

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



**Modelamiento matemático de la cinética de extracción de aceite  
esencial de muña (*Minthostachys acris*) mediante el uso de  
microondas**

Tesis para obtener Título Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias

**Autores:**

Sonia Achahui Chuquihuanca

Edith Yoselin Mamani Hanco

**Asesor:**

Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe

**Juliaca, noviembre de 2024**

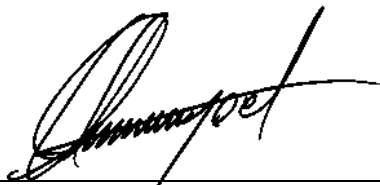
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

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: **“MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE MUÑA (*MINTHOSTACHYS ACRIS*) MEDIANTE EL USO DE MICROONDAS”** de los autores **Sonia Achahui Chuquihuanca** y **Edith Yoselin Mamani Hanco**, para obtener el título Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias, tiene un índice de similitud de 7% 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 2 días del mes de diciembre del año 2024.



---

Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En la Puro Juliaca, Villa Chullunquiari, a 13 día(s) del mes de noviembre del año 2024 siendo a las 11:15 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del presidente(a)

La Esmeralda Rosa Jazga Humerez el (la) secretario(a): Mtro. Alex Danny Gianni Rodriguez y los demás miembros: Ing. Ana Monica Torres Jimenez y el (la) asesor(a): Ing. Joel Jerson Coaguza Uayge

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado "Modelamiento matemático de la cinética de extracción de aceite esencial de menta (*Mentha piperita*) mediante el uso de microondas"

del(los) bachiller(es) a) Edith Yoeselin Mamani Hanco  
 b) Sonia Achahui Chuguhuanca  
 c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias  
(Designación de Título Profesional)

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 voto 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) Edith Yoeselin Mamani Hanco

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b) Sonia Achahui Chuguhuanca

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c) \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Tras 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] Asesora  
[Firma] Bachiller (a)  
[Firma] Secretario(a)  
[Firma] Miembro  
[Firma] Miembro  
[Firma] Bachiller (b)  
[Firma] Bachiller (c)

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	vii
RESUMEN: .....	8
ABSTRACT:.....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
2.1. Materia Prima .....	11
2.2. Sistema de hidrodestilación y arrastre de vapor asistida por Microondas .....	11
2.3. Extracción de Aceite Esencial .....	12
2.4. Análisis de Composición Química .....	12
2.5. Análisis de propiedades físicas del aceite esencial.....	12
2.6 Modelamiento cinético .....	13
2.6.1 Extracción de Aceite Esencial de Muña por arrastre con vapor asistida por microondas .....	13
2.6.2 Extracción de Aceite Esencial de Muña por hidrodestilación asistida por microondas .....	13
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	14
3.1. Modelamiento de los procesos de extracción de Aceite Esencial de Muña.....	14
3.1.1 Extracción de Aceite Esencial de Muña por arrastre con vapor asistida por microondas .....	14
3.1.2 Extracción de Aceite Esencial de Muña por hidrodestilación asistida por microondas .....	15
3.1.3 Discusión del ajuste de los modelos a los métodos de extracción.....	17
3.1.4 Comparación de los métodos de extracción de Aceite Esencial de Muña .....	19
3.2. Composición química del aceite de muña .....	20
3.3. Índices de calidad del aceite esencial .....	22
4. CONCLUSIÓN.....	22
BIBLIOGRAFÍA .....	23

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ecuaciones y modelos matemáticos para los métodos de extracción de aceite esencial por MAHD y MASD</i> .....	15
Tabla 2 <i>Rendimientos (%) a diferentes potencias de extracción de MAHD y MASD</i> .....	19
Tabla 3. <i>Componentes químicos del aceite esencial de <i>Minthostachys acris</i> por hidrodestilación asistida por microondas y arrastre de vapor asistida por microondas</i> .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Esquema del equipo de extracción de aceite esencial por arrastre con vapor (a) y por hidrodestilación asistida por microondas (b).</i> .....	11
Figura 2. <i>Comparación entre el modelo de Monod y los datos experimentales de rendimiento de aceite esencial: (a) 400W, (b) 600W, (c) 800W, (d) 1000W</i> .....	14
Figura 3. <i>Modelamiento del Coeficiente de difusión (<math>D_e</math>) vs Potencia (MAHD)</i> .....	16
Figura 4. <i>Fracción de aceite extraído por MAHD a 400W(a), 600W(b), 800W (c), y 1000W(d).</i> .....	17
Figura 5. <i>Perfil cromatográfico del aceite esencial de <i>Minthostachys acris</i> recolectado en Cuyocuyo departamento de Puno, obtenido por GC-MS, (a) Hidrodestilación asistida por microondas (b) Arrastre de vapor asistida por microondas. Se observan los picos que corresponden a las proporciones en las que se encuentra cada componente.</i> .....	20

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Evidencia de Sumisión de la Tesis en formato de Artículo .....	28
Anexo B. Copia de Resolución del Perfil de Proyecto de Tesis .....	29
Anexo C. Data de fracción de aceite esencial de muña por MAHD .....	30
Anexo D. Data de modelado de aceite esencial de muña por MASD .....	31

# **Modelamiento matemático de la cinética de extracción de aceite esencial de muña (*Minthostachys acris*) mediante el uso de microondas**

Sonia Achahui<sup>1</sup>, Edith Yoselin Mamani Hanco<sup>1</sup>, Joel J. Coaquira-Quispe<sup>1</sup>

## **RESUMEN**

El presente estudio tiene como objetivo analizar la cinética de extracción de aceite esencial de muña (*Minthostachys acris*) asistida con microondas aplicando un modelo matemático. Se evaluaron los rendimientos a diferentes potencias (400W, 600W, 800W y 1000W) utilizando un sistema Clevenger adaptado al microondas. Los resultados mostraron que MAHD ofreció un mayor rendimiento, con valores entre 2.54% y 3.30%, mientras que MASD presentó rendimientos entre 2% y 2.61%. El modelo basado en la Ley de Fick aplicado a MAHD mostró un ajuste alto ( $R^2 = 0.962$ ) para el coeficiente de difusión, describiendo con precisión la relación entre la potencia y el proceso de difusión. Por otro lado, el modelo de Monod aplicado a MASD también mostró un alto coeficiente de determinación ( $R^2 > 0.9$ ) en todas las potencias, demostrando su robustez para predecir la cinética del proceso. Estos resultados destacan la importancia de los modelos matemáticos para optimizar la extracción de aceites esenciales, permitiendo predecir con precisión el comportamiento del proceso bajo diferentes condiciones operativas y maximizando la eficiencia.

**Palabras clave:** *Minthostachys acris*, aceite esencial, cinética de extracción, microondas, modelo matemático.

## **Mathematical modeling of the extraction kinetics of muña (*Minthostachys acris*) essential oil using microwaves**

Sonia Achahui<sup>1</sup>, Edith Yoselin Mamani Hanco<sup>1</sup>, Joel J. Coaquira-Quispe<sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

The objective of this study is to analyze the extraction kinetics of essential oil from muña (*Minthostachys acris*) assisted by microwaves, applying a mathematical model. Yields were evaluated at different power levels (400W, 600W, 800W, and 1000W) using a Clevenger system adapted for microwaves. The results showed that MAHD offered higher yields, ranging from 2.54% to 3.30%, while MASD yielded between 2% and 2.61%. The model based on Fick's Law applied to MAHD showed a high fit ( $R^2 = 0.962$ ) for the diffusion coefficient, accurately describing the relationship between power and the diffusion process. On the other hand, the Monod model applied to MASD also showed a high coefficient of determination ( $R^2 > 0.9$ ) at all power levels, demonstrating its robustness in predicting the kinetics of the process. These results highlight the importance of mathematical models in optimizing the extraction of essential oils, allowing for precise predictions of process behavior under different operating conditions and maximizing efficiency.

**Keywords:** *Minthostachys acris*, essential oil, extraction kinetics, microwave, mathematical model.

## 1. INTRODUCCIÓN

La muña (*Minthostachys acris*), arbusto aromático de la familia Lamiaceae, es nativo de los Andes del sur del Perú, y su hábitat se encuentra entre los 2500 y 3500 metros sobre el nivel del mar (Schmidt-Lebuhn, 2008). Esta planta, parte integral de la biodiversidad peruana, ha sido empleada por mucho tiempo en la medicina tradicional debido a sus propiedades aromáticas. Entre sus principales componentes se destacan la pulegona, mentona, limoneno y mentol, los cuales le otorgan un valor etnobotánico, farmacológico y comercial significativo (Dueñas, 2013; Ochoa, 2012; Pino, 2019).

A lo largo de los años, la muña ha sido utilizada tradicionalmente para tratar enfermedades como la gastritis y se ha estudiado su aceite esencial (AE) por su actividad antibacteriana, antifúngica, insecticida y como conservante de alimentos. La extracción de los aceites esenciales, sustancias volátiles y aromáticas de plantas, se lleva a cabo mediante métodos como la destilación por arrastre de vapor o la hidrodestilación. No obstante, estos procesos convencionales tienden a tener limitaciones como el tiempo prolongado de operación y bajos rendimientos (Franco-Vega, 2019; Megawati, 2019).

Recientemente, el uso de microondas ha emergido como una técnica alternativa que mejora significativamente tanto el tiempo de extracción como la calidad del aceite obtenido. Por ejemplo, en la extracción por arrastre de vapor asistida por microondas (MASD), el modelo de Monod ha sido empleado para predecir los rendimientos máximos de aceite esencial, con aplicaciones en plantas como *Aloysia citriodora* y *Schinus molle* (Palacios & Castillo Martínez, 2015). Este modelo permite relacionar el tiempo de extracción con el rendimiento, utilizando una constante cinética ajustada a factores como el flujo de vapor y las características de la materia prima.

Asimismo, en el proceso de hidrodestilación asistida por microondas (MAHD), el modelo basado en la Ley de Fick ha mostrado que el coeficiente de difusión ( $D_e$ ) incrementa conforme aumenta la potencia de microondas aplicada, facilitando una transferencia más eficiente del aceite desde las partículas hacia la superficie (Liu, 2019). Este enfoque permite optimizar las condiciones de extracción, mejorando la eficiencia energética y la calidad del producto final.

El presente estudio tiene como objetivo principal el análisis de la cinética de extracción de aceite esencial de muña a través de un modelo matemático que pueda prever su comportamiento bajo diferentes condiciones operativas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materia Prima

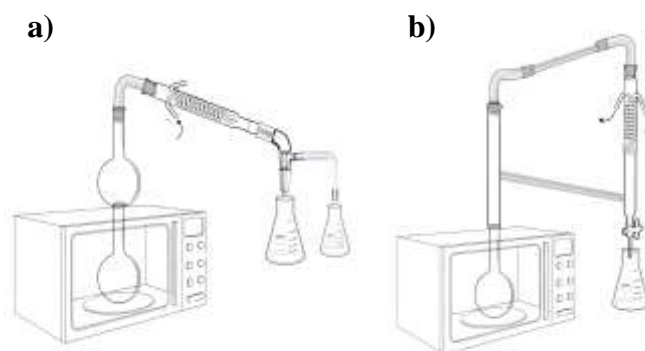
La muña fue recolectada durante la primavera del distrito de Cuyocuyo (Puno – Perú) a 3450 msnm, estas fueron trasladadas a las instalaciones de la Universidad Peruana Unión para ser deshidratadas a temperatura ambiente, en ausencia de luz solar por 72 horas, enseguida se procedió a deshojar manualmente y almacenarlas en bolsas de papel con una humedad de 11.59%.

### 2.2. Sistema de hidrodestilación y arrastre de vapor asistida por Microondas

Para la extracción del aceite esencial de muña se aplicó la metodología de Kusuma & Mahfud (2017), para tal efecto se utilizó un microondas de la marca Samsung (MS32J5133AM/PE), de capacidad de 32L, a una energía de salida máxima de 1000 W (potencia) y frecuencia de 2.45 GHz, en la parte superior – central se realizó un orificio de 4 cm de diámetro de conexión al sistema Clevenger, y un balón de fondo plano de 1 L en la parte interna del microondas, para ambos métodos. (Figura 1).

#### Figura 1

*Esquema del equipo de extracción de aceite esencial por arrastre con vapor (a) y por hidrodestilación asistida por microondas (b).*



### **2.3. Extracción de Aceite Esencial**

Para la extracción de aceite esencial se utilizó 300 g de agua tratada (solvente) y 50 g de muestra de muña triturada (soluta), donde para MAHD se colocó solvente más soluto en un solo balón de 1 L y para el MASD se adaptó un reductor invertido para colocar otro balón de 1 L con dos entradas donde se colocó el soluto, después de ello se conectó el sistema Clevenger a ambos, la extracción del AE se llevó a cabo a potencias de 400, 600, 800, y 1000 (W) durante 30 min, la cantidad de AE se determinó cada 30 s a partir de la primera extracción.

### **2.4. Análisis de Composición Química**

El aceite esencial extraído fue analizado mediante un cromatógrafo de gases modelo Agilent Technologies 7890, acoplado a un detector de espectrometría de masas Agilent Technologies 5975C. El flujo del gas portador fue helio, ajustado a 1 ml/min, usando una columna J&W modelo 122-1545.67659 DB-5ms con una temperatura máxima de 325°C. La rampa de temperatura se inició a 45°C y aumentó a razón de 5°C/min hasta alcanzar los 180°C, seguido de un incremento de 2°C/min hasta 200°C, donde se mantuvo por 5 minutos, y finalmente un aumento de 20°C/min hasta 300°C, permaneciendo a esa temperatura por otros 5 minutos. Para la inyección se preparó una solución con 20 µL de muestra diluidos en 1 mL de diclorometano, y 1 µL de esta solución fue inyectado en el equipo para determinar la composición química del aceite.

### **2.5. Análisis de propiedades físicas del aceite esencial**

Para determinar la densidad del aceite esencial, se empleó el método descrito en la NTP 319.077:1974 (revisada en 2016). Este método consiste en medir la densidad comparando el peso del aceite con el peso de un picnómetro vacío, ambos a una temperatura controlada de 20°C. Después de vaciar el picnómetro, se llena con aceite esencial y se calcula la diferencia de peso. En cuanto al índice de refracción, se utilizó un refractómetro Abbe 2WAJ, con un rango de medición de nD entre 1.300 y 1.700 y una precisión de ±0.0002. Las mediciones se realizaron a 20°C, midiendo la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz al pasar a través del aceite. Además, se realizó un análisis de solubilidad, para lo cual se agregó 1 ml de aceite esencial a soluciones diluidas de etanol en concentraciones de 70%, 75%, 80%, 85%, 90% y 95% (v/v). Se evaluó la solubilidad a 20°C, definiendo "opalescente" cuando las soluciones no eran completamente claras.

## 2.6 Modelamiento cinético

### 2.6.1 Extracción de Aceite Esencial de Muña por arrastre con vapor asistida por microondas

En los procesos de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor, como en la extracción de *Aloysia citriodora* y *Schinus molle*, se puede aplicar el modelo de Monod (Ecuación 1) para predecir el rendimiento máximo de aceite.

Este modelo describe la cinética de extracción, relacionando el tiempo con el rendimiento alcanzado, considerando que el rendimiento máximo  $R_{max}$  y la constante cinética (K) dependen de variables como el flujo de vapor y la materia prima utilizada.

Ecuación de Monod para rendimiento:

$$R(t) = \frac{R_{max} \cdot t}{K+t} \quad (1)$$

$R_{max}$  : Rendimiento máximo de la materia prima (%)

R : Rendimiento en función del tiempo (%)

t : Tiempo de extracción (min)

K : Constante cinética (min)

Esto resulta útil para ajustar los parámetros del proceso y optimizar la extracción de aceites esenciales. En dicho modelo, el rendimiento (R) se ajusta en función del tiempo de extracción, lo que permite mejorar la eficiencia del proceso industrial de extracción por vapor (Palacios & Castillo Martinez, 2015).

### 2.6.2 Extracción de Aceite Esencial de Muña por hidrodestilación asistida por microondas

El modelo de Megawati et al. (2019) ofrece un enfoque para la extracción de aceites esenciales mediante hidrodestilación asistida por microondas (MAHD), destacando la influencia de la potencia del microondas en la difusión del aceite.

Relación empírica entre el coeficiente de difusión y la potencia del microondas:

$$D_e = a \cdot P^b \quad (2)$$

$D_e$  : Coeficiente de difusión

P : Potencia del microondas (W)

a y b : Constantes empíricas

Este modelo, basado en la ley de Fick, evalúa el coeficiente de difusión ( $D_e$ ) como un parámetro clave que aumenta con la potencia, lo que acelera la transferencia de masa del aceite esencial desde el interior de las partículas hacia la superficie. Aplicando este modelo, se puede optimizar el tiempo y las condiciones de extracción, minimizando el consumo energético y mejorando la calidad del aceite.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

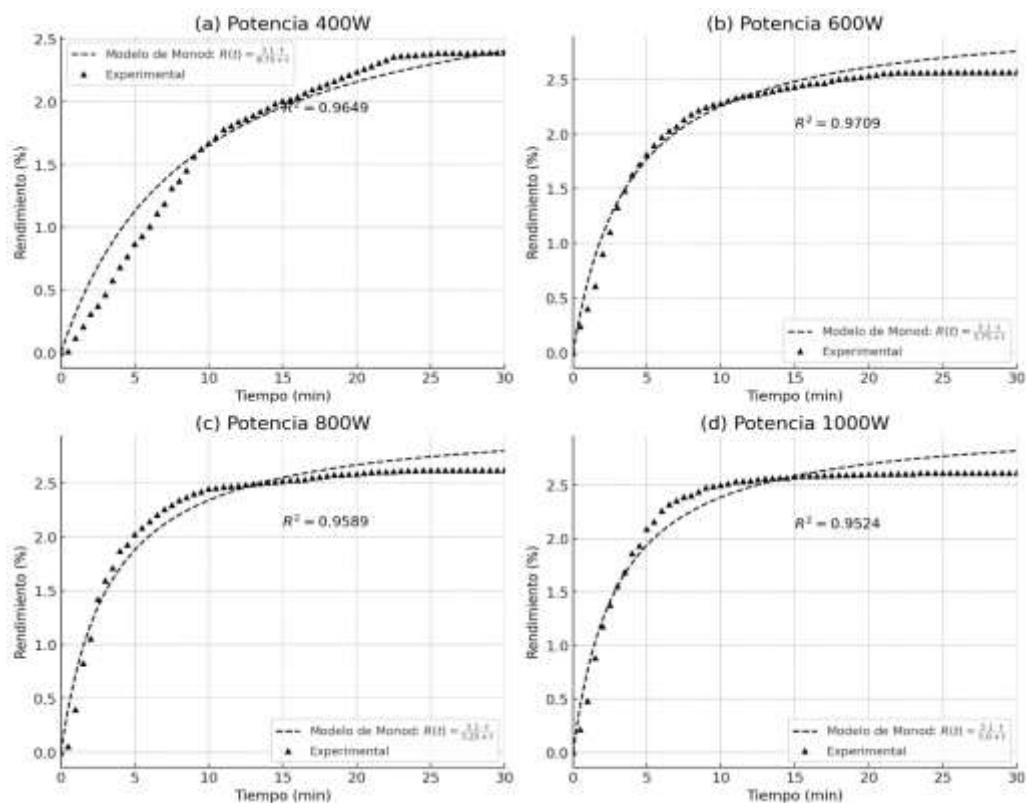
#### 3.1. Modelamiento de los procesos de extracción de Aceite Esencial de Muña

##### 3.1.1 Extracción de Aceite Esencial de Muña por arrastre con vapor asistida por microondas

Las cinéticas de extracción muestran que el rendimiento del proceso aumenta rápidamente en los primeros minutos y tiende a estabilizarse conforme avanza el tiempo de extracción, siguiendo la tendencia predicha por el modelo (Figura 2).

**Figura 2**

*Comparación entre el modelo de Monod y los datos experimentales de rendimiento de aceite esencial: (a) 400W, (b) 600W, (c) 800W, (d) 1000W*



Las potencias más altas (800W y 1000W) mostraron una mayor eficiencia en el tiempo, alcanzando un rendimiento cercano al máximo en menor tiempo, lo que sugiere que, a mayor potencia, la extracción es más eficiente en términos cinéticos. Sin embargo, las diferencias en el rendimiento final entre las potencias fueron marginales, lo que indica que, si bien la potencia influye en la velocidad del proceso, no tiene un impacto significativo en el rendimiento total alcanzado. El ajuste del modelo de Monod a los datos experimentales fue satisfactorio, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0.9 en todos los casos (Tabla 1), lo que valida la capacidad del modelo para describir el comportamiento cinético de la extracción.

**Tabla 1**

*Ecuaciones y modelos matemáticos para los métodos de extracción de aceite esencial por MAHD y MASD*

Modelo	Método	Potencia	Ecuación modelada	Coefficiente $R^2$
Ley de Fick	Hidrodestilación Asistida por Microondas	400W - 1000W	$D_e = 1.99999 \times 10^{-11} \times P^{0.7815}$	0.962
		400W	$R(t) = (0.031 * t) / (8.75 + t)$	0.988
Ecuación de Monod	Arrastre con Vapor Asistida por Microondas	600W	$R(t) = (0.031 * t) / (3.75 + t)$	0.982
		800W	$R(t) = (0.031 * t) / (3.25 + t)$	0.962
		1000W	$R(t) = (0.031 * t) / (3 + t)$	0.963

### 3.1.2 Extracción de Aceite Esencial de Muña por hidrodestilación asistida por microondas

Los resultados obtenidos en el estudio de la extracción de aceite esencial de *Muña* (*Minthostachys acris*) mediante hidrodestilación asistida por microondas (MAHD) revelaron una fuerte dependencia entre la potencia aplicada y el coeficiente de difusión. A través del modelado basado en la ley de Fick, se observó que el coeficiente de difusión aumentaba con la potencia (Tabla 1), ajustándose a la fórmula:

$$D_e = 1.99999 \times 10^{-11} \times P^{0.7815} \quad (3)$$

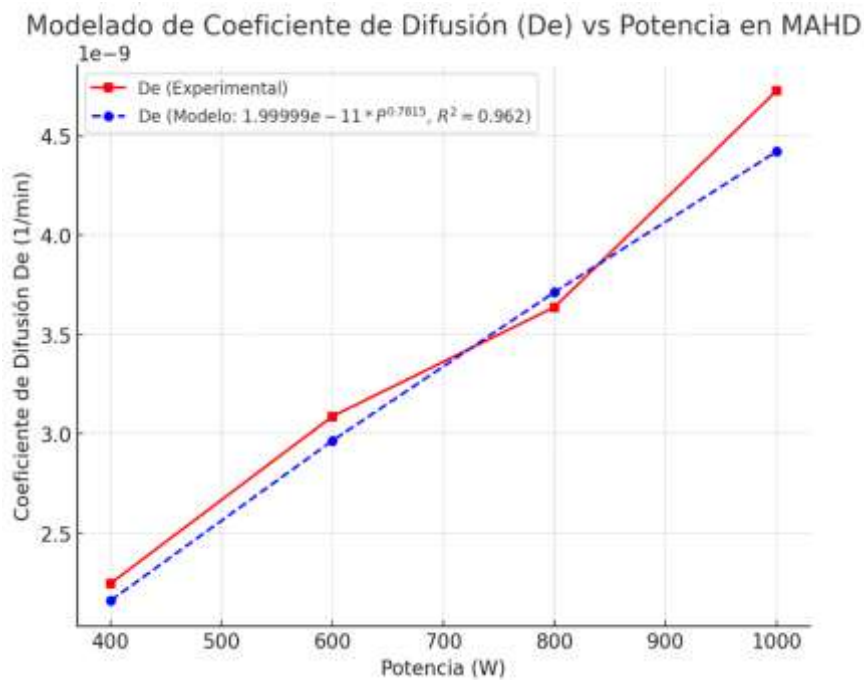
$D_e$  : Coeficiente de difusión

P : Potencia

El coeficiente de determinación resultante fue  $R^2 = 0.962$ , lo que indica que el modelo describe con precisión la relación entre la potencia y el proceso de difusión del aceite esencial. Los datos experimentales mostraron un incremento progresivo del coeficiente de difusión, desde  $2.24687 \times 10^{-9}$  por minuto a 400 vatios, hasta  $4.72732 \times 10^{-9}$  por minuto a 1000 vatios (Figura 3). Esto confirma que el uso de potencias mayores acelera el proceso de extracción al reducir la resistencia a la transferencia de masa.

**Figura 3**

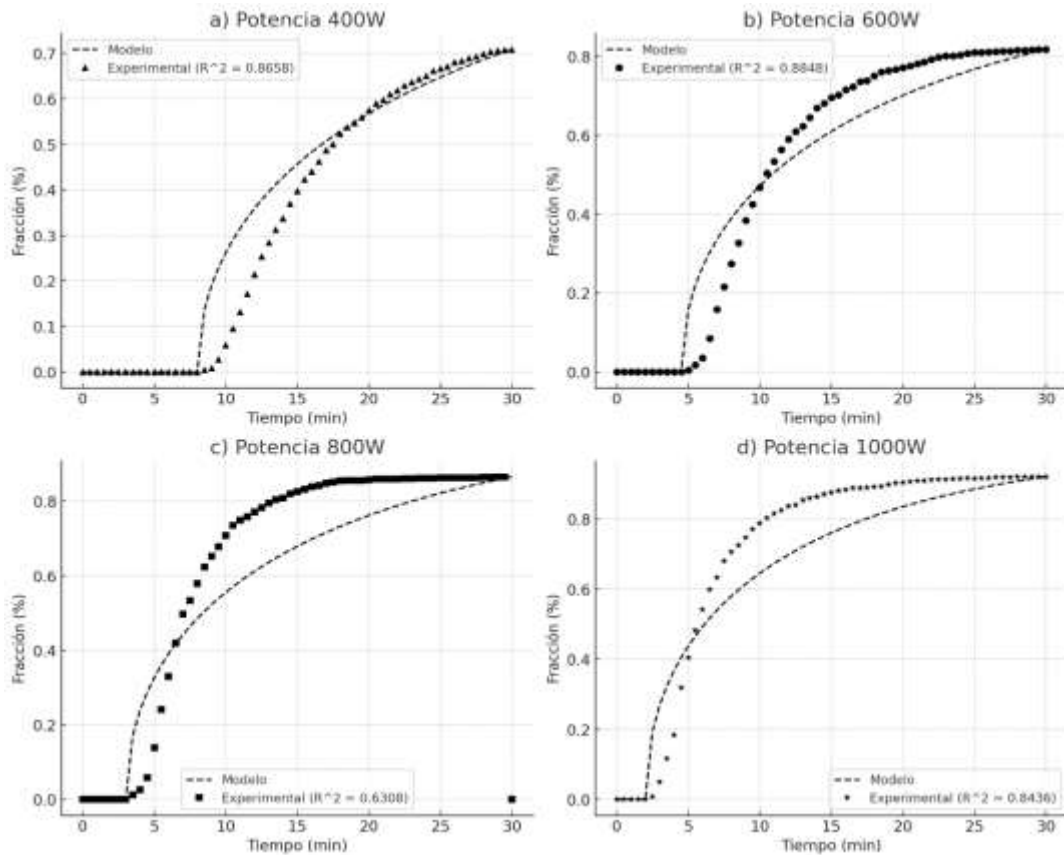
*Modelamiento del Coeficiente de difusión ( $D_e$ ) vs Potencia (MAHD)*



La hidrodestilación asistida por microondas ha demostrado ser una técnica eficaz para la extracción de aceite esencial de muña, como se observa en las gráficas de extracción a diferentes potencias (Figura 4). Los resultados indican que, a mayores potencias, la fase de calentamiento se acorta y la fracción extraída aumenta rápidamente. A 400W y 600W, los modelos cinéticos presentan un buen ajuste con los datos experimentales ( $R^2 = 0.8658$  y  $R^2 = 0.8848$ , respectivamente), lo que sugiere que estas potencias son adecuadas para mantener un balance entre eficiencia y calidad del aceite esencial. En potencias más altas, como 800W y 1000W, la extracción es más rápida, pero el ajuste del modelo es menos preciso ( $R^2 = 0.6308$  y  $R^2 = 0.8436$ ).

**Figura 4**

*Fracción de aceite extraído por MAHD a 400W(a), 600W(b), 800W (c), y 1000W(d).*



### 3.1.3 Discusión del ajuste de los modelos a los métodos de extracción

Las cinéticas de extracción en el proceso de arrastre con vapor asistido por microondas muestran una tendencia similar a la hidrodestilación, donde las potencias más altas (800W y 1000W) permiten una extracción más rápida en los primeros minutos del proceso, alcanzando un rendimiento cercano al máximo en menor tiempo. Sin embargo, las diferencias en el rendimiento total entre las potencias son mínimas, lo que indica que la potencia impacta principalmente la velocidad de extracción, pero no el rendimiento final. Estudios como el de Dao et al. (2021) aplicaron modelos de difusión no estacionaria en la extracción por arrastre de vapor de cáscaras de limón, mostrando que estos modelos pueden predecir de manera precisa las cinéticas de extracción a diferentes potencias, con coeficientes de determinación superiores a  $R^2 = 0.95$ . Asimismo, el estudio de Cárdenas Málaga (2023), centrado en la simulación de extracción de aceites esenciales de cáscara de naranja, destaca la efectividad de los modelos cinéticos en la predicción del rendimiento, confirmando la capacidad de estos enfoques para describir la transferencia de masa de manera eficiente.

En la MAHD, el modelo basado en la Ley de Fick muestra un alto ajuste al evaluar el coeficiente de difusión ( $R^2 = 0.962$ ), lo que demuestra su capacidad para describir con precisión la relación entre la potencia aplicada y el proceso de difusión del aceite esencial. Sin embargo, al analizar las gráficas de extracción a potencias elevadas (800W y 1000W), el ajuste del modelo disminuye, probablemente debido a la degradación térmica de compuestos volátiles sensibles a altas temperaturas (Baser & Buchbauer, 2010). En el estudio de Chen et al. (2021), se utilizó un modelo de primer orden para la hidrodestilación de aceite de romero, logrando un ajuste de  $R^2$  entre 0.85 y 0.93 a potencias medias, lo que es comparable con nuestros resultados a 400W y 600W. Por otro lado, Semerdjieva et al. (2019) aplicó varios modelos de regresión no lineales para la hidrodestilación del aceite esencial de *Juniperus*, destacando un polinomio de tercer orden para *J. virginiana* y modelos asintóticos y de potencia convexos para *J. sabina*, con  $R^2$  superiores a 0.90. Estos modelos, al igual que el nuestro, mostraron buen ajuste en potencias medias, pero presentaron limitaciones a potencias más altas. En un enfoque más avanzado, Dao et al. (2021) utilizó un modelo de difusión no estacionaria para la extracción de aceite de cáscara de limón, obteniendo un ajuste superior ( $R^2 > 0.95$ ) incluso a potencias elevadas, resultado similar al alcanzado por Haqqyana et al. (2020), quien aplicó el modelo de Weibull en la extracción asistida por microondas de clavo, también con  $R^2$  superiores a 0.95. Mientras que, Rezazi et al. (2016) empleó algoritmos genéticos para optimizar los parámetros cinéticos en la hidrodestilación de *Marrubium vulgare*, logrando una mayor precisión en el modelado del proceso. Estos enfoques avanzados podrían mejorar la predicción y precisión a altas potencias, donde nuestro modelo muestra menor exactitud, como en 800W y 1000W.

Es importante contrastar estos resultados con los obtenidos en estudios que emplean modelos de extracción y aquellos que comparan la eficiencia de diferentes métodos. En cuanto a los modelos de extracción, Franco-Vega et al. (2019) desarrollaron modelos cinéticos dinámicos para la extracción de *Laurus nobilis*, observando que potencias mayores aceleran el proceso, como también hemos visto en nuestros resultados. Por otro lado, Romdhane y Tizaoui (2005) aplicaron modelos de transferencia de masa en la destilación de aceite esencial de anís, destacando el uso de la Ley de Fick para describir la difusión, lo cual es consistente con nuestro estudio, donde el modelo mostró un alto ajuste a potencias medias.

### 3.1.4 Comparación de los métodos de extracción de Aceite Esencial de Muña

La comparación entre los métodos de Hidrodestilación Asistida por Microondas (MAHD) y Arrastre con Vapor Asistida por Microondas (MASD) revela diferencias clave en términos de rendimiento a diferentes potencias. En la Tabla 2 se observa que, para todas las potencias evaluadas, el rendimiento del método MAHD es superior al de MASD, con un rendimiento que va desde 2.54% a 400W hasta 3.30% a 1000W en MAHD, en comparación con un rango de 2% a 2.61% para MASD. Esto indica que MAHD no solo es más eficiente en términos de cantidad de aceite extraído, sino que su eficiencia aumenta de manera más pronunciada a medida que se incrementa la potencia. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Kusuma y Mahfud (2018), quienes también observaron un rendimiento superior utilizando 600W en MAHD frente a métodos tradicionales. Asimismo, Megawati et al. (2014) lograron aumentar el rendimiento del proceso utilizando MAHD, lo que confirma la superioridad de este método frente a alternativas convencionales. Sahraoui & Boutekedjiret (2015) concluyeron que el uso de microondas no solo reduce el tiempo de extracción, sino que también mejora la calidad del aceite, lo que también hemos corroborado en nuestro análisis de la extracción asistida por microondas, observando que la técnica MAHD es más eficaz en términos de rendimiento y calidad. Aunque MASD muestra un rendimiento ligeramente inferior, la estabilidad y predictibilidad de este método siguen siendo significativas, como lo señaló Romdhane & Tizaoui (2005), quienes aplicaron la Ley de Fick en la destilación por vapor. En resumen, aunque ambos métodos ofrecen ventajas en términos de tiempos de procesamiento y eficiencia energética, como lo destaca Alara et al. (2019), los resultados muestran que MAHD proporciona un rendimiento superior, lo que la convierte en la opción preferida en la industria de aceites esenciales.

**Tabla 2**

*Rendimientos (%) a diferentes potencias de extracción de MAHD y MASD*

<b>Potencia (W)</b>	<b>Rendimiento (g/g)</b>	
	<b>MAHD</b>	<b>MASD</b>
400	2,54%	2%
600	2,93%	2,57%
800	3,10%	3%
1000	3,30%	2,61%

### 3.2. Composición química del aceite de muña

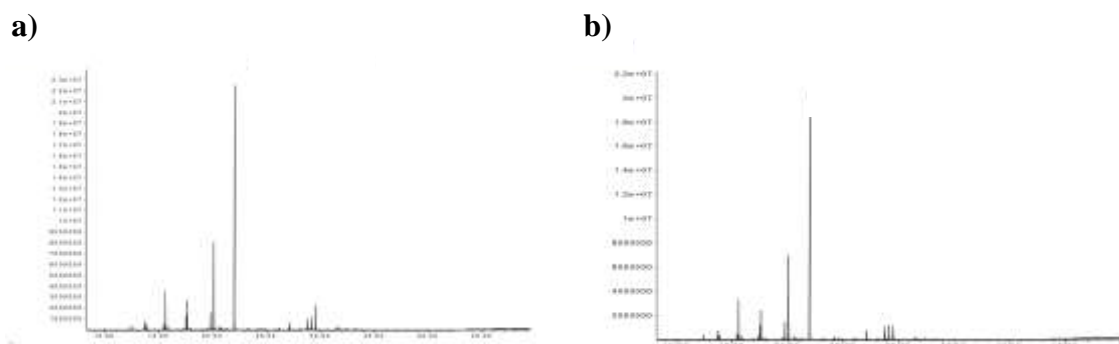
Se identificaron 17 componentes en el análisis fisicoquímico, los cuales constituyen el 100 % del aceite esencial. Estas identificaciones se realizaron mediante un análisis cromatográfico (Figura 5). En la Tabla 3 se presentan los diversos compuestos del aceite esencial obtenidos mediante hidrodestilación asistida por microondas, destacando que este está compuesto principalmente por pulegona (65.52 %), isopulegona (11.81 %) y eucaliptol (4.51 %). Por otro lado, en la técnica de arrastre de vapor asistida por microondas se observaron porcentajes más altos de los siguientes compuestos: pulegona (64.52 %), isopulegona (12.23 %) y eucaliptol (4.90 %).

La densidad de la extracción de aceite esencial por hidrodestilación asistida por microondas se registró 0.92 g/ml y un índice de refracción de 1.4788 en promedio a una temperatura de 20 °C, con una solubilidad en etanol a 96° y 85°, mientras que en arrastre de vapor se registró una densidad de 0.92 g/ml, índice de refracción de 1.48 a una temperatura de 20°C con una solubilidad de 85° de etanol.

La composición del aceite esencial de *Minthostachys acris*, obtenida en la región del Cusco, es consistente con estudios previos que destacan la pulegona como el principal componente, representando el 54.4 % del total de los compuestos volátiles. Además, se ha identificado una proporción significativa de cis-mentona (11 %) y timol (6.3 %) (Pino et al., 2019). Esto indica que, si bien la pulegona es el compuesto dominante, la presencia de otros monoterpenos varía dependiendo de las técnicas de extracción y las condiciones geográficas.

#### Figura 5

*Perfil cromatográfico del aceite esencial de Minthostachys acris recolectado en Cuyocuyo departamento de Puno, obtenido por GC-MS, (a) Hidrodestilación asistida por microondas (b) Arrastre de vapor asistida por microondas. Se observan los picos que corresponden a las proporciones en las que se encuentra cada componente.*



El aceite esencial de *Minthostachys mollis*, recolectado en la región de Tarata, mostró una mayor proporción de mentona (32.9 %) y eucaliptol (28.1 %), junto con trans-mentona (11.9 %) y o-cimeno (9.6 %), lo que, según Sánchez-Tito et al. (2021), sugiere una variación química considerable influenciada por factores ambientales como la altitud y el clima. En este caso, la pulegona no fue el compuesto predominante, lo que resalta la importancia de considerar las diferencias regionales y las técnicas de extracción. En contraste, el análisis de *Minthostachys mollis* en la región de Cajamarca, realizado por Gonzales et al. (2021), reveló una alta concentración de pulegona (40.94 %), seguida de mentona (32.72 %) y limoneno (1.92 %), compuestos característicos de esta especie. Ambas investigaciones coinciden en destacar la relevancia de la pulegona y la mentona como los principales componentes, aunque las variaciones observadas refuerzan la influencia de factores geográficos y metodológicos en la composición del aceite esencial.

**Tabla 3**

*Componentes químicos del aceite esencial de Minthostachys acris por hidrodestilación asistida por microondas y arrastre de vapor asistida por microondas*

N°	Compuesto	Tiempo de Retención (min)		Contenido Relativo (%)	
		MAHD	MASD	MAHD	MASD
1	$\alpha$ -Pino	12.45	12.45	0.46	0.50
2	Sabineno	13.65	13.65	1.15	1.24
3	$\beta$ -Pino	13.89	13.89	0.50	0.54
4	D-Limoneno	15.44	15.44	0.76	0.79
5	Eucaliptol	15.60	15.60	4.51	4.90
6	$\beta$ -Ocimeno	15.82	15.82	0.35	0.38
7	Óxido de $\alpha$ -Pino	-	17.32	-	0.40
8	$\beta$ -Linalool	17.52	17.52	1.64	1.69
9	Acetato de 1-Octen-3-ol	17.60	17.60	3.19	3.39
10	Isomentona	19.76	19.76	2.09	2.14
11	Isopulegona	20.08	20.08	11.81	12.23
12	$\alpha$ -Terpineol	20.65	20.65	0.39	0.36
13	Pulegona	22.05	22.04	65.52	64.52
14	$\beta$ -Cariofileno	27.12	27.12	0.87	1.18
15	Germacreno D	28.74	28.75	1.42	1.78
16	Biciclogermacreno	29.14	29.14	1.67	1.99
17	3-Metil-2-(2-metil-2-butenil)-furan	29.52	29.52	3.07	1.97
18	Espatuleno	31.53	-	0.06	-

### **3.3. Índices de calidad del aceite esencial**

Los resultados obtenidos sobre la densidad del aceite esencial extraído mediante hidrodestilación asistida por microondas indican un valor de 0.92 g/ml y un índice de refracción promedio de 1.4788 a 20°C, con una solubilidad registrada en etanol a 96° y 85°. En cuanto al proceso mediante arrastre de vapor, la densidad también fue de 0.92 g/ml, aunque con un índice de refracción levemente diferente, 1.48 a 17°C, y una solubilidad similar en etanol a 85°. Estos valores reflejan una consistencia en los atributos físicos del aceite obtenido por ambos métodos, lo que sugiere una calidad homogénea en las diferentes técnicas empleadas.

## **4. CONCLUSIÓN**

El modelo matemático utilizado en este estudio, que incluye la Ley de Fick para la hidrodestilación asistida por microondas (MAHD) y el modelo de Monod para el arrastre con vapor asistido por microondas (MASD), resultó ser una herramienta útil para predecir la cinética de extracción del aceite esencial de muña. El coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.962$ ) obtenido en la estimación del coeficiente de difusión en el proceso de MAHD confirma la capacidad del modelo para describir con precisión la transferencia de masa bajo diferentes potencias de microondas.

De manera similar, el modelo de Monod aplicado al método MASD mostró un alto nivel de ajuste ( $R^2 > 0.9$ ) en todas las potencias estudiadas, subrayando su robustez para prever el comportamiento cinético del proceso. Aunque el método de MAHD resultó en mayores rendimientos, el hallazgo principal de este estudio es la validación de ambos modelos, los cuales pueden ser utilizados eficazmente para optimizar los procesos industriales de extracción, maximizando la eficiencia y reduciendo el tiempo de operación. La aplicación de estos modelos es crucial para mejorar la predictibilidad y el control en distintas condiciones operativas, facilitando así su uso en escalas industriales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akhtar, I., Javad, S., Ansari, M., Ghaffar, N. y Tariq, A. (2020). Process optimization for microwave assisted extraction of *Foeniculum vulgare* Mill using response surface methodology. *Journal of King Saud University - Science*, 32(2), 1451–1458. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.11.041>
- Alara, O., Abdurahman, N. y Abdul Mudalip, S. (2019). Microwave-assisted extraction of volatile oils from selected plants: A review of potential applications and benefits. *Journal of Essential Oil Research*, 31(3), 235-246. <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1562387>
- Ara, K. y Raofie, F.(2016). Application of response surface methodology for the optimization of supercritical fluid extraction of essential oil from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 3113–3121. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2284-y>
- Baser, K. y Buchbauer, G. (2010). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. CRC Press.
- Cárdenas, M.(2023). *Modelamiento y simulación de la extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de cáscara de naranja en la perspectiva de su aprovechamiento integral*. [ Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Chen, H., Gu, Z., Yang, L., Yang, R., Ji, Y., Zeng, Q., Xiao, F. y Huang, P. (2021). Optimization extraction of rosemary essential oils using hydrodistillation with extraction kinetics analysis. *Food Science y Nutrition*, 9, 6069–6077. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2549>
- Dao, P., Tran, N., Tran, Q., Bach, G. y Lam, T. (2022). Kinetics of pilot-scale essential oil extraction from pomelo (*Citrus maxima*) peels: Comparison between linear and nonlinear models. *Alexandria Engineering Journal*, 61(3), 2564–2572. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.07.002>
- Dao, T., Nguyen, T., Tran, T., Le, X., An, T., Anh, N. y Bach, L. (2021). Central composite design, kinetic model, thermodynamics, and chemical composition of pomelo (*Citrus maxima*) essential oil extraction by steam distillation. *Processes*, 9(11), 2075. <https://doi.org/10.3390/pr9112075>

- Dao, T., Tran, N., Tran, T. y Lam, V. (2021). Assessing the kinetic model on extraction of essential oil and chemical composition from lemon peels (*Citrus aurantifolia*) by hydro-distillation process. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.069>
- Desai, M. y Parikh, J. (2015). Extraction of essential oil from leaves of lemongrass using microwave radiation: Optimization, comparative, kinetic, and biological studies. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(3), 421–431. <https://doi.org/10.1021/sc500562a>
- Dueñas, M. (2013). *Actividad antimicótica in vitro del aceite esencial de la muña *Minthostachys acris* Schmidt-Leb. (Lamiaceae) sobre *Spotothrix schenckii**. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Antonio Abad del Cuzco] 1–144.
- Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., López-Malo, A. y Palou, E. (2019). Studying microwave assisted extraction of *Laurus nobilis* essential oil: Static and dynamic modeling. *Journal of Food Engineering*, 247, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.007>
- Gonzales, K., Salazar, M. y Fuertes, C. (2021). Actividad antibacteriana de aceites esenciales de *Minthostachys mollis* Griseb. "Muña" y *Piper carpunya* Ruiz & Pav. "Pinku". *Ciencia e Investigación*, 24(2), 21-26. <https://doi.org/10.15381/ci.v24i2.22522>
- Gonzalez-Rivera, J., Duce, C., Campanella, B., Bernazzani, L., Ferrari, C., Tanzini, E., Onor, M., Longo, I., Ruiz, J. C., Tinè, M. y Bramanti, E. (2021). In situ microwave assisted extraction of clove buds to isolate essential oil, polyphenols, and lignocellulosic compounds. *Industrial Crops and Products*, 161(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113203>
- Haqqyana, H., Tania, V., Suyadi, A., Kusuma, H. y Altway, A. (2020). Kinetic study in the extraction of essential oil from clove (*Syzygium aromaticum*) stem using microwave hydrodistillation. *Moroccan Journal of Chemistry*, 8(S1), 064-071. <http://revues.imist.ma/?journal=morjchem&page=login>
- Kusuma, H. y Mahfud, M. (2017). Kinetic studies on extraction of essential oil from sandalwood (*Santalum album*) by microwave air-hydrodistillation method. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2017.02.007>

- Liu, X., Jing, X., y Li, G. (2019). A process to acquire essential oil by distillation concatenated liquid-liquid extraction and flavonoids by solid-liquid extraction simultaneously from *Helichrysum arenarium* (L.) Moench inflorescences under ionic liquid-microwave mediated. *Separation and Purification Technology*, 209(July 2018), 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.07.028>
- Marković, M., Milojević, S., Bošković-Vragolović, N., Pavićević, V., Babincev, L. y Veljković, V. (2019). A new kinetic model for the common juniper essential oil extraction by microwave hydrodistillation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(3), 605–612. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.06.022>
- Megawati, D., Sediawan, W. y Hisyam, A. (2019). Kinetics of mace (*Myristicae arillus*) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation: Effect of microwave power. *Industrial Crops and Products*, 131(January), 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.067>
- Megawati, M., Sediawan, W. y Handayani, P. (2014). Extraction of *P. Cubeba* Essential Oil by Microwave Assisted Hydrodistillation: Modeling and Process Optimization. *American Journal of Oil and Chemical Technologies*. <http://dx.doi.org/10.14266/ajoct110-4>
- Milojević, S., Stojanović, T., Palić, R., Lazić, M. y Veljković, V. (2008). Kinetics of distillation of essential oil from comminuted ripe juniper (*Juniperus communis* L.) berries. *Biochemical Engineering Journal*, 39(3), 547–553. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.10.017>
- Palacios, A. y Castillo Martinez, W. (2015). Modelamiento de extracción del aceite esencial de *Aloysia citriodora* y *Schinus molle*. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(2), 14-24.
- Pavićević, V., Markovic, M., Milojevic, S., Ristic, M., Povrenovic, D. y Veljkovic, V. (2016). Microwave-assisted hydrodistillation of juniper berry essential oil: Kinetic modeling and chemical composition. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(4), 883-891. <https://doi.org/10.1002/jctb.4653>
- Pino, J., Dueñas-Mendoza, M. y Solís-Quispe, L. (2019). Chemical composition of the essential oil from *Minthostachys acris* Schmidt-Leb. grown in the Peruvian Andes. *Natural Product Communications*, 14(7), 1-3. <https://doi.org/10.1177/1934578X19857490>

- Pumaylle, K. O., Ricardo, L., Quiroz, P., Liz, D., Luján, B., Justino, R. y Paz, S. (2012). *Scientia Agropecuaria* Extracción, caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de *Senecio graveolens* Wedd Extraction , characterization and evaluation of antibacterial activity of essential oil of *Senecio graveolens* Wed. 3, 291–302.
- Radivojac, A., Bera, O., Micić, D., Đurović, S., Zeković, Z., Blagojević, S. y Pavlić, B. (2020). Conventional versus microwave-assisted hydrodistillation of sage herbal dust: Kinetics modeling and physico-chemical properties of essential oil. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.015>
- Rezazi, S., Hanini, S., Si-Moussa, C. y Abdelmalek, S. (2016). Modeling and optimization of the operating conditions of *Marrubium vulgare* L. essential oil extraction process: Kinetic parameters estimation through genetic algorithms. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(4), 843-853. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2016.1191973>
- Romdhane, M. y Tizaoui, C. (2005). The kinetic modelling of a steam distillation unit for the extraction of aniseed essential oil. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80(7), 759-766. <https://doi.org/10.1002/jctb.1221>
- Sahraoui, N. y Boutekedjiret, C. (2015). Chapter: Hydrodistillation and Microwave-assisted Hydrodistillation of Essential Oils. In Springer publication (book chapter). Springer.
- Sánchez-Tito, M., Cartagena-Cutipa, R., Flores-Valencia, E. y Collantes-Díaz, I. (2021). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil from *Minthostachys mollis* against oral pathogens. *Revista Cubana de Estomatología*, 58(4), e3647. <https://doi.org/10.1590/RevCubaEstom3647>
- Schmidt-Lebuhn. (2008). Ethnobotany , biochemistry and pharmacology of *Minthostachys* ( Lamiaceae ). 118, 343–353. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.05.030>
- Semerdjieva, I., Shiwakoti, S., Cantrell, C., Zheljazkov, V., Astatkie, T., Schlegel, V. y Radoukova, T. (2019). Hydrodistillation extraction kinetics regression models for essential oil yield and composition in *Juniperus* species. *Molecules*, 24(5), 986. <https://doi.org/10.3390/molecules24050986>
- Torrenegra-Alarcón, M., Granados-Conde, C., Durán-Lengua, M., León-Méndez, G., Yáñez-Rueda, X., Martínez, C. y Pájaro-Castro, N. (2016). Composición Química y Actividad Antibacteriana del Aceite Esencial de *Minthostachys mollis*. *Orinoquia*, 1(20), 69. <https://doi.org/10.22579/20112629.329>

- Vila-Verde, G., Barros, D., Oliveira, M., Aquino, G., Santos, D., de Paula, J., Dias, L., Piñeiro, M. y Pereira, M. (2018). A green protocol for microwave-assisted extraction of volatile oil terpenes from *Pterodon emarginatus* Vogel (Fabaceae). *Molecules*, 23(3), 651. <https://doi.org/10.3390/molecules23030651>
- Zhao, C., Yang, X., Tian, H., y Yang, L. (2018). An improved method to obtain essential oil, flavonols and proanthocyanidins from fresh *Cinnamomum japonicum* Sieb. leaves using solvent-free microwave-assisted distillation followed by homogenate extraction. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2018.03.002>

## ANEXOS

### Anexo A. Evidencia de Sumisión de la Tesis en formato de Artículo

---

De: Rafael Fernández Nava <editorjefe@polibotanica.mx>  
Enviado: Thursday, October 10, 2024 10:18:25 AM  
Para: Joel Coaquira <jell@upeu.edu.pe>  
Asunto: [POLIBOTÁNICA] Acuse de recibo de envío

Joel Jerson Coaquira Quispe:

Gracias por enviar el manuscrito, "Título" a POLIBOTÁNICA. Le comentamos que lo hemos recibido para su potencial publicación en POLIBOTÁNICA. Nosotros esperamos tener la revisión, comentarios y/o sugerencias de dicho artículo en un periodo aproximado de 12 a 16 semanas hábiles.

URL del manuscrito: <https://www.polibotanica.mx/index.php/polibotanica/authorDashboard/submission/1195>  
Nombre de usuario/a: joelcoaquira7

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Rafael Fernández Nava

---

Dr. Rafael Fernández Nava  
Investigador Herbario ENCB  
Editor POLIBOTÁNICA  
Departamento de Botánica  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas  
Instituto Politécnico Nacional  
Carpio y Plan de Ayala s.n.  
Colonia Santo Tomás  
11340 México, D.F.  
ó  
Apartado Postal 17-564  
11410 México, D.F.

 Responder

 Reenviar

## Anexo B. Copia de Resolución del Perfil de Proyecto de Tesis



"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

RESOLUCIÓN N° 0723/A-2021/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 12 de octubre de 2021

### VISTO:

El expediente de **Sonia Achahui Chuquihuanca**, identificado(a) con Código Universitario N° 201610598 y **Edith Yoselin Mamani Hanco**, identificado(a) con Código Universitario N° 201610588, 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 aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Sonia Achahui Chuquihuanca** y **Edith Yoselin Mamani Hanco**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Modelamiento matemático de la cinética de extracción de aceite esencial de muña (*Minthostachys acris*) mediante el uso de microondas" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

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 octubre de 2021, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

### SE RESUELVE:


Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Modelamiento matemático de la cinética de extracción de aceite esencial de muña (*Minthostachys acris*) mediante el uso de microondas**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar al **Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez** y **Ing. Edgar Mayta Pinto**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. María Vallejos Atalaya de Cornejo  
DECANA



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
-Interesado  
Asesor  
Dirección General de Investigación  
Archivo

## Anexo C. Data de fracción de aceite esencial de muña por MAHD

Potencia 400 W			Potencia 600 W			Potencia 800 W			Potencia 1000 W		
Tiempo - datos	Fracción (x)	Fracción (x) - Modelo	Tiempo - datos	Fracción (x)	Fracción (x) - Modelo	Tiempo - datos	Fracción (x)	Fracción (x) - Modelo	Tiempo - datos	Fracción (x)	Fracción (x) - Modelo
0	0.0000	0.000000	0	0.0000	0.000000	0	0.0000	0.000000	0	0.0000	0.000000
0.5	0.0000	0.000000	0.5	0.0000	0.000000	0.5	0.0000	0.0000	0.5	0.0000	0.000000
1	0.0000	0.000000	1	0.0000	0.000000	1	0.0000	0.0000	1	0.0000	0.000000
1.5	0.0000	0.000000	1.5	0.0000	0.000000	1.5	0.0000	0.0000	1.5	0.0000	0.000000
2.0	0.0000	0.000000	2.0	0.0000	0.000000	2.0	0.0000	0.0000	2.0	0.0000	0.000000
2.50	0.0000	0.000000	2.50	0.0000	0.000000	2.50	0.0000	0.0000	2.50	0.007	0.194642
3.00	0.0000	0.000000	3.00	0.0000	0.000000	3.00	0.0000	0.0000	3.00	0.049	0.268774
3.50	0.0000	0.000000	3.50	0.0000	0.000000	3.50	0.012	0.171949	3.50	0.116	0.323081
4.00	0.0000	0.000000	4.00	0.0000	0.000000	4.00	0.026	0.238177	4.00	0.183	0.367124
4.50	0.0000	0.000000	4.50	0.0000	0.000000	4.50	0.058	0.287012	4.50	0.319	0.404608
5.00	0.0000	0.000000	5.00	0.004	0.159034	5.00	0.139	0.326843	5.00	0.404	0.437434
5.50	0.0000	0.000000	5.50	0.018	0.220668	5.50	0.241	0.360920	5.50	0.482	0.466729
6.00	0.0000	0.000000	6.00	0.035	0.266278	6.00	0.330	0.390910	6.00	0.542	0.493230
6.50	0.0000	0.000000	6.50	0.085	0.303592	6.50	0.419	0.417804	6.50	0.598	0.517447
7.00	0.0000	0.000000	7.00	0.159	0.335606	7.00	0.497	0.442245	7.00	0.633	0.539751
7.50	0.0000	0.000000	7.50	0.216	0.363854	7.50	0.534	0.464683	7.50	0.680	0.560424
8.00	0.0000	0.000000	8.00	0.274	0.389249	8.00	0.579	0.485442	8.00	0.707	0.579883
8.50	0.005	0.136563	8.50	0.327	0.412385	8.50	0.624	0.504771	8.50	0.725	0.597703
9.00	0.009	0.190042	9.00	0.384	0.433675	9.00	0.653	0.522860	9.00	0.747	0.614623
9.50	0.028	0.229854	9.50	0.425	0.453419	9.50	0.678	0.539861	9.50	0.771	0.630560
10.00	0.059	0.262591	10.00	0.468	0.471845	10.00	0.709	0.555898	10.00	0.788	0.645610
10.50	0.095	0.290805	10.50	0.504	0.489129	10.50	0.735	0.571072	10.50	0.803	0.659856
11.00	0.132	0.315808	11.00	0.534	0.505410	11.00	0.749	0.585468	11.00	0.816	0.673367
11.50	0.172	0.338378	11.50	0.564	0.520803	11.50	0.759	0.599158	11.50	0.825	0.686204
12.00	0.215	0.359020	12.00	0.590	0.535401	12.00	0.771	0.612204	12.00	0.836	0.698420
12.50	0.254	0.378088	12.50	0.610	0.549282	12.50	0.783	0.624659	12.50	0.840	0.710060
13.00	0.284	0.395837	13.00	0.623	0.562513	13.00	0.796	0.636568	13.00	0.854	0.721166
13.50	0.313	0.412461	13.50	0.645	0.575151	13.50	0.805	0.647973	13.50	0.860	0.731772
14.00	0.338	0.428112	14.00	0.669	0.587244	14.00	0.809	0.658908	14.00	0.864	0.741913
14.50	0.370	0.442907	14.50	0.682	0.598834	14.50	0.820	0.669406	14.50	0.871	0.751616
15.00	0.398	0.456944	15.00	0.696	0.609599	15.00	0.826	0.679494	15.00	0.876	0.760908
15.50	0.424	0.470304	15.50	0.702	0.620652	15.50	0.832	0.689199	15.50	0.881	0.769812
16.00	0.441	0.483052	16.00	0.716	0.630942	16.00	0.839	0.698542	16.00	0.884	0.778350
16.50	0.463	0.495246	16.50	0.723	0.640855	16.50	0.842	0.707545	16.50	0.889	0.786541
17.00	0.488	0.506933	17.00	0.737	0.650414	17.00	0.848	0.716227	17.00	0.889	0.794404
17.50	0.501	0.518156	17.50	0.739	0.659640	17.50	0.852	0.724603	17.50	0.890	0.801956
18.00	0.524	0.528950	18.00	0.751	0.668553	18.00	0.855	0.732691	18.00	0.892	0.809211
18.50	0.538	0.539347	18.50	0.761	0.677169	18.50	0.856	0.740504	18.50	0.893	0.816183
19.00	0.548	0.549376	19.00	0.764	0.685505	19.00	0.856	0.748056	19.00	0.898	0.822886
19.50	0.560	0.559060	19.50	0.768	0.693574	19.50	0.856	0.755359	19.50	0.903	0.829333
20.00	0.575	0.568423	20.00	0.772	0.701390	20.00	0.858	0.762424	20.00	0.905	0.835534
20.50	0.591	0.577485	20.50	0.776	0.708966	20.50	0.860	0.769261	20.50	0.907	0.841501
21.00	0.598	0.586262	21.00	0.782	0.716311	21.00	0.860	0.775881	21.00	0.910	0.847244
21.50	0.611	0.594772	21.50	0.786	0.723438	21.50	0.860	0.782292	21.50	0.910	0.852771
22.00	0.619	0.603030	22.00	0.793	0.730355	22.00	0.860	0.788504	22.00	0.912	0.858093
22.50	0.630	0.611047	22.50	0.798	0.737071	22.50	0.861	0.794523	22.50	0.913	0.863217
23.00	0.637	0.618838	23.00	0.802	0.743594	23.00	0.861	0.800358	23.00	0.913	0.868151
23.50	0.644	0.626413	23.50	0.802	0.749933	23.50	0.862	0.806015	23.50	0.914	0.872904
24.00	0.651	0.633782	24.00	0.804	0.756095	24.00	0.862	0.811502	24.00	0.916	0.877482
24.50	0.662	0.640955	24.50	0.808	0.762086	24.50	0.862	0.816824	24.50	0.917	0.881892
25.00	0.667	0.647942	25.00	0.810	0.767913	25.00	0.863	0.821987	25.00	0.916	0.886141
25.50	0.672	0.654749	25.50	0.810	0.773582	25.50	0.863	0.826997	25.50	0.917	0.890235
26.00	0.681	0.661385	26.00	0.811	0.779098	26.00	0.863	0.831860	26.00	0.917	0.894180
26.50	0.684	0.667857	26.50	0.813	0.784467	26.50	0.864	0.836580	26.50	0.919	0.897982
27.00	0.690	0.674171	27.00	0.814	0.789695	27.00	0.864	0.841162	27.00	0.920	0.901646
27.50	0.694	0.680334	27.50	0.814	0.794785	27.50	0.864	0.845610	27.50	0.920	0.905176
28.00	0.699	0.686352	28.00	0.816	0.799742	28.00	0.865	0.849930	28.00	0.921	0.908580
28.50	0.704	0.692229	28.50	0.816	0.804571	28.50	0.865	0.854125	28.50	0.921	0.911860
29.00	0.707	0.697971	29.00	0.817	0.809276	29.00	0.866	0.858200	29.00	0.921	0.915021
29.5	0.708	0.703583	29.50	0.818	0.813860	29.50	0.866	0.862157	29.50	0.921	0.918069
30	0.709	0.709069	30.00	0.818	0.818327	30.00	0.866	0.866002	30.00	0.921	0.921006

## Anexo D. Data de modelado de aceite esencial de muña por MASD

POTENCIA 400 W				POTENCIA 600 W				POTENCIA 800 W				POTENCIA 1000 W			
Rmax 0.0358 0.0179 min				Rmax 0.0358 0.0179 min				Rmax 0.0358 0.0179 min				Rmax 0.0358 0.0179 min			
Constante Cinética				Constante Cinética				Constante Cinética				Constante Cinética			
Tiempo de extracción	Rendimiento %	R(t)	Residuos	Tiempo de extracción	Rendimiento %	R(t)	Residuos	Tiempo de extracción	Rendimiento %	R(t)	Residuos	Tiempo de extracción	Rendimiento %	R(t)	Residuos
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0000
0.5	0.0001	0.0015	0.0014	0.5	0.0024	0.0015	0.0009	0.5	0.0006	0.0015	0.0010	0.5	0.0022	0.0015	0.0006
1.0	0.0012	0.0029	0.0017	1.0	0.0040	0.0029	0.0011	1.0	0.0040	0.0029	0.0011	1.0	0.0048	0.0029	0.0019
1.5	0.0021	0.0042	0.0021	1.5	0.0061	0.0042	0.0019	1.5	0.0083	0.0042	0.0041	1.5	0.0088	0.0042	0.0046
2.0	0.0031	0.0054	0.0023	2.0	0.0090	0.0054	0.0036	2.0	0.0106	0.0054	0.0052	2.0	0.0118	0.0054	0.0064
2.5	0.0038	0.0065	0.0028	2.5	0.0111	0.0065	0.0045	2.5	0.0142	0.0065	0.0077	2.5	0.0138	0.0065	0.0073
3.0	0.0047	0.0075	0.0029	3.0	0.0133	0.0075	0.0058	3.0	0.0160	0.0075	0.0084	3.0	0.0155	0.0075	0.0080
3.5	0.0058	0.0085	0.0027	3.5	0.0148	0.0085	0.0063	3.5	0.0171	0.0085	0.0086	3.5	0.0169	0.0085	0.0084
4.0	0.0068	0.0094	0.0025	4.0	0.0163	0.0094	0.0069	4.0	0.0187	0.0094	0.0093	4.0	0.0186	0.0094	0.0092
4.5	0.0077	0.0102	0.0025	4.5	0.0172	0.0102	0.0070	4.5	0.0193	0.0102	0.0090	4.5	0.0193	0.0102	0.0091
5.0	0.0087	0.0110	0.0023	5.0	0.0181	0.0110	0.0071	5.0	0.0202	0.0110	0.0092	5.0	0.0209	0.0110	0.0099
5.5	0.0093	0.0118	0.0025	5.5	0.0190	0.0118	0.0072	5.5	0.0208	0.0118	0.0091	5.5	0.0216	0.0118	0.0098
6.0	0.0101	0.0125	0.0024	6.0	0.0197	0.0125	0.0073	6.0	0.0215	0.0125	0.0090	6.0	0.0226	0.0125	0.0101
6.5	0.0111	0.0131	0.0020	6.5	0.0203	0.0131	0.0072	6.5	0.0221	0.0131	0.0090	6.5	0.0232	0.0131	0.0101
7.0	0.0119	0.0137	0.0018	7.0	0.0207	0.0137	0.0069	7.0	0.0226	0.0137	0.0088	7.0	0.0236	0.0137	0.0098
7.5	0.0131	0.0143	0.0012	7.5	0.0213	0.0143	0.0070	7.5	0.0230	0.0143	0.0087	7.5	0.0239	0.0143	0.0096
8.0	0.0137	0.0149	0.0012	8.0	0.0218	0.0149	0.0069	8.0	0.0234	0.0149	0.0085	8.0	0.0240	0.0149	0.0092
8.5	0.0145	0.0154	0.0009	8.5	0.0222	0.0154	0.0068	8.5	0.0237	0.0154	0.0083	8.5	0.0244	0.0154	0.0090
9.0	0.0156	0.0159	0.0003	9.0	0.0225	0.0159	0.0065	9.0	0.0240	0.0159	0.0081	9.0	0.0248	0.0159	0.0089
9.5	0.0162	0.0164	0.0001	9.5	0.0227	0.0164	0.0063	9.5	0.0242	0.0164	0.0078	9.5	0.0249	0.0164	0.0085
10.0	0.0167	0.0168	0.0001	10.0	0.0228	0.0168	0.0060	10.0	0.0245	0.0168	0.0076	10.0	0.0250	0.0168	0.0081
10.5	0.0172	0.0173	0.0001	10.5	0.0231	0.0173	0.0058	10.5	0.0246	0.0173	0.0073	10.5	0.0251	0.0173	0.0078
11.0	0.0178	0.0177	0.0001	11.0	0.0233	0.0177	0.0056	11.0	0.0247	0.0177	0.0070	11.0	0.0253	0.0177	0.0076
11.5	0.0181	0.0181	0.0000	11.5	0.0235	0.0181	0.0054	11.5	0.0247	0.0181	0.0066	11.5	0.0254	0.0181	0.0073
12.0	0.0184	0.0185	0.0001	12.0	0.0236	0.0185	0.0051	12.0	0.0248	0.0185	0.0063	12.0	0.0254	0.0185	0.0069
12.5	0.0186	0.0188	0.0002	12.5	0.0236	0.0188	0.0048	12.5	0.0248	0.0188	0.0060	12.5	0.0255	0.0188	0.0067
13.0	0.0189	0.0192	0.0003	13.0	0.0238	0.0192	0.0046	13.0	0.0249	0.0192	0.0057	13.0	0.0256	0.0192	0.0064
13.5	0.0192	0.0195	0.0003	13.5	0.0239	0.0195	0.0044	13.5	0.0250	0.0195	0.0055	13.5	0.0256	0.0195	0.0061
14.0	0.0195	0.0198	0.0004	14.0	0.0241	0.0198	0.0042	14.0	0.0251	0.0198	0.0052	14.0	0.0257	0.0198	0.0058
14.5	0.0198	0.0202	0.0003	14.5	0.0242	0.0202	0.0041	14.5	0.0251	0.0202	0.0049	14.5	0.0257	0.0202	0.0055
15.0	0.0200	0.0205	0.0004	15.0	0.0243	0.0205	0.0039	15.0	0.0252	0.0205	0.0047	15.0	0.0258	0.0205	0.0053
15.5	0.0202	0.0207	0.0006	15.5	0.0245	0.0207	0.0037	15.5	0.0252	0.0207	0.0045	15.5	0.0258	0.0207	0.0051
16.0	0.0204	0.0210	0.0006	16.0	0.0246	0.0210	0.0035	16.0	0.0253	0.0210	0.0043	16.0	0.0258	0.0210	0.0048
16.5	0.0207	0.0213	0.0006	16.5	0.0246	0.0213	0.0033	16.5	0.0253	0.0213	0.0040	16.5	0.0259	0.0213	0.0046
17.0	0.0210	0.0215	0.0006	17.0	0.0246	0.0215	0.0031	17.0	0.0255	0.0215	0.0039	17.0	0.0259	0.0215	0.0044
17.5	0.0212	0.0218	0.0006	17.5	0.0249	0.0218	0.0031	17.5	0.0256	0.0218	0.0038	17.5	0.0259	0.0218	0.0041
18.0	0.0212	0.0220	0.0008	18.0	0.0250	0.0220	0.0030	18.0	0.0257	0.0220	0.0037	18.0	0.0259	0.0220	0.0039
18.5	0.0213	0.0223	0.0010	18.5	0.0251	0.0223	0.0028	18.5	0.0258	0.0223	0.0035	18.5	0.0259	0.0223	0.0037
		SSE	0.0001	19.0	0.0251	0.0225	0.0027	19.0	0.0258	0.0225	0.0033	19.0	0.0260	0.0225	0.0035
		Coficiente R	0.9939	19.5	0.0252	0.0227	0.0025	19.5	0.0258	0.0227	0.0031	19.5	0.0260	0.0227	0.0033
				20.0	0.0253	0.0229	0.0024	20.0	0.0259	0.0229	0.0029	20.0	0.0260	0.0229	0.0031
				20.5	0.0254	0.0231	0.0023	20.5	0.0259	0.0231	0.0028	20.5	0.0260	0.0231	0.0029
				21.0	0.0255	0.0233	0.0022	21.0	0.0260	0.0233	0.0027	21.0	0.0260	0.0233	0.0027
				21.5	0.0255	0.0235	0.0020	21.5	0.0260	0.0235	0.0025	21.5	0.0260	0.0235	0.0025
				22.0	0.0256	0.0237	0.0019	22.0	0.0261	0.0237	0.0024	22.0	0.0260	0.0237	0.0024
				22.5	0.0256	0.0239	0.0018	22.5	0.0261	0.0239	0.0022	22.5	0.0261	0.0239	0.0022
				23.0	0.0256	0.0240	0.0016	23.0	0.0261	0.0240	0.0021	23.0	0.0261	0.0240	0.0020
						SSE	0.0011	23.5	0.0262	0.0242	0.0020	23.5	0.0261	0.0242	0.0019
						Coficiente R	0.9520	24.0	0.0262	0.0244	0.0018	24.0	0.0261	0.0244	0.0018
								24.5	0.0262	0.0245	0.0016	24.5	0.0261	0.0245	0.0016
								25.0	0.0262	0.0247	0.0015	25.0	0.0261	0.0247	0.0015
								25.5	0.0262	0.0248	0.0014	25.5	0.0261	0.0248	0.0013
										SSE	0.0018	26.0	0.0261	0.0250	0.0012
										Coficiente R	0.9090	26.5	0.0261	0.0251	0.0010
														SSE	0.0020
														Coficiente R	0.8954