tipos de semillas. (Boudraa et al., 2021) descubrieron un rendimiento máximo de $0,89 \pm 0.07\%$ a 30 min MWHD. Del mismo modo, (Zubiri et al., 2014) informó de un rendimiento máximo de $0,93 \pm 0,07\%$ después de 2 horas. En otro estudio, (González-Rivera et al., 2016), informaron de rendimientos del $0,83\%$ y el $1,10\%$ utilizando la extracción MWHD coaxial a los 120 minutos y la extracción HD convencional a los 360 minutos, respectivamente.

La variación de los niveles de potencia de las microondas es fundamental para obtener un buen rendimiento y la calidad del aceite esencial (AE). En la investigación se utilizaron potencias de microondas de 500, 700 y 900 W, con un tiempo máximo de 38 minutos. El rendimiento aumentó exponencialmente durante los primeros 12 minutos, especialmente a 700 y 900 W (véase la figura 1). Este aumento se debe a la relación directa entre la potencia de irradiación de las microondas, la dimensión de la muestra y la cantidad de disolvente. Además, el aumento de temperatura causado por el movimiento de las moléculas afecta a la velocidad de destilación inicial del aceite y al rendimiento final de AE (T. P. Dao et al., 2021; Mollaei et al., 2019). La bibliografía apoya la idea de que aumentar la potencia de las microondas optimiza la eficacia de la extracción, aunque se advierte que no debe ser

excesivamente alta, ya que podría provocar la pérdida de compuestos volátiles. La conducción de iones se produce en las moléculas polares de las semillas de anís, como el agua, generando un incremento de la presión y la temperatura, factor que provoca la rotura de las membranas celulares y a la liberación de AE en el disolvente. Por otro lado, una potencia excesiva de microondas puede reducir la recuperación debido a la degradación de las semillas, llegando incluso a quemar la biomasa y pirolizar el aceite esencial (Kusuma & Mahfud, 2018; Li et al., 2023), como resultado, es fundamental utilizar un nivel de potencia de microondas adecuado para maximizar el rendimiento de AE.

Por otro lado, la velocidad de extracción y el alto rendimiento de AE en menos tiempo se debería a la presión atmosférica que desempeñaría un rol importante en la evaporación de disolvente; a baja presión atmosférica, la ebullición del disolvente se reduce, lo que puede acelerar el proceso de evaporación.

3.2. Modelado cinético

Los datos experimentales se ajustaron desarrollando la ecuación (8) y trazando t/C_t con el paso del tiempo (t) utilizando la ecuación cinética del segundo orden. Como resultado se calcularon la tasa de extracción (k_2), la capacidad de extracción (C_s) y R^2 . Se minimizó la suma de errores al cuadrado para realizar la comparación de no linealización utilizando Solver en Excel. Los resultados están consignados en la Tabla 2. donde se destaca que el coeficiente de determinación fue alto para ambas condiciones (HD = 0,9918 y MWHD a diferentes potencias), en donde da a conocer que el modelo aplicado es adecuado y puede representar eficazmente las conclusiones derivadas de la destilación de aceite esencial de semillas de anís (Z. Liu et al., 2018).

Además, en contraste con el método convencional (HD), la tasa de extracción (k_2) utilizando la hidrodestilación empleando microondas (MWHD) es significativamente mayor (6,7689 veces), como se muestra en la Tabla 2 (Kusuma & Mahfud, 2018). Pero su capacidad de extracción es inferior a la de la hidrodestilación sin microondas, lo que podría atribuirse al uso excesivo de potencia del proceso de microondas. Sin embargo, cuando se utilizan diferentes niveles de potencia, se descubre que 500 W tiene una capacidad de extracción significativamente mayor (2,4928 veces) que 900 W. Sin embargo, la tasa de extracción es significativamente menor, (hasta 14 veces) que a la potencia máxima (Megawati et al., 2019).

Tabla 2. *Linealización del modelo cinético de segundo orden.*

Método de extracción	Pendiente	$k_2(\text{min})^{-1}$	intercepto	$C_s(\text{L/g})$	R^2
HD	0.0256	0.00007	0.0219	19.186	0.9917
500	0.0562	0,001	0.1993	7.0658	0.9669
MWHD	0.0671	0.011	0.4302	5,118	0.9731
(W)	0.0549	0.01422	0.7395	2.8344	0.9770

3.3. Difusión de Fick

A través de la reducción de la suma cuadrática de las diferencias entre los datos empíricos del aceite esencial y la masa transferida calculada o generada, se optimizó y se estimó el parámetro. Los valores óptimos de parámetro β para $n = 20$ fueron 3.9980×10^{-2} , 3.8895×10^{-2} y $2.1391 \times 10^{-21}/\text{min}$, respectivamente. El radio fue de 1×10^{-4} m. Figura 2 ilustra el rendimiento de la esencia con los resultados calculados y los datos experimentales, lo que demuestra que el modelo propuesto describe con precisión el método de recolección (Megawati et al., 2013).

El modelo de difusión, que se fundamenta en la transferencia de masa la cual se ajusta con precisión a los datos experimentales, suponiendo que los componentes a extraer están distribuidos de manera uniforme dentro de la partícula y teniendo en cuenta que la resistencia superficial es virtualmente insignificante, este modelo se basa en el equilibrio de los materiales a lo largo de la superficie interior de la partícula. Según (Cassel et al., 2009), la segunda parte de la curva tiende hacia un valor límite establecido por la cantidad potencial de destilación de vapor de las sustancias extraíbles, mientras que la porción inicial de la curva puede ser interpretada como una recta, indicativa de una tasa de extracción constante.

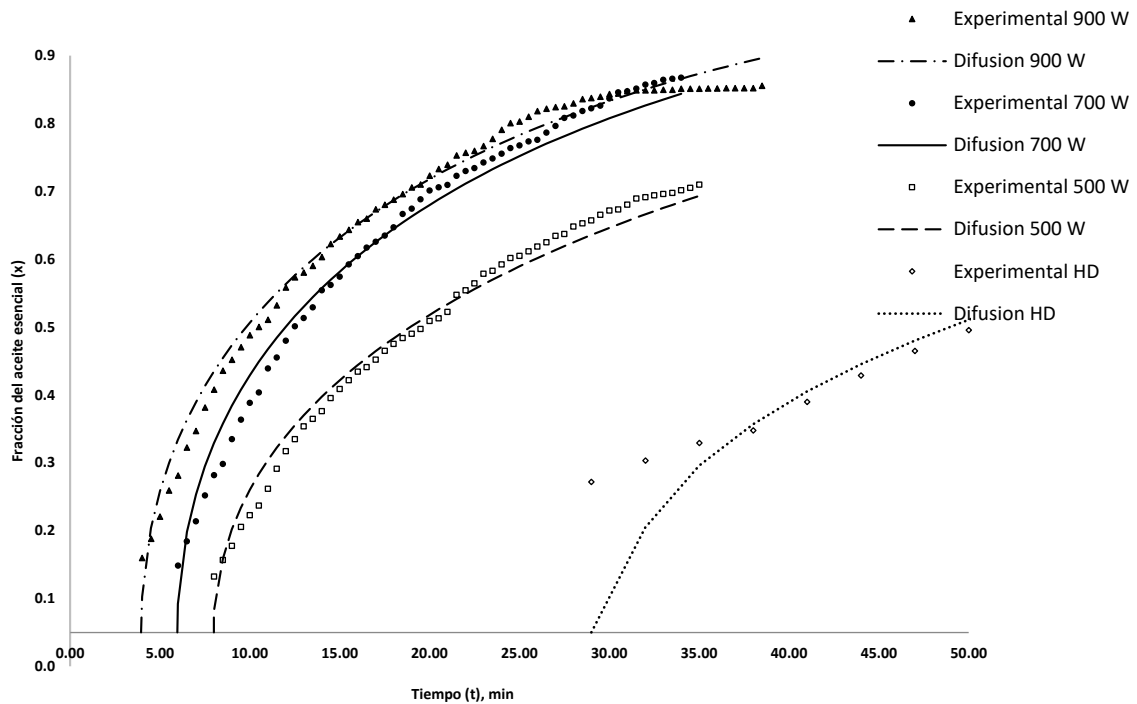


Figura 2. Comparación de los resultados calculados y los datos experimentales del aceite.

La ecuación (17) se utilizó para ajustar el parámetro del coeficiente de difusión, como se observa en la tabla 3. Minimizando la suma de cuadrática en las discrepancias entre los datos empíricos y las estimaciones del modelo representado en la Figura 3. Para comprender cómo influye la potencia aplicada en la capacidad de difusión de la partícula en el disolvente, es esencial comprender la relación entre la potencia y el coeficiente de difusión. Para ello, se utilizó una fórmula empírica, que es $D_{ef} = 3,02 \times 10^{-15} \times P^{0.5985}$, y describe cómo las potencias utilizadas afectan al coeficiente de difusión (Megawati et al., 2019).

Tabla 3. Valores obtenidos de los métodos de hidrodifusión (HD) y destilación asistida por microondas (MWHD) para el coeficiente de difusión (D_{ef}) y el tiempo de degradación $t_{(dif)}$ del aceite esencial de anís.

Método de extracción		D_{ef} . (m^2/s)	$t_{(dif)}$ (min)
HD		2.11×10^{-13}	27.2
MWHD (W)	500	3.61×10^{-13}	7.99
	700	6.57×10^{-13}	5.97
	900	6.75×10^{-13}	3.95

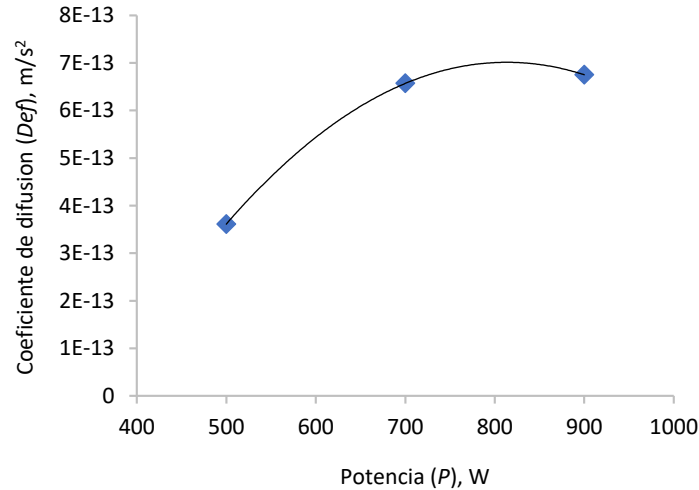


Figura 3. *Ilustra la relación entre la potencia de microondas (P) y el coeficiente de difusión del aceite esencial de anís (Def)*

3.4. Modelo estadístico mediante metodología factorial

Se utilizó la RSM para el desarrollo de modelos polinómicos de segundo grado con coeficientes de regresión múltiple con la finalidad de analizar el impacto referente a las variables del proceso sobre el rendimiento máximo, tomando en cuenta la intensidad de microondas, la relación entre componentes sólidos y líquidos, así como el periodo de irradiación. Sobre la base de estas tres respuestas, el análisis de regresión reveló resultados significativos estadísticamente ($p < 0,05$) como se aprecia en la tabla 4, lo que sugiere que la dependencia polinómica era el mejor ajuste para explicar las respuestas observadas, generando el modelo la cual se describe en la Ecuación 18.

$$\text{Rendimiento} = 1.37 + 0.1384A + 0.1728B + 0.3413C + 0.0889AB - 0.0240AC + 0.0298BC - 0.1235A^2 + 0.0489B^2 - 0.0696C^2 \quad (18)$$

El rendimiento máximo de AE de acuerdo con la potencia de irradiación (A), la relación de materia prima-solvente (B) y el tiempo de irradiación (C) se modeló matemáticamente mediante la ecuación (18). Para descomponer la variabilidad del rendimiento en efectos individuales y determinar la significación estadística de cada término del modelo, aplicando el análisis de ANOVA $P < 0.05$, en la tabla 4 se aprecian que las variables A; B; C; AB; A^2 y C^2 son estadísticamente significativos, la cual indica un impacto notable de estos factores en el rendimiento del aceite esencial. El coeficiente de R^2 resultó 0,8993, por consiguiente, expresa que la variabilidad de los datos es 89,93%. La tabla 4 proporciona información detallada acerca de la importancia de cada coeficiente, determinada mediante sus valores F y P.

Tabla 4. Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F-valor	P-valor
modelo	9.57	9	1.06	70.47	< 0.0001
A-Potencia	1.02	1	1.02	67.41	< 0.0001
B-Relación (S: L)	1.61	1	1.61	106.91	< 0.0001
C-Tiempo	6.18	1	6.18	409.57	< 0.0001
AB	0.2948	1	0.2948	19.55	< 0.0001
A.C.	0.0208	1	0.0208	1.38	0.2444
B.C.	0.0331	1	0.0331	2.19	0.1431
A²	0.2744	1	0.2744	18.19	< 0.0001
B²	0.0327	1	0.0327	2.17	0.1451
C²	0.0871	1	0.0871	5.78	0.0189
Residual	1.07	71	0.0151		
Falta de Ajuste	0.2939	17	0.0173	1.20	0.2950
Error puro	0.7771	54	0.0144		
R²	0.8993				
R² ajustada	0.8866				
Precisión adecuada	30.4105				
Total	10.64	80			

Se observa una notable similitud entre la ubicación de los puntos y la línea recta en el diagrama de diagnóstico ver figura 4, que contrasta los resultados empíricos del experimento con los valores esperados. Este resultado pone en manifiesto la notoria concordancia entre los valores esperados con los observados, lo que sugiere que el modelo desarrollado es eficaz para optimizar las condiciones ideales para extraer el aceite esencial de anís.

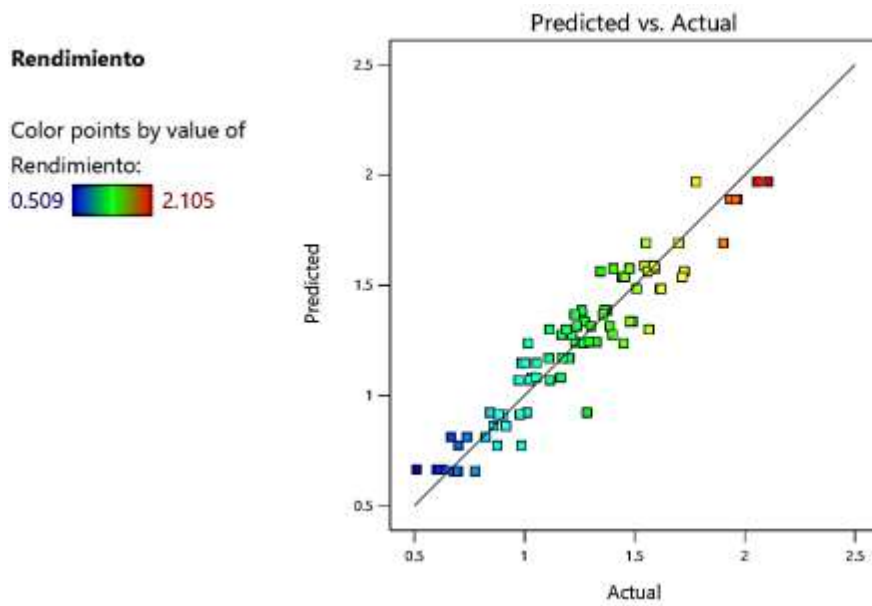


Figura 4. Diagrama de dispersión

3.5. Análisis de Superficie de Respuesta (RMS)

El diagrama de superficie de respuesta se apoya en un enfoque de modelado empírico que facilita la evaluación de las relaciones entre los resultados experimentales y sus valores predichos (B. Liu et al., 2018). Para ello, se emplearon representaciones tridimensionales de varios modelos de regresión no lineal, con el propósito de visualizar las complejas interacciones entre la potencia de irradiación, duración de irradiación y proporción sólido-líquido en relación con el rendimiento de extracción del aceite esencial, este análisis detallado se visualiza en la gráfica en la figura 5.

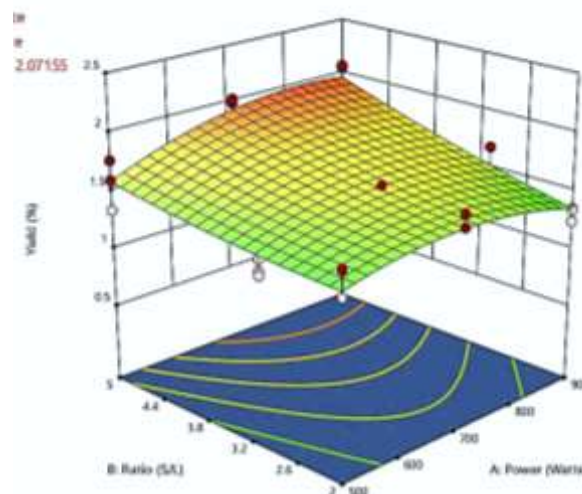


Figura 5. Diagrama de superficie de respuesta

La figura 6 ilustra los efectos interactivos entre la intensidad de las microondas y la proporción sólido-líquido en la eficacia de la obtención de aceite esencial. Se observa una progresión significativa en el rendimiento conforme va en aumento la potencia, especialmente dentro de un intervalo específico de tiempo de irradiación y con una relación sólido-líquido más elevada. Los rendimientos más destacados se alcanzaron con una potencia de microondas de 864 W durante 20 minutos y una relación S/L de 250 ml. En efecto se identificó que el rendimiento de extracción experimentó un aumento leve al incrementar tanto la potencia como el tiempo de irradiación, pero a partir de los 38 minutos se inició un decrecimiento en dicho rendimiento.

Otro factor crucial que incide directamente en la eficacia del procedimiento es la duración de la técnica de extracción, en donde se llevaron a cabo extracciones en diferentes intervalos (10-20 minutos) con el fin de determinar el tiempo óptimo para maximizar la efectividad en el proceso de extracción del aceite esencial. Al alargar el tiempo de extracción, manteniendo una potencia constante, se verificó un aumento notable en la cantidad de aceite esencial de anís extraído. No obstante, el rendimiento dejó de aumentar más allá de los 38 minutos, aunque es posible maximizar el resultado de la obtención de los aceites esenciales mediante un aumento en la potencia del microondas, pero este aumento podría generar una disminución en los rendimientos de aceite con un tiempo alargado, según lo evidencian estudios anteriores (B. Liu et al., 2018). Por ello es vital tener en cuenta todos los componentes que inciden en la destilación AE y mantener su composición química.

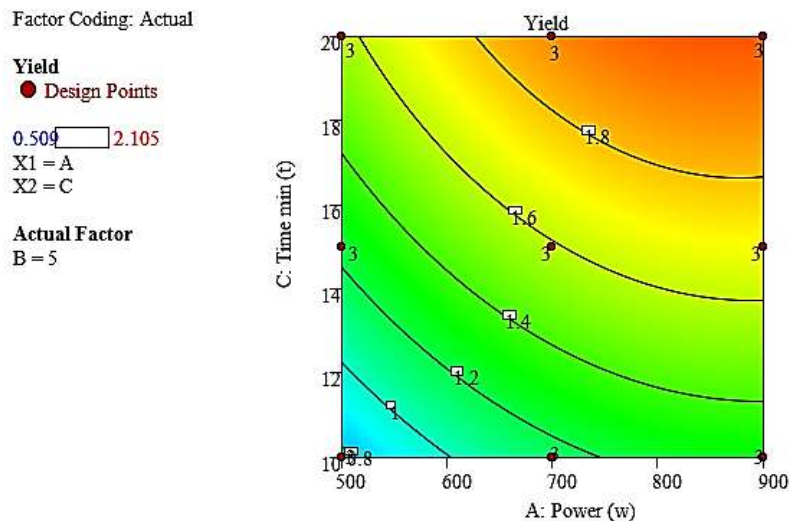


Figura 6. Gráfico de contorno

3.6. Composición química de aceite esencial

Las sustancias evaporables halladas en el aceite esencial de anís (AE) producido por hidrodestilación (MWHD y HD) fueron examinados mediante el cromatograma de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM), con el objetivo de identificar la composición molecular del AE, se emplearon los tiempos de retención y la espectrometría de masas como parámetros de referencia, los datos de los picos se comparan con la biblioteca de datos NIST08 para determinar la composición. Estos resultados se observan en la tabla 5 y la figura 7, donde se identificaron un total de 15 compuestos, los cuales representan prácticamente la totalidad (casi el 100%) del contenido.

Anetol (90,20%), cis-(-)-2, 4a,5,6, 9a-Hexahidro-3,5,5,9-tetrametil(1H), benzociclohepteno (5,05%) y estragol (1,17%) fueron los tres componentes primarios visibles en el cromatograma. Las sustancias restantes constituían el 3,58%. Se descubrieron similitudes cuando (Bastidas et al., 2017; Gutiérrez & Tunqui, 2017), extrajeron aceites esenciales de los mismos materiales. Estas incluían una notable presencia de L-Limoneno (8,83%) y un alto porcentaje de Anetol (79,13%).

Tabla 5. *Compuestos químicos de los AE mediante espectrometría de masas y cromatografía de gases combinadas.*

Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	Contenido Relativo (%)	
		HD	MW
1	Geijereno	0.08	0.06
2	Estragol	1.41	1.17
3	Anetol	90.92	90.2
4	δ-Elemeno	0.20	0.23
5	Ylangeno	0.05	0.05
6	β-Elemeno	0.08	0.08
7	β-Farneseno	0.08	0.09
8	α-Himachaleno	0.46	0.45
9	α-Curcumeno	0.12	0.14
10	cis-(-)-2,4a,5,6,9a-Hexahidro-3,5,5,9-tetrametil(1H)benzociclohepteno	4.78	5.05
11	α-Zingibereno	0.83	0.94
12	β-Bisaboleno	0.25	0.30
13	β-Himachaleno	0.32	0.34
14	β-Sesquifelandreno	0.00	0.07
15	Desconocido (C ₁₅ H ₂₀ O ₃)	0.37	0.83

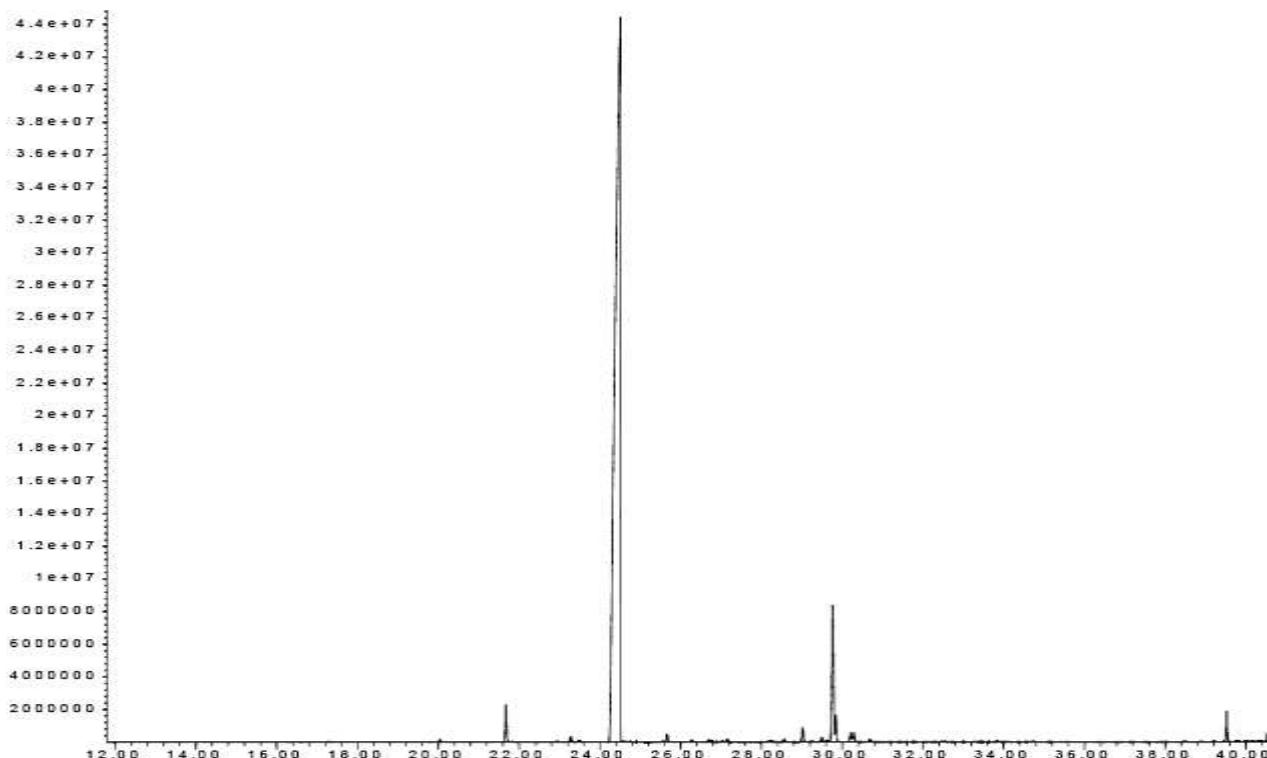


Figura 7. *Cromatograma del aceite esencial de anís.*

En contraste con la investigación de (Akhtar et al., 2008), que emplearon la destilación al vapor para identificar 15 compuestos en el aceite esencial de anís, nuestro estudio reveló la existencia de estragol (1.17%) en cantidades no significativas, en cambio con 79,13%, el anetol sigue siendo el componente más significativo, como se ha demostrado anteriormente. Además, se descubrió que el trans-anetol constituía la mayor parte de los aceites de anís europeos, con un 76,9-93,7% según (Morales & Bendezú, 2019).

Por consiguiente se puede decir que la calidad del aceite de anís obtenido por hidrodestilación MWHD y HD resultó similar, la cual es evidenciada por porcentajes de Anetol de 90,20% y 90,92% respectivamente, ver la Tabla 5. Otras investigaciones anteriores han demostrado que la aplicación de diversas técnicas de extracción, las particularidades del cultivo y el instante exacto de la recolección pueden explicar la variación en los compuestos volátiles del aceite esencial (P. T. Dao et al., 2021; Lota et al., 2000)

IV. Conclusiones

En comparación con la técnica de hidrodestilación (HD), la destilación de aceite esencial de anís mediante microondas (MWHD) demostró un mayor nivel de eficacia. Para ser más precisos, la MWHD fue capaz de obtener con una eficiencia del 2,41% en 38 minutos frente al 1,9% de la HD en 70 minutos. Se utilizó un diseño factorial 3^3 y la técnica de superficie de respuesta (RSM) para optimizar las condiciones de obtención y lograr un rendimiento aceptable de aceite esencial, las cuales resultaron con una potencia de microondas de 864 W, relación materia prima-solvente de 1:5 y un tiempo de irradiación de 20 minutos, las cuales con los experimentos de validación se obtuvo un mayor rendimiento de aceite (2,1%) en comparación con la HD (1,60%). Los resultados del modelo cinético de segundo orden indican que, a pesar de que la capacidad de extracción disminuye con el incremento de la intensidad y la duración del tiempo de irradiación, la MWHD indica una tasa de extracción superior en comparación con la hidrodestilación convencional (HD).

El modelo cinético difusional de Fick fue capaz de describir con precisión la transferencia de masa en la extracción de anís. En donde los coeficientes de difusión (D_e) resultaron 3.61×10^{-13} , 6.57×10^{-13} y 6.75×10^{-13} m^2/s a 500, 700 y 900W respectivamente. Además, el anetol (90,20%), el cis(-)-2,4 a,5,6, 9a-Hexahidro-3,5,5,9-tetrametil(1H) benzociclohepteno (5,05%) y el estragol (1,17%) fueron los componentes principales con mayor predominio en ambos métodos según el análisis GC-MS de las composiciones químicas del aceite esencial obtenido.

V. Referencias

- Akhtar, A., Deshmukh, A. A., Bhonsle, A. V., Kshirsagar, P. M., & Kolekar, M. A. (2008). In vitro Antibacterial activity of Pimpinella anisum fruit extracts against some pathogenic bacteria. *Veterinary World*, 1(9), 272–274.
- Alara, O. R., & Abdurahman, N. H. (2019). Kinetics studies on effects of extraction techniques on bioactive compounds from Vernonia cinerea leaf. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 580–588. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3512-4>
- Bastidas, S., Cuasquer, D., & Enriquez, C. (2017). Extracción del aceite esencial de anís (*Pimpinella anisum* L), caracterización de sus componentes y comparación del rendimiento por el método de destilación con arrastre de vapor de agua a dos escalas. 1.
- Boudraa, H., Kadri, N., Mouni, L., & Madani, K. (2021). Microwave-assisted hydrodistillation of essential oil from fennel seeds: Optimization using Plackett–Burman design and response surface methodology. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 23(July 2020), 100307. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100307>
- Cassel, E., & Vargas, R. M. F. (2006). Experiments and Modeling of the *Cymbopogon winterianus* Essential Oil Extraction by Steam Distillation Article. *Chem. Soc*, 50(3), 126–129.
- Cassel, E., Vargas, R. M. F., Martinez, N., Lorenzo, D., & Dellacassa, E. (2009). Steam distillation modeling for essential oil extraction process. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.017>
- Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., Triratana, P., Tia, S., & Bunnag, B. (2014). Effect of extraction temperature on the diffusion coefficient of polysaccharides from *Spirulina* and the optimal separation method. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 19(2), 369–377. <https://doi.org/10.1007/s12257-013-0733-2>
- Cotrado, D. (2016). “Determinación de la actividad antimicrobiana ‘in vitro’ del aceite esencial de *Pimpinella anisum* L. ‘anís’ frente a *Salmonella typhi* ATCC 6539.” In *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann* (Vol. 147).
- Dao, P. T., Tran, N. Y. T., Tran, Q. N., Bach, G. L., & Lam, T. V. (2021). Kinetics of pilot-scale essential oil extraction from pomelo (*Citrus maxima*) peels: Comparison between linear and nonlinear models. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.07.002>
- Dao, T. P., Nguyen, T. V., Yen, T., Tran, N., Le, X. T., Nu, T., & An, T. (2021). Central Composite Design, Kinetic Model, Thermodynamics, and Chemical Composition of

Pomelo (*Citrus Maxima* (Burm.) Merr.) Essential Oil Extraction by Steam Distillation. Processes.

Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., López-Malo, A., & Palou, E. (2019). Studying microwave assisted extraction of *Laurus nobilis* essential oil: Static and dynamic modeling. *Journal of Food Engineering*, 247(October 2017), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.007>

Gómez, N., Sosa, M., & López, A. (2016). Extracción asistida con microondas de aceite esencial de acuyo (*Piper auritum*) y evaluación de su efecto antifúngico contra *Penicillium expansum*. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 173–178. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/2/29.pdf>

González-Rivera, J., Duce, C., Falconieri, D., Ferrari, C., Ghezzi, L., Piras, A., & Tine, M. R. (2016). Coaxial microwave assisted hydrodistillation of essential oils from five different herbs (lavender, rosemary, sage, fennel seeds and clove buds): Chemical composition and thermal analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.011>

Gutiérrez, L., & Tunqui, C. (2017). Evaluación de la calidad del destilado alcohólico de anís (*Pimpinella anisum* L.) Obtenidos por destilación simple y fraccionada en una industria licorera. Universidad Nacional de San Agustín.

Ho, Y. S., Harouna-Oumarou, H. A., Fauduet, H., & Porte, C. (2005). Kinetics and model building of leaching of water-soluble compounds of *Tilia* sapwood. *Separation and Purification Technology*, 45(3), 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.03.007>

Jeyaratnam, N., Nour, A. H., Kanthasamy, R., Nour, A. H., Yuvaraj, A. R., & Akindoyo, J. O. (2016). Essential oil from *Cinnamomum cassia* bark through hydrodistillation and advanced microwave assisted hydrodistillation. *Industrial Crops and Products*, 92, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.049>

Kusuma, H. S., & Mahfud, M. (2018). Kinetic studies on extraction of essential oil from sandalwood (*Santalum album*) by microwave air-hydrodistillation method. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 1163–1172. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.02.007>

Leonel, G. M. (2015). Conversion of a commercial microwave oven to a sintering furnace controlled by computer (Issue June). Instituto Superior Técnico.

Li, H., Liao, H., Li, Y., Qi, Y., Ni, H., Zou, Z., & Liu, Z. (2023). Chemical composition and antifungal activity of *Cinnamomum camphora* chvar. Borneol essential oil obtained using solvent-free microwave-assisted method. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(8), 104996.

<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104996>

- Liu, B., Fu, J., Zhu, Y., & Chen, P. (2018). Optimization of microwave-assisted extraction of essential oil from lavender using response surface methodology. *Journal of Oleo Science*, 67(10), 1327–1337. <https://doi.org/10.5650/jos.ess18019>
- Liu, Z., Deng, B., Li, S., & Zou, Z. (2018). Optimization of solvent-free microwave assisted extraction of essential oil from *Cinnamomum camphora* leaves. *Industrial Crops and Products*, 124(June), 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.016>
- Lota, M. L., De Rocca Serra, D., Tomi, F., & Casanova, J. (2000). Chemical variability of peel and leaf essential oils of mandarins from *Citrus reticulata* Blanco. *Biochemical Systematics and Ecology*, 28(1), 61–78. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(99\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(99)00036-8)
- Megawati, Fardhyanti, D. S., Sediawan, W. B., & Hisyam, A. (2019). Kinetics of mace (*Myristica arillus*) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation: Effect of microwave power. *Industrial Crops and Products*, 131(February), 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.067>
- Megawati, Handayani, P. A., & Sediawan, W. B. (2013). Extraction of *P. Cubeba* Essential Oil by Microwave Assisted Hydrodistillation: Modeling and Process Optimization. *American Journal of Oil and Chemical Technologies*, 1(10). <https://doi.org/10.14266/ajoct110-4>
- Mollaei, S., Sedighi, F., Habibi, B., Hazrati, S., & Asgharian, P. (2019). Extraction of essential oils of *Ferulago angulata* with microwave-assisted hydrodistillation. *Industrial Crops and Products*, 137(December 2018), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.015>
- Morales, F. G. K., & BendeZú, S. D. (2019). Evaluación de los destilados de aceite esencial de anís obtenidos de un sistema de arrastre de vapor convencional con fraccionamiento en simultáneo y uno sin fraccionamiento [Universidad Nacional del Callao]. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6134>
- Pino, O., Sánchez, Y., Rojas, M., Abreu, Y., & Correa, T. (2016). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de *Pimpinella anisum* L. *Revista Protección Vegetal*, 1(20), 69. <https://doi.org/10.22579/20112629.329>
- Pumacahua, A., Limaylla, K. M., Telis, J., & Lopes, J. F. (2016). Hydration kinetics of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 3, 23. <https://doi.org/10.23850/24220582.348>

- Talleri, A. C., & Mesía, L. H. (2010). Implementacion de análisis por cromatografía de gases (GC-FID) y desarrollo de la validación de técnica analítica para la identificación y cuantificación de mentol y salicilato de metilo en unguento. Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Ullah, H., Wilfred, C. D., & Shaharun, M. S. (2019). Comparative assessment of various extraction approaches for the isolation of essential oil from polygonum minus using ionic liquids. *Journal of King Saud University - Science*, 31(2), 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.05.014>
- Yauri Cantorin, F. A., & Cotera Curi, Y. R. (2018). Influencia de la presión y temperatura en la extracción de aceite esencial inka muña (Satureja inkana) por CO2 supercrítico. [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4784/cotera_curi - yauri cantorin.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4784/cotera_curi_-_yauri_cantorin.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zoubiri, S., Baaliouamer, A., Seba, N., & Chamouni, N. (2014). Chemical composition and larvicidal activity of algerian foeniculum vulgare seed essential oil. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(4), 480–485. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.11.006>

ANEXO A. RESOLUCION DE EXPEDITO



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0945-2023/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 12 de diciembre de 2023

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Javier Elisban Machaca Adco** identificado(a) con código universitario N° 201121171 y **Elio Obando Cutipa Mancha** identificado(a) con código universitario N° 200310748, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Cinética de hidrodestilación asistida por microondas (MWHD) en la extracción de aceite esencial de semillas de anís (Pimpinella anisum L.)", presentado por los(las) bachilleres **Javier Elisban Machaca Adco** y **Elio Obando Cutipa Mancha**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 12 de diciembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Javier Elisban Machaca Adco** y **Elio Obando Cutipa Mancha**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Cinética de hidrodestilación asistida por microondas (MWHD) en la extracción de aceite esencial de semillas de anís (Pimpinella anisum L.)", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero de Alimentos, el 22 de diciembre de 2023, a las 11:00 horas, en el Auditorio Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: MSc. Carmen Rosa Apaza Humerez
Secretario: Ing. Enrique Mamani Cuela
Asesor: Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe
Vocal 1: Ing. Ana Mónica Torres Jiménez

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo

ANEXO B. EVIDENCIA DE SUMISION

Submission Confirmation (Confirmación de Envío)  Recibidos x



"Alexandria Engineering Journal" <em@editorialmanager.com>

lun, 4 dic, 14:05



para mí ▾

 inglés → español
Mostrar original



Estimado XAVIER,

Hemos recibido su artículo "Cinética de la hidrodestilación asistida por microondas (MWHd) en la extracción de aceite esencial de semillas de anís" para su consideración para publicación en Alexandria Engineering Journal.

A su manuscrito se le asignará un número de referencia una vez que se le haya asignado un editor.

Para realizar un seguimiento del estado de su artículo, haga lo siguiente:

1. Vaya a esta URL: <https://www.editorialmanager.com/aej/>

2. Ingrese estos datos de inicio de sesión:

Tu nombre de usuario es: XAVIERM

Si necesita recuperar los detalles de su contraseña, vaya a: ¿No recuerda su contraseña?

Para restablecer su contraseña, intente iniciar sesión y haga clic en "continuar". En la siguiente pantalla, haga clic en el enlace "Olvidé mi contraseña" y siga los