Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Determinación de las variables de operación y diseño del proceso de Obtención del Aceite Esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero (a) Químico (a)

AUTORES

Paolo César LUJAN SOTO

Elizabeth Estefany VARGAS QUISPE

ASESOR

Pedro José ROMERO Y OTINIANO

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Lujan, P. & Vargas, E. (2026). *Determinación de las variables de operación y diseño del proceso de Obtención del Aceite Esencial de Eucalipto (Eucalyptus globulus)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Paolo Cesar Lujan Soto
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70987794
URL de ORCID	-
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Elizabeth Estefany Vargas Quispe
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73023426
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Pedro José Romero y Otiniano
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	15612279
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0474-6817
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Rubén Alfredo Palomino Infante
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08326506
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Manuel Jesús Luna Hernández

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06897800
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Laboratorio de investigación de la facultad de Química e Ingeniería química País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Centro poblado: - Urbanización: - Manzana y lote: - Calle: Ciudad universitaria Latitud: -12.060376 Longitud: -77.083656
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Septiembre 2025 - enero 2026 2025 - 2026
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01 Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "V Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2025-II", bajo la Presidencia del **Dr. Ruben Alfredo Palomino Infante;** el **Mg. Manuel Jesús Luna Hernández (Miembro)** y el **Ing. Pedro José Romero Y Otiniano (Asesor);** habiendo presentado para tal efecto la **TESIS,** titulada **"Determinación de las variables de operación y diseño del proceso de Obtención del Aceite Esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)",** después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborada por el bachiller en Ingeniería Química: **LUJAN SOTO, PAOLO CÉSAR;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO,** acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

Diecisiete (17)

(LETRAS) (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 10 de enero del 2026

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Presidente

Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ
Miembro

Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO
Asesor

Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
Director de la E.P. de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS • ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA • Facultad de Química e Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "V Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2025-II", bajo la Presidencia del **Dr. Ruben Alfredo Palomino Infante;** el **Mg. Manuel Jesús Luna Hernández (Miembro)** y el **Ing. Pedro José Romero Y Otiniano (Asesor);** habiendo presentado para tal efecto la **TESIS,** titulada **"Determinación de las variables de operación y diseño del proceso de Obtención del Aceite Esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) ",** después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborada por la bachiller en Ingeniería Química: **VARGAS QUISPE, ELIZABETH ESTEFANY;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERA QUÍMICA,** acordaron calificarla con la **NOTA** de:

Diecisiete (17)

(LETRAS) (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 10 de enero del 2026

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Presidente

Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ
Miembro

Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO
Asesor

Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
Director de la E.P. de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA
Facultad de Química e Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Pedro José Romero Y Otiniano en mi condición de asesor con el Dictamen N°000002-2026-EPIQ-FQIQ/UNMSM de la Tesis cuyo título es**: Determinación de las variables de operación y diseño del proceso de Obtención del Aceite Esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*),** presentado por el bachiller: **Paolo César Lujan Soto** para optar el título Profesional de Ingeniero Químico y la bachiller **Elizabeth Estefany Vargas Quispe** para optar el título Profesional de Ingeniera Química

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 11 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Profesional de Ingeniero (a) Químico (a) .

Lima, 18 de enero del 2026



Firma del Asesor _____

Nombres y Apellidos del asesor Pedro José Romero Y Otiniano

DNI: 15612279

DEDICATORIA:

Tesista Paolo Lujan:

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional. A mis maestros, por su sabiduría y orientación. A mis amigos, por su aliento constante. Y al esfuerzo y perseverancia que me permitieron llegar hasta aquí.

Tesista Elizabeth Vargas:

A mi perseverancia, que me sostuvo cuando las dudas pesaban. A mi familia, por su aliento constante, y a Deivis por caminar conmigo incluso cuando todo parecía lejano.

AGRADECIMIENTO

Expresamos el más sincero agradecimiento al profesor Pedro Romero y Otiniano por su orientación durante todo el proceso de la presente tesis. Sus aportes técnicos, sugerencias oportunas y disposición para guiarnos en los momentos más importantes fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Su compromiso con la formación académica y la investigación fue un apoyo esencial para culminar este proyecto. Apreciamos profundamente la dedicación y el profesionalismo con el que nos acompañó en cada etapa del estudio.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN *12*

1.1. INTRODUCCIÓN 12
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
1.2.1. Determinación del problema *14*
1.2.2. Formulación del problema *15*
1.3. OBJETIVOS 16
1.3.1. Objetivo General *16*
1.3.2. Objetivos Específicos *16*
1.4. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN 16
1.4.1. Importancia de la investigación *16*
1.4.2. Alcance de la investigación *17*
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN 18

II. REVISIÓN LITERARIA *20*

2.1. MARCO TEÓRICO 20
2.1.1. Aceites Esenciales *20*
2.1.2. Eucalyptus globulus *20*
2.1.3. Método de extracción: *21*
2.1.4. Factores que afectan el rendimiento del aceite esencial *25*
2.1.5. Aceite esencial de Eucalyptus globulus *26*
2.1.6. Aplicaciones y relevancia industrial del aceite esencial de Eucalyptus globulus *28*
2.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIO 29
2.3. BASES TEÓRICAS 34
2.3.1. Destilación por arrastre de vapor *34*
2.3.2. Variables de operación en la extracción de aceites esenciales *34*
2.3.3 Principios de transferencia de masa aplicados *38*
2.3.4. Diseño del sistema de extracción *38*
2.3.5. Calidad del aceite esencial *39*
2.3.6 Determinación de rendimiento de extracción de aceite esencial *39*
2.3.7 Determinación de rendimiento de energético del proceso de extracción *40*
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 41

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES *42*

3.1. HIPÓTESIS 42
3.1.1. Hipótesis General *42*
3.1.2. Hipótesis Específicas *42*
3.2. VARIABLES 42
3.2.1. Variables dependientes *42*
3.2.2. Variables Independientes *43*
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES 44

IV. MATERIALES Y MÉTODOS *48*

4.1. ÁREA DE ESTUDIO 48
4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 48
4.3. POBLACIÓN 48
4.4. MUESTRA 49

4.5. PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN 49
4.5.1. Descripción del equipo *49*
4.5.2 Preparación del material vegetal *51*
4.5.3 Montaje del sistema *51*
4.5.4 Procedimiento de extracción *51*
4.5.5 Almacenamiento *52*
4.5.6 Consideraciones operativas del proceso *52*
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO 53

V. RESULTADOS *54*

5.1. DETERMINACIÓN DE FLUJO DE VAPOR 54
5.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE 55
5.3. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO 55
5.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO 55
5.5. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA 55

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES *69*

6.1. CONCLUSIONES 69
6.2. RECOMENDACIONES 70

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS *71*

VIII. ANEXOS *79*

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables *44*

Tabla 2: Dimensiones del Alambique *51*

Tabla 3: Resumen de resultados de las corridas experimentales *54*

Tabla 4: Cálculo Consumo Energético por Corrida *56*

Tabla 5: Cálculo de consumo de agua de refrigeración en la corrida N°17 ..... *57*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plantaciones de Eucalyptus globulus en la sierra del Perú *21*

Figura 2: Equipo de extracción de aceites esenciales con vapor saturado *50*

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°1).....58

Gráfico N°2: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°3).....58

Gráfico N°3: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°2).....59

Gráfico N°4: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°4).....59

Gráfico N°5: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°5).....60

Gráfico N°6: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°6).....60

Gráfico N°7: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°7).....61

Gráfico N°8: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°8).....61

Gráfico N°9: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°9).....62

Gráfico N°10: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°10)..62

Gráfico N°11: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°11)..63

Gráfico N°12: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°12)..63

Gráfico N°13: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°13)..64

Gráfico N°14: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°14)..64

Gráfico N°15: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°15)..65

Gráfico N°16: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°16)..65

Gráfico N°17: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°17)..66

Gráfico N°18: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°18)..66

Gráfico N°19: Curva de Extracción de A. Esencial de Eucalyptus globulus (corrida N°19)..67

Gráfico N°20: Comparación Tiempo vs Rendimiento de las corridas realizadas 68

Gráfico N°21: Comparación Densidad aparente vs Rendimiento de las corridas realizadas.67

ANEXOS

Anexo 1: Resultados de la corrida experimental N°1 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *79*

Anexo 2: Datos de procesos del Anexo N°1 ..... *79*

Anexo 3: Resultados de la corrida experimental N°2 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *80*

Anexo 4: Datos de procesos del Anexo 2 ..... *80*

Anexo 5: Resultados de la corrida experimental N°3 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *81*

Anexo 6: Datos de procesos del Anexo 5 ..... *81*

Anexo 7: Resultados de la corrida experimental N°4 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *82*

Anexo 8: Datos de procesos del Anexo 7 ..... *82*

Anexo 9: Resultados de la corrida experimental N°5 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *83*

Anexo 10: Datos de procesos del Anexo 9 ..... *83*

Anexo 11: Resultados de la corrida experimental N°6 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *84*

Anexo 12: Datos de Procesos del Anexo 11 ..... *84*

Anexo 13: Resultados de la corrida experimental N°7 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *85*

Anexo 14: Datos de Procesos del Anexo 13 ..... *85*

Anexo 15: Resultados de la corrida experimental N°8 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *86*

Anexo 16: Datos de Procesos del Anexo 15 ..... *86*

Anexo 17: Resultados de la corrida experimental N°9 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *87*

Anexo 18: Datos de Procesos Anexo 17 ..... *88*

Anexo 19: Resultados de la corrida experimental N°10 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus *88*

Anexo 20: Datos de Procesos Anexo 19.....89

Anexo 21: Resultados de la corrida experimental N°11 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....89

Anexo 22: Datos de Procesos Anexo 21.....90

Anexo 23: Resultados de la corrida experimental N°12 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....90

Anexo 24: Datos de Procesos Anexo 23.....90

Anexo 25: Resultados de la corrida experimental N°13 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....91

Anexo 26: Datos de Procesos Anexo 25.....91

Anexo 27: Resultados de la corrida experimental N°14 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....92

Anexo 28: Datos de Procesos Anexo 27.....92

Anexo 29: Resultados de la corrida experimental N°15 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....93

Anexo 30: Datos de Procesos Anexo 29.....93

Anexo 31: Resultados de la corrida experimental N°16 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....94

Anexo 32: Datos de Procesos Anexo 31.....94

Anexo 33: Resultados de la corrida experimental N°17 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....95

Anexo 34: Datos de Procesos Anexo 33.....95

Anexo 35: Resultados de la corrida experimental N°18 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....96

Anexo 36: Datos de Procesos Anexo 35.....96

Anexo 37: Resultados de la corrida experimental N°19 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Eucalyptus globulus.....97

Anexo 38: Datos de Procesos Anexo 37.....97

Anexo 39: Material vegetal (Eucalyptus globulus).....98

Anexo 40: Equipo de destilación por arrastre con vapor.....98

Anexo 41: Florentino separador de fases *99*

Anexo 42: Balanza de humedad *99*

Anexo 43: Variador de potencia *100*

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue obtener el aceite esencial de *Eucalyptus globulus* definiendo las variables significativas en el proceso las cuales fueron el flujo de vapor y densidad aparente, estas permitieron obtener un buen rendimiento en un tiempo de extracción de 75 minutos. El flujo de vapor fue producido por el generador de vapor con una resistencia de 2 kW modificando la potencia eléctrica mediante un módulo de control de potencia para generar diferentes flujos de vapor.

Este flujo de vapor influye directamente en el rendimiento del proceso. Determinándose un flujo de 1.296 kg/h y obteniéndose un rendimiento de 1.74% en 70 minutos de operación, mientras que al reducir el flujo a un valor mínimo de 0.650 kg/h el rendimiento disminuyó a 1.15%, en un tiempo a 80 minutos.

Se determinó que el tiempo de mayor extracción está alrededor de los 70 minutos, el flujo de vapor se obtiene el máximo rendimiento, dependiendo este valor del flujo de vapor de 1.296 kg/h.

La densidad aparente influye en el rendimiento: a mayor densidad aparente, menor rendimiento. Así, con una densidad aparente de 0.1954 se obtuvo un rendimiento de 1.46%, mientras que incrementando la densidad aparente a 0.2742, disminuyó el rendimiento de manera significativa (0.94%).

La línea de tendencia obtenida para las curvas de volumen de aceite extraído en función del tiempo mostró un comportamiento logarítmico, con un coeficiente de correlación cercano a 0.99 en la mayoría de las corridas, lo que confirma una rápida extracción inicial seguida de una desaceleración conforme se alcanza el equilibrio en el sistema.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Los aceites esenciales son mezclas complejas de compuestos volátiles naturales que concentran las propiedades aromáticas y bioactivas de las plantas. Estos extractos, considerados la "esencia" de la planta, se distinguen por su fragancia característica y su amplia aplicación en las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética. Desde tiempos antiguos, las civilizaciones han utilizado aceites esenciales con fines terapéuticos y aromáticos debido a sus propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y antioxidantes, las cuales han sido comprobadas por estudios científicos modernos (Bakkali et al., 2008).

Entre las especies vegetales de mayor importancia se encuentra el *Eucalyptus globulus*, árbol originario de Australia, actualmente cultivado en diversas regiones del Perú debido a su rápido crecimiento y adaptabilidad a distintos climas (Flores & Paredes, 2020). El aceite esencial extraído de sus hojas presenta un alto valor comercial por su composición química y sus propiedades medicinales. Investigaciones recientes indican que su principal componente es el 1,8-cineol (eucaliptol), compuesto que otorga su aroma característico y es responsable de la mayoría de sus efectos terapéuticos. Čmiková, N. et al. (2023) reportaron que el aceite esencial de *Eucalyptus globulus* contiene aproximadamente 63,1 % de 1,8-cineol, acompañado por p-cimeno (7.7 %), α-pineno (7.3 %) y α-limoneno (6,9 %). De acuerdo con Porras (2016), el contenido de 1,8-cineol puede variar entre 49 % y 70 %, dependiendo de la procedencia del material vegetal y las condiciones del proceso de extracción. Estas variaciones confirman que el aceite esencial de eucalipto está compuesto principalmente por monoterpenos oxigenados, lo que influye directamente en su volatilidad, estabilidad térmica y rendimiento durante la destilación.

La eficiencia y el rendimiento del proceso de obtención del aceite esencial dependen de diversos factores, como el tipo y tamaño del material vegetal, la humedad, las condiciones de cultivo y, principalmente, las variables de operación y diseño del proceso de extracción. En el campo de la ingeniería química, las variables de operación y de diseño de proceso se pueden considerarse determinantes para la transferencia de masa y calor. La técnica más empleada para extraer aceites esenciales es la destilación por arrastre de vapor, proceso en el que el vapor de agua atraviesa el material vegetal y arrastra los compuestos volátiles que luego se condensan y separan del agua. Este procedimiento, aplicado tanto a nivel de laboratorio como industrial, requiere un control preciso de variables como el flujo de vapor, la densidad aparente del lecho, la presión y la temperatura, que influyen directamente en la pureza del aceite, el rendimiento y el tiempo de operación (Armijo et al., 2012).

En el caso del *Eucalyptus globulus* cultivado en el Perú, existe limitada información sobre la optimización de variables operativas y de diseño, ya que la mayoría de los estudios se han centrado en la caracterización química del aceite esencial (Flores & Paredes, 2020). Por ello, esta investigación busca identificar las variables de operación y diseño más relevantes en la extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* mediante destilación por arrastre de vapor, evaluando el flujo de vapor y la densidad aparente del lecho como factores principales, y considerando como variables de respuesta el rendimiento (%) y el tiempo de extracción. Los resultados permitirán establecer criterios para el diseño de una planta piloto, favoreciendo el desarrollo de un proceso eficiente, sostenible y competitivo para el aprovechamiento del eucalipto como recurso natural en el Perú.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Determinación del problema

En la zona de la sierra del Perú, el árbol de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) crece de manera natural y en grandes extensiones. De sus hojas es posible obtener aceites esenciales, dentro de los cuales destaca el cineol (1,8-cineol) como principal componente activo, ampliamente valorado por sus propiedades medicinales, aromáticas e industriales. Actualmente, existe una alta demanda de aceite esencial de eucalipto en mercados farmacéuticos, cosméticos y de productos naturales, lo que representa una oportunidad de aprovechamiento sostenible de este recurso**.**

A pesar de la disponibilidad de miles de hectáreas de plantaciones de eucalipto en condiciones adecuadas, no se cuenta con suficientes estudios técnicos que permitan establecer parámetros claros de operación y diseño para el proceso de obtención del aceite esencial. En particular, se desconoce con precisión cómo influyen variables como el tiempo de destilación y el volumen del lecho de hojas en el rendimiento y calidad del producto final.

Ante esta situación, se plantea la necesidad de realizar un estudio piloto que permita determinar y evaluar dichas variables, con el fin de mejorar el proceso de extracción por arrastre de vapor. Esto permitirá generar información confiable para futuros proyectos a mayor escala, contribuyendo a la eficiencia del proceso, el aprovechamiento racional de los recursos y el desarrollo de la industria de aceites esenciales en el país.

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto del flujo de vapor y la densidad aparente del lecho sobre el rendimiento y tiempo de extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* a nivel piloto mediante destilación por arrastre de vapor, y cómo pueden utilizarse estos resultados para establecer criterios técnicos de diseño de un sistema de extracción a escala piloto?

1.2.2.2. Problema Específico

- ¿Cuál es el efecto del flujo del vapor en el rendimiento y en el tiempo de extracción del aceite esencial del *Eucalyptus globulus*?
- ¿Cómo influye la densidad aparente del lecho de hojas en la eficiencia de extracción y en la cinética del proceso?
- ¿Cuál es el tiempo de destilación que permite obtener un mayor rendimiento de aceite esencial para no generar un consumo energético innecesario?
- ¿Qué condiciones de operación pueden establecerse, a partir del análisis del flujo de vapor y la densidad aparente del lecho, para orientar el diseño de un sistema piloto de extracción por arrastre de vapor?
- ¿De qué manera los resultados obtenidos a nivel piloto pueden servir como referencia para el escalamiento hacia una planta industrial de obtención de aceite esencial de *Eucalyptus globulus?*

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar los valores del flujo de vapor y la densidad aparente del lecho que maximicen el rendimiento de extracción de aceite esencial de *Eucalyptus globulus* mediante destilación por arrastre de vapor a nivel piloto, estableciendo criterios técnicos para el diseño del proceso.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el flujo de vapor como variable de operación en el proceso de extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* que permita alcanzar la mayor eficiencia en la extracción.
- Analizar la densidad aparente del lecho de hojas como variable de operación en el proceso de extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* que permita alcanzar la mayor eficiencia en el proceso.
- Definir las variables de respuesta (tiempo de extracción y rendimiento del aceite esencial) que permitan establecer los criterios técnicos de diseño del proceso de extracción a nivel piloto.

1.4. Importancia y Alcance de la investigación

1.4.1. Importancia de la investigación

La presente investigación es de gran relevancia científica y tecnológica, pues busca mejorar el proceso de obtención del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*, una especie forestal ampliamente cultivada en la sierra del Perú por su adaptación, rápido crecimiento y valor económico (Paredes et al., 2020). A pesar de su disponibilidad, su aprovechamiento

sigue siendo limitado debido a la escasez de estudios que mejoren la eficiencia de extracción y establezcan las mejores condiciones operativas a nivel piloto e industrial.

El estudio generó información experimental sobre variables como el flujo de vapor y la densidad aparente del lecho, que influyen directamente en la transferencia de masa y calor durante la destilación por arrastre de vapor. Según Faleiro et al. (2021), el control adecuado de estas variables incrementa el rendimiento, reduce el consumo energético y mejora la calidad del producto. Los resultados servirán de base para formular criterios de diseño y optimización de equipos, contribuyendo a procesos más eficientes y sostenibles en el campo de la ingeniería química.

Asimismo, la investigación posee importancia ambiental y socioeconómica, al promover el uso racional de recursos forestales y la generación de valor agregado mediante productos naturales. El aceite esencial de *Eucalyptus globulus* tiene alta demanda en las industrias farmacéutica, cosmética y de bienestar, representando una oportunidad para impulsar la economía local y fomentar la producción sostenible en comunidades rurales (Gutiérrez & Sánchez, 2021). En conjunto, este trabajo aportará conocimiento técnico que favorezca el desarrollo sostenible y competitivo de la industria de aceites esenciales en el Perú.

1.4.2. Alcance de la investigación

El presente estudio se desarrolló a nivel de laboratorio en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), empleando un equipo patentado destinado al proceso de destilación por arrastre de vapor. La investigación se centró en la evaluación y determinación de las variables de operación y diseño más significativas, específicamente

el flujo de vapor y la densidad aparente del lecho de hojas, las cuales influyen directamente en las variables de respuesta: rendimiento del aceite esencial (%) y tiempo de extracción.

El trabajo abarcó desde la preparación del material vegetal (hojas de *Eucalyptus globulus* recolectadas en una provincia del Perú) hasta la obtención y análisis del aceite esencial. No incluye la caracterización química detallada de los compuestos volátiles ni la validación industrial del proceso, ya que se trata de una investigación experimental preliminar con fines de mejoras del proceso.

El alcance del estudio permitirá establecer parámetros de referencia para futuros proyectos a escala piloto, orientados al diseño de sistemas de extracción más eficientes y sostenibles. De acuerdo con lo señalado por López y Salazar (2021), la identificación de variables críticas en procesos de extracción constituye un paso fundamental para mejorar la reproducibilidad y eficiencia industrial. En este contexto, los resultados obtenidos servirán como base técnica para posteriores investigaciones en la valorización del eucalipto como recurso natural de interés químico e industrial.

1.5. Limitaciones de la investigación

El presente estudio, desarrollado a nivel piloto, presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados y al proyectarlos hacia una futura escala industrial.

En primer lugar, el proceso se realizó utilizando hojas frescas de *Eucalyptus globulus*, las cuales fueron deshojadas y procesadas inmediatamente con el fin de mantener condiciones homogéneas de humedad, tamaño y estabilidad del material vegetal; sin embargo, estas condiciones pueden diferir respecto a las operaciones industriales. Estudios previos indican que la presencia de material más heterogéneo altera la densidad aparente, la compactación

del lecho y el flujo de vapor, afectando en algunos casos la eficiencia global de extracción (Ramos & Pérez, 2021). Asimismo, la literatura reporta que la humedad influye en el rendimiento de extracción de aceites esenciales (Puca Pacheco et al., 2024); no obstante, en esta investigación se priorizó el análisis de las variables de operación y diseño del proceso.

En segundo lugar, aunque el rendimiento de extracción de aceites esenciales suele mantenerse relativamente estable entre el nivel piloto e industrial, existen diferencias importantes en términos de operatividad y costos energéticos. El equipo piloto empleado funciona con energía eléctrica por su simplicidad y facilidad de operación; sin embargo, este tipo de alimentación no resulta económicamente viable para una planta industrial, donde el consumo eléctrico sería elevado. De acuerdo con estudios previos, en operaciones de mayor escala suele emplearse GLP u otras fuentes térmicas más económicas, lo que implica modificaciones de diseño que pueden influir en la distribución del calor y del vapor en el sistema (Cárdenas, 2019; López & Medina, 2020). En consecuencia, el estudio a nivel piloto permite analizar el proceso, aunque presenta restricciones para estimar costos y demandas energéticas reales a escala industrial.

Por tanto, aunque el estudio piloto permite obtener resultados confiables bajo condiciones controladas, debe reconocerse que el comportamiento operativo puede diferir al escalar el proceso a nivel industrial.

II. REVISIÓN LITERARIA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Aceites Esenciales

Los aceites esenciales son mezclas volátiles obtenidas a partir de tejidos vegetales aromáticos mediante procesos físicos como destilación o extracción con solventes. Están compuestos principalmente por monoterpenos, sesquiterpenos y derivados oxigenados, los cuales definen sus propiedades organolépticas y funcionales (Burt, 2004). Debido a su amplia aplicación en las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria, la demanda global de estos productos continúa creciendo, impulsando la investigación en métodos de extracción más eficientes y sostenibles (Burt, 2004; Baser & Buchbauer, 2015).

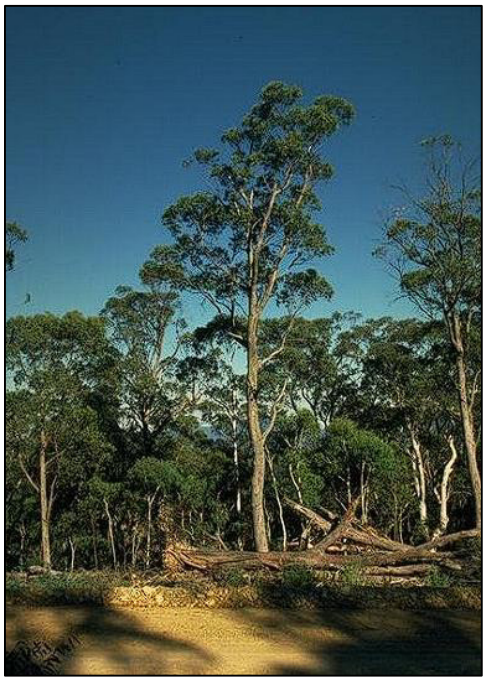
La composición química de los aceites esenciales depende del método de extracción, la madurez del material vegetal, el estado de humedad y las condiciones de proceso, factores que influyen directamente en el rendimiento y calidad del producto final (Baser & Buchbauer, 2015).

2.1.2. *Eucalyptus globulus*

El Eucalyptus globulus es una especie arbórea perteneciente a la familia Myrtaceae, originaria del sureste de Australia y ampliamente introducida en diversas regiones del mundo debido a su rápido crecimiento y múltiples aplicaciones industriales. Sus hojas contienen aceites esenciales de alto valor comercial, utilizados principalmente en las industrias farmacéutica, cosmética y de productos de higiene, gracias a su aroma característico y a sus propiedades biológicas. La composición del aceite esencial está dominada por el 1,8-cineol (eucaliptol), acompañado de otros monoterpenos como α-pineno, limoneno y p-cimeno, cuya proporción puede variar según el origen geográfico, la

edad del follaje y las condiciones de cultivo (Barbosa et al., 2016). En el Perú, *Eucalyptus globulus* se cultiva extensamente en la región andina, especialmente en departamentos como Ayacucho, Cajamarca, Junín y Cusco, donde se emplea tanto con fines forestales como para el aprovechamiento de sus hojas en la obtención de aceite esencial, representando una alternativa de valorización de recursos naturales con potencial de desarrollo agroindustrial (Paredes et al., 2020; Gutiérrez & Sánchez, 2021).

Figura 1: Plantaciones de *Eucalyptus globulus* en la sierra



***Nota*:** Adaptado de Planta de E. globulus**,** por DePerú (s. f.), https://www.deperu.com

2.1.3. Método de extracción:

La extracción de aceites esenciales representa una de las operaciones más importantes dentro de la ingeniería química aplicada a productos naturales.

La obtención de estos puede realizarse mediante diversos métodos físicos y fisicoquímicos, los cuales se basan en principios como la volatilidad diferencial de los compuestos aromáticos, la transferencia de masa entre fases y la solubilidad selectiva. La elección del método depende de variables como la naturaleza de la materia prima, la termoestabilidad de los compuestos, el rendimiento esperado y la escala de producción (Burt, 2004; Baser & Buchbauer, 2015).

A continuación, se describen los métodos más empleados en el sector industrial y piloto, relevantes para el estudio del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*.

2.1.3.1 Hidrodestilación

La hidrodestilación es uno de los métodos más tradicionales para la obtención de aceites esenciales. Consiste en sumergir el material vegetal en agua y someterlo a ebullición, generando vapores que arrastran los compuestos volátiles, los cuales luego se condensan y separan por decantación (Guenther, 1972).

Este método presenta ventajas como su bajo costo, simplicidad operativa y ausencia de presión, por lo que es común en investigación y en plantas piloto. Sin embargo, tiene limitaciones importantes: exposición prolongada del material vegetal al agua y al calor, lo que puede ocasionar hidrólisis y degradación térmica de moléculas termosensibles (Bakkali et al., 2008).

En el caso del *Eucalyptus globulus*, algunos estudios reportan rendimientos menores por descomposición parcial de citonelal y eucaliptol en sistemas donde se prolonga excesivamente el tiempo de calentamiento (Puca Pacheco, 2024).

2.1.3.2 Destilación por arrastre de vapor

La destilación por arrastre de vapor es el método más utilizado industrialmente para la obtención de aceites esenciales termolábiles, debido a su eficiencia y menor degradación de los compuestos volátiles. En este proceso, el vapor de agua atraviesa un lecho de hojas o flores, arrastrando los compuestos volátiles sin necesidad de sumergir el material vegetal (Natividad Mercedes, 2019; Baser & Buchbauer, 2015).

Desde el punto de vista termodinámico, los aceites esenciales se volatilizan a temperaturas inferiores a su punto normal de ebullición gracias a la mezcla con el vapor, fenómeno descrito por la ley de Dalton para la presión parcial de vapores (Chemat et al., 2013). Ello reduce la degradación térmica y mejora la calidad del aceite obtenido.

Estudios peruanos y extranjeros confirman que el arrastre de vapor tiende a producir mayores rendimientos y aceites de mejor calidad química respecto a la hidrodestilación tradicional (Gamarra Chirinos, 2024; Chemat et al., 2013).

Por ello, es el método seleccionado en numerosos trabajos a nivel piloto y en la industria de aceites esenciales.

2.1.3.3. Extracción por solventes orgánicos

La extracción con solventes emplea compuestos orgánicos como hexano, etanol o éter de petróleo para disolver selectivamente los componentes aromáticos presentes en la biomasa. Este proceso es común para flores cerosas o materiales con bajo contenido de aceite esencial que no soportan el incremento térmico de la destilación (Baser & Buchbauer, 2015).

No obstante, presenta limitaciones relevantes para aplicaciones alimentarias, cosméticas naturales o medicinales debido a la presencia de residuos de solventes, incluso en trazas (Bakkali et al., 2008). Por ello, su uso en aceites de eucalipto destinados a aplicaciones terapéuticas no es recomendado sin purificación posterior estricta.

2.1.3.4 Métodos asistidos: microondas y ultrasonido

Los métodos asistidos por energías alternativas han surgido como alternativas modernas para reducir tiempos de extracción, mejorar rendimientos y disminuir el consumo energético. Entre los más empleados destacan:

2.1.3. 4.a. Extracción asistida por microondas (MAE)

En este método, la radiación microondas interactúa con las moléculas polares del material vegetal, incrementando la temperatura de forma rápida y uniforme. Esto mejora la ruptura de glándulas secretoras y acelera la volatilización de compuestos aromáticos (Chemat & Cravotto, 2013).

Se ha demostrado que la hidrodestilación asistida por microondas (MAHD) produce mayores rendimientos en menor tiempo, con perfiles químicos comparables a la destilación convencional (Mohamadi et al., 2012).

2.1.3.4.b. Extracción asistida por ultrasonido (UAE)

El ultrasonido genera cavitación acústica, que mejora la transferencia de masa y produce rupturas celulares localizadas. Este método permite reducir tiempos y puede mejorar la extracción en materiales lignificados como hojas de *Eucalyptus globulus* (Chemat et al., 2017).

Sin embargo, para aceites esenciales destinados a uso terapéutico, ambos métodos requieren escalado cuidadoso, ya que en plantas piloto e industriales su implementación implica costos elevados y diseño especializado.

En estudios comparativos, la destilación con microondas y ultrasonido ha mostrado mejoras en rendimiento, pero no siempre se adoptan industrialmente debido a restricciones de escalabilidad (Hosseini et al., 2019).

2.1.4. Factores que afectan el rendimiento del aceite esencial

El rendimiento del aceite esencial puede variar considerablemente según la especie, condiciones de cultivo, procesamiento y operación de la extracción. En el *Eucalyptus globulus*, los factores más influyentes son:

2.1.4.1. Estado del material vegetal

La humedad inicial y el tiempo entre cosecha y extracción afectan directamente la cantidad de aceite recuperado. Hojas demasiado húmedas disminuyen la eficiencia de vaporización, mientras que un secado prolongado genera pérdida de compuestos volátiles (Burt, 2004). Rendimientos óptimos se logran con hojas frescas o semisecas procesadas en las primeras 48–72 h (Burt, 2004).

2.1.4.2. Densidad aparente y compactación del lecho

La porosidad del lecho determina la facilidad con la que el vapor atraviesa el material vegetal. Lechos densos o con mezcla de hojas y ramas generan mayor caída de presión y menor transferencia de masa (Ramos & Pérez, 2021).

2.1.4.3. Flujo y presión del vapor

Flujos excesivamente bajos generan arrastre insuficiente, mientras que flujos demasiado altos pueden generar pérdidas térmicas y menor tiempo de contacto útil. La literatura recomienda optimizar ambos parámetros a escala piloto antes de escalar industrialmente (Chemat et al., 2017).

2.1.4.4. Tiempo de extracción

La mayor parte del aceite esencial se libera en los primeros 60–90 minutos, pero extender la operación mejora la recuperación de compuestos menos volátiles. No obstante, tiempos muy prolongados pueden degradar fracciones sensibles al calor (Hosseini et al., 2019).

2.1.5. Aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

El aceite esencial de *Eucalyptus globulus* es uno de los aceites más investigados y utilizados a nivel global debido a su alto contenido de monoterpenos oxigenados, especialmente 1,8-cineol, compuesto que define sus propiedades aromáticas, medicinales y antimicrobianas. Su composición química presenta variaciones significativas según la procedencia geográfica, condiciones de cultivo y características del material vegetal utilizado en la extracción.

Diversos estudios establecen que el aceite esencial de *Eucalyptus globulus* contiene entre 70 % y 85 % de 1,8-cineol, acompañado de α-pineno, limoneno, p-cimeno y globulol en cantidades menores (Baser & Buchbauer, 2015).

La variabilidad del aceite esencial está influenciada principalmente por:

- **Tipo de material vegetal:** La literatura es consistente en afirmar que las hojas contienen la mayor concentración de aceite esencial, mientras que las ramas poseen contenido mínimo y se consideran material estructural más que aromático (Burt, 2004; Ramos & Pérez, 2021). Por ello, la mayoría de las destilaciones industriales y piloto emplean exclusivamente hojas frescas o semisecas.

- **Estado del material (seco, fresco, semiseco)**: Un secado excesivo reduce el contenido de aceite, mientras que la destilación inmediata después de la cosecha conserva una fracción mayor de compuestos volátiles (Qin et al., 2022).

- **Edad de la planta**: Hojas de árboles jóvenes (3–5 años) producen menos cineol que hojas maduras (≥5 años).

- **Método de extracción**: La destilación por arrastre de vapor preserva mejor los monoterpenos oxigenados que la hidrodestilación prolongada.

En el Perú, el aprovechamiento del *Eucalyptus globulus* se concentra principalmente en regiones de la sierra centro y sur, donde abundan plantaciones destinadas a madera, postes y reforestación. Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado el interés por el aprovechamiento de las hojas para obtención de aceite esencial, especialmente en Junín, Ayacucho, Cusco y Huancavelica (Natividad Mercedes, 2019). El uso de hojas frescas es frecuente debido a la facilidad de transporte y acondicionamiento, aunque esto genera variaciones en el rendimiento que deben ser evaluadas a nivel piloto antes de proponer diseños industriales.

2.1.6. Aplicaciones y relevancia industrial del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

El aceite esencial de *Eucalyptus globulus* posee una amplia relevancia industrial debido a la versatilidad de sus compuestos. Internacionalmente, es uno de los aceites más comercializados en los sectores farmacéutico, cosmético y aromático, con una demanda creciente asociada al interés por productos naturales. El 1,8-cineol es valorado por sus propiedades antimicrobianas, expectorantes, antiinflamatorias y desinfectantes, lo que explica su presencia en jarabes respiratorios, inhaladores, pomadas tópicas y soluciones aromáticas (Bakkali et al., 2008; Burt, 2004).

En la industria cosmética y de cuidado personal, este aceite es utilizado en jabones, geles, cremas, productos relajantes y mezclas de aromaterapia debido a su fragancia fresca y propiedades purificantes (Baser & Buchbauer, 2015). Además, tiene aplicaciones en la industria química como solvente verde, desinfectante natural y agente aromatizante en productos de limpieza.

En el Perú, su relevancia ha aumentado por el crecimiento de los mercados de cosmética natural, productos terapéuticos tradicionales y aceites esenciales artesanales e industriales. Empresas locales emplean aceite esencial de eucalipto para elaborar ungüentos respiratorios, bálsamos naturales, jabones artesanales, lociones relajantes y productos de aromaterapia comercializados en ferias, tiendas naturistas y plataformas digitales. Asimismo, el sector farmacéutico peruano utiliza el cineol como ingrediente activo en descongestionantes y productos de uso respiratorio (Natividad Mercedes, 2019).

El país presenta un alto potencial de producción debido a la abundancia del *Eucalyptus globulus* en zonas altoandinas. No obstante, la industrialización aún es limitada por la falta

de estudios piloto que definan parámetros de operación, optimización de variables y criterios de escalamiento. Por ello, investigaciones enfocadas en rendimiento, flujo de vapor, densidad aparente del lecho y comportamiento del material vegetal contribuyen directamente al fortalecimiento de la industria nacional y a la generación de cadenas de valor basadas en recursos forestales sostenibles (Puca Pacheco, 2024).

2.2 Antecedentes de estudio

A nivel internacional, se ha estudiado extensamente la extracción de aceites esenciales mediante arrastre de vapor. Maharaj et al. (2020) desarrollaron un modelo fenomenológico que describe la cinética de remoción de los compuestos durante la destilación, permitiendo predecir el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas. Por su parte, El-Kharraf (2022) abordaron la modelación energética del proceso, destacando la necesidad de reducir pérdidas térmicas en sistemas de escala piloto.

En América Latina, Queiroz et al. (2017) analizaron cómo el régimen de riego afecta el crecimiento y la producción de aceite de *Eucalyptus globulus*, mientras que González-Guiñez et al. (2016) determinaron la composición de aceites esenciales de especies chilenas, observando variaciones por factores climáticos. Estos estudios regionales permiten establecer un marco de comparación para los resultados obtenidos en Perú.

En el contexto nacional, diversas investigaciones han mostrado el potencial del *Eucalyptus globulus* peruano. Puca Pacheco et al. (2024) estudiaron la influencia de la masa y la humedad de las hojas en el rendimiento del aceite esencial, identificando condiciones óptimas de extracción. Gamarra Chirinos (2024) comparó dos métodos de obtención: arrastre de vapor e hidrodestilación, concluyendo que el primero genera productos de

mayor pureza y rendimiento. Asimismo, Martínez Velarde (2017) desarrolló un estudio de factibilidad para la implementación de una planta industrial de aceites esenciales en Ayacucho, planteando una alternativa económica viable para la región andina.

Lainez-Cerón, E., Jiménez-Munguía, M. T., López-Malo, A., & Ramírez-Corona, N. (2021) investigaron la influencia de variables del proceso sobre los perfiles térmicos y los mecanismos de extracción durante la hidrodestilación del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Mediante un diseño experimental, analizaron cómo la temperatura, el tamaño de partícula y la relación sólido-líquido afectan la transferencia de calor y masa, el tiempo de extracción y el rendimiento final del aceite. Los resultados mostraron que una mayor temperatura y una molienda más fina favorecen una extracción más rápida y eficiente, aunque con riesgo de degradación térmica de compuestos volátiles. El estudio concluye que el control preciso de las condiciones de hidrodestilación permite optimizar la calidad y el rendimiento del aceite esencial, aportando bases para mejorar los procesos industriales de extracción vegetal.

Milojević, S. Ž., Radosavljević, D., Pavićević, V., Pejanović, S., & Veljković, V. (2013) presentan un modelo cinético para la extracción de aceites esenciales mediante hidrodestilación, basado en fenómenos de lavado y difusión. Este modelo es útil para predecir el rendimiento del proceso en función del tiempo, lo cual contribuye al diseño eficiente de equipos de destilación.

Stanojević (2015) evalúa la cinética de extracción y la variación composicional del aceite esencial durante la hidrodestilación. El trabajo destaca la importancia del control del

tiempo y la temperatura, variables que determinan tanto la pureza como la cantidad de aceite obtenido.

Abbas (2022) compara la extracción por hidrodestilación y la extracción con CO_2 supercrítico, mostrando diferencias en rendimiento y composición. Es relevante para evaluar las ventajas y limitaciones de cada método según los objetivos de pureza y costo energético.

Sareriya (2024) emplea la metodología de superficie de respuesta (RSM) para optimizar la destilación impulsada por energía solar. Los resultados demuestran mejoras en eficiencia energética, apoyando la viabilidad de sistemas sostenibles en la producción de aceites esenciales. Además, describe el diseño y validación de un sistema de destilación a escala de laboratorio, analizando el efecto del flujo de vapor y la granulometría de la hoja. Este estudio aporta criterios prácticos para la selección de equipos y condiciones de operación.

Tyśkiewicz (2018) analiza las diferencias en composición y propiedades biológicas del aceite esencial extraído por hidrodestilación, microondas y CO_2 supercrítico. Proporciona información clave sobre cómo el método de extracción afecta la calidad final del producto.

Barbosa, (2016) elabora una revisión general sobre la variabilidad química de los aceites esenciales del género *Eucalyptus*. Aporta datos sobre cómo las condiciones agronómicas y de secado influyen en la composición del aceite, aspecto fundamental para el control de calidad.

Adams, (2007) describe el uso de GC/MS para identificar los componentes del aceite esencial. Constituye una base metodológica esencial para el análisis químico y control de pureza del producto.

Moussa, (2025) caracteriza la composición química y evalúa la actividad antimicrobiana del aceite esencial. Resalta la importancia de preservar los compuestos activos mediante un control preciso de las condiciones de extracción.

Usman, (2022) demuestra cómo el secado del material vegetal afecta la composición química y la bioactividad del aceite. Subraya la relevancia de controlar la humedad del material antes del proceso de destilación.

Hoyos (2022) compara distintos métodos de extracción desde la perspectiva del rendimiento y consumo energético. Sus hallazgos permiten definir estrategias para optimizar el balance entre eficiencia y sostenibilidad.

Pino et al. (2021) analiza variaciones en la composición química del aceite en función de la procedencia geográfica. Aporta evidencia de que el entorno climático y edáfico influye significativamente en el rendimiento y calidad del aceite.

Gamarra (2024) comparó los métodos de destilación por arrastre de vapor e hidrodestilación para extraer aceite esencial de hojas de *Eucalyptus globulus* en el distrito de Abancay-Quisapata, región Apurímac, mediante un destilador piloto de acero inoxidable. Se recolectaron 65 kg de hojas y se evaluó el rendimiento del aceite junto con su calidad fisicoquímica, bioactiva y organoléptica según normas de la AOAC, cromatografía GC-MS y Normas Técnicas Peruanas. El método por arrastre de vapor mostró un rendimiento de 0,98 % frente a 0,75 % en hidrodestilación, además de mayor concentración de 1,8-cineol (≈68,57 %) y α-pineno (≈18,66 %). En ambos métodos el producto fue de color amarillo claro a incoloro, olor intenso y sabor amargo-mentolado. Se

concluye que la destilación por arrastre de vapor es superior para optimizar la calidad y rendimiento del aceite esencial en condiciones de escala piloto en Apurímac.

Bermudo (2019) evaluó un destilador por arrastre de vapor a nivel planta piloto para extraer aceite esencial de *Eucalyptus globulus* en la región Ayacucho-Perú. Se determinaron los parámetros óptimos de operación para el equipo modular: flujo de vapor alrededor de 81.4 %, tamaño de material vegetal de 1.25 cm y altura de carga del lecho de 32 cm, con un tiempo de extracción de 60 minutos, obtención de un rendimiento máximo de aproximadamente 1.2 % aceite esencial. Además, se realizó un balance de materia y energía del proceso, identificando pérdidas térmicas y de flujo de vapor, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema.

Olascuaga-Castillo et al. (2024) analiza la extracción por hidrodestilación tipo Clevenger de cuatro especies comerciales de valor: Matricaria chamomilla, Rosmarinus officinalis, Origanum vulgare y *Eucalyptus globulus*. Mediante una revisión de artículos entre 2013 y 2023 se evalúan el origen y acondicionamiento del material vegetal, las condiciones de extracción (relación planta–agua, temperatura, tiempo), el rendimiento obtenido y la composición química de los aceites esenciales. Los autores identifican que la calidad y el rendimiento dependen significativamente de factores como la región de origen, la parte de la planta usada, el secado y los parámetros de extracción, y concluyen que optimizar estos factores es clave para obtener aceites esenciales de alta calidad.

Según Puca (2025) la masa y la humedad de material vegetal influyen en el rendimiento de la extracción por vapor. A medida que disminuye la humedad de las hojas, se favorece una mayor liberación de compuestos volátiles, optimizando la transferencia de masas y el rendimiento del aceite.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Destilación por arrastre de vapor

En esta técnica, el vapor atraviesa el lecho de hojas, permitiendo arrastrar los compuestos volátiles sin alcanzar temperaturas que causen su degradación térmica. El principio fundamental es que la mezcla de vapor de agua y aceite esencial reduce la presión total requerida para la vaporización, evitando sobrecalentamiento.

La cantidad de vapor suministrado regula la velocidad de extracción, la ruptura celular, la transferencia de masa y el rendimiento final. Un exceso de vapor disminuye la concentración de aceite en fase gaseosa y reduce la eficiencia; un flujo insuficiente limita la difusión interna**.**

2.3.2. Variables de operación en la extracción de aceites esenciales

2.3.2.1. Flujo de vapor

El flujo de vapor constituye una de las variables de operación más relevantes en la destilación por arrastre de vapor, debido a su influencia directa sobre la capacidad de arrastre de los compuestos volátiles y la eficiencia de la transferencia de masa. Flujos insuficientes limitan la volatilización del aceite esencial, mientras que flujos excesivos reducen el tiempo efectivo de contacto vapor–material vegetal y aumentan el consumo energético del proceso (Cassel y Vargas, 2006; Masango, 2005)**.**

El flujo de vapor se determinó de forma indirecta tomando en cuenta la siguiente expresión**:**

$$\dot{m}_v = \frac{m_{cond}}{t}$$

Donde**:**

- $\dot{m}_v$ = flujo de vapor ($kg \cdot h^{-1}$)

- m_{cond} = masa de condensado recolectado (kg)
- t = tiempo de recolección (h).

El condensado fue medido en términos de volumen, asumiéndose una densidad del agua igual a 1 kg·L⁻¹, por lo que**:**

$$m_{cond} \approx V_{cond}$$

Permitiendo expresar el flujo de vapor directamente en función del volumen de condensado recolectado.

2.3.2.2 Densidad aparente del lecho

La densidad aparente del lecho vegetal se define como la relación entre la masa de material vegetal cargada y el volumen que ocupa dentro de la cámara de extracción. Esta variable condiciona la porosidad del lecho y la resistencia al paso del vapor, influyendo directamente en la caída de presión y en la eficiencia del proceso (Cassel y Vargas, 2006).

Ramos y Pérez (2021) señalan que densidades aparentes elevadas provocan compactación del lecho y reducción de la transferencia de masa, mientras que densidades muy bajas favorecen el canalizado del vapor.

La densidad aparente de lecho vegetal se puede definir como**:**

$$\rho_{ap} = \frac{m_{material}}{V_{lecho}}$$

Donde**:**

- ρ_{ap} = densidad aparente del lecho (kg·L^{-1}) ó (g·mL^{-1})
- $m_{material}$ = masa del material vegetal (kg) ó (g)
- V_{lecho} = volumen ocupado por el material en la cámara de extracción (L) ó (ml).

2.3.2.3 Tiempo de extracción:

El tiempo de operación o tiempo de extracción está asociado a la cinética de liberación de los compuestos volátiles durante el proceso de destilación. La curva típica de extracción presenta una fase inicial rápida, seguida de una etapa logarítmica con disminución progresiva del rendimiento. La mayor parte del aceite se obtiene durante los primeros minutos del proceso, mientras que la etapa final es más lenta y menos eficiente en términos.

2.3.2. 3.a. Criterio de finalización de la extracción:

En los procesos de extracción de aceites esenciales por destilación por arrastre de vapor, el punto de corte del proceso típicamente se define con base en la cinética de extracción, es decir, observando cómo varía la tasa de recuperación del aceite con el tiempo de operación. Estudios de modelado cinético han demostrado que la extracción de compuestos volátiles presenta un comportamiento característico en el que la tasa de extracción es alta al inicio y disminuye progresivamente conforme avanza el proceso, tendiendo hacia una meseta cuando la mayor parte de los compuestos extraíbles han sido liberados desde la fase sólida (Milojević et al., 2009). En este contexto, el criterio de corte se establece al alcanzar un volumen constante, que muestran la disminución significativa del volumen de aceite obtenido, lo cual permite decidir objetivamente el término de la destilación sin depender de observaciones subjetivas durante la operación.

2.3.2.4 Humedad del material vegetal

Pacheco et al. (2024) demostraron que variaciones en el contenido de humedad afectan el rendimiento del aceite esencial extraído. Asimismo, diversos estudios a nivel piloto reconocen que la humedad del material vegetal es una variable difícil de controlar estrictamente, por lo que suele mantenerse bajo condiciones similares de manejo y

almacenamiento del material vegetal fresco (Masango, 2005). En estudios de campo realizados con *Eucalyptus globulus*, se han reportado contenidos de humedad en hojas frescas que varían aproximadamente entre 42 % y 53 %, dependiendo de la edad del follaje y de las condiciones ambientales, valores que representan rangos reales de humedad presentes en esta especie (Fikremariam et al.**,** 2019)**.**

2.3.2.5. Tamaño del material vegetal

El tamaño del material vegetal influye en la eficiencia de la extracción de aceites esenciales, ya que determina el área de contacto entre el vapor y la superficie del sólido, así como la resistencia interna a la transferencia de masa.

No obstante, diversos estudios a nivel piloto señalan que, cuando el material vegetal se presenta en forma de hojas enteras o ligeramente fragmentadas y con características geométricas similares, la influencia del tamaño de este material vegetal puede considerarse secundaria frente a otras variables de operación, siendo suficiente su control operativo mediante selección visual, sin necesidad de cuantificación detallada (Masango, 2005; Pacheco et al., 2024).

2.3.2.6. Temperatura y presión

La temperatura del vapor se fija a la presión de trabajo (presión barométrica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias-FQIQ**:** 756 mm-Hg) cercana a los 100°C, garantizando la volatilización del aceite sin degradación térmica. En sistemas cerrados, la presión puede utilizarse para aumentar la eficiencia del arrastre y reducir tiempos de operación. En la mayoría de los estudios piloto de destilación por arrastre de vapor, el proceso se lleva a cabo a presión cercana a la atmosférica, debido a razones de seguridad, simplicidad operativa y representatividad industrial (Reverchon y De Marco, 2006)**.**

2.3.2.7. Potencia de generación de vapor

La potencia de generación de vapor está relacionada con la energía suministrada al sistema para producir el vapor necesario para el arrastre de los compuestos volátiles. Si bien la potencia no siempre se considera una variable de operación directa, actúa como un parámetro operativo que condiciona el flujo de vapor generado (Masango, 2005).

En equipos piloto, la potencia eléctrica disponible limita el rango de flujos alcanzables y, por tanto, debe ser considerada al momento de definir los rangos operativos. Cassel y Vargas (2006) señalan que mantener una potencia estable contribuye a la reproducibilidad del proceso, mientras que variaciones no controladas pueden introducir inestabilidad en el régimen de extracción.

2.3.3 Principios de transferencia de masa aplicados

La extracción por vapor se rige por fenómenos de difusión y convección entre la fase sólida (hojas) y la fase gaseosa (vapor). La difusión interna es limitada por la estructura celular de la planta, mientras que la transferencia externa depende de la velocidad del vapor y del gradiente de concentración aceite–vapor.

El modelo matemático más común para describir la cinética de extracción es de tipo logarítmico o pseudo-primer orden, lo cual coincide con curvas donde el rendimiento aumenta rápidamente al inicio y luego se estabiliza.

2.3.4. Diseño del sistema de extracción

El diseño considera los siguientes elementos principales**:**

- Alambique o cámara de extracción.
- Fuente de generación de vapor**:** Generador de vapor

- Sistema de conducción y distribución dentro del lecho.
- Condensador de alta eficiencia**:** Condensador de doble tubo
- Florentino o separador de fases**.**

Los parámetros críticos incluyen dimensiones de la cámara, distribución del vapor, espesor del lecho, pérdidas térmicas, eficiencia del condensador y materiales de construcción resistentes a la corrosión.

2.3.5. Calidad del aceite esencial

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas suelen incluir densidad, índice de refracción, color, viscosidad absoluta y composición mediante cromatografía. La calidad depende tanto del material vegetal como de las condiciones operativas y del diseño del sistema. Alteraciones en la temperatura o tiempo excesivo pueden oxidar o degradar terpenos sensibles.

2.3.6 Determinación de rendimiento de extracción de aceite esencial

Para la siguiente investigación, se determinó el rendimiento en base volumen/masa, es decir, el volumen (ml) de aceite esencial extraído sobre la carga del material vegetal(g).

$$R(\%) = \frac{V_{aceite}}{m_{material}} \times 100$$

Donde**:**

- $R =$ rendimiento de extracción (% v/m)
- $V_{aceite} =$ volumen del aceite esencial obtenido (ml)
- $m_{carga} =$ masa de material vegetal procesado (g).

2.3.7 Determinación de rendimiento de energético del proceso de extracción (RE)

El rendimiento energético relaciona la cantidad de producto obtenido con la energía consumida durante el proceso de extracción, permitiendo analizar la eficiencia del uso de recursos energéticos y comparar distintas condiciones operativas (Masango, 2005; Montgomery, 2020).

En procesos de destilación por arrastre de vapor a escala piloto, este indicador se emplea para identificar regímenes de operación que permitan maximizar la recuperación de aceite con un consumo energético razonable, sirviendo como base para análisis técnico-económicos preliminares (Cassel & Vargas, 2006; Bermudo Crespo, 2019).

El rendimiento energético puede expresarse como:

$$RE = \frac{m_{aceite}}{E_{consumida}} \text{ o } \qquad RE = \frac{V_{aceite}}{E_{consumida}}$$

Donde:

- $RE =$ rendimiento energético (kg aceite·kWh^{-1} o mL aceite ·kWh^{-1})
- $m_{aceite} =$ masa de aceite esencial obtenida (kg)
- V_{aceite} = volumen de aceite esencial obtenido (mL)
- $E_{consumida} =$ energía eléctrica consumida durante el proceso (kWh)

La energía consumida se calcula como:

$$E_{consumida} = P \cdot \text{t}$$

Donde:

- $P =$ potencia eléctrica del sistema (kW)
- $t =$ tiempo de operación (h).

2.4. Definición de términos

Aceite esencial: Mezcla compleja de compuestos volátiles producidos por las plantas aromáticas. En el caso del eucalipto, su componente mayoritario es el 1,8-cineol, con propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias**.**

1,8-cineol: Monoterpeno que actúa como marcador de calidad del aceite esencial de *Eucalyptus globulus***,** utilizado en las industrias farmacéutica, cosmética y de higiene. **Arrastre de vapor:** Proceso físico en el que se hace pasar vapor de agua a través del material vegetal para arrastrar los compuestos volátiles sin degradarlos.

Hidrodestilación: Técnica de extracción en la que el material vegetal se somete a molienda y se sumerge con el agua**,** entrando el agua en ebullición, liberando los compuestos volátiles que luego se condensan junto con él agua**.**

Transferencia de masa: Fenómeno físico que describe el movimiento de moléculas desde zonas de mayor concentración hacia zonas de menor concentración. **Difusión interna:** Movimiento de compuestos dentro de los poros del material vegetal (intrapartícula) hacia su superficie**.**

Equilibrio de fases: Estado en el que las composiciones de las fases líquida y vapor permanecen constantes para un sistema dado. Variables de operación: Parámetros del proceso que determinan su eficiencia, como la temperatura, la presión, la razón vapor/biomasa, el tamaño de partícula y el tiempo de residencia**.**

Intensificación de procesos: Estrategias para aumentar la eficiencia de la extracción, reducir tiempos de proceso y minimizar el consumo energético, como el uso de microondas o ultrasonido**.**

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

- Existe un valor del flujo de vapor (entre 1.0 y 2.0 kg/h) que maximiza el rendimiento de extracción de aceite esencial de *Eucalyptus globulus*, manteniendo constante la densidad aparente del lecho

3.1.2. Hipótesis Específicas

- El rendimiento de extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* aumenta proporcionalmente con el flujo de vapor hasta alcanzar un punto máximo, después del cual se estabiliza o disminuye.
- Una densidad aparente del lecho comprendida entre 0.16 y 0.20 $kg \cdot L^{-1}$ favorece una mayor eficiencia en la transferencia de masa, resultando en mayores rendimientos de extracción.
- El tiempo de extracción requerido para alcanzar la mayor recuperación de aceite esencial se sitúa alrededor de los 70 a 80 minutos, a partir de los cuales el incremento del rendimiento es marginal y poco significativo.

3.2. Variables

3.2.1. Variables dependientes

Son las variables que se miden como resultado del efecto de las variables independientes.

- **Rendimiento de aceite esencial**
  - Expresado como el volumen o masa de aceite obtenido respecto a la masa de hojas procesada.
  - Es la variable principal para evaluar la eficiencia del proceso.

❖ **Tiempo total de extracción**

- Tiempo requerido para alcanzar el punto de agotamiento del aceite, determinado experimentalmente.
- Directamente influenciado por el flujo de vapor y la densidad aparente del lecho.

3.2.2. Variables Independientes

Son las variables que se modifican o controlan durante el proceso de extracción a nivel piloto.

Variables independientes:

❖ **Flujo de vapor**

- Corresponde a la cantidad de vapor que atraviesa el lecho de hojas durante la destilación por arrastre de vapor.
- Se evaluará en diferentes niveles para determinar su efecto en el rendimiento y el tiempo de extracción.
- El flujo se obtuvo mediante el uso de resistencias eléctricas de 2 kW y 4.5 kW, empleadas como medio operativo para generar distintos regímenes de vapor.

❖ **Densidad aparente del lecho de hojas**

- Determinada por el grado de compactación del material vegetal dentro del equipo piloto.

3.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Nº	Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Unidad	Instrumento / método	Rango
1	Flujo de vapor	Independiente	Caudal másico o volumétrico de vapor que atraviesa el lecho y condiciona la transferencia de masa y calor.	Medido por volumetría; 1–5 flujos registrados.	$kg \cdot h^{-1}$	Volumetría del condensado.	1–5 $kg \cdot h^{-1}$
2	Densidad aparente del lecho	Independiente	Masa de biomasa por unidad de volumen aparente; afecta porosidad y caída de presión.	M/V con balanza y volumen estándar.	$kg \cdot L^{-1}$	Balanza.	0.15–0.25 $kg \cdot L^{-1}$
3	Rendimiento de aceite esencial	Dependiente	Proporción de aceite recuperado respecto a masa seca procesada.	Rendimiento (%) = (V. aceite/W. muestra fresca) × 100.	%	Balanza analítica, florentino separador de fases.	1.0–2.0 %
4	Tiempo de extracción	Dependiente	Duración desde inicio hasta punto de corte.	Registro con cronómetro.	min	Cronómetro digital	60–90min
—	Humedad del material vegetal	Control (no evaluada)	Contenido de humedad presente en el material vegetal que puede influir en la transferencia de masa durante la extracción.	Cuantificada mediante balanza de humedad	—	Control operativo del material vegetal.	54% - 58% de humedad

—	Hoja entera	Control	Dimensión característica del material vegetal que influye en el área de contacto vapor–sólido.	Controlado de manera cualitativa mediante selección visual de hojas enteras con características geométricas similares	--	Inspección visual	Relativamente uniforme
—	Presión de operación	Control	Presión del sistema durante el proceso de destilación por arrastre de vapor.	Se mantuvo sin variaciones deliberadas, operando con descarga abierta y sin presurización del sistema.	atm	Barómetro	Aproximadamente 1 atm

Nota. Elaboración propia.

Diversos estudios a escala piloto han reportado rangos de flujo de vapor comprendidos aproximadamente entre 0.6 y 5.5 $kg \cdot h^{-1}$, dependiendo de la capacidad del generador de vapor y del diseño del equipo. Bermudo Crespo (2019), en una tesis desarrollada con un sistema piloto de características similares, identificó flujos entre 0.65 y 5.24 $kg \cdot h^{-1}$ para la extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor. En concordancia con estos antecedentes y considerando la capacidad máxima del generador de vapor y la resistencia adecuada para el presente estudio, se definió un rango operativo de flujo de vapor de 0.58 a 5.24 $kg \cdot h^{-1}$.

Bermudo Crespo (2019) reportó densidades aparentes comprendidas entre 0.14 y 0.26 $kg \cdot L^{-1}$ para el material vegetal en sistemas piloto. En base a estos estudios y a la geometría del equipo utilizado, en la presente investigación se consideró un rango de densidad aparente de 0.15 a 0.27 $kg \cdot L^{-1}$, en función a la configuración del equipo y la carga utilizada.

Hosseini et al. (2019) reportaron que entre el 70 y 85 % del aceite esencial se extrae durante los primeros 60 a 90 minutos de destilación por arrastre de vapor. En función de estos antecedentes y de pruebas operativas preliminares, se adoptó en el presente estudio un rango de tiempo de operación de 60 a 90 minutos, adecuado para evaluaciones a nivel piloto.

El rango esperado de rendimiento del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* establecido en la presente investigación (1–2 %) se fundamentó en valores ampliamente reportados en la literatura para procesos de destilación por arrastre de vapor a escala piloto utilizando hojas frescas de *Eucalyptus globulus*. Estudios previos indican que los rendimientos obtenidos para esta especie suelen ubicarse dentro de este intervalo bajo condiciones

operativas comparables. Oussalah et al. (2016) reportaron rendimientos comprendidos entre 1.05% y 2.68%, mientras que Shiferaw et al. (2019) obtuvieron valores entre 0.95% y 1.32% al evaluar la influencia del estado del material vegetal. Asimismo, Cassel y Vargas (2006) señalan que, en sistemas piloto de destilación por arrastre de vapor, los rendimientos más representativos y reproducibles para *Eucalyptus globulus* se concentran alrededor del 1 al 2%, considerando la variabilidad natural del material vegetal. En base a estos antecedentes, el intervalo seleccionado se considera realista y técnicamente justificable para la evaluación del proceso a nivel piloto.

La presión del sistema y la humedad del material vegetal (hojas frescas) fueron consideradas parámetros de control del proceso y no variables de estudio. En consecuencia, sus rangos esperados corresponden a condiciones operativas típicas del proceso de destilación por arrastre de vapor a nivel piloto, manteniéndose lo más constantes posible durante las corridas experimentales, con el fin de aislar el efecto de las variables principales de estudio. Aunque la literatura reporta que la humedad del material vegetal influye en el rendimiento de extracción de aceites esenciales (Puca Pacheco et al., 2024), en la presente investigación el material vegetal no fue sometido a secado, se trabajó como material fresco con una humedad promedio de 58%**.**

Considerando que las variables significativas del proceso son el flujo de vapor y la densidad aparente de lecho de hojas, se utilizó un módulo de control de potencia para fijar el flujo de vapor en función al porcentaje de la potencia de trabajo; y la densidad aparente se generó en función a la carga de materia prima**.**

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de Estudio

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Investigación de Ingeniería Química, donde se dispone de un equipo de arrastre con vapor diseñado por el Ing. Pedro Romero y Otiniano, adecuado para estudios de extracción de aceites esenciales a nivel piloto.

El trabajo experimental se desarrolló en distintas sesiones a lo largo del período de estudio, concentrándose principalmente entre la última semana del mes de septiembre y la última semana del mes de octubre de 2025. Asimismo, se realizaron corridas experimentales adicionales en etapas posteriores, comprendidas entre la última semana de diciembre de 2025 y las primeras semanas de enero de 2026, con el propósito de evaluar la reproducibilidad de determinados casos representativos. En todas las etapas se mantuvieron constantes el equipo utilizado, la metodología de operación y los criterios de medición, garantizando la comparabilidad y consistencia de los resultados obtenidos.

4.2. Diseño de Investigación

La investigación presenta un diseño experimental con enfoque cuantitativo, orientado a evaluar el efecto de las variables operativas sobre el rendimiento de extracción de aceite esencial de *Eucalyptus globulus* a nivel piloto.

4.3. Población

La población estuvo constituida por el material vegetal de *Eucalyptus globulus* disponible en la zona de Ancash, correspondiente a hojas provenientes de árboles adultos con características botánicas similares. Esta población comprende el conjunto total de hojas frescas potencialmente utilizables para la obtención de aceite esencial mediante el proceso

de destilación por arrastre de vapor, las cuales presentan variabilidad natural en cuanto a tamaño, estado físico y contenido de humedad, propia de un recurso vegetal. De acuerdo con la literatura, las hojas representan la principal fuente de aceite esencial en esta especie, por lo que su selección resulta adecuada para estudios a nivel piloto orientados a la evaluación de variables operativas del proceso. (Cassel & Vargas, 2006)**.**

4.4. Muestra

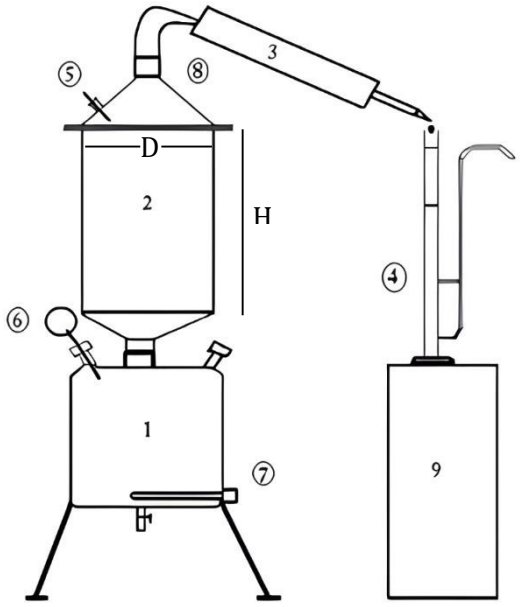
La muestra estuvo conformada por hojas frescas de *Eucalyptus globulus* seleccionadas de la población definida, las cuales fueron deshojadas manualmente y escogidas mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, considerando criterios operativos de homogeneidad. Las hojas utilizadas presentaron un tamaño y estado físico similar, fueron procesadas en un período máximo de tres días posteriores a la cosecha y no recibieron tratamientos de secado artificial, con el fin de mantener condiciones comparables de humedad entre corridas experimentales**.**

4.5. Procedimientos, Técnicas e Instrumentación

4.5.1. Descripción del Equipo

El procedimiento seguido para realizar las experiencias para este análisis y recolección de resultados, se utilizó el siguiente equipo de extracción**:**

Figura 2: Equipo de extracción de aceites esenciales con vapor saturado



Nota: Adaptado de Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 15 N.º 2, 2012. Pág. 23.

LEYENDA:

1. Calderín, con un volumen de 14 litros.
2. Alambique extractor aislado con fibra de vidrio, 17 L de capacidad neto.
3. Condensador de doble tubo, flujos en contracorriente.
4. Florentino separador de fases, en vidrio Pírex.
5. Conector para Termocupla
6. Manómetro
7. Resistencia Eléctrica: 2000 W.
8. Tapa Cónica Bridada y Cierre Hidráulico conectado al Condensador
9. Soporte de florentino

(H=Altura de alambique, D=Diámetro del alambique)

Tabla 2: Dimensiones del Alambique

	Equipo 1	Equipo 2
H(cm)	47	50
D(cm)	21.5	21

Nota: Elaboración propia

4.5.2 Preparación del material vegetal

1. Recolección de hojas frescas de *Eucalyptus globulus*.
2. Deshojado de las ramas
3. Pesaje del material en balanza digital.

4.5.3 Montaje del sistema

1. Verificación de conexiones entre**:**
   Generador de vapor → Alambique de extracción → Condensador de doble tubo → Florentino separador de fases
2. Verificación de hermeticidad y seguridad.
3. Llenado de agua potable en el generador de vapor.
4. Colocación del material vegetal en el alambique.

4.5.4 Procedimiento de extracción

1. Encendido del generador de vapor.
2. Inicio del cronometraje a las primeras gotas en el condensador.
3. Desarrollo de la etapa de extracción según el tiempo experimental asignado.
4. Recolección del destilado (mezcla agua-aceite) en el separador florentino.
5. Ajusto del agua de refrigeración en el condensador de doble tubo.
6. Medición del volumen de aceite recuperado.
7. Registro del caudal de vapor.

4.5.5 Almacenamiento

El aceite esencial obtenido se almacenó en frascos ámbar para evitar degradación por luz y oxidación. Se conservaron en refrigeración (±5 °C).

4.5.6 Consideraciones operativas del proceso

Las consideraciones operativas adoptadas durante el desarrollo experimental del proceso de extracción de aceite esencial se establecieron con base en criterios reportados en la literatura para estudios a nivel piloto de destilación por arrastre de vapor. Para esta investigación fue complicado conseguir la disponibilidad del laboratorio y el material vegetal homogéneo por lo que se realizó 8 corridas que permitieron establecer la repetibilidad de las corridas más significativas. En consecuencia, la reproducibilidad se evaluó de manera indirecta mediante la consistencia de las relaciones observadas entre las variables de operación estudiadas (flujo de vapor y densidad aparente del lecho) y las variables de respuesta (rendimiento del aceite esencial y tiempo de extracción), enfoque ampliamente utilizado en estudios exploratorios a escala piloto.

Por otro lado, la literatura señala que, en equipos piloto de destilación por arrastre de vapor, la potencia de generación de vapor suele emplearse como un parámetro operativo auxiliar para alcanzar determinados flujos (Masango, 2005). En este contexto, el sistema utilizado en la presente investigación operó mediante un controlador electrónico de potencia integrado al equipo, el cual permitió trabajar con niveles de potencia sin modificar la resistencia 2.0 kW siendo parte del diseño del sistema. Dicho controlador fue calibrado y previamente verificado mediante pruebas experimentales, observándose un régimen estable de generación de vapor para cada nivel de potencia seleccionado, procedimiento

habitual en estudios piloto orientados al análisis de tendencias del proceso (Cassel y Vargas, 2006).

El control del flujo de vapor se realizó de manera indirecta mediante la medición del volumen de condensado recolectado por unidad de tiempo, método ampliamente empleado en equipos piloto de destilación por arrastre de vapor ante la ausencia de medidores de flujo específicos.

La recolección de la materia vegetal (hojas y ramas de *Eucalyptus globulus*) se realizó por lotes de aproximadamente 10kg, sometiéndose luego al deshojado quedando cerca del 50% (5kg de hojas), con una humedad promedio de 56%, la cual se determinó utilizando una balanza de humedad.

4.6. Análisis Estadístico

Se determinó que las variables significativas a procesar son el flujo de vapor y la densidad aparente del lecho del material vegetal teniendo un efecto directo sobre las variables dependientes, el rendimiento de aceite esencial y tiempo de extracción.

Para ello, se usaron las 19 corridas experimentales, con el objetivo de explicar cómo afectan las variables de proceso al rendimiento y el tiempo de operación.

En el generador de vapor se trabajó con una resistencia de 2 kW (nominal) utilizando un módulo de control de potencia para trabajar con diferentes flujos de vapor, pero utilizando una misma resistencia.

Se realizaron 2 pruebas utilizando una resistencia de 4.5 kW para ver el efecto de un alto flujo (5.240 kg vapor/h) con el fin de observar el rendimiento y el tiempo de operación.

V. RESULTADOS

Tabla 3: Resumen de resultados de las corridas experimentales

N° corrida	W: (kg)	Flujo: (kg/h)	Potencia: (kW)	Rendimiento: (%)	Tiempo: (min)	D. aparente: ($kg \cdot L^{-1}$)
1	3.200	5.182	4.5 (100%)	1.96	66	0.1875
2	3.900	0.952	2.0 (60%)	1.28	80	0.2252
3	3.400	5.240	4.5 (100%)	1.79	75	0.1993
4	1.976	0.750	2.0 (50%)	1.44	85	0.1814
5	3.086	0.952	2.0 (60%)	1.30	80	0.1896
6	2.020	0.923	2.0 (60%)	1.34	70	0.1818
7	2.258	0.972	2.0 (60%)	1.73	90	0.1829
8	1.870	1.296	2.0 (80%)	1.74	70	0.1746
9	1.832	0.650	2.0 (40%)	1.15	80	0.1771
10	1.742	1.142	2.0 (80%)	1.44	90	0.1745
11	2.000	2.140	2.0 (100%)	1.15	95	0.1933
12	3.086	2.160	2.0 (100%)	1.46	92	0.1954
13	2.000	1.875	2.0(100%)	1.55	90	0.1722
14	1.870	1.268	2.0 (80%)	1.18	90	0.1543
15	3.086	0.837	2.0 (60%)	1.17	90	0.2130
16	1.976	0.581	2.0 (50%)	1.37	90	0.1678
17	1.870	1.395	2.0 (80%)	1.39	90	0.1610
18	2.000	2.045	2.0 (100%)	1.25	90	0.1750
19	3.086	0.766	2.0 (60%)	0.94	95	0.2742

Nota: Elaboración propia

5.1. Determinación de flujo de vapor

Para los flujos de vapor de 0.650 y 0.766 kg/h y con densidades aparentes de 0.1771 y 0.2742 kg/L respectivamente, se lograron los menores rendimientos (1.15% y 0.94%).

Se determinó que el mayor rendimiento se obtuvo con los más altos flujos de vapor (5.182 y 5.240 kg/h) obteniéndose 1.96 y 1.79 respectivamente como rendimiento ((V. aceite / W hoja) x 100).

5.2. Determinación de la densidad aparente

El rango de la densidad aparente se dio entre 0.1543 a 0.2742, estas densidades se obtuvieron al cargar el material vegetal en el alambique tratando de no compactarla excesivamente, para la carga de 3.086 kg se obtuvo la máxima densidad aparente (0.2742) y para la carga de 1.870 kg se obtuvo la menor densidad (0.1543).

5.3. Determinación del rendimiento

El rendimiento del aceite es directamente proporcional al flujo de vapor e inversamente proporcional a la densidad aparente, para el flujo en operación de 0.650 kg/h y 0.766 kg/h se obtuvieron los rendimientos mínimos de 1.15% y 0.94%; esto se explica por la densidad aparente respectivamente (0.1771 y 0.2742 kg/L). Para los dos flujos mayores (5.182 y 5.240 kg/h) se obtuvieron los mayores rendimientos (1.96 y 1.79%).

5.4. Determinación del tiempo

Con respecto al tiempo de operación, este se encuentra relacionado con el flujo de vapor, para valores mínimos de dicho flujo se requiere un mayor tiempo de operación para obtener un rendimiento adecuado (0.972 kg/h, 90 min.), obteniéndose un rendimiento de 1.73%. Por ejemplo, para un flujo de 1.296 kg/h se obtuvo el máximo rendimiento de 1.74% en 70 minutos.

5.5. Balance de materia y energía

En cada corrida se fijó la potencia de trabajo; por ejemplo, en la corrida N°8 se trabajó al 80% de la potencia de 2.0 kW, determinándose un flujo de vapor de 1.296 kg/h. Para establecer estos valores se realizó un balance de energía y masa, procedimiento que se aplicó de manera similar en cada una de las corridas realizadas.

Tabla 4: Cálculo Consumo Energético por Corrida

N°	Carga materia vegetal	Flujo	Potencia Total Nominal	Frac. Potencia	Potencia Real	Rendimiento	Tiempo	Energía eléctrica consumida	V. aceite por carga	Rend. Energético	Costo por corrida
	(kg)	(kg/h)	(kW)	%	(kW)	(%)	(min)	kWh	mL aceite	mL. aceite /kWh	S/
2	3.900	0.952	2	60	1.01	1.28	80	1.340	49	36.55	0.830
4	1.976	0.750	2	50	0.84	1.44	85	1.190	29	24.38	0.737
5	3.086	0.952	2	60	1.01	1.3	80	1.340	40	29.84	0.830
6	2.020	0.923	2	60	1.01	1.34	70	1.173	27	23.02	0.726
7	2.258	0.972	2	60	1.01	1.73	90	1.508	39	25.86	0.934
8	1.870	1.296	2	80	1.36	1.74	70	1.583	33	20.84	0.980
9	1.832	0.650	2	40	0.69	1.15	80	0.920	22	23.92	0.569
10	1.742	1.142	2	80	1.36	1.44	90	2.036	25	12.28	1.261
11	2.000	2.140	2	100	1.69	1.15	95	2.682	23	8.580	1.661
12	3.086	2.160	2	100	1.69	1.46	92	2.597	45	17.32	1.608
13	2.000	1.875	2	100	1.69	1.55	90	2.541	31	12.20	1.573
14	1.870	1.268	2	80	1.36	1.18	90	2.036	22	10.81	1.261
15	3.086	0.837	2	60	1.01	1.17	90	1.508	36	23.87	0.934
16	1.976	0.581	2	50	0.84	1.37	90	1.260	27	21.44	0.780
17	1.870	1.395	2	80	1.36	1.39	90	2.036	26	12.77	1.261
18	2.000	2.045	2	100	1.69	1.25	90	2.541	25	9.840	1.573
19	3.086	0.766	2	60	0.84	0.94	95	1.330	29	21.81	0.823

Nota: Elaboración propia

Tabla 5: Cálculo de consumo de agua de refrigeración en la corrida N°17

Flujo Refrig.	Temp. Conden.	Agua x Tiempo (90min)	Vol. Aceite
kg/h	°C	L	mL
501.0	26	751.5	26
76.5	34	114.75	26
14.15	40	21.23	26
11.4	48	17.10	26
10.78	50	16.17	26

Nota: Elaboración propia

La mayoría de las corridas se trabajó entre 25°C y 26°C y el consumo resultó alrededor de 500 kg de agua/h**;** se trató de reducir el consumo de agua en función a la temperatura de condensado**.** Variando la temperatura del condensado a 34°C, se redujo significativamente el flujo de agua de refrigeración a 76.5 kg agua/h**;** a 40°C se redujo a 14.15 kg de agua/h y se trabajó con este valor a lo largo del proceso**,** ahorrando una cantidad de agua considerable.

El punto de ebullición del aceite esencial promedio es 165°C, por lo que el aumento de temperatura en el condensado (40°C) no ocasiono ninguna vaporización; pero si un ahorro significativo en el agua de refrigeración, de 500 kg/h a 14.15 kg agua/h.

Gráfico N°1: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°1)

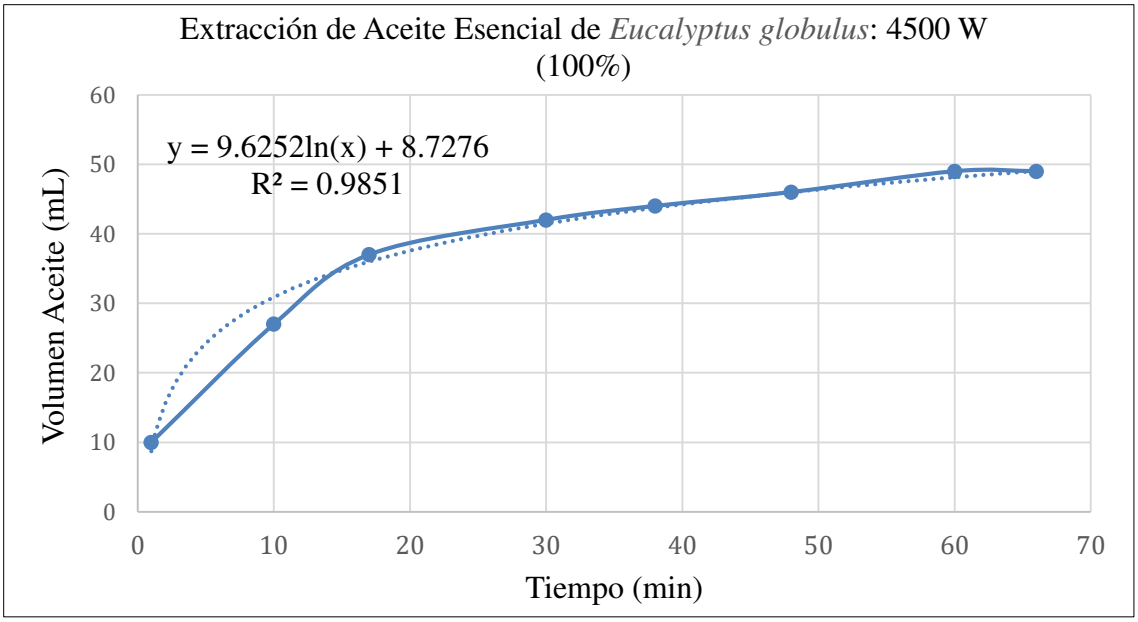
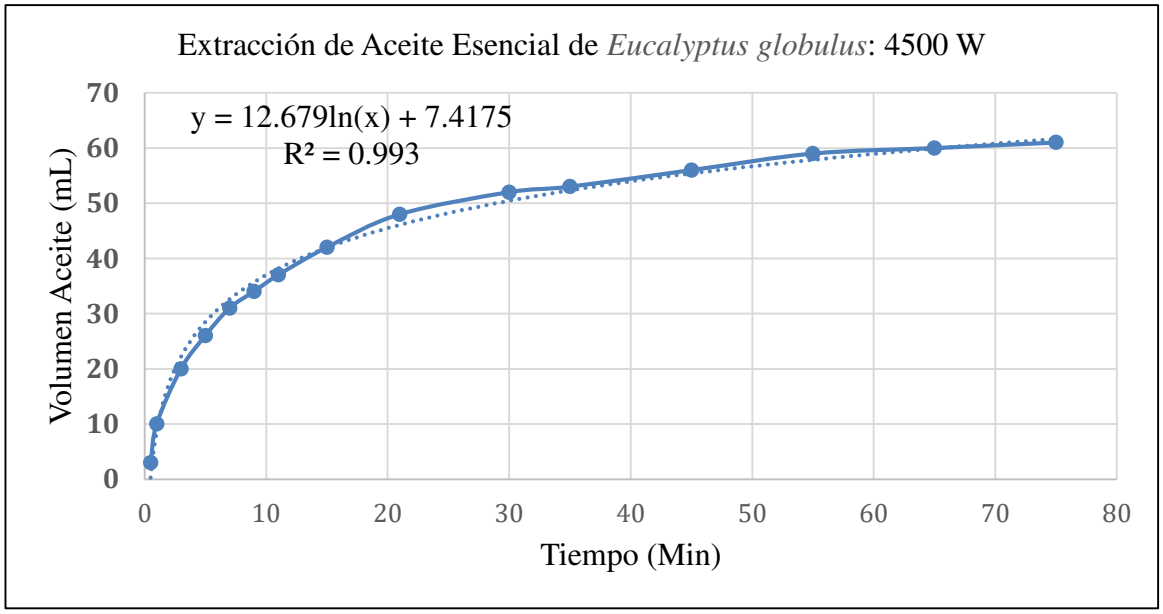


Gráfico N°2: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°3)



Las gráficas N°1 y N°2, que corresponde a las corridas N°1 y N°3, se trabajó con una potencia de 4.5 kW para lograr un flujo de vapor superior a 5 kg/h, obteniéndose con estos flujos los máximos rendimientos (1.96% y 1.79%).

Las siguientes gráficas se trabajaron con una potencia eléctrica de 2.0 kW a diferentes porcentajes de aprovechamiento de la potencia mencionada**.**

Gráfico N°3: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°2)

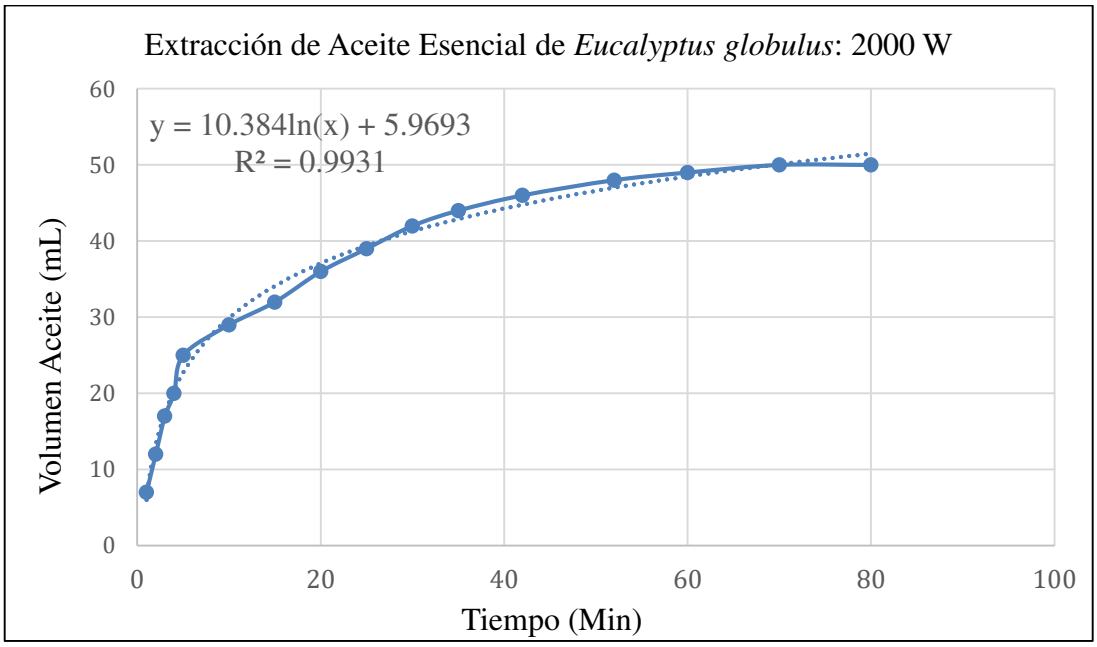


Gráfico N°4: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°4)

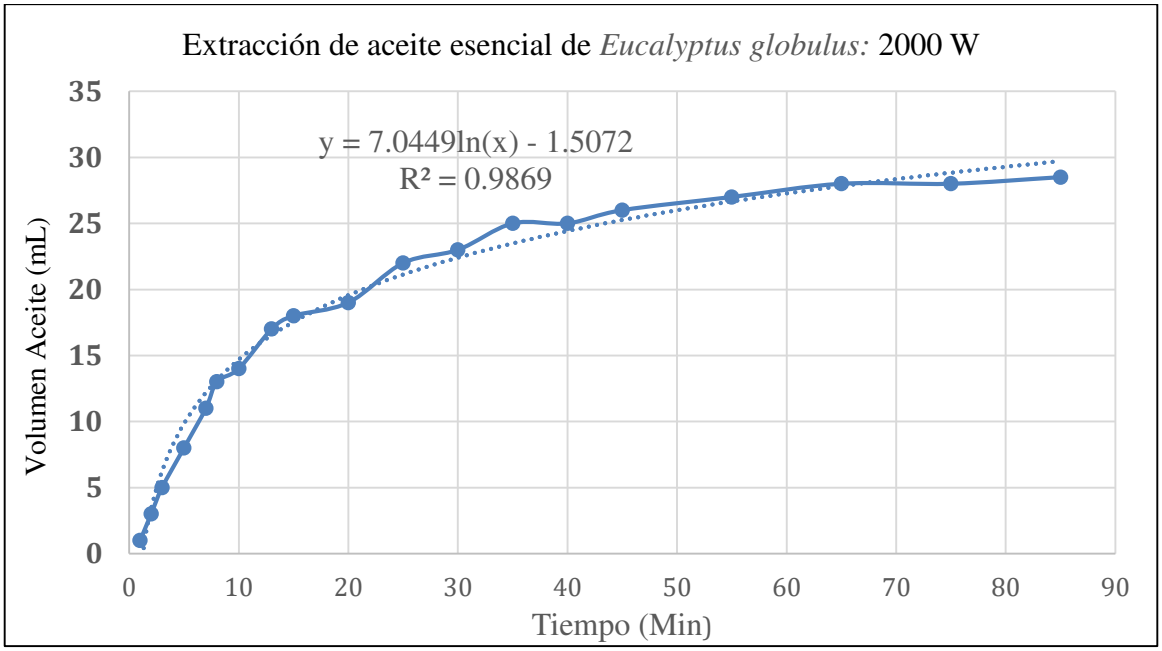


Gráfico N°5: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°5)

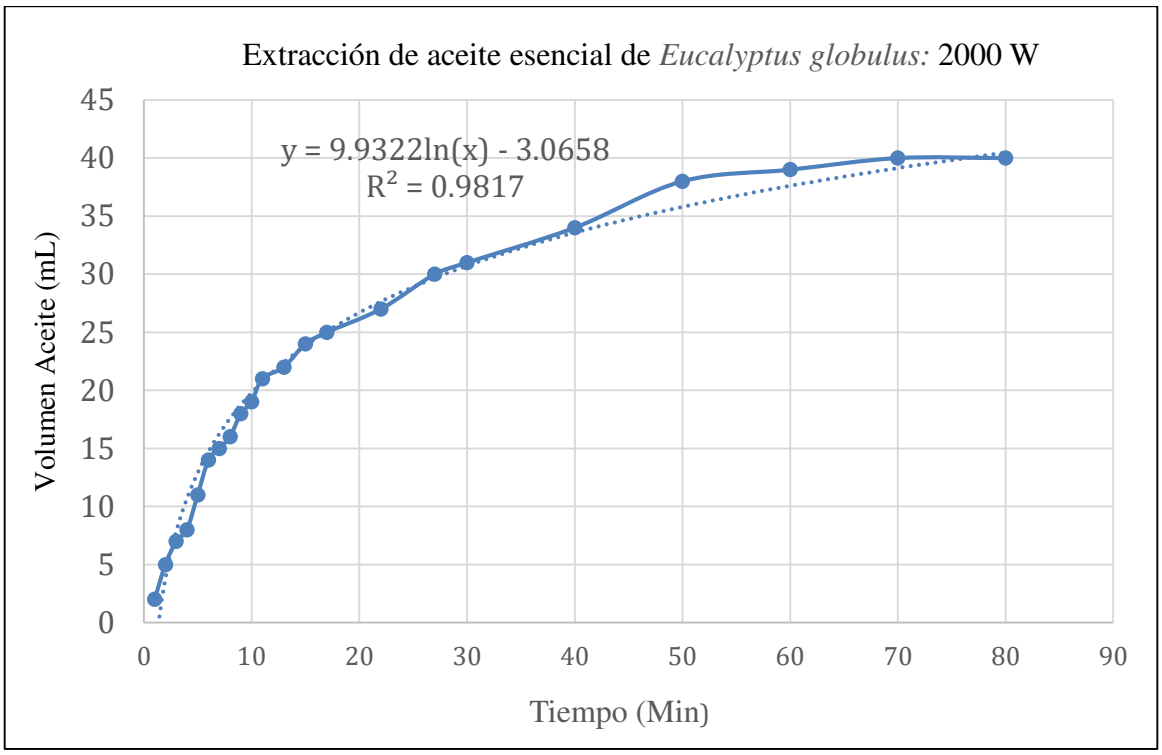


Gráfico N°6: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°6)

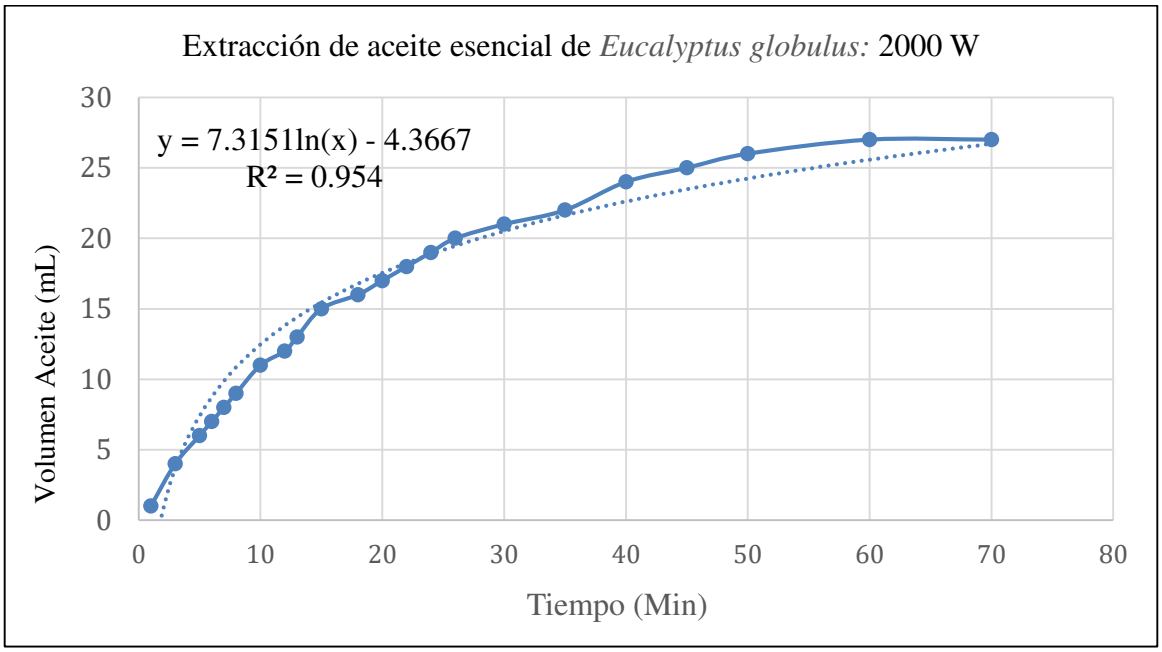


Gráfico N°7: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°7)

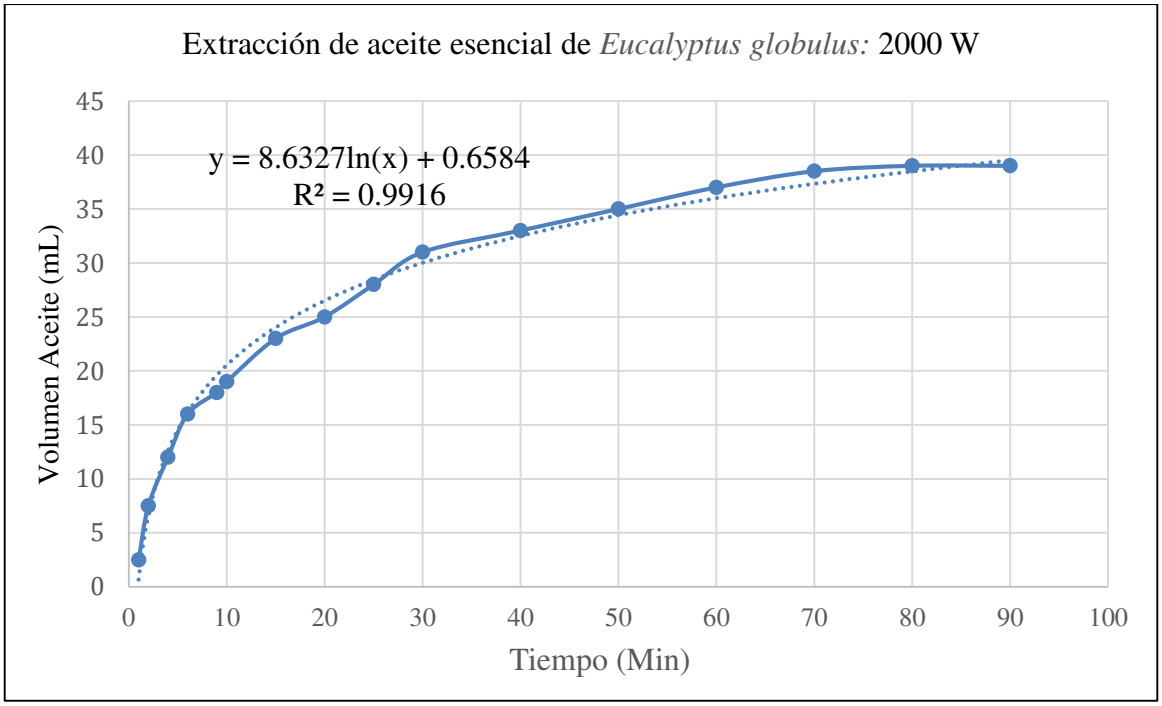


Gráfico N°8: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°8)

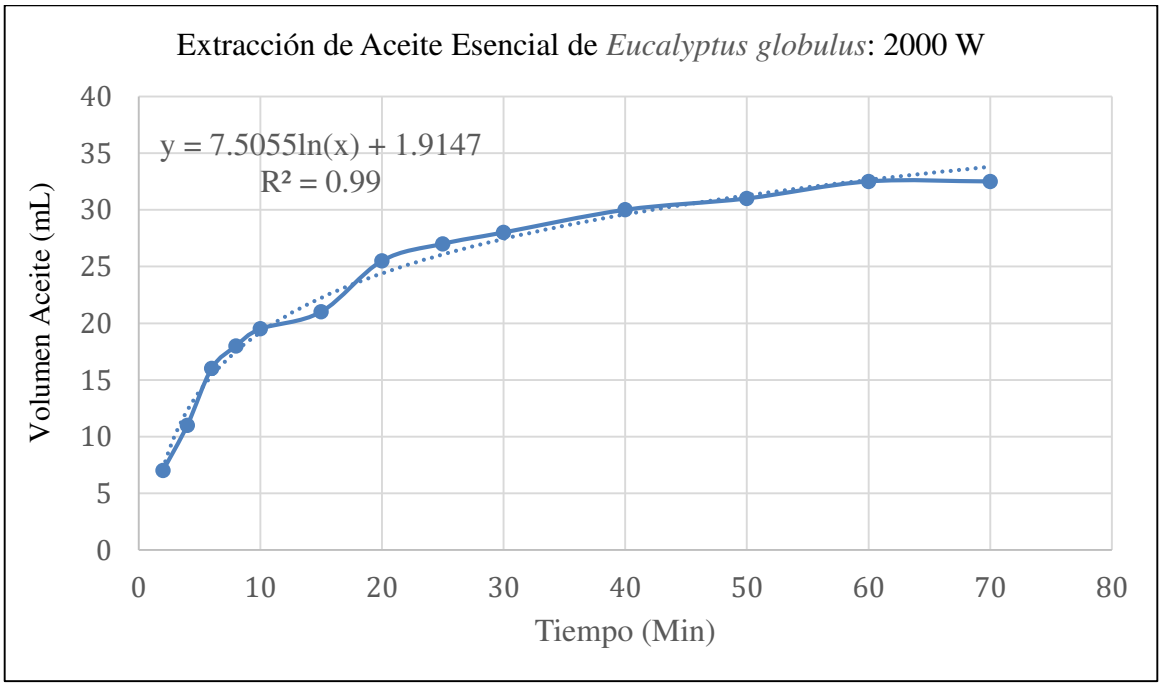


Gráfico N°9: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°9)

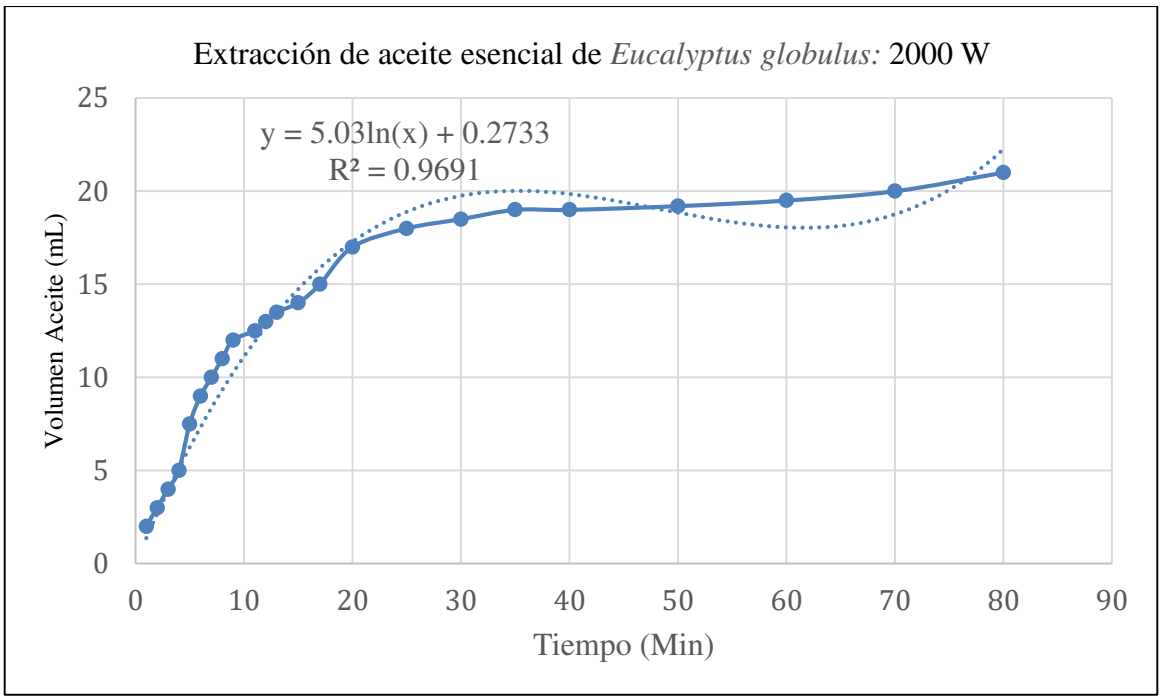


Gráfico N°10: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°10)

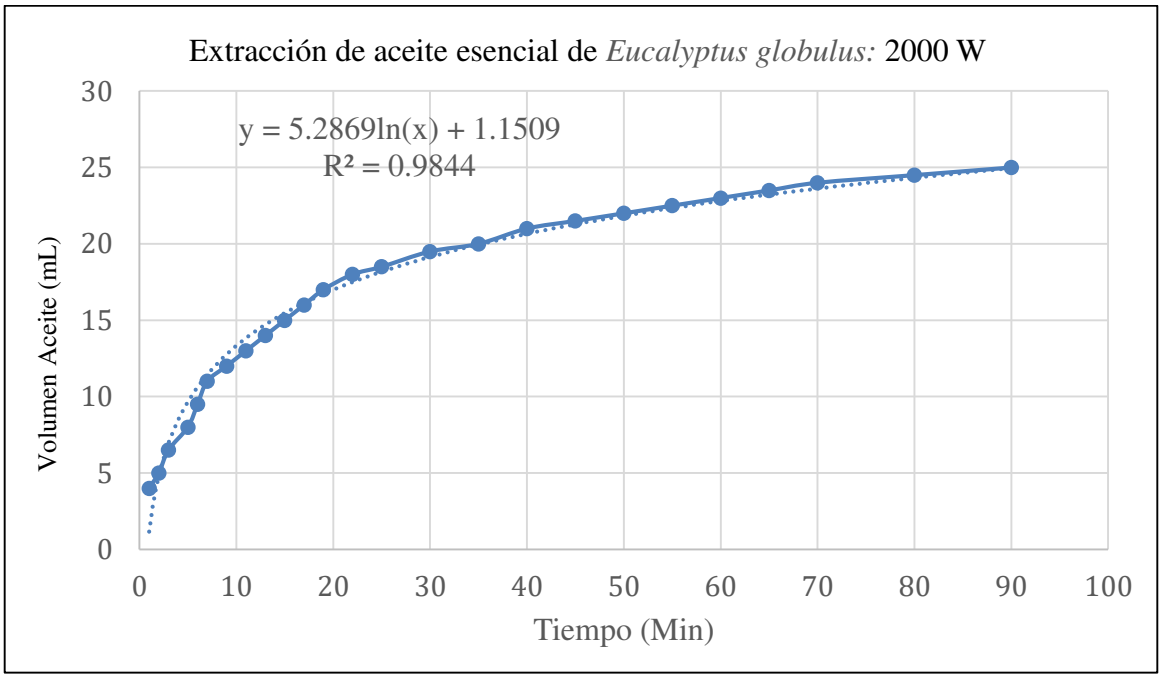


Gráfico N°11: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°11)

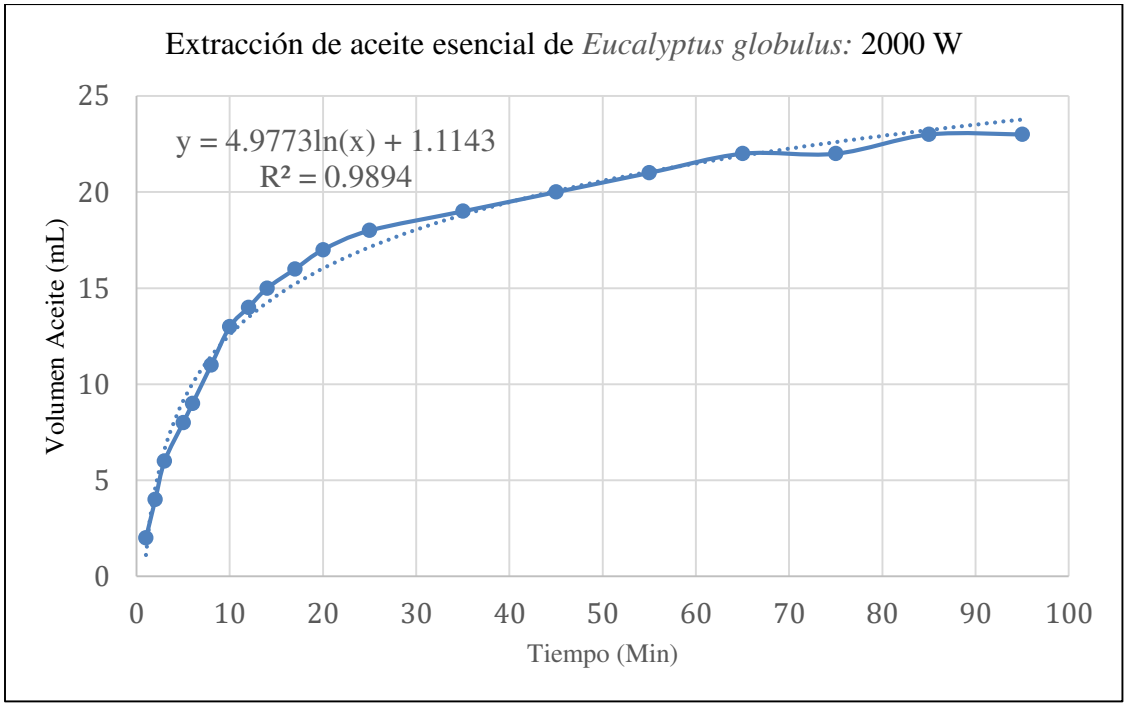


Gráfico N°12: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°12)

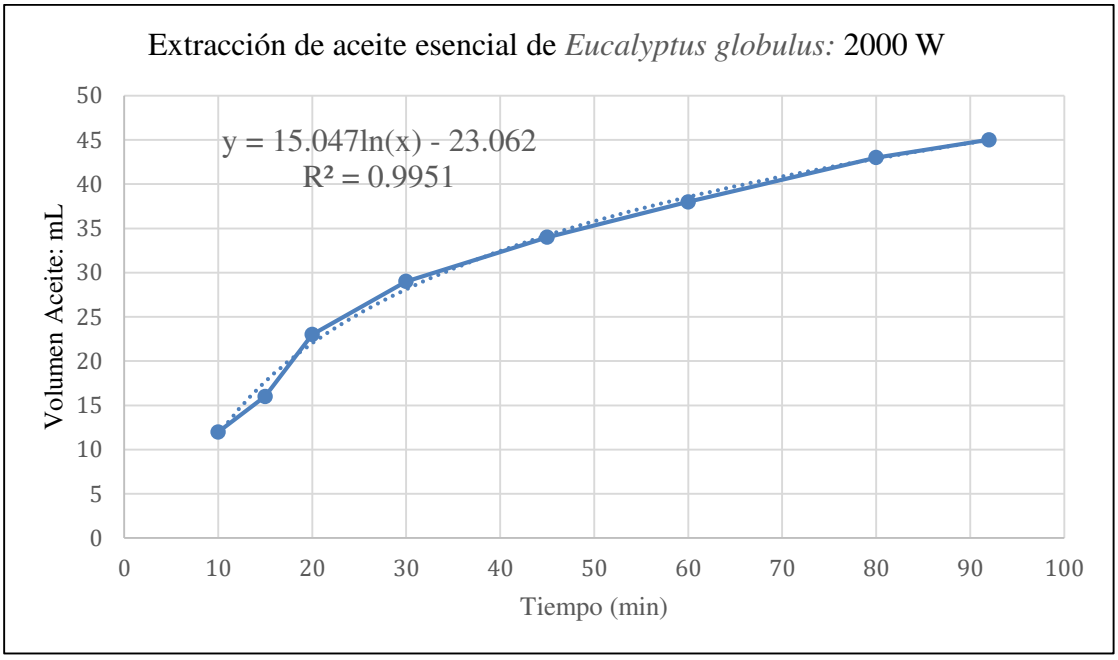


Gráfico N°13: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°13)

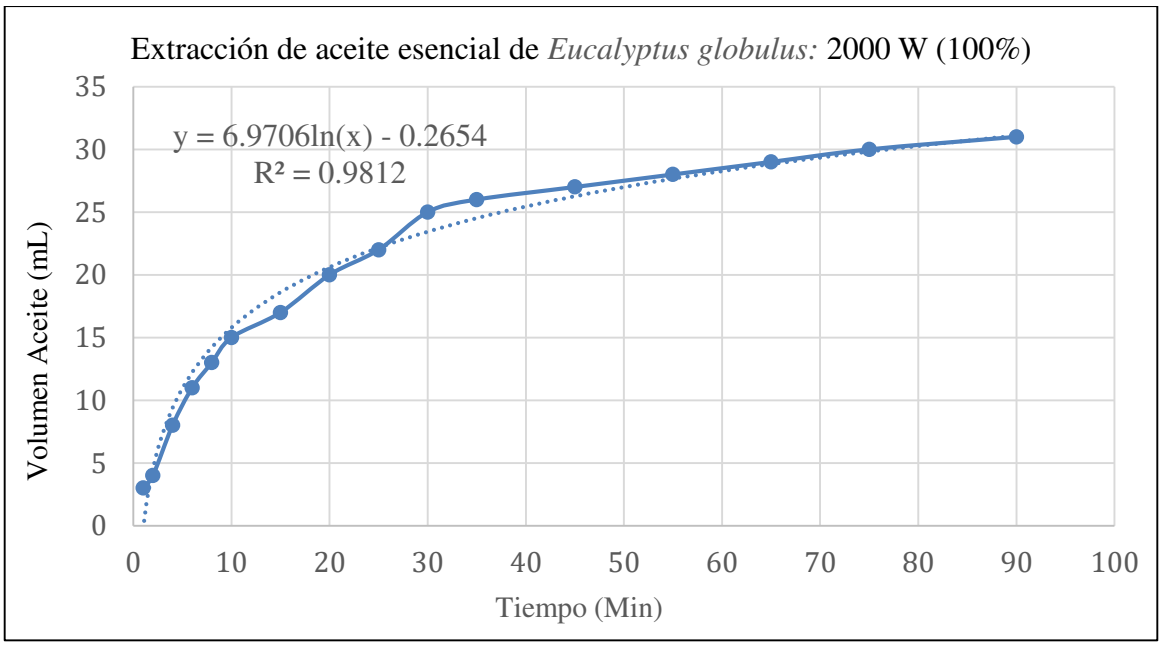


Gráfico N°14: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°14)

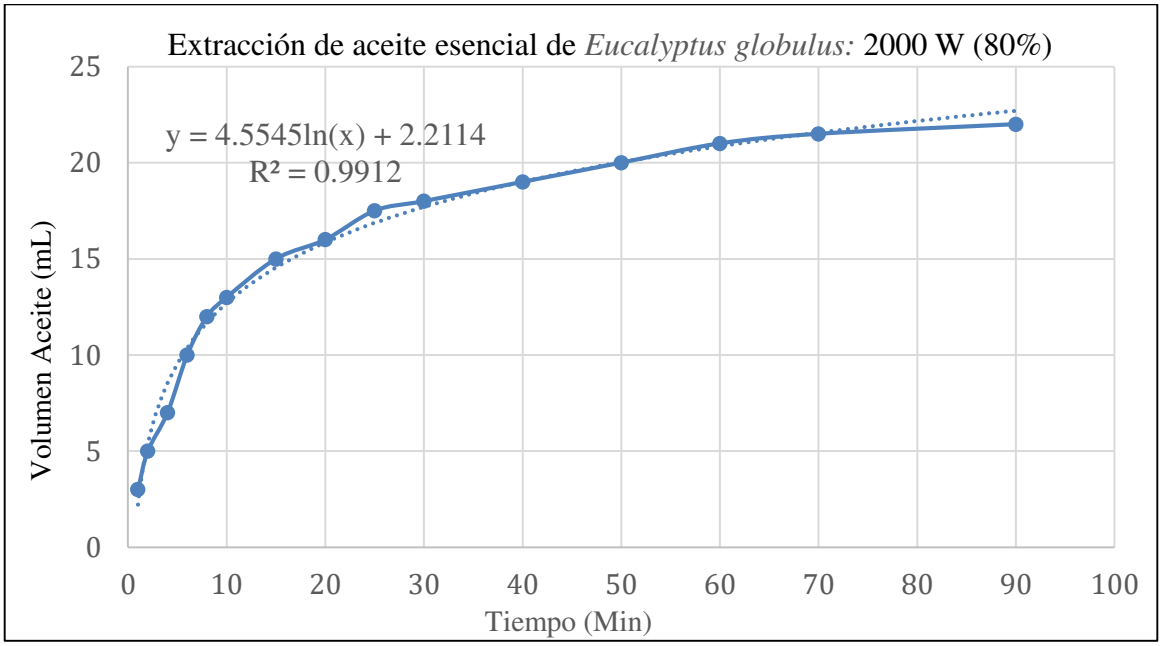


Gráfico N°15: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°15)

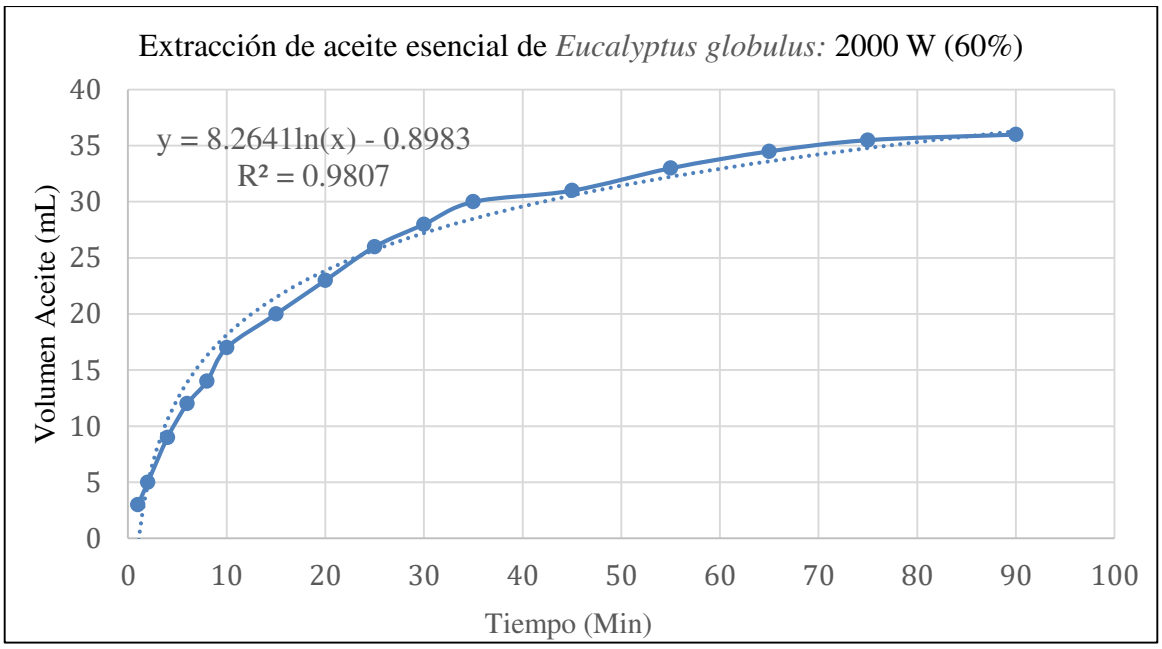


Gráfico N°16: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°16)

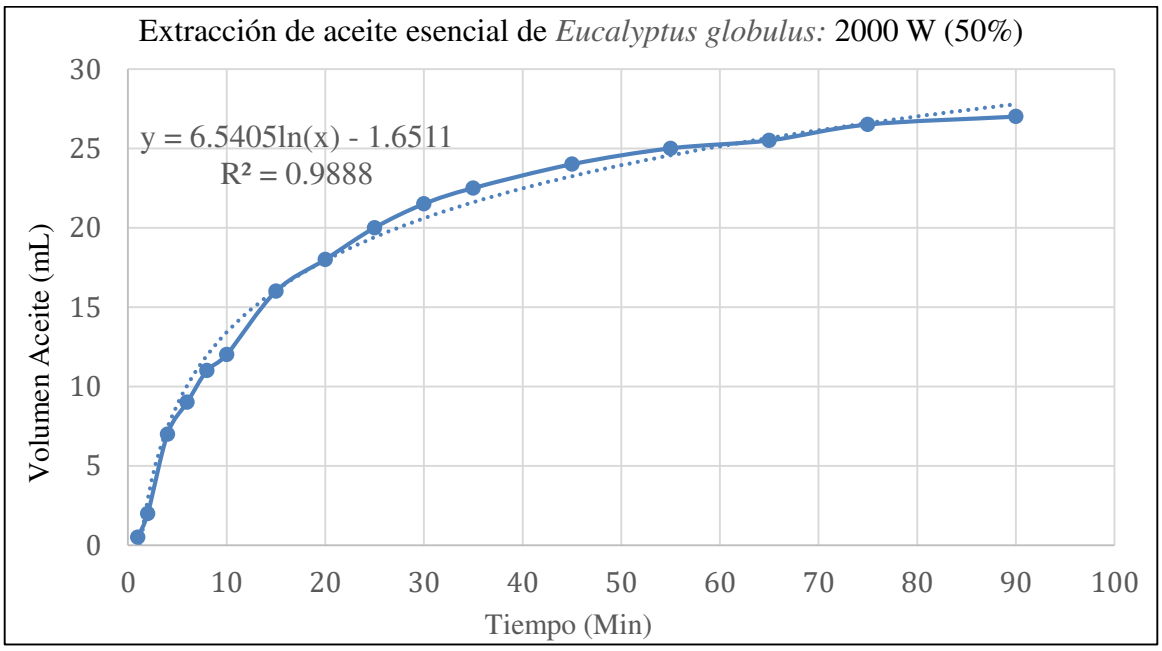


Gráfico N°17: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°17)

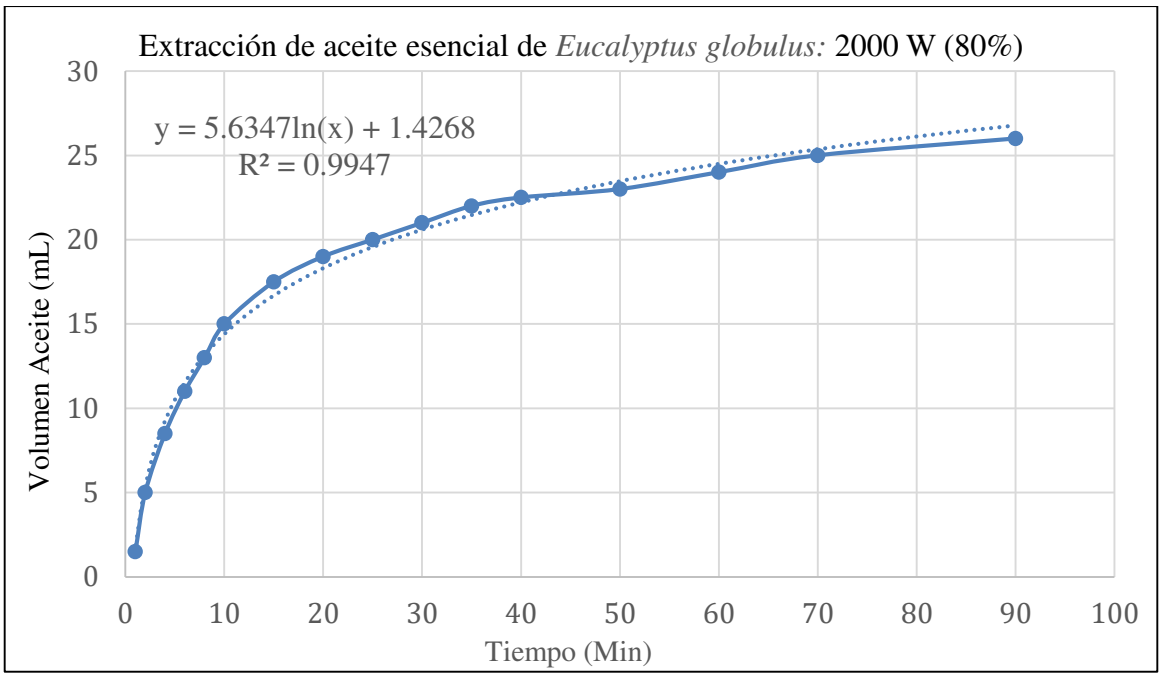


Gráfico N°18: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°18)

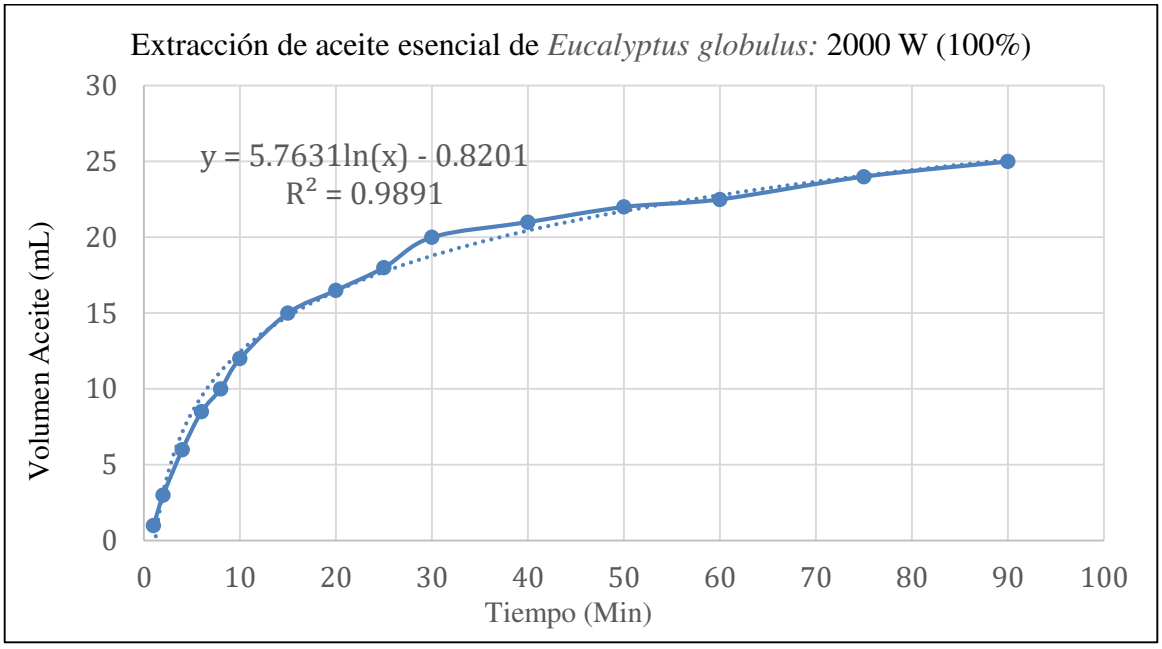


Gráfico N°19: Curva de Extracción de A. Esencial de *Eucalyptus globulus* (corrida N°19)

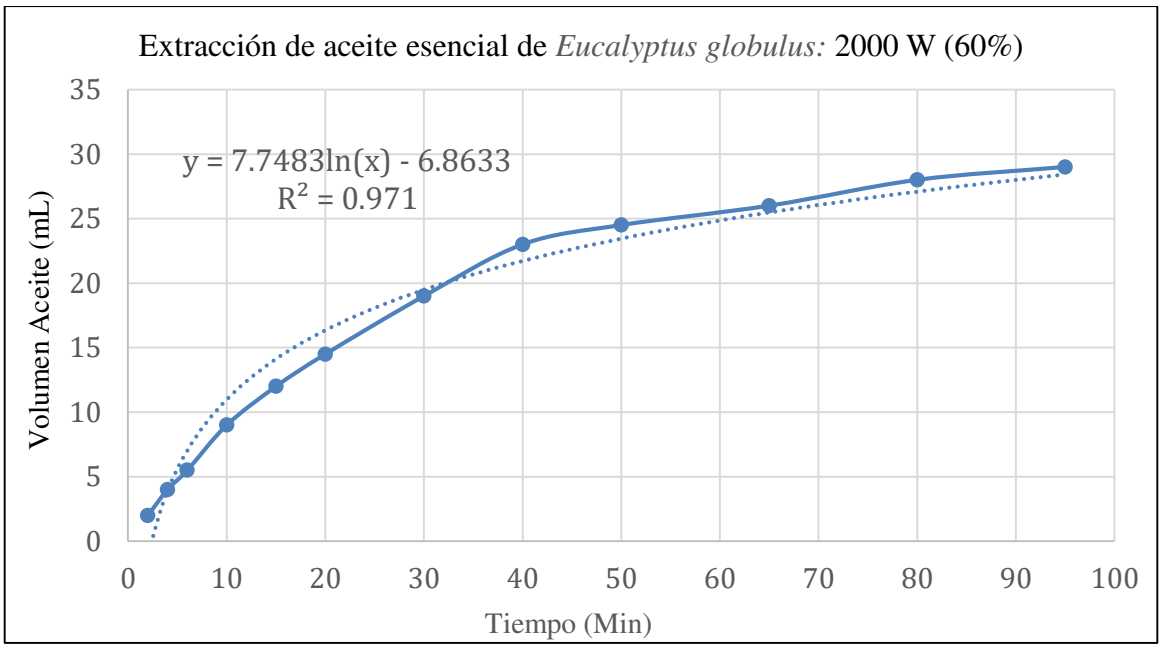


Gráfico N°20**:** Comparación Densidad aparente vs Rendimiento de las corridas realizadas

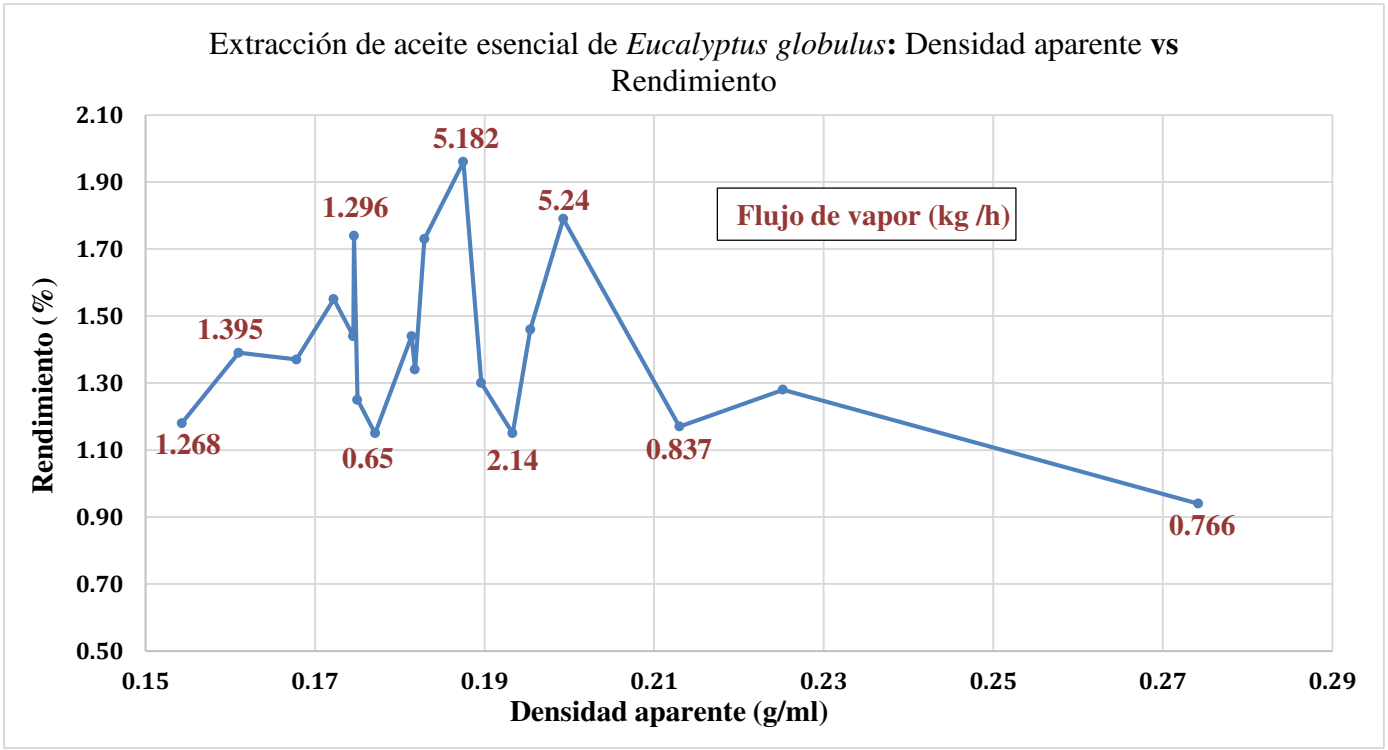
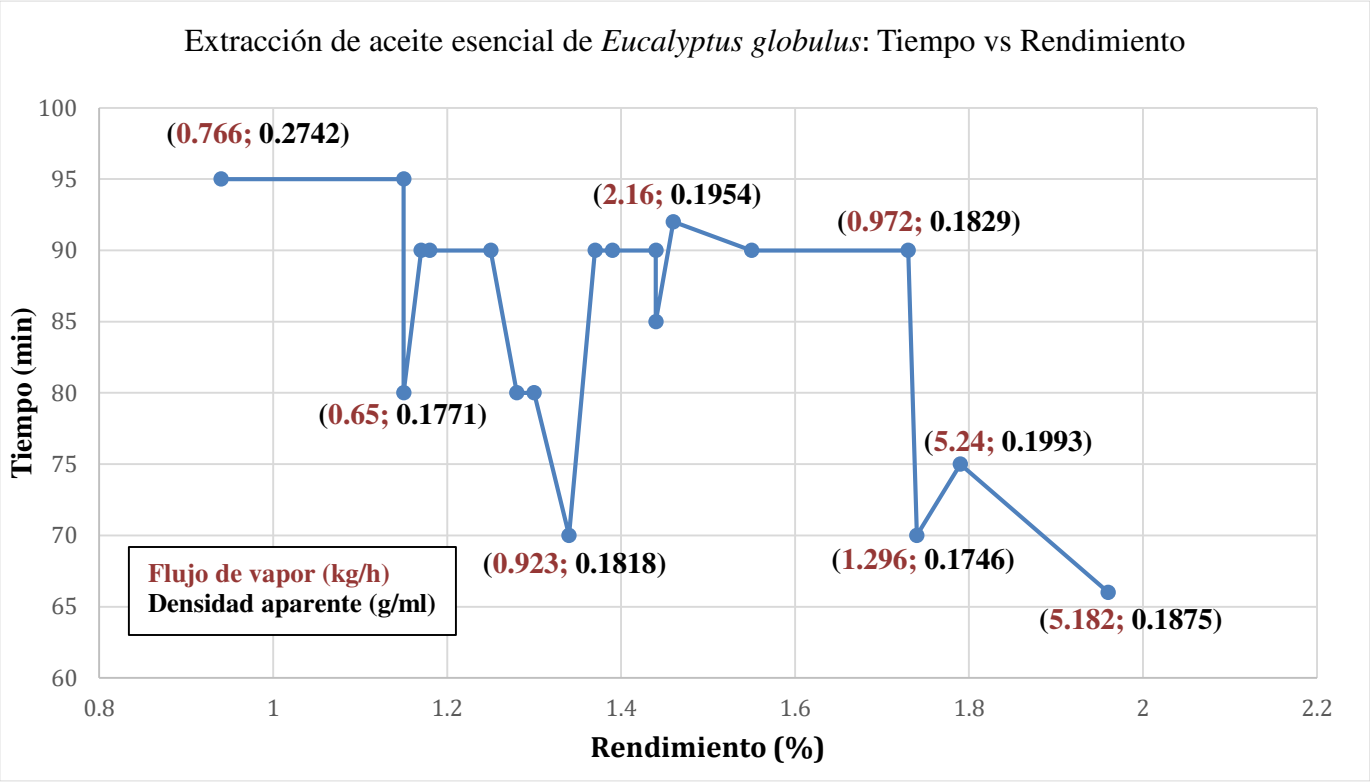


Gráfico N°21: Comparación Tiempo vs Rendimiento de las corridas realizadas



VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1) La línea de tendencia obtenida para las curvas de volumen de aceite extraído en función del tiempo muestra un comportamiento logarítmico**,** con coeficientes de correlación cercanos a 0.99 en la mayoría de las corridas**,** lo que confirma una rápida extracción inicial seguida de una desaceleración conforme se llega al agotamiento del aceite.

2) Se determina que el tiempo de mayor extracción se sitúa dentro de los primeros 70 minutos, tiempo en el cual se obtiene el máximo rendimiento antes de que la tasa de recuperación se vuelva mínima.

3) El flujo de vapor influye directamente en el rendimiento del proceso. A mayor flujo de vapor, se obtiene un mayor rendimiento de aceite. Así, por ejemplo, con un flujo de vapor de 1.296 kg/h se obtuvo un rendimiento de 1.74% en 70 minutos, mientras que al reducir el flujo a 0.650 kg/h el rendimiento disminuye a 1.15%**,** incluso extendiendo el tiempo a 80 minutos.

4) En el gráfico Tiempo vs Rendimiento hay 3 puntos de comparación principales, los 2 altos flujos que se obtienen un rendimiento de 1.96% y de 1.79% y el tercer punto con 1.74% con un flujo de 1.296kg/h siendo 4 veces menor que los flujos anteriores por lo que este es el rendimiento más adecuado con un mínimo flujo de vapor.

5) La densidad aparente influye en el rendimiento: a mayor densidad aparente, se obtiene un menor rendimiento. Así, en la prueba N°12, con una densidad aparente de 0.1954 se obtuvo un rendimiento de 1.46%, mientras que en la Prueba N°19 la densidad aparente se incrementó a 0.2742, disminuyendo el rendimiento de manera significativa (0.940%).

6) A mayor rendimiento energético (36.55 mL de aceite/kWh) se dio un costo de 0.83 soles por corrida; a menor rendimiento energético (8.58 mL de aceite/ kWh), resultó un costo mayor de 1.66 soles por corrida.

6.2. Recomendaciones

1) Si se desea un tiempo de operación mínimo, se deberá trabajar con un máximo flujo de vapor. Para 66 minutos de operación, se trabajó con 5.182 kg/h.

2) Realizar estudios complementarios sobre humedad y tamaño del material vegetal, con el fin de determinar su influencia en el rendimiento global del proceso.

3) Emplear un diseño experimental factorial para futuros estudios (teniendo la disponibilidad de toda la materia prima), que permita evaluar de manera conjunta el efecto de las variables de operación y sus posibles interacciones, especialmente el flujo de vapor y la densidad aparente del lecho.

4) Incorporar análisis estadísticos, como el análisis de varianza (ANOVA), así como el reporte de incertidumbres de medición, para fortalecer el análisis de los datos y facilitar su comparación con resultados reportados en la literatura.

5) Ampliar la caracterización fisicoquímica del aceite esencial mediante análisis como índice de refracción, viscosidad y composición por GC-MS, para confirmar la estabilidad y calidad del producto final.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abbas, A., Anwar, F., Alqahtani, S. M., Ahmad, N., Al-Mijalli, S. H., Shahid, M., & Iqbal, M. (2022). Hydro-distilled and supercritical fluid extraction of Eucalyptus camaldulensis essential oil: characterization of bioactives along with antioxidant, antimicrobial and antibiofilm activities. Dose-Response, 20(3). https://doi.org/10.1177/15593258221125477

Adams, R. P., & Sparkman, O. D. (2007). Review of identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. *J. Am. Soc. Mass Spectrom*, *18*(4), 803-806.

Armijo, C., Bravo, M., & Pizarro, R. (2012). Modelamiento y simulación del proceso de extración de aceites esenciales demiante la destilación por arrastre con vapor. *Revista de Ingeniería Química*, *44*(2), 25–33. https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4967

Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (2015). *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications*. CRC Press. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20163380803

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology,* *46*(2), 446–475. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106

Barbosa, L. C. A., Filomeno, C. A., & Teixeira, R. R. (2016). Chemical variability and biological activities of Eucalyptus spp. essential oils. *Molecules*, *21*(12), 1671. https://doi.org/10.3390/molecules21121671

Bermudo Crespo, G. S. (2019). Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (Eucalyptus globulus) con el equipo modular de extracción de aceites esenciales. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3392/1/TESIS%20AI176_Ber.pdf

Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology, 94*(3), 223–253. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

Cassel, E., & Vargas, R. (2009). Steam distillation modeling for essential oil extraction. Industrial Crops and Products, 29(1), 171–176. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.017

Cárdenas, J. L. (2019). *Evaluación energética de sistemas de destilación de aceites esenciales en distintas escalas de operación* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Chemat, F., Abert-Vian, M., & Fabiano-Tixier, A.-S. (2019). Green extraction of natural products: Origins, current status, and perspectives. Trends in Analytical Chemistry, 118, 248–263. https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.037

Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: Concept and principles. International Journal of Molecular Sciences, 13(7), 8615–8627. https://doi.org/10.3390/ijms13078615

Tyśkiewicz, K., Gieysztor, R., Konkol, M., Szałas, J., & Rój, E. (2018). Essential oils from Humulus lupulus $scCO_2$ extract by hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation. Molecules, 23(11), 2866. https://doi.org/10.3390/molecules23112866

El-Kharraf, S., (2022). Essential oils: Modelling kinetics, energy and process intensification. Processes, 10(5), 932.https://doi.org/10.3390/pr10050932

Faleiro, M. L., Miguel, M. G., & Pedro, L. G. (2021). Extraction and chemical composition of essential oils: Influence of process parameters. Journal of Essential Oil Research, 33(4), 289–302. https://doi.org/10.1080/10412905.2021.1902043

Fikremariam, H. D., Dagnew, Y. W., Degnechew, G. D., & Tesfaye, B. A. (2019). Influence of tree age and location on essential oil yield of *Eucalyptus globulus* leaves. *Journal of Medicinal Plants Studies, 7*(3), 107–111.

Flores, R., & Paredes, M. (2020). *Extracción y caracterización del aceite esencial de hojas de Eucalyptus globulus del distrito de Huaral*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Gamarra Chirinos, M. Á. (2024). Evaluación de la calidad y rendimiento de aceite esencial de eucalipto (Eucalyptus globulus) obtenido por los métodos hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor. https://repositorio.unamba.edu.pe/items/ddfc05d1-b308-4224-93e2-1409e33cd81c

González-Guiñez, R., Silva-Aguayo, G., Urbina-Parra, A., & Gerding-González, M. (2016). Aceite esencial de Eucalyptus globulus Labill Y Eucalyptus nitens H. Deane & Maiden (MYRTACEAE) para el control de Sitophilus zeamais Motschulsky. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 32(3), 204-216. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-38902016000300005&script=sci_arttext

Guenther, E. (1972). *The essential oils* (Vol. 1). Robert E. Krieger Publishing.

Gutiérrez, D., & Sánchez, V. (2021). Aprovechamiento sostenible de aceites esenciales en comunidades rurales del Perú. Revista de Innovación y Tecnología, 15(2), 45–53.

Hosseini, H., et al. (2019). Effect of extraction time and operational conditions on essential oil yield. *Industrial Crops and Products, 131*, 50–58. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.022

Hoyos, L. M., Cano, L. S., Pascual, E. I. (2022). Performance of eucalyptus essential oil extraction methods. MLS Environmental Sciences & Practices, 2(1), 40–55

Lainez-Cerón, E., Jiménez-Munguía, M. T., López-Malo, A., & Ramírez-Corona, N. (2021). Effect of process variables on heating profiles and extraction mechanisms during hydrodistillation of eucalyptus essential oil. Heliyon, 7, e08234. https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)02337-9

López, J., & Salazar, R. (2021). Evaluación de variables operativas en la destilación por arrastre de vapor de aceites esenciales. *Revista Peruana de Ingeniería Química, 24*(1), 41–49.

Martínez Velarde, J. (2017). Estudio de factibilidad para una planta de aceite esencial de eucalipto [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

Masango, P. (2005). Cleaner production of essential oils by steam distillation. *Journal of Cleaner Production, 13*(8), 833–839. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.039

Maharaj, S., Chetty, M., & Ramjugernath, D. (2020). Mathematical model for the removal of essential oil constituents during steam distillation extraction. Processes 8(4), 400. https://doi.org/10.3390/pr8040400

Milojević, S. Ž., Radosavljević, D., Pavićević, V., Pejanović, S., & Veljković, V. (2013). Modeling the kinetics of essential oil hydrodistillation from plant materials. Chemical Industry, 67, 843–859. http://dx.doi.org/10.2298/HEMIND121026009M

Milojević, S. Ž., Radosavljević, D., Pavićević, V., Pejanović, S., & Veljković, V. (2013). Kinetic modeling of essential oil hydrodistillation under different operating conditions. *Industrial Crops and Products, 52*, 257–265.

Moreno, J., Lopez, G., Siche. R. (2010). Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de hojas de eucalipto. Ingeniería y Competitividad, 12(2), 29–38.

Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Natividad Mercedes, L. (2019). *Evaluación experimental del proceso de destilación por arrastre de vapor de aceites esenciales* [Tesis de licenciatura].

Olascuaga-Castillo, K., Castillo-Medina, O., Villacorta-Zavaleta, M., Diaz-Ortega, J., Blanco-Olano, C., Altamirano-Sarmiento, D., & Valdiviezo-Campos, J. (2024). Extraction of essential oils by hydrodistillation of four aromatic species: Conditioning, extraction conditions, yield and chemical composition. *Scientia Agropecuaria*, *15*(3), 385-408.

Oussalah, R., Caillet, S., Saucier, L., & Lacroix, M. (2016). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Eucalyptus globulus*. *Oriental Journal of Chemistry, 32*(1), 1–10.

Paredes, L., Huamán, J., & Torres, R. (2020). Evaluación del potencial productivo del *Eucalyptus globulus* en la región andina del Perú. Revista Forestal del Perú, 43(2), 121–130.

Perry, R. H., & Green, D. W. (2019). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (9th ed.). McGraw-Hill. https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed027p533.1

Pino, J. A., Molina, M. L., Splengler, I., Pérez, C. J. (2021). Chemical composition of E. globulus leaf oil from two Cuban regions. MEDISAN, 25(1).

Pacheco, M. P., Caballero, M. A. A., Velázquez, M. G. N., Sanchez, A. A. G., Pazos, S. E. P., Chacon, M. K. C.,& Gamarra, F. L. B. (2024). Extracción de aceite esencial de hojas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) por destilación con vapor de agua y su caracterización fisicoquímica y microbiológica. Revista de la Sociedad Química del Perú, 90(04). https://doi.org/10.37761/rsqp.v90i04.488

Queiroz, T. B., Pereira, N. N., Silva, J. C. R. L., Fonseca, F. S. A., Martins, E. R. (2017). Influence of water regime on growth and essential oil of Eucalyptus globulus. Ciência Rural, 47(3). https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150530

Ramos, J., & Pérez, M. (2021).

Efecto de la variabilidad del material vegetal en la eficiencia de extracción de aceites esenciales a escala industrial. *Revista Peruana de Procesos Industriales, 8*(1), 33–41.

Reverchon, E., & De Marco, I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *Journal of Supercritical Fluids, 38*(2), 146–166.

https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.020

Sareriya, K. J., Vanzara, P. B., & Maiti, S. (2024). Optimization of Eucalyptus essential oil extraction by applying response surface methodology in traditional distillation and its

adaptation to solar thermal process. *Sustainable Energy Research*, *11*(1), 25. https://doi.org/10.1186/s40807-024-00118-y

Sareriya, K. J., & Vanzara, P. B. (2023). Design and Experimentation of a Laboratory Steam Distillation Setup for Extraction of Essential Oil from Eucalyptus leaves. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PLANT AND ENVIRONMENT*, *9*(04), 357-363. https://doi.org/10.18811/ijpen.v9i04.08

Shiferaw, Y., Kassahun, A., & Tedla, A. (2019). Investigation of essential oil composition variation with age of *Eucalyptus globulus* growing in Ethiopia. *Natural Products Chemistry & Research, 7*, 360.

Sinnott, R. K., & Towler, G. (2020). *Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design* (3rd ed.). https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=1ksiEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Sinnott,+R.+K.,+%26+Towler,+G.+(2020).+Chemical+engineering+design:+Principles,+practice+and+economics+of+plant+and+process+design+(3rd+ed.).+Elsevier.&ots=6TxDOU35V-&sig=ZH7HiqzUVtWY3XOjdT24neIZTDc

Stanojević, L. P., Radulović, N. S., Djokić, T. M., Stanković, B. M., Ilić, D. P., Cakić, M. D., Nikolić, V. D. (2015). The yield, composition and hydrodistillation kinetics of… Industrial Crops and Products, 65, 125–131. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.067

Usman, L. A., Oguntoye, O. S., Ismaeel, R.O. (2022). Effect of air-drying on phytochemical profile and bioactivity of E. globulus leaf oils. Boletín de la Sociedad Chilena de Química, 67(1), 5453.

Čmiková, N., Galovičová, L., Schwarzová, M., Vukic, M. D., Vukovic, N. L., Kowalczewski, P. Ł., Bakay, L., Kluz, M. I., Puchalski, C., & Kačániová, M. (2023). Chemical composition and biological activities of Eucalyptus globulus essential oil. Plants, 12(5), 1076. https://doi.org/10.3390/plants12051076

Qin, H.-W., Yang, T.-M., Yang, S.-B., Zhang, J.-Y., & Wang, Y.-Z. (2022). Effects of different pre-drying and drying methods on volatile compounds in Amomum tsao-ko. Frontiers in Plant Science, 13, Article 803776. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.803776

Golmakani, M.-T., & Rezaei, K. (2008). Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with conventional hydrodistillation in the extraction of essential oils from Thymus vulgaris L. Journal of Essential Oil Research, 20(2), 126–130. https://doi.org/10.1080/10412905.2012.751555

Porras M. (2016) Rendimiento y calidad de aceites esenciales de los opérculos de Eucalyptus globulus Labill, secado al sol y sombra. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstreams/47939e54-44f1-4a24-a17d-32a2bd32b741/download

VIII. ANEXOS

Anexo 1**:** Resultados de la corrida experimental N°1 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	3.200	kg
Equipo	Alambique destilador 1	80%
Flujo de Vapor	5.1818	kg/h
Densidad Aparente	0.1875	g/mL
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g) x 100
1	10	0.552	0.40
10	27	0.149	1.08
17	37	0.120	1.48
30	42	0.077	1.68
38	44	0.064	1.76
48	46	0.053	1.84
60	49	0.045	1.96
66	49	0.041	1.96

Nota: Elaboración propia

Anexo 2**:** Datos de procesos del Anexo N°1

V. Hojas	17063.404	mL
V. Destila	5.70	kg
Fecha	24/10/2025	
Agua Refrig.	257	kg/h
Alt. Hojas	47	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 3**:** Resultados de la corrida experimental N°2 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	3.900	kg
Equipo	Alambique destilador 2	80%
Flujo de Vapor	0.952	kg/h
Densidad Aparente	0.2252	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g) x 100
1	7	0.386	0.18
2	12	0.331	0.31
3	17	0.313	0.44
4	20	0.276	0.51
5	25	0.276	0.64
10	29	0.160	0.74
15	32	0.118	0.82
20	36	0.099	0.92
25	39	0.086	1.00
30	42	0.077	1.08
35	44	0.069	1.13
42	46	0.060	1.18
52	48	0.051	1.23
60	49	0.045	1.26
70	50	0.039	1.28
80	50	0.035	1.28

Nota: Elaboración propia

Anexo 4**:** Datos de procesos del Anexo 2

V. Hojas	17318.070	mL
V. Destila	1.269	kg
Fecha	24/10/2025	
Agua Refrig.	240	kg/h
Alt. Hojas	50	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 5**:** Resultados de la corrida experimental N°3 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	3.400	Kg
Equipo	Alambique destilador 1	100%
Flujo de Vapor	5.24	kg/h
Densidad Aparente	0.1993	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
0.5	3	0.331	0.09
1	10	0.552	0.29
3	20	0.368	0.59
5	26	0.287	0.76
7	31	0.244	0.91
9	34	0.209	1.00
11	37	0.186	1.09
15	42	0.155	1.24
21	48	0.126	1.41
30	52	0.096	1.53
35	53	0.084	1.56
45	56	0.069	1.65
55	59	0.059	1.74
65	60	0.051	1.76
75	61	0.045	1.79

Nota: Elaboración propia

Anexo 6**:** Datos de procesos del Anexo 5

V. Hojas	17063.404	mL
V. Destila	6.55	kg
Fecha	24/10/2025	
Agua Refrig.	600	kg/h
Alt. Hojas	47	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 7**:** Resultados de la corrida experimental N°4 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	1.976	kg
Equipo	Alambique destilador 1	50%
Flujo de Vapor	0.750	kg/h
Densidad Aparente	0.1814	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
1	1	0.055	0.05
2	3	0.083	0.15
3	5	0.092	0.25
5	8	0.088	0.40
7	11	0.087	0.56
8	13	0.090	0.66
10	14	0.077	0.71
13	17	0.072	0.86
15	18	0.066	0.91
20	19	0.052	0.96
25	22	0.049	1.11
30	23	0.042	1.16
35	25	0.039	1.27
40	25	0.035	1.27
45	26	0.032	1.32
55	27	0.027	1.37
65	28	0.024	1.42
75	28	0.021	1.42
85	28.5	0.019	1.44

Nota: Elaboración propia

Anexo 8**:** Datos de procesos del Anexo 7

V. Hojas	10891.535	mL
V. Destila	1.063	kg
Fecha	25/10/2025	
Agua Refrig.	212	kg/h
Alt. Hojas	30	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 9**:** Resultados de la corrida experimental N°5 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	3.086	Kg
Equipo	Alambique destilador 2	80%
Flujo de Vapor	0.952	kg/h
Densidad Aparente	0.1896	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
1	2	0.110	0.06
2	5	0.138	0.16
3	7	0.129	0.23
4	8	0.110	0.26
5	11	0.121	0.36
6	14	0.129	0.45
7	15	0.118	0.49
8	16	0.110	0.52
9	18	0.110	0.58
10	19	0.105	0.62
11	21	0.105	0.68
13	22	0.093	0.71
15	24	0.088	0.78
17	25	0.081	0.81
22	27	0.068	0.87
27	30	0.061	0.97
30	31	0.057	1.00
40	34	0.047	1.10
50	38	0.042	1.23
60	39	0.036	1.26
70	40	0.032	1.30
80	40	0.028	1.30

Nota: Elaboración propia

Anexo 10**:** Datos de procesos del Anexo 9

V. Hojas	16278.986	mL
V. Destila	1.269	kg
Fecha	25/10/2025	
Agua Refrig.	240	kg/h
H. Hojas	47	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 11**:** Resultados de la corrida experimental N°6 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	2.020	kg
Equipo	Alambique destilador 1	60%
Flujo de Vapor	0.923	kg/h
Densidad Aparente	0.1818	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
3	4	0.074	0.20
5	6	0.066	0.30
6	7	0.064	0.35
7	8	0.063	0.40
8	9	0.062	0.45
10	11	0.061	0.54
12	12	0.055	0.59
13	13	0.055	0.64
15	15	0.055	0.74
18	16	0.049	0.79
20	17	0.047	0.84
22	18	0.045	0.89
24	19	0.044	0.94
26	20	0.042	0.99
30	21	0.039	1.04
35	22	0.035	1.09
40	24	0.033	1.19
45	25	0.031	1.24
50	26	0.029	1.29
60	27	0.025	1.34
70	27	0.021	1.34

Nota: Elaboración propia

Anexo 12**:** Datos de Procesos del Anexo 11

V. Hojas	11109.365	mL
V. Destila	1.077	kg
Fecha	10/11/2025	
Agua Refrig.	276.92	kg/h
H. Hojas	30.6	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 13**:** Resultados de la corrida experimental N°7 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	2.258	kg
Equipo	Alambique destilador 1	50%
Flujo de Vapor	0.972	kg/h
Densidad Aparente	0.1829	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
1	2.5	0.138	0.11
2	7.5	0.207	0.33
4	12	0.166	0.53
6	16	0.147	0.71
9	18	0.110	0.80
10	19	0.105	0.84
15	23	0.085	1.02
20	25	0.069	1.11
25	28	0.062	1.24
30	31	0.057	1.37
40	33	0.046	1.46
50	35	0.039	1.55
60	37	0.034	1.64
70	38.5	0.030	1.71
80	39	0.027	1.73
90	39	0.024	1.73

Nota: Elaboración propia

Anexo 14**:** Datos de Procesos del Anexo 13

V. Hojas	12343.739	mL
V. Destila	1.458	kg
Fecha	10/11/2025	
Agua Refrig.	164	kg/h
Alt. Hojas	34	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 15**:** Resultados de la corrida experimental N°8 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	1.870	kg
Equipo	Alambique destilador 1	50%
Flujo de Vapor	1.296	kg/h
Densidad Aparente	0.1746	g/ cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/ cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
2	7	0.193	0.37
4	11	0.152	0.59
6	16	0.147	0.86
8	18	0.124	0.96
10	19.5	0.108	1.04
15	21	0.077	1.12
20	25.5	0.070	1.36
25	27	0.060	1.44
30	28	0.052	1.50
40	30	0.041	1.60
50	31	0.034	1.66
60	32.5	0.030	1.74
70	32.5	0.026	1.74

Nota: Elaboración propia

Anexo 16**:** Datos de Procesos del Anexo 15

V. Hojas	10710.009	mL
V. Destila	1.512	kg
Fecha	10/11/2025	
Agua Refrig.	164.4	kg/h
Alt. Hojas	32.5	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 17**:** Resultados de la corrida experimental N°9 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal		1.832	kg
Equipo		Alambique destilador 1	100%
Flujo de Vapor		0.650	kg/h
Densidad Aparente		0.1771	g/cm^3
Densidad Aceite		0.92	g/cm^3
Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
1	2	0.110	0.11
2	3	0.083	0.16
3	4	0.074	0.22
4	5	0.069	0.27
5	7.5	0.083	0.41
6	9	0.083	0.49
7	10	0.079	0.55
8	11	0.076	0.60
9	12	0.074	0.66
11	12.5	0.063	0.68
12	13	0.060	0.71
13	13.5	0.057	0.74
15	14	0.052	0.76
17	15	0.049	0.82
20	17	0.047	0.93
25	18	0.040	0.98
30	18.5	0.034	1.01
35	19	0.030	1.04
40	19	0.026	1.04
50	19.2	0.021	1.05
60	19.5	0.018	1.06
70	20	0.016	1.09
80	21	0.014	1.15
90	21.5	0.013	1.17

Nota: Elaboración propia

Anexo 18**:** Datos de Procesos Anexo 1**7**

V. Hojas	10346.958	mL
V. Destila	0.867	kg
Fecha	14/11/2025	
Agua Refrig.	180	kg/h
Alt. Hojas	28.5	cm

Nota: Elaboración propia

Anexo 19**:** Resultados de la corrida experimental N°10 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	1.742	kg
Equipo	Alambique destilador 1	100%
Flujo de Vapor	1.142	kg/h
Densidad Aparente	0.1745	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
1	4	0.221	0.23
2	5	0.138	0.29
3	6.5	0.12	0.37
5	8	0.088	0.46
6	9.5	0.087	0.55
7	11	0.087	0.63
9	12	0.074	0.69
11	13	0.065	0.75
13	14	0.059	0.8
15	15	0.055	0.86
17	16	0.052	0.92
19	17	0.049	0.98
22	18	0.045	1.03
25	18.5	0.041	1.06
30	19.5	0.036	1.12
35	20	0.032	1.15
40	21	0.029	1.21
45	21.5	0.026	1.23
50	22	0.024	1.26
55	22.5	0.023	1.29
60	23	0.021	1.32
65	23.5	0.02	1.35
70	24	0.019	1.38
80	24.5	0.017	1.41
90	25	0.015	1.44

Nota: Elaboración propia

Anexo 20**:** Datos de Procesos Anexo 19

V. Hojas	9983.907	mL
V. Destila	1.714	kg
Fecha	14/11/2025	
Agua Refrig.	180	kg/h
Alt. Hojas	27.5	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 21**:** Resultados de la corrida experimental N°11 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	2.000	kg
Equipo	Alambique destilador 1	100%
Flujo de Vapor	2.140	kg/h
Densidad Aparente	0.1933	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
1	2	0.110	0.10
2	4	0.110	0.20
3	6	0.110	0.30
5	8	0.088	0.40
6	9	0.083	0.45
8	11	0.076	0.55
10	13	0.072	0.65
12	14	0.064	0.70
14	15	0.059	0.75
17	16	0.052	0.80
20	17	0.047	0.85
25	18	0.040	0.90
35	19	0.030	0.95
45	20	0.025	1.00
55	21	0.021	1.05
65	22	0.019	1.10
75	22	0.016	1.10
85	23	0.015	1.15
95	23	0.013	1.15

Nota: Elaboración propia

Anexo 22**:** Datos de Procesos Anexo 21

V. Hojas	10346.96	mL
V. Destila	3.388	kg
Fecha	18/11/2025	
Agua Refrig.	107.143	kg/h
Alt. Hojas	28.5	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 23**:** Resultados de la corrida experimental N°12 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	3.086	kg
Equipo	Alambique destilador 1	100%
Flujo de Vapor	2.16	kg/h
Densidad Aparente	01954	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo (min)	**Volumen** Ac. (mL)	**m aceite** kg/h	**Rendimiento** (mL/g)x100
10	12	0.066	0.60
15	16	0.059	0.80
20	23	0.063	1.15
30	29	0.053	1.45
45	34	0.042	1.70
60	38	0.035	1.90
80	43	0.030	2.15
92	45	0.027	2.25

Nota: Elaboración propia

Anexo 24**:** Datos de Procesos Anexo 23

V. Hojas	15792.725	mL
V. Destila	3.312	kg
Fecha	08/01/2026	
Agua Refrig.	66.72	kg/h
Alt. Hojas	43.5	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 25**:** Resultados de la corrida experimental N°13 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	2.0	kg
Equipo	Alambique destilador 1	100%
Flujo de Vapor	1.875	kg/h
Densidad Aparente	0.1722	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
1	3	0.166	0.15
2	4	0.110	0.20
4	8	0.110	0.40
6	11	0.101	0.55
8	13	0.090	0.65
10	15	0.083	0.75
15	17	0.063	0.85
20	20	0.055	1.00
25	22	0.049	1.10
30	25	0.046	1.25
35	26	0.041	1.30
45	27	0.033	1.35
55	28	0.028	1.40
65	29	0.025	1.45
75	30	0.022	1.50
90	31	0.019	1.55

Nota: Elaboración propia

Anexo 26**:** Datos de Procesos Anexo 25

V. Hojas	11617.637	mL
V. Destila	2.813	kg
Fecha	13/01/2026	
Agua Refrig.	51.456	kg/h
Alt. Hojas	35.0	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 27**:** Resultados de la corrida experimental N°14 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	1.870	kg
Equipo	Alambique destilador 2	80%
Flujo de Vapor	1.268	kg/h
Densidad Aparente	0.1543	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
1	3	0.166	0.15
2	5	0.138	0.25
4	7	0.097	0.35
6	10	0.092	0.50
8	12	0.083	0.60
10	13	0.072	0.65
15	15	0.055	0.75
20	16	0.044	0.80
25	17.5	0.039	0.88
30	18	0.033	0.90
40	19	0.026	0.95
50	20	0.022	1.00
60	21	0.019	1.05
70	21.5	0.017	1.08
90	22	0.013	1.10

Nota: Elaboración propia

Anexo 28**:** Datos de Procesos Anexo 27

V. Hojas	12122.649	mL
V. Destila	1.902	kg
Fecha	13/01/2026	
Agua Refrig.	34.615	kg/h
Alt. Hojas	35.0	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 29**:** Resultados de la corrida experimental N°15 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	3.086	kg
Equipo	Alambique destilador 1	60%
Flujo de Vapor	0.837	kg/h
Densidad Aparente	0.213	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
1	3	0.166	0.15
2	5	0.138	0.25
4	9	0.124	0.45
6	12	0.110	0.60
8	14	0.097	0.70
10	17	0.094	0.85
15	20	0.074	1.00
20	23	0.063	1.15
25	26	0.057	1.30
30	28	0.052	1.40
35	30	0.047	1.50
45	31	0.038	1.55
55	33	0.033	1.65
65	34.5	0.029	1.73
75	35.5	0.026	1.78
90	36	0.022	1.80

Nota: Elaboración propia

Anexo 30**:** Datos de Procesos Anexo 29

V. Hojas	14522.05	mL
V. Destila	1.256	kg
Fecha	13/01/2026	
Agua Refrig.	7.826	kg/h
Alt. Hojas	40.0	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 31**:** Resultados de la corrida experimental N°16 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	1.976	kg
Equipo	Alambique destilador 2	50%
Flujo de Vapor	0.581	kg/h
Densidad Aparente	0.1678	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
1	0.5	0.028	0.03
2	2	0.055	0.10
4	7	0.097	0.35
6	9	0.083	0.46
8	11	0.076	0.56
10	12	0.066	0.61
15	16	0.059	0.81
20	18	0.050	0.91
25	20	0.044	1.01
30	21.5	0.040	1.09
35	22.5	0.035	1.14
45	24	0.029	1.21
55	25	0.025	1.27
65	25.5	0.022	1.29
75	26.5	0.020	1.34
90	27	0.017	1.37

Nota: Elaboración propia

Anexo 32**:** Datos de Procesos Anexo 31

V. Hojas	11776.29	mL
V. Destila	0.871	kg
Fecha	13/01/2026	
Agua Refrig.	3.273	kg/h
Alt. Hojas	34	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 33**:** Resultados de la corrida experimental N°17 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	1.870	kg
Equipo	Alambique destilador 1	80%
Flujo de Vapor	1.395	kg/h
Densidad Aparente	0.1610	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
1	1.5	0.083	0.08
2	5	0.138	0.27
4	8.5	0.117	0.45
6	11	0.101	0.59
8	13	0.090	0.70
10	15	0.083	0.80
15	17.5	0.064	0.94
20	19	0.052	1.02
25	20	0.044	1.07
30	21	0.039	1.12
35	22	0.035	1.18
40	22.5	0.031	1.20
50	23	0.025	1.23
60	24	0.022	1.28
70	25	0.020	1.34
90	26	0.016	1.39

Nota: Elaboración propia

Anexo 34**:** Datos de Procesos Anexo 33

V. Hojas	11617.64	mL
V. Destila	2.093	kg
Fecha	17/01/2026	
Agua Refrig.	14.150	kg/h
Alt. Hojas	32	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 35**:** Resultados de la corrida experimental N°18 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	2.000	kg
Equipo	Alambique destilador 2	100%
Flujo de Vapor	2.045	kg/h
Densidad Aparente	0.1750	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
1	1	0.055	0.05
2	3	0.083	0.15
4	6	0.083	0.30
6	8.5	0.078	0.43
8	10	0.069	0.50
10	12	0.066	0.60
15	15	0.055	0.75
20	16.5	0.046	0.83
25	18	0.040	0.90
30	20	0.037	1.00
40	21	0.029	1.05
50	22	0.024	1.10
60	22.5	0.021	1.13
75	24	0.018	1.20
90	25	0.015	1.25
1	1	0.055	0.05

Nota: Elaboración propia

Anexo 36**:** Datos de Procesos Anexo 35

V. Hojas	11429.93	mL
V. Destila	3.068	kg
Fecha	20/01/2026	
Agua Refrig.	50.847	kg/h
Alt. Hojas	33	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 37**:** Resultados de la corrida experimental N°19 de extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

Carga de material vegetal	3.086	kg
Equipo	Alambique destilador 1	60%
Flujo de Vapor	0.766	kg/h
Densidad Aparente	0.2576	g/cm^3
Densidad Aceite	0.92	g/cm^3

Tiempo	**Volumen**	**m aceite**	**Rendimiento**
(min)	Ac. (mL)	kg/h	(mL/g)x100
2	2	0.055	0.06
4	4	0.055	0.13
6	5.5	0.051	0.18
10	9	0.050	0.29
15	12	0.044	0.39
20	14.5	0.040	0.47
30	19	0.035	0.62
40	23	0.032	0.75
50	24.5	0.027	0.79
65	26	0.022	0.84
80	28	0.019	0.91
95	29	0.017	0.94

Nota: Elaboración propia

Anexo 38**:** Datos de Procesos Anexo 37

V. Hojas	11980.69	mL
V. Destila	1.213	kg
Fecha	20/01/2026	
Agua Refrig.	6.430	kg/h
Alt. Hojas	33	cm

Nota: Elaboración propia.

Anexo 39**:** Material vegetal (*Eucalyptus globulus*)



Nota: Elaboración propia.

Anexo 40**:** Equipo de destilación por arrastre con vapor



Nota: Elaboración propia.

Anexo 41**:** Florentino separador de fases



Nota: Elaboración propia.

Anexo 42**:** Balanza de humedad



Nota: Elaboración propia.

Anexo 43**:** Variador de potencia



Nota: Elaboración propia.