

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“Evaluación de la calidad y rendimiento de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenido por los métodos hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor”

Presentado por:

Mario Ángel Gamarra Chirinos

Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE
EUCALIPTO (*Eucalyptus Globulus*) OBTENIDO POR LOS MÉTODOS
HIDRODESTILACIÓN Y DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR”

Presentado por Bach. **Mario Ángel Gamarra Chirinos**, para optar el Título de:
Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado, 12 de abril del 2024, ante el jurado evaluador:

Presidente:




Dr. Jofre Huamán Núñez

Primer Miembro:




Mgt. Alfredo Fernández Ayma

Segundo Miembro:



Dr. Edgar Aníbal Pérez Olaguivel

Asesor:



Mgt. Luis Ricardo Paredes Quiroz

Co Asesor:



Dra. Dagnith Liz Bejarano Lujan



Agradecimiento

Quisiera dedicar un agradecimiento especial a mis padres, cuyo apoyo incondicional ha sido la piedra angular de este logro. Su amor, paciencia y aliento constante han sido mi mayor fuente de fortaleza y motivación, les agradezco por su sacrificio y dedicación. Su apoyo me permitió embarcarme en este viaje académico. Su confianza en mí ha sido la fuerza impulsora detrás de cada paso que he dado.



Dedicatoria

Este trabajo está dedicado con amor y gratitud a aquellos que han sido los pilares fundamentales en mi viaje académico y personal. A mis padres, Mario R. Gamarra y Paulina Chirinos cuyo amor, sacrificio y constante apoyo han sido la fuente de mi fortaleza. Gracias por creer en mí y por alentarme a perseguir mis sueños con determinación. Este logro es un tributo a cada persona que ha sido parte de mi vida, contribuyendo de alguna manera a mi crecimiento y éxito. Este trabajo es tan suyo como mío.



“Evaluación de la calidad y rendimiento de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)
obtenido por los métodos hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor”

Línea de Investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación agroindustrial.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
CAPÍTULO I.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del Problema	5
1.2.1 Problema general.....	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.2.3 Justificación de la investigación	5
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivo general.....	7
2.1.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación.....	7
2.2.1 Hipótesis general.....	7
2.2.2 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	7
CAPÍTULO III.....	9
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
3.1 Antecedentes	9
3.2 Marco teórico	10
3.2.1 Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	10
3.2.2 Clasificación taxonómica.....	11
3.2.3. Propiedades	12
3.3 Marco conceptual.....	30
CAPÍTULO IV	32
METODOLOGÍA.....	32
4.1 Tipo y nivel de investigación	32
4.2 Diseño de la investigación	32



4.3	Población y muestra	34
4.4	Procedimiento	34
4.5	Técnica e instrumentos.....	37
4.5.1	Técnica	37
4.5.1.1	Análisis fisicoquímicos:.....	37
4.5.1.2	Análisis de componentes:.....	38
4.5.1.3	Características organolépticas:.....	38
4.5.1.4	Cálculo de rendimiento:	38
4.5.2	Instrumentos.....	38
4.5.2.1	Equipo destilador piloto	39
4.6	Análisis estadístico.....	40
CAPÍTULO V.....		42
RESULTADOS Y DISCUSIONES		42
5.1	Análisis de resultados.....	42
5.2	Contrastación de hipótesis	54
5.3	Discusión.....	56
CAPÍTULO VI.....		61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		61
6.1	Conclusiones	61
6.2	Recomendaciones.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		63
ANEXOS		67



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de las variables de la investigación.....	8
Tabla 2	Métodos de extracción de aceites esenciales	24
Tabla 3	Esquematización del diseño experimental	33
Tabla 4	Composición Fisicoquímica de aceite esencial obtenido por arrastre de vapor e hidrodestilación.....	42
Tabla 5	Composición Fisicoquímica de los promedios de los tratamientos de aceites esenciales de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por Arrastre de vapor e Hidrodestilación.....	43
Tabla 6	Análisis de Varianza de Composición fisicoquímica de aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por 2 tratamientos: Arrastre de vapor e Hidrodestilación....	43
Tabla 7	Contenido relativo de los compuestos bioactivos de aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por el tratamiento de arrastre de vapor	45
Tabla 8	Contenido relativo de los compuestos bioactivos de aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por el tratamiento de Hidrodestilación	47
Tabla 9	Composición Bioactiva del aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por los 2 tratamientos: Arrastre de vapor e Hidrodestilación.	49
Tabla 10	Análisis de Varianza de Composición Bioactiva del aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por los 2 tratamientos Arrastre de vapor e Hidrodestilación	50
Tabla 11	Rendimiento de los 2 tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación de la extracción de aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>).....	52
Tabla 12	Rendimiento de los 2 tratamientos por Arrastre de vapor e Hidrodestilación de aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>).....	52
Tabla 13	Análisis de Varianza del Rendimiento del aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por los tratamientos de Arrastre de vapor e Hidrodestilación.	53
Tabla 14	Caracterización sensorial de los dos tratamientos de aceite esencial de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	54



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Hojas de eucalipto	11
Figura 2	Eucaliptol cineol	16
Figura 3	Destilación de aceite esencial por hidrodestilación	26
Figura 4	Destilación de aceite esencial por método arrastre de vapor	29
Figura 5	Diagrama de flujo del proceso de obtención del aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	34
Figura 6	Recolección de materia prima	35
Figura 7	Selección de materia prima	35
Figura 8	Pesado de la materia prima	36
Figura 9	Medidas equipo destilador piloto	40
Figura 10	Cromatograma de tiempo de retención de los compuestos bioactivos del aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por arrastre de vapor	46
Figura 11	Cromatograma de tiempo de retención de los compuestos bioactivos del aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), obtenido por hidrodestilación	48



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de aceites esenciales ha ganado una relevancia significativa debido a sus características distintivas, como su variabilidad y versatilidad. Estos aceites se emplean en diversas industrias, entre las que se incluyen la farmacéutica, cosmética, alimenticia y química, desempeñando un papel crucial en el desarrollo de la industria peruana. En particular, la región Apurímac se destaca por su rica biodiversidad, albergando una abundancia de hierbas aromáticas con propiedades beneficiosas derivadas de su compleja composición de bioactivos. Aunque estas hierbas son ampliamente utilizadas en la medicina tradicional, su estudio y comprensión científica son limitados, basándose principalmente en conocimientos transmitidos de generación en generación.

En este contexto, el eucalipto se presenta como uno de los numerosos árboles que contienen aceites esenciales, aprovechados principalmente por sus componentes activos. Este árbol es especialmente relevante en la industria farmacéutica debido a sus notables propiedades medicinales, pero también encuentra aplicaciones en la industria cosmética y alimenticia.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es comparar la calidad y el rendimiento del aceite esencial de eucalipto obtenido mediante dos métodos distintos: hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor, utilizando un equipo piloto. Al abordar esta comparación, se busca no solo entender las diferencias en la calidad del producto final, sino también evaluar la eficacia y eficiencia de los métodos de extracción. Este estudio contribuirá al conocimiento científico de los procesos de obtención de aceites esenciales, especialmente en el contexto de las riquezas naturales presentes en la región Apurímac, promoviendo así el desarrollo sostenible y la utilización consciente de los recursos naturales.



RESUMEN

La investigación se centró en la evaluación de la calidad y el rendimiento del aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), extraído mediante destilación por arrastre de vapor e hidrodestilación, en la región Apurímac, específicamente en el distrito Abancay - Quisapata. Se recolectaron 65 kg de hojas de Eucalipto, utilizando 7,5 kg a 12 kg según el método de extracción. La destilación se llevó a cabo en un destilador piloto construido para este propósito, con dimensiones de 31" de altura, 29" de diámetro y una capacidad de 12 a 25 kg, construido con acero inoxidable.

La calidad del aceite esencial se evaluó considerando componentes fisicoquímicos, bioactivos, organolépticos y el rendimiento, utilizando metodologías de la AOAC, Cromatografía de gases GC – MSD y Normas Técnicas Peruanas, respectivamente. El aceite obtenido por arrastre de vapor destacó en parámetros como pH (3,40), índice de refracción (1,3596) y acidez (1,26). Además, exhibió predominio en varios componentes bioactivos, incluyendo Eucaliptol/cineol (68,57 %), alfa pineno (18,66 %), alfa terpinil acetato (2,14 %), entre otros.

En términos organolépticos, ambos métodos mostraron similitudes en color, olor, sabor y aspecto, con tonalidades amarillo claro a incoloro, aroma muy aromático y penetrante, sabor amargo mentolado, y aspecto homogéneo. El rendimiento fue del 0,98 % para arrastre de vapor y del 0,75 % para hidrodestilación, concluyendo que el método de arrastre de vapor fue superior tanto en calidad como en rendimiento. Estos resultados son fundamentales ya que los componentes bioactivos del aceite esencial de eucalipto son valiosos por sus beneficios para la salud y sus propiedades aromáticas, resaltando la relevancia del método de extracción en la obtención de un producto óptimo.

Palabras clave: *Aceite esencial, Eucalyptus globulus, arrastre de vapor, hidrodestilación, calidad.*



ABSTRACT

The research focused on the evaluation of the quality and performance of Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) essential oil, extracted by steam distillation and hydrodistillation, in the Apurímac region, specifically in the Abancay - Quisapata district. 65 kg of Eucalyptus leaves were collected, using 7.5 kg to 12 kg depending on the extraction method. The distillation was carried out in a pilot still built for this purpose, with dimensions of 31" in height, 29" in diameter and a capacity of 12 to 25 kg, built with stainless steel.

The quality of the essential oil was evaluated considering physicochemical, bioactive, organoleptic components and performance, using AOAC methodologies, GC Gas Chromatography – MSD and Peruvian Technical Standards, respectively. The oil obtained by steam stripping stood out in parameters such as pH (3.40), refractive index (1.3596) and acidity (1.26). Furthermore, it exhibited predominance in several bioactive components, including Eucalyptol/cineole (68.57%), alpha pinene (18.66%), alpha terpinyl acetate (2.14%), among others.

In organoleptic terms, both methods showed similarities in color, odor, flavor and appearance, with light yellow to colorless tones, a very aromatic and penetrating aroma, a bitter menthol flavor, and a homogeneous appearance. The yield was 0.98% for steam stripping and 0.75% for hydrodistillation, concluding that the steam stripping method was superior in both quality and performance. These results are fundamental since the bioactive components of eucalyptus essential oil are valuable for their health benefits and aromatic properties, highlighting the relevance of the extraction method in obtaining an optimal product.

Keywords: *Essential oil, Eucalyptus globulus, steam stripping, hydrodistillation, quality.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La producción de aceites esenciales está influenciada por varios factores, incluidos los rendimientos obtenidos para una misma planta aromática bajo condiciones específicas. Estos factores pueden incluir el tipo de equipo utilizado, las condiciones térmicas del vapor de agua, el contenido de agua en la planta, las variables operativas y otros factores adicionales.

Por otro lado, la industria de extracción de aceites esenciales crece cada día más, y el Perú tiene el 1,22 % de la producción mundial, de la producción utilizando diferentes métodos de extracción, hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor (o vapor húmedo), de los cuales no se puede asegurar cuál de ellos proporciona un mayor rendimiento y mejor calidad de aceite esencial, es decir, mayor rentabilidad, competitividad y eficacia en el proceso, debido a que existe escasamente estudios comparativos entre ambos métodos aplicados en un equipo de destilación.

En el distrito de Abancay en las zonas de Quisapata y Tamburco se tiene amplias áreas forestales dedicadas a las plantaciones de eucalipto, (*Eucalyptus globulus*), que son exclusivamente, para madera, dejando como merma, las flores, las semillas, el follaje y carcaza del tronco, las cuales no reciben un tratamiento tecnológico, sino simplemente se espera su lenta descomposición para nutrir el suelo.

El presente estudio fue motivado por las consideraciones citadas previamente, orientado hacia la búsqueda de un método que permita obtener mejores rendimientos para mejor aprovechamiento industrial del eucalipto, y determinar así los factores que influyen en la extracción de aceites esenciales requeridos para la correcta obtención del aceite esencial del eucalipto (*Eucalyptus globulus*).



1.2 Enunciado del Problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál será el rendimiento y la calidad del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenido por el método de hidrodestilación en comparación con el método de destilación por arrastre de vapor?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será la calidad del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenido por los métodos de extracción del aceite esencial?
- ¿Cuál será el rendimiento de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) por métodos de hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor?

1.2.3 Justificación de la investigación

Quilca (2011), sostiene que, entre los recursos naturales renovables más destacados, que históricamente han desempeñado un papel crucial y significativo en la economía humana, se encuentran los bosques. Los árboles presentes en los bosques no solo proporcionan madera, sino también hojas, flores y frutos, los cuales pueden ser aprovechados mediante diversos procesos para añadirles valor y ofrecer una variedad de alternativas de uso.

El objetivo de este estudio es comparar dos técnicas de extracción de aceite esencial, la hidrodestilación y la destilación por arrastre de vapor, utilizando un equipo destilador piloto diseñado específicamente para este proyecto de investigación centrado en la economía circular. Se busca identificar un método de extracción respetuoso con el medio ambiente que permita obtener un rendimiento óptimo del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y, al mismo tiempo, conservar sus características y propiedades.

Además, este proyecto tiene como objetivo fomentar entre los agricultores y estudiantes universitarios el aprovechamiento del valor añadido de las plantas aromáticas de la región, como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Se pretende no solo utilizar la madera de estas plantas, sino también extraer y comercializar el aceite esencial contenido en sus hojas para su uso en industrias farmacéuticas, de



perfumería, medicinales y otras. Asimismo, se busca aprovechar los aceites esenciales de otras plantas aromáticas.



CAPÍTULO II OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Analizar la calidad y el rendimiento de aceite esencial de eucalipto obtenido por los métodos de hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor.

2.1.2 Objetivos específicos

- Conocer la calidad de aceite esencial extraído por los métodos de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).
- Determinar los rendimientos de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) por hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

¿Cuál será el rendimiento y la calidad del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenido por el método de hidrodestilación en contraste con el método de destilación por arrastre de vapor?

2.2.2 Hipótesis específicas

- El aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenido por los dos métodos de extracción presentan calidades diferentes.
- El rendimiento de obtención del aceite esencial de eucalipto usando los dos métodos de extracción presentan diferentes resultados.

2.3 Operacionalización de variables

A continuación, se muestra la operacionalización de las variables de investigación:



Tabla 1 — Operacionalización de las variables de la investigación

VARIABLES INDEPENDIENTE	INDICADOR	ÍNDICE
Hojas de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor	ml
VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADOR	ÍNDICE
Características fisicoquímicas	- Densidad	- g/cm ³
	- Acidez	- (%)
	- pH	- (%)
	- Índice de refracción	- Adimensional
Componentes bioactivos	- Isovaleraldehyde	- (%)
	- Alpha – pinene	- (%)
	- Beta – pinene	- (%)
	- Beta – myrcene	- (%)
	- Alpha phellandrene	- (%)
	- Eucaliptol	- (%)
	- Gamma – terpinene	- (%)
	- Terpinolene	- (%)
	- Terpinen – 4 – ol	- (%)
	- Nerol	- (%)
	- Alpha – terpineol	- (%)
	- Alpha terpinyl acetate	- (%)
- Aromandrene	- (%)	
- Alloaromandrene	- (%)	
- Gamma selinene	- (%)	
Rendimiento	- Rendimiento	- (%)
Características organolépticas	- Olor	- Adimensional / descriptivo
	- Sabor	
	- Color	

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) **De León (2008)**, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la tesis titulada **“Comparación del rendimiento del aceite esencial de dos especies de eucalipto (*Eucalyptus citriodora* Hook y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), aplicando el método de hidrodestilación a nivel laboratorio”**, tuvo como propósito identificar la variedad de eucalipto que produce una cantidad más alta de producto. Como resultado se reportó que la especie *Camaldulensis* obtuvo mejor rendimiento de $1,1510 \pm 0,0546$ en un tiempo de 3 horas de extracción con mejores características y propiedades ante el refractómetro.

- b) **Lima (2005)**, en la tesis titulada **“Análisis de los rendimientos obtenidos de dos especies de eucalipto trabajados en seco a nivel laboratorio y a nivel planta piloto en la extracción de su aceite esencial”**, obtuvo los siguientes rendimientos; *Eucalyptus cinerea* 2,95 % y *Eucalyptus globulos* 0,63 % de hojas secas y sus principios activos *Eucalyptus globulus*: limoneno 1,4424 %, cineol 3,6999 %, bcariofileno 19,4922 %, felandreno 14,5516 %; y *Eucalyptus cinerea*: apineno 9,676 %, limoneno 7,6823 %, cineol 64,1596 %, bcariofileno 2,8918 % mediante los métodos, destilación arrastre de vapor directo (planta piloto), hidrodestilación (laboratorio).

- c) **Lipa (2014)**, llevó a cabo un estudio comparativo sobre la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalipto globulus* labill) utilizando dos métodos: destilación por arrastre de vapor y hidrodestilación asistida por radiación microondas. En condiciones idénticas de tiempo, humedad y porosidad de lecho, se observó que el método de hidrodestilación asistida por radiación microondas mostró un rendimiento superior en la extracción de aceite esencial. Se obtuvo un rendimiento máximo de 1,994 ml/100 g de hoja con este método, mientras que con la destilación por arrastre



de vapor el máximo rendimiento fue de 0,558 ml/100 g de hoja. Además, se encontró que el tiempo de 30 minutos resultó en la extracción más alta de aceite esencial con la hidrodestilación por arrastre de vapor, con un rendimiento de 1,992 ml de aceite por cada 100 g de hojas, en comparación con 0,56 ml obtenidos con el método de destilación por arrastre de vapor.

- d) **Rodríguez y Quiroa (1993)**, en la tesis titulada “**Determinación de una combinación de variables del aceite esencial de la hoja de eucalipto a partir de la evaluación de métodos de extracción convencionales**” obtuvieron como resultado que, de las tres especies estudiadas, *eucalyptus glóbulus*, *eucalyptus cinerea*, *eucalyptus citriodora*, de los cuales se utilizaron las hojas frescas como materia prima, la especie *eucalyptus cinerea* reportó el porcentaje de rendimiento más elevado con un valor de 1,8 % de rendimiento a nivel laboratorio y 1,59 % a nivel planta piloto.
- e) **Cedeño et al. (2019)**, en su investigación titulada “**Comparación de métodos de destilación para la obtención de aceite esencial de eucalipto**”, evaluaron el rendimiento de dos métodos de extracción: destilación por arrastre de vapor y destilación con solventes orgánicos utilizando el equipo Soxhlet con alcohol etílico como solvente. Los resultados mostraron que el método de destilación por arrastre de vapor produjo 0,658 g de aceite esencial, mientras que el método con solventes orgánicos produjo 0,04 g. Se concluyó que el método de destilación por arrastre de vapor proporciona un rendimiento superior, ya que produce un producto más puro en comparación con la extracción con solventes.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Se trata de un tipo de árbol perteneciente a la familia de las mirtáceas, nativo del sureste de Australia y Tasmania. Esta especie fue introducida en nuestro país mediante la siembra realizada por extranjeros, quienes trajeron semillas desde Australia con el propósito de cultivarlos para utilizarlos como combustible, más adelante se convirtió, en materia prima, para la industria papelera, maderera, ornamento y para farmacéutica (Lipa, 2014).

De acuerdo con Di Marco (2015), el *Eucalyptus globulus* es una de las especies pioneras del género en ser identificada y ampliamente reconocida a nivel mundial. Este árbol cuenta con cuatro subespecies, que algunos estudiosos consideran como



especies independientes: globulus, maidenii, bicostata y pseudoglobulus, todas nativas de Tasmania y Australia. Se cultiva principalmente para la extracción de aceites esenciales, utilizados en medicina y, especialmente, en la producción de pasta de papel. Además, se emplea en la construcción naval y en la fabricación de herramientas agrícolas.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la principal especie de eucalipto plantada, *Eucalyptus globulus*, fue inicialmente introducida en 1865 y vastamente plantada sobre la meseta central entre las alturas de 1800 y 3300 msnm. El mejor crecimiento se presenta en localidades entre 2000 y 2900 msnm, donde la precipitación anual es de 1000 a 2000 mm, correspondiendo a la designación de Holdridge, zona de “bosque húmedo montano bajo”

3.2.2 Clasificación taxonómica.

Nombre científico: *Eucalyptus globulus*

Nombre Común: Eucalipto

Reino: Plantae

División: Tracheophyta – Plantas vasculares, traqueofitas

Clase: Magnoliopsida

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: Eucalyptus

Especie: Globulus



Figura 1 — Hojas de eucalipto. Tomado de Wofwalker Collection (<https://www.wolfwalkercollection.com/products/eucalyptus>)

3.2.3. Propiedades

La ciencia ha reportado que como parte de las propiedades contienen algunos extractos líquidos los cuales brindan propiedades antiinflamatorias antisépticas, antiinfecciosas, antirreumáticas incluso desodorantes y mucolíticas. Por este motivo, es muy común el uso como desinfectante para la piel, en higiene bucal, aromaterapia y en tópico para el tratamiento de las infecciones de las vías respiratorias, bronquitis, migrañas, dolor muscular y cicatrización (**García et al., 2002**). Gracias a las grandes cantidades de residuos generados en la industria maderera (madera y papel) teniendo como materia prima el eucalipto se ha evaluado el potencial y uso de extractos provenientes de la corteza de *Eucalyptus globulus* (**Rodríguez, 2018**).

Según un reciente estudio, los extractos hidrofílicos obtenidos de la corteza del *Eucalyptus globulus* poseen alto contenido de compuestos fenólicos, los cuales cumplen una buena función antifúngica sobre la especie *Trametes Versicolor*. Además, se demostró que tienen alto poder antioxidante ya que presentan resistencia a la degradación de la madera del pino infectada por hongos encargados de la descomposición. (**Gonzales et al., 2017**).

Las hojas del *Eucalyptus globulus* contienen aceites esenciales, siendo el principal componente el 1,8-cineol o eucaliptol (un éter óxido terpénico). Además de esto, incluyen alfa-pineno, d-limoneno, p-cimeno, alfa-felandreno, canfeno, gamma-terpineol, sesquiterpenos, ácidos, taninos, pigmentos flavónicos, entre otros elementos. Estos componentes confieren a las hojas propiedades antisépticas, bacteriostáticas, insecticidas y fungicidas. Investigaciones recientes han confirmado mediante métodos no convencionales la eficacia de estas propiedades y la potencia de los compuestos aislados de las hojas de *Eucalyptus globulus* (**Botanical Online, 2021**).

A continuación, se enumeran algunas de estas propiedades son:

- **Plaguicida:** Según **Botanical Online (2021)**, entre todos los elementos presentes en las hojas del *Eucalyptus globulus*, se destacan el ácido protocatéquico (en forma de extracto acuoso) y el citral (clasificado como volátil y perteneciente al grupo de los monoterpenos), por su fuerte afinidad con la toxina insecticida (2KSL), lo que se traduce en una significativa actividad biológica contra los insectos. El ácido protocatéquico es uno de los componentes



activos que se encuentra en muchas hierbas medicinales, siendo común su presencia en las plantas. Este ácido exhibe una variedad de efectos antibacterianos, incluyendo su acción sobre microorganismos como *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Bacillus tifoidea*, *Bacillus disentería*, *Bacillus alcaloide*, *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*.

- **Antimicrobiano:** La capacidad antimicrobiana de los extractos etanólicos derivados de las hojas de *E. globulus* se asocia a la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides. Esta acción antimicrobiana se atribuye a la interacción de estos compuestos con los componentes de la membrana celular, lo que provoca perforaciones y/o reduce la fluidez de dicha membrana. Por consiguiente, el extracto de hojas de *E. globulus* podría ser considerado como un agente bioactivo "natural" con potencial aplicación en diversas áreas industriales.
- **Antibacteriano:** Según **Gullón et al. (2017)**, los extractos etanólicos de las hojas de eucalipto demostraron eficacia al inhibir el crecimiento y erradicar tres tipos de bacterias grampositivas (*S. aureus*, *L. innocua* y *B. cereus*) y tres tipos de bacterias gramnegativas (*E. coli*, *P. aeruginosa* y *Salmonella sp.*), siendo las bacterias grampositivas más susceptibles a los extractos.
- **Actividades neuroprotectoras y antioxidantes:** Los extractos de metanol y acetona, que tienen distintos niveles de polaridad, han demostrado poseer propiedades antioxidantes, atribuibles a su alto contenido de compuestos fenólicos, especialmente el ácido clorogénico, que es el componente principal. Además, se ha observado que los extractos de *E. globulus* tienen la capacidad de proteger contra el daño causado por el estrés oxidativo al aumentar la viabilidad celular, los niveles de glutatión y la actividad de las enzimas antioxidantes. Esta actividad antioxidante y antifúngica se debe a la presencia de sesquiterpenos como eudesmol, beta-eudesmol y globulol (**Gullón et al., 2017**). Por lo tanto, los extractos fenólicos ofrecen beneficios para la salud al combatir el estrés oxidativo, y pueden ser utilizados como materias primas en la producción de complementos nutricionales, alimentos y productos farmacéuticos.



- **Efectos cardiovasculares:** Una investigación llevada a cabo con ratas concluyó que el cineol tiene efectos hipotensores, ya que actúa sobre el músculo liso vascular, provocando su dilatación. Asimismo, se observó una reducción en la frecuencia cardíaca (**Lima, 2005**).

3.2.4. Aceite esencial

Son mezclas de metabolitos secundarios con composiciones químicas complejas de hidrocarburos y sus derivados, provenientes de las plantas, producidos por estructuras y tejidos secretores difundidos en la superficie de la planta principalmente en las hojas y tallos (**Sharifi et al., 2017**). Las plantas producen aceites esenciales como metabolitos secundarios en respuesta a estrés fisiológico, ataques de patógenos o factores ecológicos. En la naturaleza los aceites esenciales son conocidos como compuestos de defensa y atractores para los polinizadores, es por esto que pueden presentar diferentes características las cuales han sido atribuidas a lo largo del tiempo entre ellas actividades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas (**Duarte et al., 2017**).

De León (2008), asevera que los aceites esenciales son lípidos que no son relacionados con los ácidos grasos. Son compuestos terpenoides derivados por condensación del isopreno (lípidos isoprenoides). De acuerdo a su química mayormente son hidrocarburos (pineno, limoneno), aunque existen varios que contienen funciones oxidadas (alcanfor). Son compuestos odoríferos naturales que se encuentran en las plantas y a su vez suelen ser aislados de las mismas. Generalmente, se encuentran en estado líquido (algunas ocasiones en estado semisólidos y muy raras veces en estado sólido) presentan poca solubilidad en agua, pero son volátiles en vapor, ya que se evaporan a distintas velocidades bajo presión atmosférica (**Piedra, 2007**).

Martinez (2003), afirma que los aceites esenciales se encuentran distribuidos ampliamente en 60 familias de plantas que contienen las Compuestas, Labiadas, Lauráceas, Mirtáceas, Pináceas, Rosáceas, Rutáceas, Umbelíferas, etc. Las podemos encontrar en partes diferentes de la planta: tanto en las hojas (ajeno, albahaca, buchú, cidrón, eucalipto, hierbabuena, limoncillo, mejorana, menta, pachulí, quenopodio, romero, salvia, toronjil, etc.), las raíces (angélica, asaro,



azafrán, cáalamo, cúrcuma, galanga, jengibre, sándalo, sasafrás, valeriana, vetiver, etc.), en el fruto en especial en el pericarpio (limón, mandarina, naranja, etc.), semillas (anís, cardamomo, eneldo, hinojo, comino, etc.), tallo (canela, etc.), flores (árnica, lavanda, manzanilla, piretro, tomillo, clavo de olor, rosa, etc.) y en los frutos (alcaravea, cilantro, laurel, nuez moscada, perejil, pimienta, etc.).

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destiladas por arrastre con vapor de agua, responsables del aroma de las plantas. Son mezclas complejas constituidas por diferentes tipos de compuestos orgánicos. En la naturaleza los aceites esenciales desempeñan un papel importante en la defensa y protección de las plantas. Se evaporan por exposición al aire a temperatura y presión ambiente. Los aceites esenciales tienen un gran impacto en las industrias de alimentos, cosméticas, farmacéuticas y agrícolas. Actualmente es una industria en constante desarrollo y crecimiento en diferentes países según **(Bandoni, 2002)**.

3.2.4.1. Composición química de los aceites esenciales

Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden tener la siguiente naturaleza química: **Piedra (2007)**, identificó una variedad de compuestos alifáticos de peso molecular reducido (como alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos), así como monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos.

La composición de los aceites esenciales puede cambiar según diversos factores, como el tipo de planta, la especie y el género. En su mayoría, los aceites esenciales están compuestos principalmente por hidrocarburos terpénicos, los cuales consisten en estructuras de isopreno de más de cinco unidades. Entre los más comunes se encuentran los monoterpenoides y los sesquiterpenoides **(Ortuño, 2006)**. Los monoterpenoides son compuestos sin color con puntos de ebullición que oscilan entre los 140 °C y 180 °C. Algunos de ellos han demostrado ser prometedores en el control de plagas de insectos. Por otro lado, los sesquiterpenoides han mostrado ciertas propiedades medicinales **(Duarte et al., 2017)**. Los monoterpenos y sesquiterpenos son compuestos terpénicos que contienen 10 y 15 átomos de carbono, respectivamente. Se clasifican según su estructura en función



del número de ciclos, pudiendo ser acíclicos, monocíclicos, bicíclicos, entre otros. Algunos ejemplos de monoterpenos y sesquiterpenos son:

- Monoterpenos acíclicos: linalol, nerol, geraniol.
- Monoterpenos monocíclicos: p-mentano, 1,4-cineol, 1,8-cineol, ascaridol.
- Monoterpenos bicíclicos: carano, cis-carano y trans-carano.
- Sesquiterpenos: farnesol, nerolidol (**Gonzales, 2004**).

En concentraciones menores, también se pueden encontrar compuestos químicos volátiles que contribuyen al aroma del aceite, además de otros componentes como ceras y ácidos, que pueden ser relevantes para ciertas aplicaciones específicas. Los principales constituyentes específicos de los aceites esenciales incluyen terpenos o terpenoides, aldehído benzoico, aldehído cinámico, butanal, propanal, ácido acético, ácido palmítico, alcoholes como el linalol, geraniol y mentol, fenoles como el anetol y el eugenol, ésteres como el acetato de linalilo y el acetato de geranilo, cetonas, otros ésteres, derivados nitrogenados, sulfuros, tioésteres y tioéteres.

- *Eucaliptol o Cineol*: El eucalipto se compone principalmente del conocido aceite de eucalipto, obtenido mediante destilación de las hojas frescas de la planta. Este aceite, que puede ser incoloro o ligeramente amarillento, posee propiedades aromáticas distintivas. Su componente principal es el eucaliptol, también llamado cineol, un líquido incoloro con un aroma característico que constituye entre el 70 % y el 80 % del aceite extraído de las hojas de la planta (**Martinez, 2003**). El cineol, conocido coloquialmente como eucaliptol o simplemente cineol, es un éter monoterpénico bicíclico con la fórmula química 1,3,3-trimetil-2-oxabicyclo [2.2.2]octano.

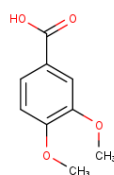


Figura 2 — Eucaliptol cineol. Tomado de Mantero et al. (2007)



Este componente se encuentra presente en aproximadamente un 70 % en el aceite esencial del *Eucalyptus globulus*, lo que lo convierte en la opción más comúnmente utilizada para la producción comercial de esta sustancia (Mantero et al., 2007).

- **Alpha-pineno:** Es considerado uno de los Monoterpenos Bicíclicos más destacados debido a su amplia disponibilidad y la variedad de productos derivados que se obtienen de él. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y constituye uno de los componentes principales de los aceites esenciales (Kubeczka, 2002).

- **Alpha terpinyl acetate:** Es un componente químico presente en algunos aceites esenciales, como el obtenido de las hojas del árbol de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Se clasifica como un éster, más precisamente un acetato, y su nombre químico completo es acetato de alfa-terpinilo.

El alfa-terpinilo es un terpenoide que se encuentra en varios aceites esenciales de plantas, y el acetato de alfa-terpinilo es uno de sus derivados. Contribuye al aroma característico de muchos aceites esenciales, identificándose como uno de los compuestos bioactivos presentes en el aceite de eucalipto (González et al., 2017).

- **Alfa-terpineol:** es un compuesto químico que pertenece a la clase de los terpenoides y se encuentra en diversos aceites esenciales de plantas. Es un alcohol monoterpenoide y su estructura química incluye un anillo de seis carbonos.

Este compuesto se encuentra comúnmente en aceites esenciales derivados de plantas como el pino, el eucalipto y varias especies de menta. Su aroma es floral y refrescante, y se utiliza en la industria de fragancias y perfumería debido a su agradable olor (González et al., 2017).



3.2.4.2. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales

Las propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales o esencias son muy diversas, puesto que el grupo engloba sustancias muy heterogéneas, que prácticamente pueden encontrarse solo una; como, por ejemplo, en la gaulteria en la cual el 98 a 99 % de su esencia se encuentra compuesto de salicilato de metilo y la esencia de canela contiene más de 85 % de cinamaldehído o más de treinta compuestos como en la de jazmín o en la de manzanilla (De León, 2008).

El rendimiento de esencia obtenido de una planta varía de unas cuantas milésimas por ciento de peso vegetal hasta 1 a 3 %. La composición de una esencia puede cambiar con la época de la recolección, el lugar geográfico o pequeños cambios genéticos. En gimnospermas y angiospermas es donde aparecen las principales especies que contienen aceites esenciales, distribuyéndose dentro de unas sesenta familias. Son particularmente ricas en esencias las pináceas, lauráceas, mirtáceas, labiáceas, umbelíferas, rutáceas y asteráceas (De León, 2008).

3.2.4.3. Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de Eucalipto

La determinación de las características físicas del aceite esencial permite conceptuar sobre la calidad y la pureza del aceite. Los aceites esenciales de eucalipto deben cumplir las siguientes características de acuerdo con el Código Alimentario Argentino, capítulo XVI, correctivo y coadyuvantes.

- Aspecto: Líquido incoloro transparente
- Olor: Característico
- Color: Amarillo a incoloro
- Sabor: Picante
- Punto de ebullición: 177 °C
- Punto fusión: 1,5 °C
- Punto de inflamación: 48 °C
- Densidad a 20 °C: 0,905 g/ml a 0,926 g/ml
- Índice de refracción a 20 °C: 1,458 a 1,470
- Desviación polarimétrica a 20 °C: 0° a +12°



- Solubilidad en alcohol etílico 70°: 1 vol. Min, 4 vol. Max
- Cineol (Eucaliptól): 60 % p/p
- Presión de vapor (50 °C): 11 kPa
- Peso específico (20 °C): 0,877 a 0,945
- Rotación óptica (20 °C): -10 ° a -1,5 °
- Solubilidad en agua: Insoluble

Las hojas poseen entre un 0,1 % y un 0,4 % de aceite esencial, siendo el 77 % de este compuesto cineol. En algunas hojas se encuentran también cuminal, felandreno, aromadendreno (o aromadendral), así como pequeñas cantidades de valerilaldehído, geraniol, cimeno y felandral. Además, contienen entre un 5 % y un 11 % de taninos. Tanto las hojas como los frutos dan resultado positivo en la prueba de flavonoides y esteroides. Se refiere específicamente a *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Componentes identificados de acuerdo con Inkanatura (2013):

- A-tujeno (0,07 %)
- alfa-pineno (0,0006 %)
- Beta-pineno: (0,0002 %)
- limoneno (0,001 %)
- p-cimeno (20,43 %)
- 1.8-cineol (57,49 %)
- alfa-terpineol (0,93 %)

Huerta y García (2009), señalan que los aceites esenciales presentes en las hojas de *E. camaldulensis*, identificados mediante cromatografía, comenzaron a aparecer aproximadamente a los 9 minutos. Se identificaron en total tres tipos de aceites: 1,2 metil-2-etil benceno, eucaliptol y ciclo azuleno. De estos, el ciclo azuleno fue el más prominente, representando alrededor del 28 % del total. El aceite esencial 1,2 metil-2-etil benceno solo fue observado en las hojas de *E. camaldulensis*.



3.2.4.4. Propiedades farmacológicas

Antisépticos, irritantes, digestivos, antiespasmódicos, sedantes. Se han hecho estudios frente a distintas bacterias (*Thymus vulgaris*, *streptococcus pyogenes*, *staphylococcus aureus*). Los más activos son los aceites con fenoles. *Scherichya Coli*. Se ha demostrado su actividad frente a hongos productores de micosis (*Candida albicans*), en este caso también la presencia de fenoles aumenta su actividad (De León, 2008).

En general dentro de los aceites esenciales los de menor actividad son los cetónicos, los fenoles son veinte veces más activos. Entre algunas plantas cuyo aceite esencial posee un fuerte poder antiséptico tenemos: Tornillo, Ajedrea, Pino, Lavanda, Eucalipto; usados sobre todo en afecciones respiratorias. Otros como el clavo o el hisopo lo son también. Los aceites esenciales tienen otras propiedades medicinales que ayudan a mitigar afecciones como, por ejemplo; tracto respiratorio: que sirven como expectorantes, facilitando la expulsión de secreciones; son digestivos ya que estimulan la secreción salival (aumentan el apetito), estimulan la secreción gástrica; disminuyen el tono y contracciones; entre otras cosas (De León, 2008).

3.2.4.5. Factores de influencia en los aceites esenciales

Son varios los factores citados como fuentes de variación en la composición y rendimiento de aceites esenciales de los eucaliptos: la variabilidad genética, el tipo y edad de las hojas, la influencia de factores ambientales, los tratamientos silviculturales y la forma de ejecución del muestreo y análisis del aceite (Mantero et al., 2007). Según un estudio de la composición química de las hojas de tres especies de eucalipto (*E. melliodora* A. Cunn. ex Schauer, *E. sideroxylon* A. Cunn. ex Woolls y *E. polyanthemos* Schauer), en las concentraciones de sideroxylonal y cineol existe variación inter e intraespecífica, de la que una parte se debe a diferencias genéticas y ambientales (Huerta y García, 2009).

El contenido de estos aceites puede afectarse en dependencia de diferentes factores, como son entre otros, las condiciones geográficas, la época del



año, la calidad del sitio y el suelo (Quert et al., 2000). Cada especie en particular presenta una edad óptima para la obtención de sus principios activos. Por lo general en las plantas muy jóvenes no existen sustancias con las propiedades biológicas y químicas bien definidas y si son viejas suelen presentar disminuido el metabolismo y por ende el contenido de sus principios activos. Ejemplo: El aceite esencial del género *Eucalyptus* se caracteriza por la presencia de sus principios activos a partir de los 2 ó 3 años de vida (Rodríguez, 2018). En otras especies forestales como las del género *Eucalyptus*, el incremento en la edad de los árboles produce disminución en los rendimientos de aceite esencial (Quert et al., 2000).

3.2.4.6. Cambios intrínsecos que se manifiestan durante las diferentes etapas del proceso vegetativo de las especies.

Las plantas que contienen aceites esenciales en la época de floración presentan una migración de éstos desde diversas partes del vegetal hacia las flores, con su correspondiente disminución en otros lugares acompañado de modificaciones en la composición química. Además, durante el inicio de la floración hay un mayor incremento del metabolismo en las flores, y como consecuencia de ello las raíces dejan de crecer y por lo tanto disminuye el contenido de alcaloides en las mismas apareciendo éstos en flores, frutos, hojas y semillas. Este efecto se confunde con el anterior por el hecho de que en ocasiones actúan simultáneamente, ya que en la vida de las plantas los procesos vegetativos se repiten por años, influyendo las variaciones dentro de un año y las variaciones por los años (Rodríguez, 2018).

3.2.5. Condiciones ecológico - geográficas o factores climato-geográficos

El metabolismo que tiene lugar en las especies ocurre de la misma forma que en sus antecesores directos, pero es posible que sucedan variaciones con el propósito de asegurar la adaptabilidad a las nuevas condiciones.

Dentro de los factores que pueden influir durante el desarrollo de las especies tenemos: tipo de suelo, temperatura, luz, altitud, latitud, humedad, etc. Por ejemplo, plantas que producen mucílagos, como producto de que retienen agua, contienen menos mucílagos cuando crecen sobre un suelo de alto contenido de humedad. Por



otro lado, se ha demostrado que con especies como *Datura stramonium*, una exposición prolongada a la luz intensa produce un señalado incremento en el contenido de hioscina en la época de la floración. También se ha demostrado que los componentes amargos de la *Genciana lutea* aumentan con la altitud mientras que los alcaloides del *Aconitum napillus* y *Lobelia inflata* disminuyen (**Rodríguez, 2018**).

Mantero et al. (2007), realizó la comparación de tres subespecies de *Eucalyptus globulus*, con respecto al rendimiento y porcentaje de 1,8 cineol. La influencia de las variables; año de cosecha, estación de cosecha, localización geográfica y tipo de hoja.

3.2.5.1. Criterios de calidad

Los aspectos fundamentales que determinan la calidad de los aceites esenciales, según **De León (2008)**, incluyen:

- La técnica de recolección, considerando factores como el momento del día, el estado de madurez de la planta, la estación, entre otros.
- Las partes de la planta utilizadas en la extracción, como flores, raíces, hojas, frutas, etc.
- Los métodos de extracción, que abarcan aspectos como la temperatura, la duración del proceso de destilación, el equipo empleado y el método de extracción utilizado.

3.2.6. Control de calidad.

Un buen control de calidad de aceites esenciales es un proceso similar al que se usa para caracterizar o controlar un medicamento. Los controles son de dos niveles (**De León, 2008**).

3.2.6.1. Controles físicos: Organolépticos (el olor, el sabor, el color)

- a) **Olor:** El aroma del aceite esencial debe reflejar fielmente el olor característico de la planta de la que se extrae. Al inhalarlo, debería generar la misma experiencia sensorial que al oler la planta misma. Si el aroma no es consistente con el de la planta, podría indicar que el



aceite ha sido adulterado, obtenido mediante un proceso de destilación secundaria o, aún peor, que se trata de una mezcla artificial de compuestos químicos.

b) Empaquetado: Es crucial proteger los aceites de la luz, por lo tanto, se recomienda almacenarlos en botellas de vidrio oscuro para evitar la degradación de su calidad.

c) Color: Los aceites son translúcidos y tienen una sensación ligera.

3.2.6.2. Constantes físicas: (temperatura de evaporación, densidad, viscosidad, etc). Los aceites esenciales se evaporan.

3.2.6.3. Controles químicos: Diferentes tipos de cromatografías.

3.2.7. Métodos de extracción.

Existen diversos procedimientos para obtener aceites esenciales. El método más adecuado sería aquel que logre extraer la esencia por completo, sin alterar su composición. Sin embargo, este objetivo es difícil de alcanzar debido a la pequeña cantidad presente en las plantas y a la diversidad de componentes que la conforman. En términos generales, la selección del método de extracción depende de la cantidad, el tipo y las características del aceite (como su volatilidad, punto de ebullición de los componentes, estabilidad a altas temperaturas, etc.), así como del órgano vegetal del que se va a extraer (**Lima, 2005**).

Cuando se hace el corte se debe tomar en cuenta que las hierbas, hojas y flores se degradan si este no se hace cuidadosamente, por lo cual se debe hacer en un período corto en la recolección. Para la mejor extracción del aceite esencial es necesario que el intervalo de tiempo entre el proceso de recolección y el proceso de obtención del aceite sea de diez a treinta horas. A ciertas materias vegetales se les debe reducir de tamaño para favorecer la obtención del aceite (**Lima, 2005**).



Tabla 2 — Métodos de extracción de aceites esenciales

Método	Procedimiento		Productos obtenidos	
Métodos directos	Extrusión	Compresión de cáscaras / raspado de cáscaras	Aceites esenciales cítricos	
	Exudación	Lesiones mecánicas en cortezas	Gomas, resinas, bálsamos	
	Destilación	Directa	Arrastre con vapor de agua (directo, indirecto, a presión, a vacío)	Aceites esenciales y aguas aromáticas
		Destilación – maceración (liberación enzimática de agliconas en agua caliente)		
		Extracción con solventes		
	Extracción con solventes	Solventes fijos (grasas y aceites)	En frío	Concretos y absolutos
			En caliente	Absolutos de pomadas
	Técnicas de vanguardia	Utilización de ultrasonidos en el proceso extractivo de la destilación		Absolutos de enflorados
		Extracción por microondas		
		Extracción con fluidos en estado supercrítico		

Fuente: Lima (2005)

3.2.7.1. Destilación

La destilación, ampliamente empleada para obtener aceites volátiles tanto en la industria como en el ámbito de laboratorio, es el método predominante. Se trata de un proceso que consiste en separar los componentes de una mezcla de líquidos mediante sus diferentes presiones de vapor. Durante la destilación, mediante el calentamiento en alambiques u otros recipientes, se separan las sustancias volátiles conocidas como aceites esenciales, los cuales no son miscibles en agua.



La mayoría de los aceites esenciales consisten en una combinación de compuestos volátiles. Esto implica que, a una temperatura determinada, la presión total del vapor generada por el aceite esencial es la suma de las presiones de vapor de sus componentes individuales. Por lo tanto, durante el proceso de destilación por vapor, la vaporización del aceite ocurre a una temperatura inferior a la del punto de ebullición del agua.

La mayoría de los sistemas de destilación utilizados en la extracción de aceites esenciales están compuestos por elementos tales como una fuente de energía, un dispositivo de destilación, un intercambiador de calor y un recipiente decantador. A continuación, se describen en detalle:

- a) **Fuente de energía:** En la destilación de aceites esenciales se emplean dos tipos de fuentes energéticas, primero, la combustión con madera, la cual se puede mantener encendida con el residuo del vegetal de la destilación anterior y a la vez genera vapor dentro de la caldera.
- b) **Destilador:** también conocido como extractor o alambique, es el recipiente donde se introduce la materia vegetal que será destilada. Por lo general, tiene forma cilíndrica y se dispone en posición vertical. La capacidad del destilador varía según la escala de trabajo deseada.
- c) **Intercambiador de calor:** conocido también como condensador, cumple la función de enfriar y condensar el vapor de agua y el aceite esencial que se desprende del destilador, llevándolos al estado líquido. Por lo general, su diseño puede ser tipo serpentín, tipo coraza o tubular.
- d) **Decantador:** Es conocido por su función de separar el aceite esencial del agua proveniente del intercambiador de calor. Dependiendo de su densidad, el componente se situará en la parte superior si es más liviano o en la parte inferior si es más pesado (Sena, 2020).

3.2.7.2. Hidrodestilación

La materia prima está sumergida en el agua dentro de un recipiente o alambique que se calienta directamente hasta ebullición. Se suministra calor, para generar vapor, que se encuentra en contacto directo con el material vegetal, conduciéndolo después al condensador. En este método el tamaño de partícula puede ser de un tamiz muy pequeño aumentado así el área de contacto y favoreciendo la extracción sin que exista el riesgo de que el vapor lo arrastre, debido a que el vapor se genera dentro del mismo recipiente y su presión de vapor es menor que el vapor que se extrae de una caldera, esto es compensado por el tamaño de partícula (Lima, 2005).

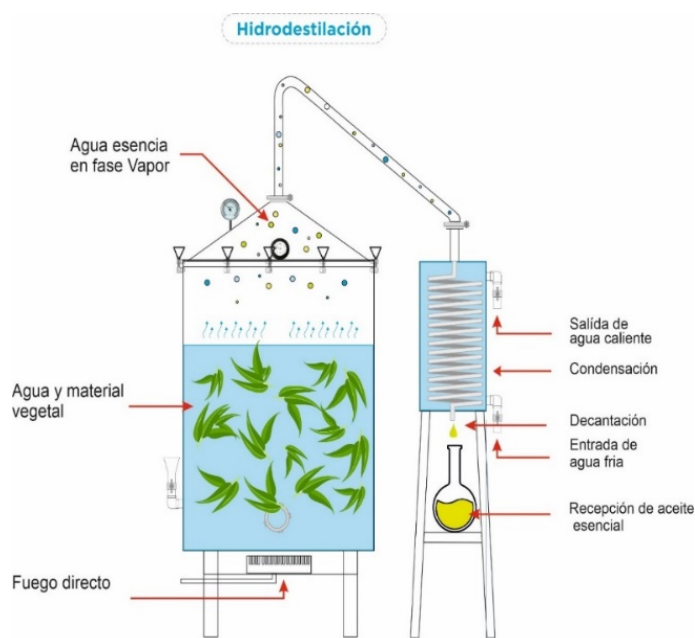


Figura 3 — Destilación de aceite esencial por hidrodestilación.

3.2.7.3. Destilación arrastre de vapor

La muestra vegetal, normalmente fresca y cortada en trozos pequeños, se introduce en un recipiente sellado y se somete a vapor de agua sobrecalentado. La esencia arrastrada por el vapor se condensa, se recoge y se separa de la parte acuosa. Esta técnica, ampliamente empleada en la producción de esencias líquidas, es especialmente común en la industria de la perfumería debido a su eficacia, la pureza del aceite obtenido y su independencia de tecnología sofisticada (Piedra, 2007). Al realizar este tipo de extracción, es importante asegurarse de que el tamaño de las



partículas no sea demasiado pequeño, ya que podrían ser arrastradas por el vapor y contaminar el producto condensado (**De León, 2008**). En su investigación **Paredes y Quinato (2010)** llevaron a cabo experimentos con el objetivo de obtener mayores rendimientos en la extracción de aceites esenciales. Concluyeron que el método de extracción agua-vapor ofrece ventajas significativas, lo que lo convierte en la técnica preferida. Aunque este proceso es uno de los más comunes para la extracción de aceites esenciales, no es adecuado para su aplicación en flores.

La extracción ocurre cuando el vapor de agua entra en contacto con el material vegetal, liberando la esencia para su posterior condensación. Con el fin de garantizar una mayor superficie de contacto y exposición de las glándulas de aceite, es fundamental triturar el insumo o materia prima según su consistencia (**Sena, 2020**).

a) Descripción del proceso

Comienza con la inyección de vapor desde una caldera externa a través de difusores situados en la base del material vegetal, el cual se dispone sobre una rejilla interna dentro de un tanque extractor (**Sena, 2020**).

El vapor de agua induce la difusión de los aceites esenciales desde las membranas celulares hacia el exterior. Los vapores resultantes de agua y aceite esencial se enfrían, volviendo a su estado líquido, y luego se separan en un decantador (**Sena, 2020**).

La destilación por agua - vapor tiene una duración entre tres o más horas, según el material que se esté tratando obteniéndose muy poca cantidad de esencia. Esto se debe a que el contenido de aceite en la planta es bajo y por ello es necesario destilar abundante cantidad de materia prima para obtener un volumen que justifique el gasto que se produce. Los rendimientos suelen ser menores al uno por ciento, es decir que por cien kilogramos de hierba fresca se obtiene menos de un kilogramo de aceite esencial (**De León, 2008**). Del vapor condensado se debe separar de la fase de agua por medio de diferencia de densidad por el método de decantación. El método de extracción



por destilación posee tres modalidades: a) hidrodestilación; b) destilación en corriente de vapor de agua y c) mixta.

Desventajas: Existe una baja probabilidad de ocurrir procesos como polimerización y resinificación de los terpenos; hidrólisis de esteres y destrucción térmica de algunos componentes.

Ventajas: Es más eficiente ya que se consume menor energía, porque se tiene un mayor control de la velocidad de destilación, existe la mínima posibilidad de que la presión del vapor varíe, además el método es mejor para las operaciones comerciales que sean a escala, al proveer resultados más constantes y reproducibles.

3.2.7.4. Expresión en frío

Expresión en frío consiste en extraer el aceite esencial al prensar el material vegetal, mediante un proceso mecánico, obteniéndose aceite esencial de alta calidad. Este método también se utiliza para obtener el aceite graso de la semilla del algodón y de la nuez de macadamia. Comercialmente se utiliza poco en la obtención de aceite esencial por el bajo rendimiento y alto costo; incluso para extraer el aceite graso del algodón se combina con la lixiviación para obtener un buen rendimiento **(Santos, 2006)**. Algunas esencias como las de los frutos cítricos (naranja, limón) no pueden destilarse porque se descomponen, se extraen en frío por expresión de las cáscaras (pericarpios); para ello industrialmente se procede a la escarificación mecánica haciendo pequeñas incisiones en el material vegetal haciendo rodar los frutos sobre bandejas revestidas de púas que penetran en la epidermis y rompen las glándulas oleíferas. Comercialmente este método es muy costoso y de bajo rendimiento y a veces se combina con otros métodos para obtener un buen rendimiento **(Lima, 2005)**.

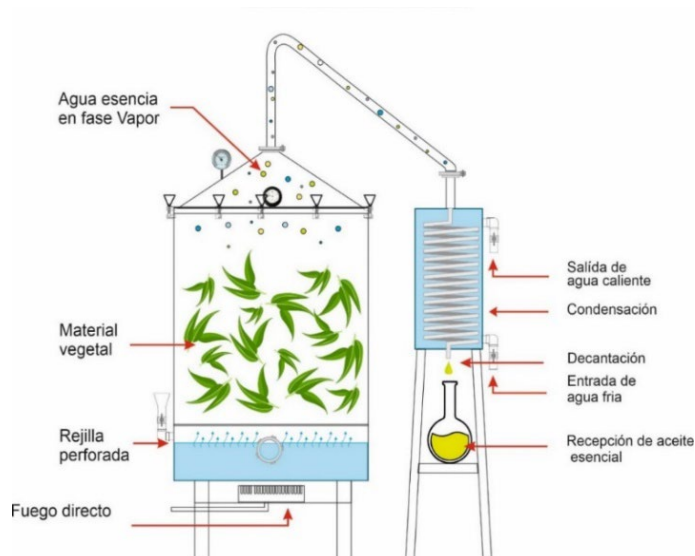


Figura 4 — Destilación de aceite esencial por método arrastre de vapor.

3.2.8. Usos de los aceites esenciales

Los aceites esenciales poseen diversas propiedades biológicas. Estos pueden actuar de muchas maneras, por lo que poseen diversas aplicaciones en las diferentes industrias (Sena, 2020).

3.2.8.1. Industria alimenticia

Son usados para saborizar y/o potenciar el sabor de todo tipo de bebidas, helados, galletas, golosinas productos lácteos, etc. y para aromatizar productos como caramelos y chocolates (Jimenez, 2006). También se utilizan en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, en refrescos y helados. Otro de sus usos es como aditivos naturales: colorantes, antioxidantes o conservantes.

3.2.8.2. Industria cosmética

Los Aceites Esenciales ricos en citronelal, citral y acetato de geranilo son usados en perfumería gracias a su potente olor (Almeida et al., 2016); también suelen ser usados como conservantes y principios activos en diferentes productos. Por otro lado, muchos de estos AE son usados en aromaterapia y en masajes terapéuticos gracias a su gran capacidad de penetración en los tejidos profundos (Jimenez, 2006). Otra propiedad



importante está relacionada a su poder cicatrizante puesto que estimula la regeneración celular.

3.2.8.3. Industria agrícola

Los aceites esenciales han demostrado tener propiedades significativas como agentes antifúngicos, antimicrobianos, antibacterianos, acaricidas, insecticidas y herbicidas, lo que los convierte en sujetos de evaluación para el control de diversas clases de microorganismos (**Almeida et al., 2016**). Además, se utilizan para impartir fragancias a jabones, detergentes, desinfectantes, entre otros productos.

3.2.8.4. Industria farmacéutica

Los aceites esenciales que contienen altas concentraciones de 1,8-cineol se emplean en aplicaciones farmacéuticas. Debido a su efectividad como antisépticos, los aceites esenciales son ampliamente utilizados para tratar afecciones respiratorias, infecciones del tracto urinario, infecciones de la piel, así como en enjuagues bucales y pastas dentales con propiedades antisépticas. Además, poseen diversas propiedades beneficiosas, como antiinflamatorias, analgésicas, antivirales y antiespasmódicas, entre otras. También se ha observado que poseen efectos antirreumáticos y antineurálgicos, lo que los hace útiles en el tratamiento del dolor articular. Los aceites esenciales son considerados tan medicinales como los alcaloides, los antibióticos o las enzimas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que algunas esencias pueden resultar peligrosas si no se manipulan de manera profesional, es decir, en cuanto a su forma, dosificación y en las circunstancias adecuadas (**Phong, 2018**).

3.3 Marco conceptual

- a) **Aceites esenciales:** Lípidos no ligados a ácidos grasos. Compuestos terpenoides formados a través de la unión de unidades de isopreno (**Duarte et al., 2017**).
- b) **Antiséptico:** Sustancia que destruye los microbios o evita su existencia (**De León, 2008**).



- c) **Antitusígeno:** Eficaz contra la tos (**Botanical Online, 2021**).
- d) **Aromaterapia:** Aplicaciones médicas de los aceites esenciales (**García et al., 2002**).
- e) **Astringente:** Compuesto que provoca la contracción de los tejidos orgánicos (**Gonzales, 2004**).
- f) **Destilación:** Proceso de separación de los constituyentes de una mezcla de dos o más líquidos basado en sus diferentes presiones de vapor (**Alcazar, 2002**).
- g) **Extracción:** Procedimiento utilizado tanto en entornos comerciales como en laboratorios para separar una sustancia de una mezcla o solución (**De León, 2008**).
- h) **Índice de refracción:** Relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un medio transparente o sustancia. Es un número adimensional, mayor que uno, que representa cuántas veces es mayor la velocidad de la luz en el vacío que en ese medio. Este índice es una constante característica de cada medio (**Alcazar, 2002**).
- i) **Monoterpenos:** Compuestos terpenoides que contienen diez átomos de carbono, lo que es equivalente a dos unidades de isopreno (**Alcazar, 2002**).



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación se clasifica como de nivel explicativo, dado que tiene como objetivo analizar las causas y consecuencias de un fenómeno concreto. No se busca únicamente identificar el "qué" de las situaciones, sino profundizar en el "porqué" de los acontecimientos y comprender cómo han llegado al estado actual. Para alcanzar estos objetivos, se emplearán diversos métodos, y en nuestro caso específico, se ha optado por un enfoque cuantitativo. Además, se caracteriza por ser de tipo experimental, según el grado de manipulación de variables necesario para abordar las interrogantes planteadas. De este modo, se sitúa en el nivel de investigación explicativo, ya que se persigue no solo describir el fenómeno, sino también proporcionar una comprensión detallada de sus causas y efectos.

4.2 Diseño de la investigación

Se utilizará un diseño completamente al azar con tres repeticiones, calculando el ANOVA, se realizará el cálculo de la varianza de los tratamientos con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %. Además, se aplicará la prueba de Tukey para comparar los promedios, utilizando el siguiente modelo matemático lineal.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} , es el valor observado del análisis fisicoquímico, bioactivo y rendimiento de la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento de destilación.

i: 1, 2, (tratamiento de destilación)

j: 1,2,3 (Repeticiones)

μ : es la media general.

T_i : Diferencia del Promedio del i-ésimo tratamiento de destilación respecto al promedio general.

E_{ij} : Error Experimental.



Tabla 3 — Esquematación del diseño experimental

V.I (Factor de Estudio)		V.D				Repeticiones	Ensayos
Destilación	Tratamientos	Análisis físicoquímicos	Compuestos Bioactivos	Rendimiento	Características Organolépticas		
Hidrodestilación	- T₁	- Densidad	- Cineol - Eucaliptol	- Rendimiento	- Color	R1	03
		- Acidez			- Olor	R2	
		- Ph			- Sabor	R3	
		- Índice de refracción			- Aspecto		
		Sub Total:					03
Destilación arrastre de vapor	- T₂	- Densidad	- Cineol - Eucaliptol	- Rendimiento	- Color	R1	03
		- Acidez			- Olor	R2	
		- Ph			- Sabor	R3	
		- Índice de refracción			- Aspecto		
		Sub Total:					03
Total:						06	

Fuente: elaboración propia

4.3 Población y muestra

Población: La población de estudio estará constituida por las plantas de Eucalipto del distrito Abancay-Quisapata, provincia Abancay, región Apurímac.

Muestra: Se tomará como muestra sólo el follaje (*Conjunto de hojas de los árboles*) de los árboles de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), cantidad aproximada a 60 kg.

4.4 Procedimiento

El procedimiento se detalla en la Figura 5.

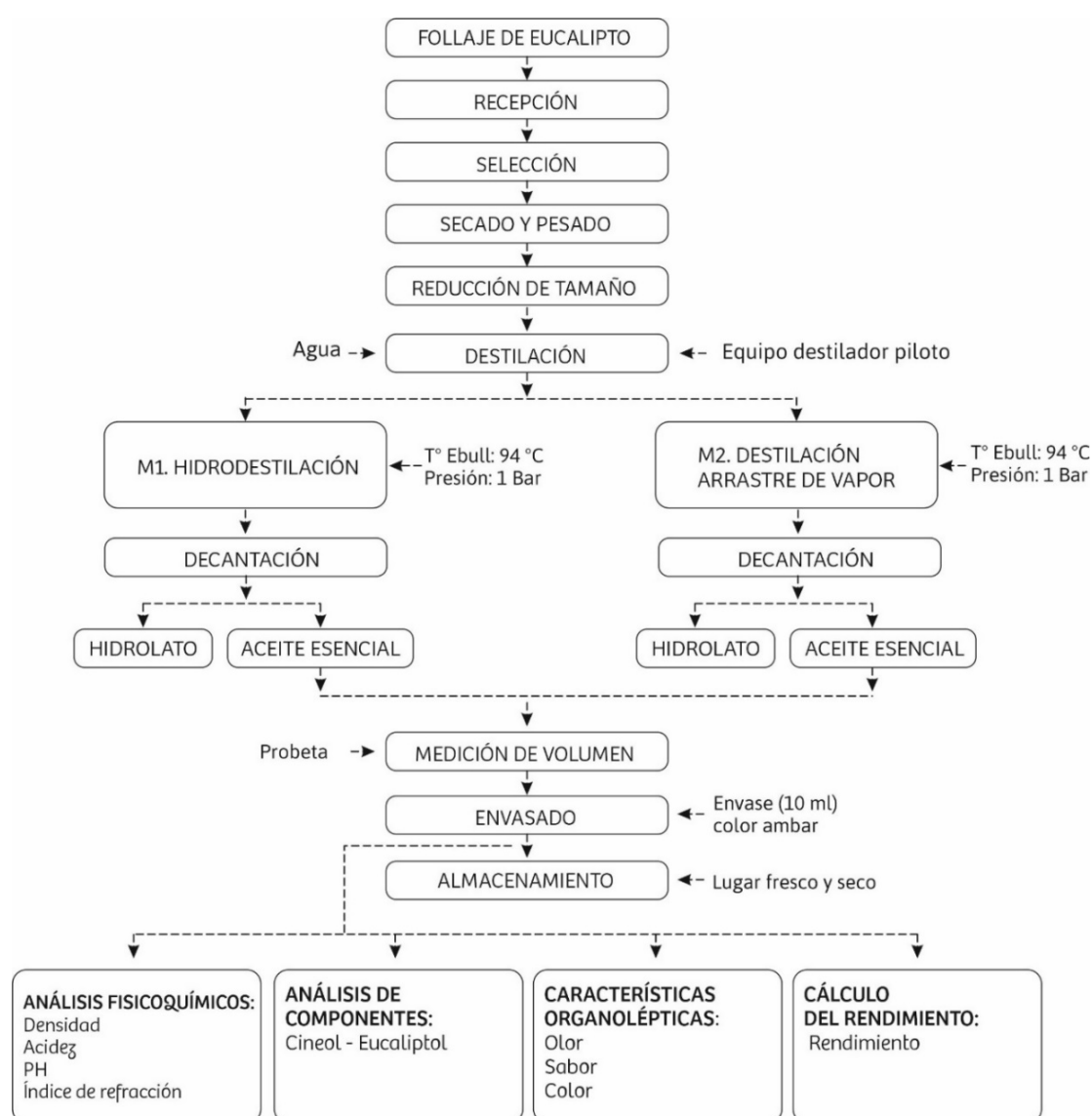


Figura 5 — Diagrama de flujo del proceso de obtención del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Elaboración propia.



Descripción del diagrama de flujo de obtención de Aceite esencial de Eucalipto

- **Recepción:** Se recibió la materia prima (hojas de Eucalipto), las cuales fueron recolectadas aleatoriamente en el campo de cultivo, y luego serán transportadas al Laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales.



Figura 6 — Recolección de materia prima

- **Selección:** Se separarán las hojas de los tallos, flores, las hojas contaminadas o dañados, asimismo las impurezas, este proceso se realizará manualmente.



Figura 7 — Selección de materia prima

- **Secado:** Este procedimiento se realiza para para reducir el % de humedad (materia en base seca).
- **Pesado:** Haciendo uso de una balanza se pesará la materia prima antes de su ingreso al destilador con fines de obtener el rendimiento, para el método de destilación por arrastre

de vapor se colocaron 12 kg por destilación por arrastre de vapor y 7,5 kg para hidrodestilación.



Figura 8 — Pesado de la materia prima

- **Reducción de tamaño:** La materia prima se reduce de tamaño manualmente antes de proceder con la extracción de su aceite esencial. Esta acción se lleva a cabo de inmediato, ya que es más conveniente evitar que la materia prima permanezca en el ambiente durante mucho tiempo, lo que podría resultar en la pérdida de componentes volátiles. Esta etapa del proceso puede ser omitida si se prefiere trabajar con hojas secas completas
- **Destilación:** La materia prima, previamente troceada manualmente, se carga en el equipo destilador piloto, donde forma un lecho compacto fijo. Para llevar a cabo la destilación por arrastre de vapor, el generador de vapor recibe agua blanda como entrada y se calienta, asegurándose de que tanto la presión como la temperatura se mantengan dentro del rango de trabajo establecido. Una vez que se alcanza el valor de presión requerido, el vapor de agua se suministra a la columna cargada mediante una válvula que se acciona manualmente. Se trabaja a presión atmosférica, aproximadamente a 0,9869 atm. para el arrastre de vapor se agrega 15 litros de agua y se procede a destilar llegando a temperatura de ebullición (94 °C). En el proceso de hidrodestilación, se introduce la materia prima junto con agua en el depósito del hidrodestilador. Se calienta el sistema, asegurándose de que tanto la presión como la temperatura se mantengan dentro del rango de trabajo establecido. Para llevar a cabo la

hidrodestilación, se agregan 45 litros de agua y se inicia el proceso de destilación hasta alcanzar la temperatura de ebullición requerida, que en este caso es de 94 °C.

- **Decantación:** Es el proceso en el cual se separa el hidrolato del aceite esencial por diferencia de densidades, el aceite tiende a subir a la parte superior del decantador y el hidrolato en la parte inferior para ser eliminado. Para esta operación se utiliza una pera de decantación.
- **Medición de volumen:** Una vez extraído el aceite esencial, se midió el volumen, haciendo uso de una probeta, para más adelante calcular el rendimiento.
- **Envasado:** Después, el producto se envasará en botellas de color ámbar con una capacidad de 20 ml, con el propósito de protegerlo de la luz y evitar posibles alteraciones químicas en su composición.
- **Almacenamiento:** Las muestras se almacenaron en un lugar fresco y seco, las mismas que fueron utilizadas en los diferentes análisis fisicoquímicos, bioquímicos, organolépticos y rendimiento.

4.5 Técnica e instrumentos

4.5.1 Técnica

Los análisis fisicoquímicos y composición bioactiva del aceite esencial de eucalipto se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, mientras que las características organolépticas (color, olor y sabor) y rendimiento se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, se emplearán las técnicas, materiales, equipos y reactivos que se especifican a continuación:

4.5.1.1 Análisis fisicoquímicos:

Fueron analizados de acuerdo con metodologías establecidas en la Association of Analytical Communities (AOAC), pH (AOAC 920.43), densidad (AOAC 962.37), índice de refracción (AOAC 921.08) y acidez % ácido oleico (NTP319.085. Aceites esenciales: determinación del índice de acidez (2016;3).



4.5.1.2 Análisis de componentes:

Se realizarán por Cromatografía de gases GC – MSD por el método de **Linam K (2014)**, con modificaciones de **Pino A (2014)**, para determinar los principios activos cineol o eucaliptol, isovaleraldehído, alfa-pineno, beta-pineno, terpineno, terpineol, entre otros.

4.5.1.3 Características organolépticas:

Se realizó de forma descriptiva, se evaluó el color, sabor y olor (**Lipa, 2014**).

4.5.1.4 Cálculo de rendimiento:

Se obtuvo mediante el cálculo con una fórmula matemática. Es la división de total de masa de aceite esencial sobre la masa de materia prima.

4.5.2 Instrumentos

Materiales

- Cuaderno de campo marca Cardex
- Tijeras de podar marca Truper
- Envases marca Rey
- Mallas marca Truper
- Gotero marca Pyrex
- Pera de decantación marca Pyrex
- Botellas de 10ml y 20 ml color ámbar marca Senvilab
- Embudos marca Pyrex
- Papel filtro marca Whatman
- Probetas de vidrio (500 ml, 100 ml, 10 ml) marca Pyrex
- Fiolas (100 ml) marca Pyrex
- Soporte Universal marca Senvilab
- Cronómetro marca Casio

Reactivos

- Agua destilada
- Agua



- Etanol
- Helio

Equipos

- Balanza marca Mitsubishi
- Equipo destilador piloto
- Balanza analítica marca Aczet
- Refractómetro marca Pce
- Termómetro analógico marca Trespo
- PHmetro wtw 3110 - Labware

4.5.2.1 Equipo destilador piloto

El extractor de aceites esenciales ha sido diseñado específicamente para ser utilizado en esta investigación, con el objetivo de lograr la máxima pureza durante el proceso de destilación. Para ello, se han empleado materiales que son resistentes a los choques térmicos y las altas temperaturas.

Está compuesto por:

- Cámara de Extracción de acero inoxidable 304 calibre 14, acero usado en la industria alimentaria por su excelente resistencia a la corrosión química con un volumen total de 209 litros, con una capacidad de operación de 12 a 25 kilogramos de follaje y aproximadamente 40-60 kilogramos para cascaras, la cantidad de producto a trabajar depende de las características del mismo. Medidas interiores del tanque de 23 pulgadas de diámetro por 31 pulgadas de altura.
- Condensador (intercambiador de tubos serpentín de 275 pulgadas y coraza de 8 pulgadas de diámetro y 16 pulgadas de altura) de alto rendimiento de acero inoxidable 304 calibre 14 con entrada y salida de agua de ½ pulgada.
- Quemador industrial a gas de hierro fundido de 1800 kcal/h.
- Rejilla de acero inoxidable 304 calibre 14 para colocar la materia prima.



- Tubería de paso de acero inoxidable 304 calibre 14 que conecta la cámara de extracción con el condensador.
- Abrazadera tipo clamp de acero inoxidable 304 calibre 14 que une el tubo de paso con la cámara y el con el condensador.
- Válvula con tubo de llenado para ingresar el agua para destilar.
- Mirilla de tipo clamp de acero inoxidable 304 calibre 14 para ver el nivel necesario de agua.
- Tapa de sobrepresión con empaque silicona de grado alimentario con termómetro.
- Estructura autoportante de acero con soldadura con proceso tungsten inert gas (TIG).
- Bocas estratégicamente ubicadas, para una fácil y rápida limpieza del equipo.

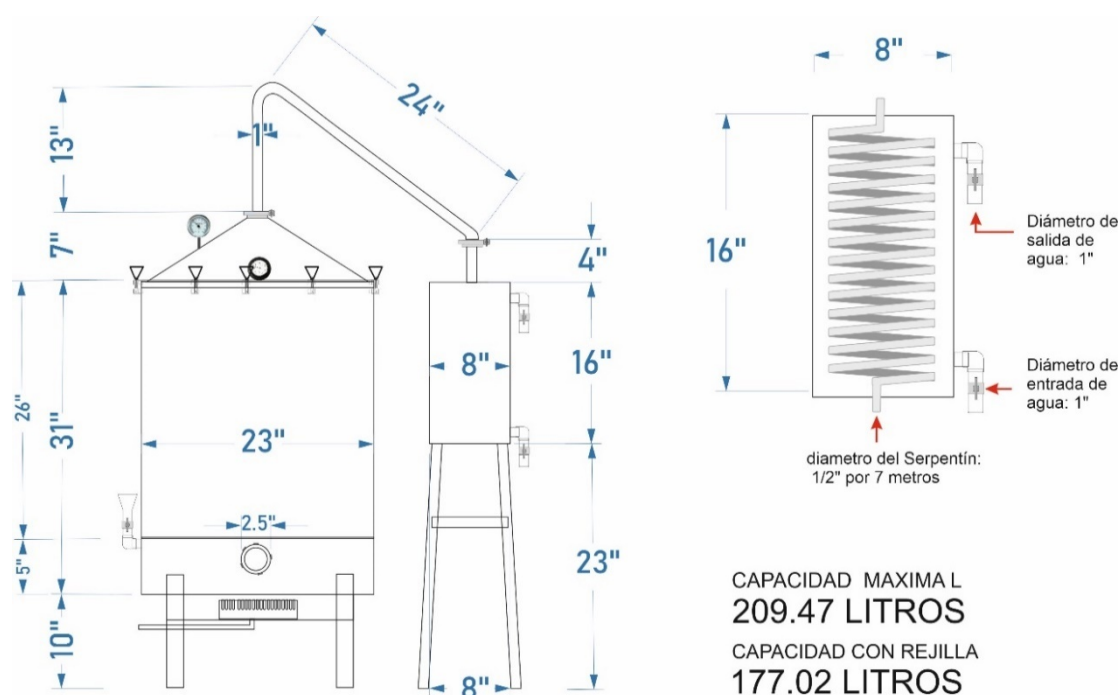


Figura 9 — Medidas equipo destilador piloto. Elaboración propia.

4.6 Análisis estadístico

4.6.1. Hipótesis estadísticas (nula y alterna)

- **Hipótesis Nula:** La composición fisicoquímica, bioactiva, rendimiento y características organolépticas de los dos tipos de destilación, son similares.

Ho: $\mu_1 = \mu_2$

- **Hipótesis Alternativa:** Los dos tipos de destilación difieren en la composición fisicoquímica, bioactiva, rendimiento y características organolépticas.

Ha: $\mu_1 \neq \mu_2$

- **Estadístico:** Se empleó el estadístico Fisher (F) para evaluar la aceptación o rechazo de la Hipótesis Nula, mientras que para la comparación de medias entre las diferentes variedades se utilizó la prueba de Tukey.
- **Nivel de significancia:** El nivel de significancia fue de **p=0.05**.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

a) Análisis fisicoquímico de los aceites esenciales de eucalipto

Se analizó la composición fisicoquímica de los aceites esenciales de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenidos mediante dos métodos: arrastre de vapor e hidrodestilación, con tres repeticiones para cada uno. Los resultados se detallan en la Tabla 4 y Tabla 5.

La Tabla 6 muestra los resultados del análisis de varianza aplicado a los datos de composición fisicoquímica, evidenciando una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los dos tratamientos evaluados. Por consiguiente, se llevó a cabo la comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey en el análisis fisicoquímico.

Tabla 4 — Composición Fisicoquímica de aceite esencial obtenido por arrastre de vapor e hidrodestilación

Repetición	Tratamientos	pH	Densidad g/cc	Índice de refracción	Acidez % ácido oleico
R1	T1: Arrastre de vapor	3,30	0,912	1,4621	1,22
R2		3,49	0,922	1,4619	1,26
R3		3,40	0,906	1,4549	1,29
R1	T2: Hidro-destilación	3,25	0,919	1,4675	0,91
R2		3,35	0,928	1,4615	0,93
R3		3,3	0,921	1,4584	0,94

Tabla 5 — Composición Fisicoquímica de los promedios de los tratamientos de aceites esenciales de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por arrastre de vapor e hidrodestilación

Tratamientos		pH	Densidad g/cc 20 °C	Índice de refracción 20 °C	Acidez % ácido oleico
T1	Arrastre de vapor	3,40±0,10	0,914±0,01	1,4596±0,00	1,26±0,04
T2	Hidrodestilación	3,32±0,04	0,923±0,00	1,4591±0,01	0,93±0,02

Nota: Promedio ±desviación estándar de tres observaciones por cada tratamiento (n=3)

Tabla 6 — Análisis de Varianza de Composición fisicoquímica de aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por 2 tratamientos: arrastre de vapor e hidrodestilación

Componente	Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
pH	Entre grupos	5	0,109	0,022	3,897	0,025
	Dentro de grupos	12	0,067	0,006		
	Total	17	0,175			
Densidad	Entre grupos	5	0,001	0,000	5,900	0,006
	Dentro de grupos	12	0,000	0,000		
	Total	17	0,001			
I.R	Entre grupos	5	0,000	0,000	0,599	0,702
	Dentro de grupos	12	0,001	0,000		
	Total	17	0,001			
Acidez	Entre grupos	5	0,506	0,101	142,345	0,000
	Dentro de grupos	12	0,009	0,001		
	Total	17	0,515			

Los resultados del ANOVA para la composición fisicoquímica revelan diferencias significativas en las medias de todos los componentes analizados a excepción de índice de refracción donde el p-valor es $> 0,05$, indicando que la probabilidad de que los datos de las repeticiones no se hayan producido por fluctuación aleatoria, es decir se acepta la **H₀**, indicando que ambos tratamientos no difieren respecto al índice de refracción, mientras que los demás componentes presentan un p-valor < 0.05 , entonces se rechaza la **H₀**, y se acepta la **H_a: $\mu I \neq \mu k$** Los dos tipos de destilación difieren en el pH, densidad y acidez (composición fisicoquímica), debido a esto, se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey. **(Ver Anexo I).**

- **pH:** Los promedios de las tres repeticiones de cada tratamiento independientemente son iguales de acuerdo a la comparación de medias, indicando similitud entre los datos dentro de cada tratamiento, demostrando una adecuada toma de muestras. El promedio de las 3 repeticiones del tratamiento arrastre de vapor es 3,4 en la escala de pH, siendo un valor superior al promedio de las 3 repeticiones del tratamiento de hidrodestilación que fue de 3,3.
- **Densidad:** Como resultado se obtuvo que el tratamiento de la hidrodestilación (con sus 3 repeticiones) tuvo mayor densidad (0,923 g/ml) en comparación con el promedio de las 3 repeticiones del tratamiento de arrastre de vapor (0,914 g/ml). Así mismo los promedios de las tres repeticiones de cada tratamiento son iguales de acuerdo con la comparación de medias, indicando similitud entre los datos en cada tratamiento, haciendo referencia a la correcta toma de muestras.
- **Índice de refracción:** En este análisis fisicoquímico, los promedios de las tres repeticiones son idénticos de acuerdo con la comparación de medias, indicando similitud entre los datos de ambos tratamientos. Sin embargo, se observa una diferencia mínima entre los tratamientos, ya que el promedio de las 3 repeticiones del tratamiento arrastre de vapor obtuvo como resultado 1,4596 (20 °C) y el tratamiento por hidrodestilación alcanzó 1,4591 (20 °C).
- **Acidez:** Para este componente de la caracterización, los promedios de las tres repeticiones son similares (Comparación de medias) dentro de sus grupos de cada tratamiento, indicando que en cada tratamiento independientemente se realizó una



correcta toma de datos. El promedio de las 3 repeticiones del tratamiento arrastre de vapor fue el que mostró mayor porcentaje de acidez (1,3 %), mientras que el promedio de las repeticiones del tratamiento por hidrodestilación se obtuvo 0,9 %.

b) Análisis bioactivo de los aceites esenciales de Eucalipto

Se determinó la composición bioquímica del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) para los dos tratamientos: arrastre de vapor e hidrodestilación tal como se muestra en la Tabla 7 y Figura 7.

Tabla 7 — Contenido relativo de los compuestos bioactivos de aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por el tratamiento de arrastre de vapor (resultados del análisis por cromatografía de gases GC-MSD, en el laboratorio de la UNSAAC).

Aceite Esencial D1

Pico	TR	Compuestos orgánicos volátiles (VOC) Librería Nist 11	CAS	Qual	Area	Contenido Relativo %
1	1.84	Isovaleraldehyde	000590-86-3	91	60740	0.23
2	5.12	.alpha.-Pinene	000080-56-8	97	5027873	18.66
3	6.03	.beta.-Pinene	000127-91-3	97	234531	0.87
4	6.30	.beta.-Myrcene	000123-35-3	81	169080	0.63
5	6.67	.alpha.-Phellandrene	000099-83-2	91	97399	0.36
6	6.98	2-Carene	000554-61-0	94	27572	0.10
7	7.48	Eucalyptol	000470-82-6	99	18475399	68.57
8	8.05	.gamma.-Terpinene	000099-85-4	97	191286	0.71
9	8.85	Terpinolene	000586-62-9	96	70405	0.26
10	9.27	Isoamyl Isovalerate	000659-70-1	90	29957	0.11
11	10.27	(-)-trans-pinocarveol	000547-61-5	95	185499	0.69
12	10.94	Pinocarvone	030460-92-5	91	88643	0.33
13	11.35	Terpinen-4-ol	000562-74-3	97	104233	0.39
14	11.63	trans-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	1000374-16-7	95	30807	0.11
15	11.72	.alpha.-Terpineol	000098-55-5	87	407309	1.51
16	12.76	cis-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	1000374-16-8	96	29228	0.11
17	13.48	Nerol	000106-25-2	81	23012	0.09
18	15.93	2-Oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol, 1,3,3-trimethyl-, acetate	057709-95-2	94	23360	0.09
19	16.13	α-Terpinyl acetate	000080-26-2	91	576954	2.14
20	17.00	Neryl acetate	000141-12-8	90	30361	0.11
21	17.81	alpha-Gurjunene	000489-40-7	99	48503	0.18
22	18.08	Caryophyllene	000087-44-5	99	26754	0.10
23	18.59	Aromandendrene	000489-39-4	99	304447	1.13
24	19.17	Alloaromadendrene	025246-27-9	99	75267	0.28
25	20.04	(+)-Ledene	021747-46-6	96	45193	0.17
26	21.67	(-)-beta-Selinene	017066-67-0	86	66908	0.25
27	22.29	gamma selinene	000515-17-3	95	322712	1.20
28	22.49	gamma-Gurjunene	022567-17-5	95	87114	0.32

Qual = Porcentaje de coincidencia con la base de datos Nist 11, se reporta mas del 70%

CAS = Numero para identificar la molécula

TR = Tiempo de Retención, tiempo al cual son detectados (ver cromatograma)

File : D:\DATA MSD\ACEITES ESENCIALES\23\MAGCH-2M\D1.D
Operator : JCHP
Acquired : 5 May 2023 12:10 using AcqMethod AE-22.M
Instrument : GC-MS
Sample Name: D1
Misc Info :
Vial Number: 1

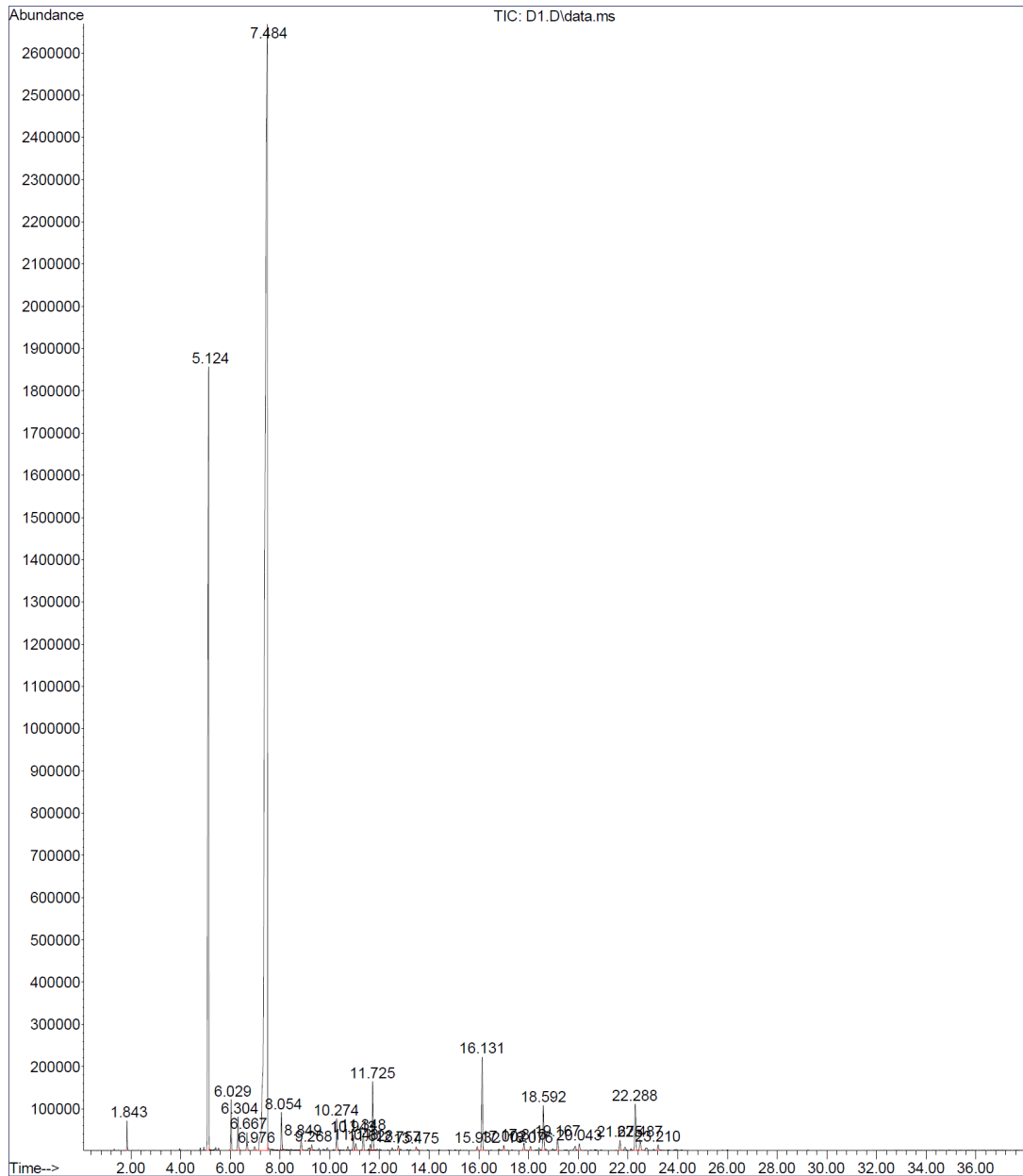


Figura 10 — Cromatograma de tiempo de retención de los compuestos bioactivos del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por arrastre de vapor.



Tabla 8 — Contenido relativo de los compuestos bioactivos de aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por el tratamiento de hidrodestilación (resultados del análisis por cromatografía de gases GC-MSD, en el laboratorio de la UNSAAC).

Aceite Esencial D2						
Pico	TR	Compuestos orgánicos volátiles (VOC) Librería Nist 11	CAS	Qual	Area	Contenido Relativo %
1	1.85	Isovaleraldehyde	000590-86-3	91	82517	0.28
2	5.16	.alpha.-Pinene	000080-56-8	97	4649344	15.68
3	6.07	.beta.-Pinene	000127-91-3	97	252032	0.85
4	6.35	.beta.-Myrcene	000123-35-3	81	275194	0.93
5	6.71	.alpha.-Phellandrene	000099-83-2	91	99901	0.34
6	7.02	alpha-Terpinene	000099-86-5	97	42570	0.14
7	7.54	Eucalyptol	000470-82-6	99	20143433	67.94
8	8.10	.gamma.-Terpinene	000099-85-4	97	144750	0.49
9	8.89	Terpinolene	000586-62-9	96	305869	1.03
10	9.17	Linalool	000078-70-6	96	52444	0.18
11	9.31	Isoamyl Isovalerate	000659-70-1	91	53964	0.18
12	10.31	(-)-trans-pinocarveol	000547-61-5	81	87880	0.30
13	10.98	Pinocarvone	030460-92-5	86	46545	0.16
14	11.38	Terpinen-4-ol	000562-74-3	96	179751	0.61
15	11.77	.alpha.-Terpineol	000098-55-5	87	982785	3.31
16	13.50	Nerol	000106-25-2	87	174639	0.59
17	15.95	2-Oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol, 1,3,3-trimethyl-, acetate	057709-95-2	90	47010	0.16
18	17.02	Neryl acetate	000141-12-8	91	237952	0.80
19	17.83	alpha-Gurjunene	000489-40-7	99	102903	0.35
20	18.61	Aromandendrene	000489-39-4	99	266001	0.90
21	19.18	Alloaromadendrene	025246-27-9	99	82758	0.28
22	19.89	Butanoic acid, 3-methyl-, 2-phenylethyl ester	000140-26-1	97	122654	0.41
23	20.05	(+)-Ledene	021747-46-6	97	118833	0.40
24	21.69	Epiglobulol	1000150-05-1	98	101175	0.34
25	21.89	Mayurone	004677-90-1	91	48083	0.16
26	22.31	gamma selinene	000515-17-3	95	577349	1.95
27	22.50	gamma-Gurjunene	022567-17-5	95	175494	0.59
28	22.73	Rosifoliol	063891-61-2	87	35005	0.12

Qual = Porcentaje de coincidencia con la base de datos Nist 11, se reporta mas del 70%

CAS = Numero para identificar la molécula

TR = Tiempo de Retención, tiempo al cual son detectados (ver cromatograma)

File : D:\DATA MSD\ACEITES ESENCIALES\23\MAGCH-2M\D2.D
Operator : JCHP
Acquired : 5 May 2023 12:57 using AcqMethod AE-22.M
Instrument : GC-MS
Sample Name: D2
Misc Info :
Vial Number: 2

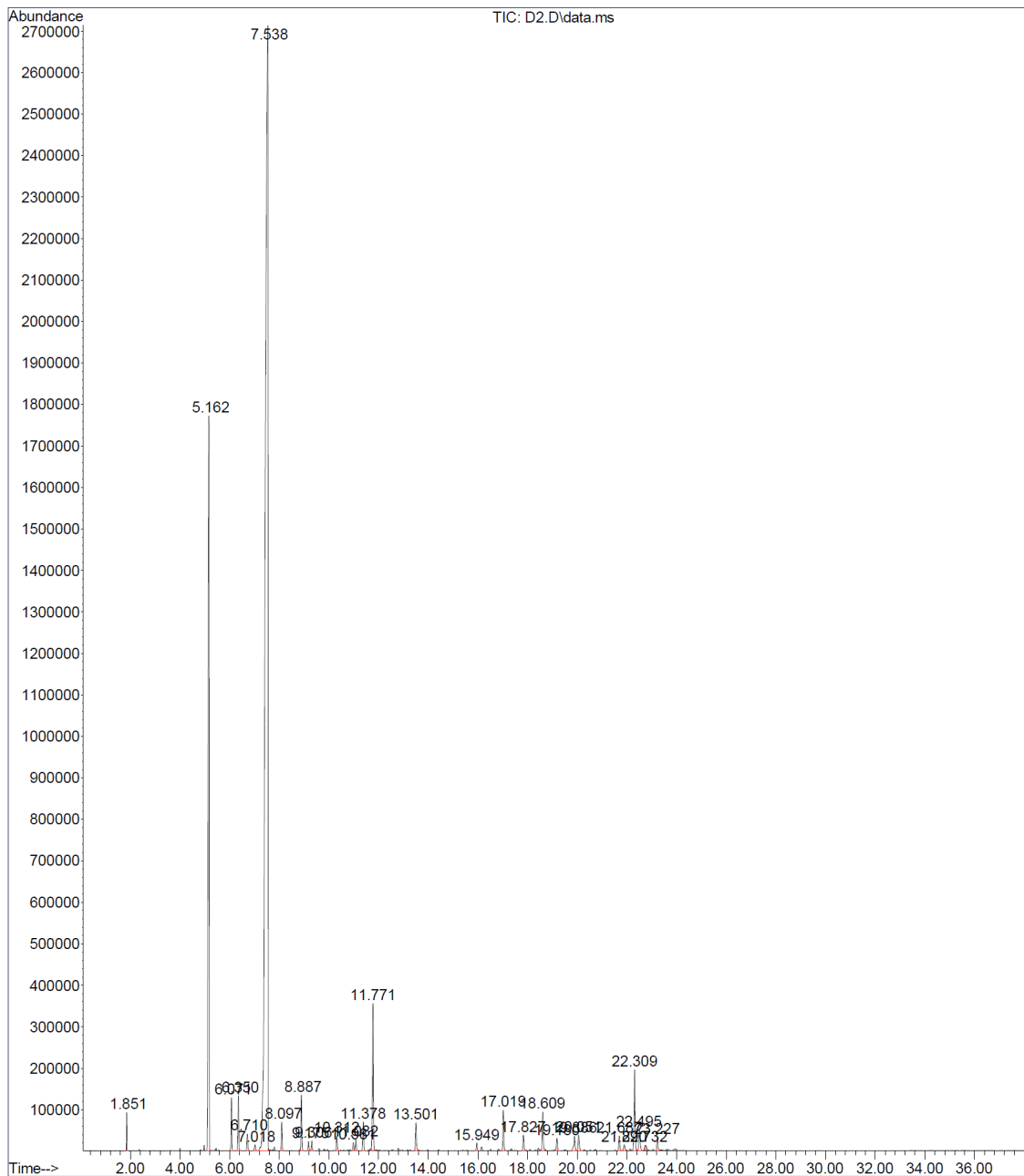


Figura 11 — Cromatograma de tiempo de retención de los compuestos bioactivos del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por hidrodestilación.



En la Tabla 9 se presenta la composición bioactiva de los dos tratamientos realizados. Se llevó a cabo un análisis de varianza sobre los datos de análisis bioactivo, revelando una diferencia significativa entre los dos métodos de obtención de aceite esencial de eucalipto.

Se empleó la Prueba de Tukey en el análisis bioactivo para realizar la comparación de medias.

Tabla 9 — Composición bioactiva del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los 2 tratamientos: arrastre de vapor e hidrodestilación.

Repetición	T1	T2
Tratamiento / componentes	Arrastre de vapor	Hidrodestilación
Isovaleraldehyde	0,23 %	0,28 %
Alpha.-Pinene	18,66 %	15,68 ± 0,16
Beta.-Pinene	0,87 %	0,85 ± 0,04
Beta. -Myrcene	0,63 %	0,93± 0,02
Alpha.-Phellandrene	0,36 %	0,34 ± 0,01
Eucalyptol	68,57 %	67,94± 0,32
Gamma.-Terpinene	0,71 %	0,49 ± 0,04
Terpinolene	0,26 %	1,03 ± 0,02
Terpinen-4-ol	0,39 %	0,16 ± 0,02
Nerol	0,09 %	0,16± 0,03
Alpha -Terpineol	1,51 %	3,31 ± 0,03
Alpha -Terpinyl acetate	2,14 %	0,35 ± 0,04
Aromandendrene	1,13 %	0,40 ± 0,04
Alloaromadendrene	0,28 %	0,34± 0,04
Gamma selinene	1,20 %	0,59± 0,03

Tabla 10 — Análisis de varianza de composición bioactiva del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los 2 tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación

Componentes	Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.
Isovaleraldehyde	Entre grupos	5	0,017	0,003	2,728	0,072
	Dentro de grupos	12	0,015	0,001		
	Total	17	0,032			
Alpha.- Pinene	Entre grupos	5	41,626	8,325	88,472	0,000
	Dentro de grupos	12	1,129	0,094		
	Total	17	42,755			
Beta.- Myrcene	Entre grupos	5	0,397	0,079	49,248	0,000
	Dentro de grupos	12	0,019	0,002		
	Total	17	0,416			
Beta.- Pinene	Entre grupos	5	0,074	0,015	6,038	0,005
	Dentro de grupos	12	0,029	0,002		
	Total	17	0,103			
Alpha.- Phellandrene	Entre grupos	5	0,024	0,005	2,766	0,069
	Dentro de grupos	12	0,021	0,002		
	Total	17	0,044			
Eucalyptol	Entre grupos	5	4,867	0,973	2,649	0,077
	Dentro de grupos	12	4,410	0,368		
	Total	17	9,277			
Gamma.- Terpinene	Entre grupos	5	0,251	0,050	13,984	0,000
	Dentro de grupos	12	0,043	0,004		
	Total	17	0,294			
Terpinolene	Entre grupos	5	2,693	0,539	873,420	0,000
	Dentro de grupos	12	0,007	0,001		
	Total	17	2,700			
Terpinen-4-ol	Entre grupos	5	0,256	0,051	17,509	0,000
	Dentro de grupos	12	0,035	0,003		
	Total	17	0,291			
Alpha.-Terpineol	Entre grupos	5	14,463	2,893	413,566	0,000

Componentes	Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.
	Dentro de grupos	12	0,084	0,007		
	Total	17	14,547			
Cis-p-mentha-1 (7), 8-dien-2-ol	Entre grupos	5	1,050	0,210	397,937	0,000
	Dentro de grupos	12	0,006	0,001		
	Total	17	1,056			
Nerol	Entre grupos	5	0,030	0,006	12,264	0,000
	Dentro de grupos	12	0,006	0,000		
	Total	17	0,036			
Alpha-Terpinyl acetate	Entre grupos	5	14,383	2,877	5690,110	0,000
	Dentro de grupos	12	0,006	0,001		
	Total	17	14,389			
Aromandendrene	Entre grupos	5	2,415	0,483	467,497	0,000
	Dentro de grupos	12	0,012	0,001		
	Total	17	2,428			
Alloaromadendrene	Entre grupos	5	0,036	0,007	4,445	0,016
	Dentro de grupos	12	0,020	0,002		
	Total	17	0,056			
Gamma selinene	Entre grupos	5	1,680	0,336	323,381	0,000
	Dentro de grupos	12	0,012	0,001		
	Total	17	1,692			

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la composición bioactiva proporciona evidencia estadística de que existe una diferencia significativa en las medias de todos los componentes, ya que presentan un valor $p < 0,05$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, que establece que las medias de los componentes bioactivos son diferentes para cada tratamiento. Por este motivo, se llevó a cabo la comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey. **(Ver Anexo II).**

c) Análisis del rendimiento de la obtención de los aceites esenciales de eucalipto

Se evaluó el rendimiento de cada uno de los tratamientos de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenidos mediante arrastre de vapor e hidrodestilación, con tres repeticiones respectivas (ver Tabla 11). Posteriormente, se presentaron los resultados comparativos de los dos tratamientos de arrastre de vapor e hidrodestilación. (Ver Tabla 12).

Tabla 11 — Rendimiento de los 2 tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación de la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Repeticiones	Tratamientos	Rendimiento (%)
R1	T1: Arrastre de vapor	0,98
R2		0,93
R3		1,04
R1	T2: Hidrodestilación	0,75
R2		0,78
R3		0,73

Tabla 12 — Rendimiento de los 2 tratamientos por arrastre de vapor e hidrodestilación de aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Tratamientos	Rendimiento (%)
T1: Arrastre de vapor	0,98±0,05
T2: Hidrodestilación	0,75±0,02

Nota: Promedio ±desviación estándar de tres observaciones por cada tratamiento (n=3)

En la Tabla 13, se presenta el análisis de varianza aplicado a los datos obtenidos para el rendimiento de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*); se observa que existe diferencia significativa entre los 2 tratamientos: arrastre de vapor e hidrodestilación en la obtención de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey aplicada a los valores de rendimiento.



Tabla 13 — Análisis de varianza del rendimiento del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los tratamientos de arrastre de vapor e hidrodestilación.

Componente	Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.
Rendimiento	Entre grupos	5	0,260	0,052	32,569	0,000
	Dentro de grupos	12	0,019	0,002		
	Total	17	0,279			

El ANOVA para la composición bioactiva nos muestra con evidencias estadísticas, que existe diferencia significativa de las medias de todos los valores obtenidos del rendimiento ya que, presentan un valor $p < 0,05$, por lo tanto, se rechaza la **H₀** y se acepta la **H_a: $\mu_1 \neq \mu_k$** ; es decir el porcentaje de rendimiento varía para cada tratamiento, por ello se realizó la comparación de Medias de Tukey. (Ver Anexo III).

Rendimiento: Los resultados obtenidos en base en los promedios de las tres repeticiones de cada tratamiento demuestran mediante la comparación de medias, que las repeticiones presentan similitud entre los datos de un mismo tratamiento demostrando una adecuada toma de muestras, sin embargo, al evaluar a nivel de tratamiento, se obtiene que el porcentaje de rendimiento es diferente para cada tratamiento (arrastre de vapor e hidrodestilación). El promedio de las 3 repeticiones del tratamiento arrastre de vapor es 0,98 %, siendo un valor inferior al promedio de las 3 repeticiones del tratamiento de hidrodestilación que fue de 0,75 %.

d) Caracterización organoléptica de los aceites esenciales de eucalipto

Se determinó el color, olor, sabor y aspecto de las repeticiones cada uno de los tratamientos de extracción de aceite esencial de eucalipto, por arrastre de vapor e hidrodestilación mediante un análisis sensorial de tipo descriptiva, detallándose los resultados en la Tabla 14.



Tabla 14 — Caracterización sensorial de los dos tratamientos de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Características / Tratamientos	Color	Olor	Sabor	Aspecto
T1: Arrastre de vapor	Amarillo claro a incoloro.	Aromático fuerte, penetrante.	Amargo mentolado.	Homogéneo, limpio.
T2: Hidrodestilación	Amarillo claro a incoloro.	Aromático fuerte, penetrante.	Amargo mentolado.	Homogéneo, limpio.

5.2 Contratación de hipótesis

Hipótesis General: Comparar la calidad y el rendimiento de aceite esencial de eucalipto obtenido por los métodos de hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor. La hipótesis general para su contrastación se compone de la siguiente manera:

a) Caracterización fisicoquímica

Hipótesis secundaria 1

Existen diferencias en los contenidos de pH, densidad, índice de refracción y acidez de los promedios de las tres repeticiones de las componentes en cada tratamiento, arrastre de vapor e hidrodestilación.

Contratación de la hipótesis secundaria 1

H₀: La composición fisicoquímica, bioactiva, rendimiento y características organolépticas de los dos tipos de destilación, son similares: $\mu l = \mu k$

H_a: Los dos tratamientos de destilación difieren en la composición fisicoquímica, bioactiva, rendimiento y características organolépticas: $\mu l \neq \mu k$

Según la tabla 6 de Análisis de varianza de la composición fisicoquímica de las 3 repeticiones de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenido por los 2 tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación, existen diferencias significativas en el pH, acidez y densidad ya que el p-valor $>0,05$; entonces se rechaza la **H₀**. Mientras que el Índice de refracción tiene un p-valor $>0,05$ y aceptamos la **H₀** solo para este componente donde no existe diferencia significativa, es decir el índice de refracción no difiere de acuerdo con el tipo de destilación por arrastre de vapor e hidrodestilación.



Por lo tanto, se tendría una hipótesis secundaria, 1, queda así:

Existe diferencia en los componentes fisicoquímicos pH, acidez y densidad de los dos (2) tratamientos de destilación para la obtención de aceite esencial de eucalipto, arrastre de vapor e hidrodestilación., pero no existe diferencia significativa en los resultados del Índice de refracción. Siendo el Tratamiento hidrodestilación el que posee ventajas en la densidad, el índice de refracción es igual estadísticamente en ambos tratamientos, mientras que el resto de las características son mejores en el tratamiento de arrastre de vapor.

b) Componentes bioactivos

Hipótesis secundaria 2

Existe diferencia significativa en todos los compuestos bioactivos: Isovaleraldehide, Alpha – pinene, Beta – pinene, Beta – myrcene, Alpha phellandrene, Eucaliptol, Gamma – terpinene, Terpinolene, Terpinen – 4 – ol, Nerol, Alpha – terpineol, Alpha terpinyl acetate, Aromandrene, Alloaromandrene y Gamma selinene de los dos tratamientos de obtención de Aceite esencial de eucalipto, arrastre de vapor e hidrodestilación.

Contrastación de la hipótesis secundaria 2

Ho: $\mu l = \mu k$

Ha: $\mu l \neq \mu k$

Según la tabla 10 del análisis de varianza, de composición bioactiva de las 3 repeticiones de aceite esencial de eucalipto obtenido por los 2 tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación, todos los componentes bioactivos estudiados presentan diferencia significativa ya que el p-valor < 0,05; entonces se acepta la Ha.

La hipótesis secundaria 2, queda así:

Todos los componentes bioactivos difieren de acuerdo al Tratamiento arrastre de vapor o hidrodestilación de extracción de aceite esencial. Al mismo tiempo se entiende que el tratamiento de arrastre de vapor posee mayor porcentaje en más de la mitad de los compuestos bioactivos analizados.



c) **Rendimiento**

Hipótesis secundaria 3

Existen diferencias significativas en el porcentaje de rendimiento dependiendo al tratamiento de obtención de aceite esencial de eucalipto.

Contrastación de la hipótesis secundaria 3

Ho: $\mu l = \mu k$

Ha: $\mu l \neq \mu k$

Según la tabla 13 de ANOVA, para el rendimiento de cada uno de los tratamientos de obtención de aceite esencial de eucalipto, existe diferencia significativa porque el p-valor $< 0,05$ y rechazamos la Ho.

La hipótesis secundaria 4, queda así:

El porcentaje de rendimiento difiere para cada tratamiento de obtención de aceite esencial de eucalipto, arrastre de vapor e hidrodestilación, al mismo tiempo se puede observar que el tratamiento de extracción por arrastre de vapor presenta el mejor porcentaje de rendimiento.

5.3 Discusión

a) **Características fisicoquímicas del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los tratamientos de arrastre de vapor e hidrodestilación.**

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la composición fisicoquímica del Aceite Esencial obtenido por los Tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación.

- **pH:** Los resultados de pH fueron ligeramente distintos para cada tratamiento de Extracción del aceite esencial, el tratamiento por arrastre de vapor obtuvo un valor de 3.40, los cuales se asemejan a lo reportado por **Gonzales y Rivera (2021)**, cuyo valor obtenido fue de $\text{pH} = 4,0$ en Aceite esencial de *Eucalyptus globulus*, mientras por el método de hidrodestilación obtuvo un pH de 3,32, resultado inferior a lo reportado por **Calderón y Loor (2023)** los cuales consiguen un $\text{pH} = 3,4$ mediante el método de hidrodestilación, pero se encuentra dentro de los valores estándares ($\text{pH} = 3,4 - 6,0$) de la AFNOR ISO citado por **Belkhodja et al. (2021)**. Teniendo presente que el pH se encuentra ligado al porcentaje de eucaliptol en el aceite esencial ya que, este no es soluble en agua, sus derivados son capaces de pasar parcialmente a la fase líquida tras la destilación, pues posee la versatilidad de



formar enlaces de hidrógeno, observados mediante el pH. Sin embargo, las condiciones ambientales y principalmente el pH del suelo influyen mucho en el desarrollo de la materia prima, lo cual no favorece a la calidad del producto final.

- **Densidad:** para el aceite esencial, el valor de la densidad obtenida por tratamiento por arrastre de vapor fue de 0,914 g/ml y mediante el tratamiento por el método de hidrodestilación fue de 0,923 g/ml, valores que se asemejan mucho a los reportes de **Calderón y Loor (2023)**, quienes obtuvieron entre 0,86 g/ml y 0,90 g/ml por el método de hidrodestilación, y para **Martínez (2013)** reporta por el método de arrastre de vapor una densidad de 0,929 g/ml. Sin embargo, la **Norma Técnica Peruana NTP 319.0933:1974 (Revisada el 2016)**, indica que los aceites de genuinos poseen densidades entre 0,906 g/ml – 0,925 g/ml, valores se encuentran en el rango. Lo cual se manifiesta que la densidad es un parámetro indispensable a medir, siendo considerado como un autenticador de aceites esenciales genuinos y de calidad, puesto que la densidad varía respecto al tiempo, es decir dependiendo a la longevidad o caducidad del producto y método de extracción.
- **Índice de refracción (IR):** En el estudio realizado por **Gonzales y Rivera (2021)** el valor obtenido por el método de arrastre de vapor fue de 1,47, por otro lado, **Lipa (2014)** extrajo el aceite esencial por hidrodestilación, cuyo valor fue 1,47, para la **Norma Técnica Peruana NTP 319.0933:1974 (Revisada el 2016)** menciona que el índice de refracción debe encontrarse en el rango de 1,459 – 1,467, por lo tanto en la presente investigación se obtuvo mediante el método de arrastre de vapor 1,4596 e hidrodestilación 1,4591, encontrándose dentro de los límites establecidos. Tomando en cuenta lo mencionado por **Huamani (2015)** los aceites esenciales con IR menor a 1,47 no poseen la pureza suficiente ya que, contienen en su composición un porcentaje mayoritario de hidrocarburos terpénicos y alifáticos, mientras que, a mayor índice de refracción, la esencia puede poseer compuestos alifáticos oxigenados.
- **Acidez:** Los valores de acidez obtenidos para el tratamiento por el método de arrastre de vapor es de 1,26 % y para el tratamiento por el método de hidrodestilación es de 0,93 %, mientras lo reportado por **Gonzales y Rivera (2021)** fue de 1,12 % por el método de arrastre de vapor y para **Quispe et al. (2022)**



reportó 1,86 % , así mismo los límites estándar de AFNOR ISO citado por **Belkhodja et al. (2021)** indica que la acidez del aceite esencial de Eucalipto debe encontrarse en el rango de 0,84 – 3,74 %, lo que pone de manifiesto que los reportes se encuentran dentro de los valores establecidos. Por lo que podemos decir que los aceites esenciales son sensibles al contacto de la temperatura, aire y humedad, al deteriorarse afectan el contenido de ácidos grasos libres, por lo que originan hidrólisis de los glicéridos, de esta define la acidez.

b) Componentes bioactivos del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los tratamientos de arrastre de vapor e hidrodestilación

En la Tabla 9 se muestran los resultados de los porcentajes de los componentes bioactivos presentes en el aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) obtenido por los dos tratamientos mediante los métodos de arrastre de vapor e hidrodestilación, siendo los compuestos bioactivos mayoritarios y determinantes en la calidad del aceite esencial estos son, Eucalyptol que brinda propiedades antisépticas, fungicidas, insecticidas y antioxidantes (**Amaya y Sandoval, 2020**), estas propiedades son valiosas pero dificultan encontrarlas en diferentes materias primas, al métodos de obtención y el desconocimiento de sus beneficios en la salud (**Bermudo, 2019**); el Alpha Pinene ofrece beneficios antiinflamatorios y analgésicos (**Amaya y Sandoval, 2020**) y el Alpha Terpineol brinda propiedades antioxidantes, anticanceroso, anticonvulsivo, antiulceroso, entre otros (**Bhavaniramy et al., 2019**).

El Eucalyptol o también denominado 1-8 Cineol o simplemente Cineol es el compuesto mayoritario con 68,57 % para el tratamiento por el método de arrastre de vapor y 67,94 % para el tratamiento por el método de hidrodestilación, seguidamente es el Alpha Pinene el segundo compuesto mayoritario con 18,66 % para el tratamiento obtenido por el método de arrastre de vapor y 15,68 % para el tratamiento mediante el método de hidrodestilación, el tercer compuesto mayoritario es Alpha Terpineol con 1,51 % para el método de arrastre de vapor y 3,31 % para hidrodestilación. El tratamiento obtenido mediante el método de arrastre de vapor, obtuvo valores superiores en 9 de 15 componentes bioactivos, (incluyendo a Alpha Pinene y Eucalyptol), siendo: Beta Pinene, Alpha Phellandrene, Gamma Terpinene, Terpinen – 4 – ol, Alpha – Terpinyl acetate, Aromandrene y Gamma Selinene; mientras que el tratamiento hidrodestilación obtuvo porcentajes mayores en los 6 componentes



bioactivos restantes (incluyendo a Alpha Terpineol), los cuales son, Isovaleraldehyde, Beta Myrcene, Terpinolene, Nerol, Alloaromandrene.

Boom et al. (2018), en su investigación obtiene aceite esencial en muestras que poseían entre 41 – 50 % de Eucalyptol, 7-13 % de Alpha pinene y 3-7 % de Alpha terpineol, valores que son inferiores a los obtenidos. Así mismo, **Pedrotti (2020)** reporta en su investigación 68,26 % de Eucalyptol, 0,42 de Beta pineno y Alpha terpineol 6,37 %, valores muy similares a los obtenidos en esta tesis. Por otro lado, en la **Norma Técnica Peruana NTP 319.093:1974 (Revisada el 2016)** Aceites Esenciales, establece que el aceite esencial de *Eucalyptus globulus*, como componente mayoritario debe ser: Eucaliptol o Cineol, tal como se obtuvo en la presente investigación.

c) Rendimiento del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación

En la Tabla 12 se presentan los resultados del rendimiento del aceite esencial obtenido por los tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación.

El tratamiento obtenido por el método de arrastre de vapor reporta un rendimiento del 0,98 % mientras que el tratamiento obtenido mediante el método de hidrodestilación brinda un rendimiento del 0,75 %, superando en un 0,23 % al tratamiento obtenido por el método de arrastre de vapor. **Díaz y Martínez (2013)** en su investigación reportan como resultado 0,49 %, así mismo **Quispe et al. (2022)** obtuvieron 0,71 %, valores superados por los obtenidos en la presente investigación, por el uso del equipo piloto fabricado precisamente para la investigación.

d) Caracterización organoléptica del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los tratamientos arrastre de vapor e hidrodestilación

Los resultados del análisis sensorial del aceite esenciales obtenidos se muestran en la Tabla 14, las características organolépticas del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), obtenido por los tratamientos de los métodos de arrastre de vapor e hidrodestilación fueron: color entre amarillo claro a incoloro, olor muy aromático y penetrante, sabor amargo mentolado y aspecto homogéneo, limpio sin presencia de partículas suspendidas. Estos resultados son muy similares para ambos tratamientos obtenidos por los métodos de arrastre de vapor e hidrodestilación, al



mismo tiempo. **Lipa (2014)**, en su investigación menciona que sus muestras de aceites esenciales de eucalipto presentaron color, amarillo a incoloro, olor y sabor característico a Eucalipto, y el aspecto homogéneo, limpio. Siendo la caracterización realizada en la presente tesis cumple con los requisitos de la **Norma Técnica peruana NTP 319.093: 1974 (Revisada el 2016)** de color y apariencia: líquido incoloro a amarillo pálido, olor y gusto, característico ligado a alcanfor con una sensación de frío.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se analizó la composición fisicoquímica del aceite esencial de eucalipto obtenido mediante los métodos de arrastre de vapor e hidrodestilación. Se observó que el aceite esencial obtenido mediante el método de arrastre de vapor mostró una mejor composición fisicoquímica en términos de pH, índice de refracción y acidez, aunque en cuanto a densidad no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Los componentes bioactivos mayoritarios encontrados fueron: Eucalyptol o Cineol, Alpha pinene y Alpha terpineol con 68,57 %, 18,66 % y 1,51 % respectivamente y otros componentes minoritarios, que en conjunto benefician a la salud por las propiedades farmacológicas que poseen. El aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*,) obtenido tratamiento arrastre de vapor fue el que mostró los mayores porcentajes en la mayoría de los componentes bioactivos. En la caracterización organoléptica, ambos tratamientos, arrastre de vapor e hidrodestilación presentaron características muy similares y al mismo tiempo adecuadas para un aceite esencial. Los componentes tanto fisicoquímicos, bioactivos y organolépticos, de acuerdo con la **Norma Técnica Peruana NTP 319.093:1974 (Revisada el 2016)** son indicadores de calidad y pureza del aceite esencial, al encontrarse en los límites establecidos por la normativa. En conclusión, el tratamiento de obtención de aceite esencial comercial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) que favorece a la calidad del producto final es el arrastre de vapor.

El rendimiento calculado para el tratamiento de obtención aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) de arrastre de vapor fue 0,98 %, por lo tanto, es mucho más rentable la aplicación de este método para la producción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).



6.2 Recomendaciones

Realizar una investigación comparativa entre especies de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y conocer el mejor respecto a calidad y rendimiento.

Utilizar el aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) como insumo en la formulación de productos locales para aprovechar los beneficios de este.

Hacer otro estudio acerca de la optimización del proceso de obtención del aceite esencial del eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en el equipo piloto fabricado para la presente investigación.

Se recomienda a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac implementar los laboratorios con equipos de cromatografía para realizar los análisis de componentes bioactivos de manera completa.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcázar del Castillo, Jorge. 2002. *Diccionario Técnico de Industrias Alimentarias*. Lima : Alcázar del Castillo, Jorge, 2002. ISBN 978-9972-9639-0-2.

Amaya Sanchez, Paulin Andrea y Sandoval Jaime, Jessica Johana. 2020. Evaluación de la obtención y uso del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) como fungicida. Bogotá : Fundación Universidad de América, 2020.

Bandoni, Arnaldo L. 2003. *Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica: su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*. Buenos Aires : Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2003. ISBN 987-43-6072-0.

Bermudo Crespo, Gianella Swettana. 2019. Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de extracción de aceites esenciales. Ayacucho : Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2019.

Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. **Sharifi Rad, Javad, y otros. 2017.** 1, s.l. : National Library of Medicine, 2017, Vol. 22.

Botanical Online. 2021. Características del Eucalipto. [En línea] Botanical-online, 12 de Noviembre de 2021. [Citado el: 02 de Enero de 2022.] <https://www.botanical-online.com/botanica/eucalipto-caracteristicas-arbol>.

Calderón Rodríguez, Maricela Estefanía y Loor Vera, Marcela María. 2023. Influencia del tiempo y contenido de humedad en el rendimiento del aceite esencial obtenido de hojas de eucalipto frescas y liofilizadas. Calceta : Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manuel Félix López, 2023.

Chemical Variability and Biological Activities of Eucalyptus spp. Essentials Oils. **Almeida Barbosa, Luiz Claudio, Andrade Filomeno, Claudinei y Ricardo Teixeira, Robson. 2016.** 12, s.l. : Molecules, 2016, Vol. 21.

Comparación de métodos de destilación para la obtención de aceite esencial de eucalipto. **Cedeño, Andrea, y otros. 2019.** 1, s.l. : Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios, 2019, Vol. 6. ISSN 2313-7819.

Contenido del aceite esencial en el follaje de Pinus Caribaea Morelet en función de la edad del árbol. **Quert Álvarez, Rolando, y otros. 2000.** 2, Habana : Instituto de Farmacia y Alimentos - Revista Cubana de Farmacia, 2000, Vol. 34. ISSN 1561-2988.

De León Juárez, Mauricio Leonardo. 2008. Comparación del rendimiento del aceite esencial de dos especies de eucalipto (*Eucalyptus citriodora* Hook y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), aplicando el método de hidrodestilación a nivel laboratorio. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

Di Marco, Ezequiel. 2015. *Eucalyptus globulus sp. globulus Labill (Eucalipto blanco) Familia Myrtaceae*. Argentina : Ministerio de Economía, 2015.



Díaz Arcos, Jhon Mauro y Martínez Chuquillanqui, Jesús Domingo. 2013. Cantidad y calidad de aceites esenciales en hojas de cuatro especies del género *Eucalyptus* - El Mantaro. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013.

Duarte, M., y otros. 2017. Essential Oils and Their Characteristics. *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*. Chichester, UK : s.n., 2017.

Evaluación de la Actividad Antioxidante de Aceites Esenciales de Eucaliptos Cultivados en Colombia. **Boom, Efrain A., y otros. 2018.** 6, 2018, Vol. 29. ISSN 0718-0764.

Extraction of polyphenols from Eucalyptus nitens and Eucalyptus globulus: Experimental kinetics, modeling and evaluation of their antioxidant and antifungal activities. **Gonzales, Nicolas, y otros. 2017.** Concepción : Industrial Crops and Products, 2017, Industrial Crops and Products, Vol. 109.

Gonzales Pérez, Deybi Damián y Rivera Meza, Jenny Janet. 2021. Diseño y fabricación de un equipo sostenible y ecológico de extracción por arrastre a vapor para aceites esenciales comerciales, características físicoquímicas, y elaboración de perfumes. Lima : Universidad María Auxiliadora, 2021.

Gonzales Villa, Ángela. 2004. Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazonas. Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2004.

Huamaní Quinte, William. 2015. Estudio de compuestos bioactivos del aceite esencial de muña (*minthostachys mollis*) por cromatografía de gases - espectrometría de masas en tres niveles altitudinales del distrito de Huando. Acobamba : Universidad Nacional de Huancavelica, 2015.

Huerta, Amanda, García, Diego y Chiffelle, Italo. 2009. Evaluación foliar de aceites esenciales de especies de *Eucalyptus* sp. susceptibles al daño de *Gonipterus scutellatus* (Coleoptera: Curculionidae). Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2009.

In Vitro and In Vivo Anti-inflammatory potential of Eucalyptus globulus essential oil. **Belkhodja, Hamza, y otros. 2021.** 1, s.l. : Journal of Applied Biological Sciences, 2021, Vol. 16. E-ISSN: 2146-0108.

Inkanatura. 2013. *Composición del aceite esencial de eucalipto*. Lima : Inkanatura World Perú Export SAC, 2013.

Jimenez, María Consuelo. 2006. *Química Física para Ingenieros Químicos*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2006. 9788497059466.

Kubeczka, Karl-Heinz. 2002. *Essential Oils Analysis by Capillary Gas Chromatography and Carbon-13 NMR Spectroscopy*. s.l. : Wiley, 2002. 9780471963141.

Lima Aguirre, Sergio Iván. 2005. Análisis de los rendimientos obtenidos de dos especies de eucalipto trabajados en seco a nivel laboratorio y a nivel planta piloto en la extracción de su aceite esencial. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.

Lipa Huamaní, Fidel Gervacy. 2014. Estudio comparativo en el proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalipto Glóbulus Labill*) mediante el método de destilación por



arrastre de vapor y el método de hidrodestilación asistido por radiación microondas. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014.

Martínez, A. 2003. Los beneficios del eucalipto, Ciencias Farmacéutica-Departamento de Sistemas Químico-Biológico. Medellín : Universidad de las Américas, 2003.

Norma Técnica Peruana. 2016. NTP 319.079:1974 Aceites esenciales. 2016.

Optimization of solvent extraction of antioxidants from Eucalyptus globulus leaves by response surface methodology: Characterization and assessment of their bioactive properties. **Gullón, Beatriz, y otros. 2017.** Santiago de Compostela : Industrial Crops and Products, 2017, Vol. 108.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2001. *Mean Annual Volume Increment of Selected Industrial Forest Plantation Species.* Roma : s.n., 2001.

Ortuño Sánchez, Manuel Francisco. 2006. *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes.* España : Aiyana Ediciones, 2006. 9788493452216.

Paredes Punina, Diego Orlando y Quinatoa Chicaiza, Fabián Danilo. 2010. Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales. Chimborazo, Ecuador : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010. UDFM;15T00453.

Piedra Santa, R. 2007. Comparación química y de rendimiento del aceite esencial de hojas y raíz de Valeriana prionophylla Standl de dos diferentes localidades de Guatemala. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.

Plantas con propiedades antiinflamatorias. **García Bacallao, Lourdes, y otros. 2002.** 3, Habana : Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 2002, Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, Vol. 21. ISSN 1561-3011.

Potencialidad para la producción de aceites esenciales en especies de Eucalyptus cultivadas en Uruguay. **Mantero, C., y otros. 2007.** 2, Uruguay : Agrociencia, 2007, Vol. XI.

Quilca Rivera, Candy Yessica. 2011. Rendimiento de aceites esenciales en hojas y opérculos de Eucalyptus globulus Labill - bosque El Dorado El Tambo, Huancayo. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2011.

Quispe Solano, Miguel Ángel, y otros. 2022. Índice antioxidante de aceite esencial de hojas de eucalipto (Eucalyptus globulus) extraído por energía ultrasónica. Huancayo : s.n., 2022. págs. 23-26.

Recovery of biotechnological products using aqueous two phase systems. **Phong, Win Nee, y otros. 2018.** 3, s.l. : Journal of Bioscience and Bioengineering, 2018, Vol. 126.

Rodríguez Coronado, Juan José y Quiroa, Víctor. 1993. Determinación de una combinación de variables del aceite esencial de la hoja de eucalipto a partir de la evaluación de métodos de extracción convencionales. 1993.

Rodríguez Rivas, Migdalia. 2018. *Introducción a la fitoterapia.* México : Editorial Herbal, 2018. 9786078261024.



Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. **Bhavaniramya, Sundaresan, y otros. 2019.** 2, s.l. : Grain & Oil Science and Technology, 2019, Vol. 2.

Santos Carrillo, Marlon Alberto. 2006. Evaluación del rendimiento de aceite esencial de hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller) procedente de dos niveles altitudinales de Guatemala. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006.

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). 2020. *Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales extraídos de Plantas Medicinales y Aromáticas.* s.l. : Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 2020.



ANEXOS



I. Pruebas de comparación de medias – HSD TUKEY del análisis fisicoquímico.

1.1. pH

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
4	3	3,2567	
6	3	3,2933	3,933
1	3	3,3033	3,3033
5	3	3,3467	3,3467
3	3	3,4000	3,4000
2	3		3,4900
Sig.		0,247	0,062

1.2. DENSIDAD

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0.05	
		1	
3	3	0,90667	
1	3	0,91200	0,91867
4	3	0,91867	0,92133
6	3	0,92133	0,92233
2	3	0,92233	0,92933
5	3		0,272
Sig.		0,051	2

1.3. IR

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05
		1
3	3	1,354867
6	3	1,358400
5	3	1,361500
2	3	1,361933
1	3	1,362067
4	3	1,367500
Sig.		0,591



1.4. ACIDEZ

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05		
		1	2	3
4	3	0,9100		
5	3	0,9267		
6	3	0,9400		
1	3		1,2200	
2	3		1,2600	1,2600
3	3			1,2933
Sig.		0,739	0,480	0,653

II. Pruebas de comparación de medias – HSD TUKEY del análisis bioactivo.

2.1. ISOVALERALDEHIDO

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05
		1
3	3	0,2233
2	3	0,2300
5	3	0,2533
1	3	0,2633
4	3	0,2900
6	3	0,3100
Sig.		0,090

2.2. ALPHA-PINENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05		
		1	2	3
6	3	15,5100	6	3
5	3	15,7133	5	3
4	3	15,8300	4	3
3	3		3	3
2	3		2	3
1	3		1	3
Sig.		0,791	Sig.	

2.3. BETA-MYRCENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
2	3	0,5933	2
1	3	0,6233	1
3	3	0,6933	3
6	3		6
4	3		4
5	3		5
Sig.		0,083	Sig.

2.4. BETA-PINENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
3	3	0,7700	
4	3	0,8233	
5	3	0,8367	
1	3	0,8667	0,8667
6	3	0,8900	0,8900
2	3		0,9767
Sig.		0,094	0,140

2.5. ALPHA-PHELLANDRENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
2	3	0,2900	
5	3	0,3333	0,3333
6	3	0,3467	0,3467
4	3	0,3500	0,3500
1	3	0,3700	0,3700
3	3		0,4100
Sig.		0,241	0,277

2.6. EUCALYPTOL

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05
		1
6	3	67,6133
3	3	67,9233
4	3	67,9567
5	3	68,2467
1	3	68,5900
2	3	69,2033
Sig.		0,064

2.7. GAMMA-TERPINENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05		
		1	2	3
6	3	0,4467		
4	3	0,4767		
5	3	0,5267	0,5267	
3	3		0,6867	0,6867
2	3			0,7200
1	3			0,7333
Sig.		0,594	0,058	0,924

2.8. TERPINOLENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
3	3	0,2500	
1	3	0,2533	
2	3	0,2700	
6	3		1,0200
4	3		1,0267
5	3		1,0467
Sig.		0,914	0,772

2.9. TERPINEN-4-OL

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
5	3	0,1367	
4	3	0,1533	
6	3	0,1800	
3	3		0,3800
1	3		0,3900
2	3		0,4100
Sig.		0,916	0,981

2.10. ALPHA-TERPINEOL

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
3	3	1,4833	
1	3	1,5167	
2	3	1,5367	
4	3		3,2867
6	3		3,2900
5	3		3,3367
Sig.		0,966	0,974

2.11. NEROL

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05			
		1	2	3	4
2	3	0,0733			
1	3	0,0833	0,0833		
3	3	0,1067	0,1067	0,1067	
4	3		0,1400	0,1400	0,1400
5	3			0,1533	0,1533
6	3				0,1900
Sig.		0,475	0,072	0,175	0,131



2.12. ALPHA TERPINYL ACETATE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05			
		1	2	3	4
4	3	0,3200	4		
6	3	0,3433	6		
5	3		5		
1	3		1	2,0867	
2	3		2		2,1533
3	3		3		2,1700
Sig.		0,795	Sig.	1,000	0,937

2.13. AROMANDENDRENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
6	3	0,3633	
4	3	0,4200	
5	3	0,4300	
3	3		1,1133
1	3		1,1433
2	3		1,1500
Sig.		0,187	0,728

2.14. ALLOAROMADENDRENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
3	3	0,2467	
1	3	0,2767	0,2767
6	3	0,2933	0,2933
2	3	0,3233	0,3233
5	3		0,3600
4	3		0,3733
Sig.		0,255	0,101

2.15. ALLOAROMADENDRENE

TRATAMIENTOS	N	alfa = 0,05	
		1	2
5	3	0,5633	
4	3	0,5867	
6	3	0,6100	
1	3		1,1800
3	3		1,1933
2	3		1,2167
Sig.		0,515	0,730

III. Pruebas de comparación de medias – HSD TUKEY del análisis rendimiento.

3.1. RENDIMIENTO

TRATAMIENTO	N	alfa = 0,05	
		1	2
6	3	0,7300	
4	3	0,7533	
5	3	0,7767	
2	3		0,9333
1	3		0,9833
3	3		1,0367
Sig.		0,709	0,069



IV. Condiciones de análisis para aceite esencial

Cromatógrafo: Agilent 6890N
Software de Control: Chemstation B.030
Detector de Masas: Agilent 5975B
Energía de Ionización: 70eV
Modo de Ionización: Impacto Electrónico (IE)
Modo de escaneo de masas: 40 a 400 uma
Retraso del disolvente: 0.0 minutos
Inyector Automático: Agilent 7683B

Columna: Agilent HP-5MS 5% Fenil Metil Siloxano 30m x 0.25id x 0.5um film

Temperatura del Horno inicial 60 °C, incremento de 5 °C/minuto hasta 230 °C, 3 min 230 °C

Puerto de Inyección

Modo : Split (con división)
Relación de Split : 90:1
Temp. Inicial : 200 °C
Tipo de Gas : Helio
Flujo : 1 mL/min
Tiempo de Análisis : 38.0 min
Volumen de Inyección : 0.1 uL
Muestra inyecta : Puro

Referencia

- Pino Alea. J. A. I Curso Internacional Análisis de Aceites Esenciales Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco 2014.
- Lynam, K. 2014 Potential Allergens in Aromatherapy Oils by GC/MS Using an Agilent J&W DB-XLB Capillary Column Agilent Technologies, Inc. 2850 Centerville Road Wilmington, DE 19808 USA 5990-5293EN



Químico. Jorge Choquenaira Parí
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914

V. Resultados análisis bioquímico de muestra D1 = arrastre de vapor.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA – Pabellón de Control de Calidad
 AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855

RESULTADOS

Cusco, 15 Mayo del 2023⁰¹⁷

Solicitante : Mario Angel Gamarra Chirinos
 Tipo de Análisis : Perfil de Compuestos orgánicos Volátiles en aceite esencial
 Método : Cromatografía de Gases GC-MSD.
 Rotulado D1 y D2.
 Almacenamiento : 4 °C.

Aceite Esencial D1

Pico	TR	Compuestos orgánicos volátiles (VOC) Librería Nist 11	CAS	Qual	Area	Contenido Relativo %
1	1.84	Isovaleraldehyde	000590-86-3	91	60740	0.23
2	5.12	.alpha.-Pinene	000080-56-8	97	5027873	18.66
3	6.03	.beta.-Pinene	000127-91-3	97	234531	0.87
4	6.30	.beta.-Myrcene	000123-35-3	81	169080	0.63
5	6.67	.alpha.-Phellandrene	000099-83-2	91	97399	0.36
6	6.98	2-Carene	000554-61-0	94	27572	0.10
7	7.48	Eucalyptol	000470-82-6	99	18475399	68.57
8	8.05	.gamma.-Terpinene	000099-85-4	97	191286	0.71
9	8.85	Terpinolene	000586-62-9	96	70405	0.26
10	9.27	Isoamyl Isovalerate	000659-70-1	90	29957	0.11
11	10.27	(-)-trans-pinocarveol	000547-61-5	95	185499	0.69
12	10.94	Pinocarvone	030460-92-5	91	88643	0.33
13	11.35	Terpinen-4-ol	000562-74-3	97	104233	0.39
14	11.63	trans-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	1000374-16-7	95	30807	0.11
15	11.72	.alpha.-Terpineol	000098-55-5	87	407309	1.51
16	12.76	cis-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	1000374-16-8	96	29228	0.11
17	13.48	Nerol	000106-25-2	81	23012	0.09
18	15.93	2-Oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol, 1,3,3-trimethyl-, acetate	057709-95-2	94	23360	0.09
19	16.13	alpha-Terpinyl acetate	000080-26-2	91	576954	2.14
20	17.00	Neryl acetate	000141-12-8	90	30361	0.11
21	17.81	alpha-Gurjunene	000489-40-7	99	48503	0.18
22	18.08	Caryophyllene	000087-44-5	99	26754	0.10
23	18.59	Aromandendrene	000489-39-4	99	304447	1.13
24	19.17	Alloaromadendrene	025246-27-9	99	75267	0.28
25	20.04	(+)-Ledene	021747-46-6	96	45193	0.17
26	21.67	(-)-beta-Selinene	017066-67-0	86	66908	0.25
27	22.29	gamma selinene	000515-17-3	95	322712	1.20
28	22.49	gamma-Gurjunene	022567-17-5	95	87114	0.32

Qual = Porcentaje de coincidencia con la base de datos Nist 11, se reporta mas del 70%

CAS = Numero para identificar la molécula

TR = Tiempo de Retención, tiempo al cual son detectados (ver cromatograma)

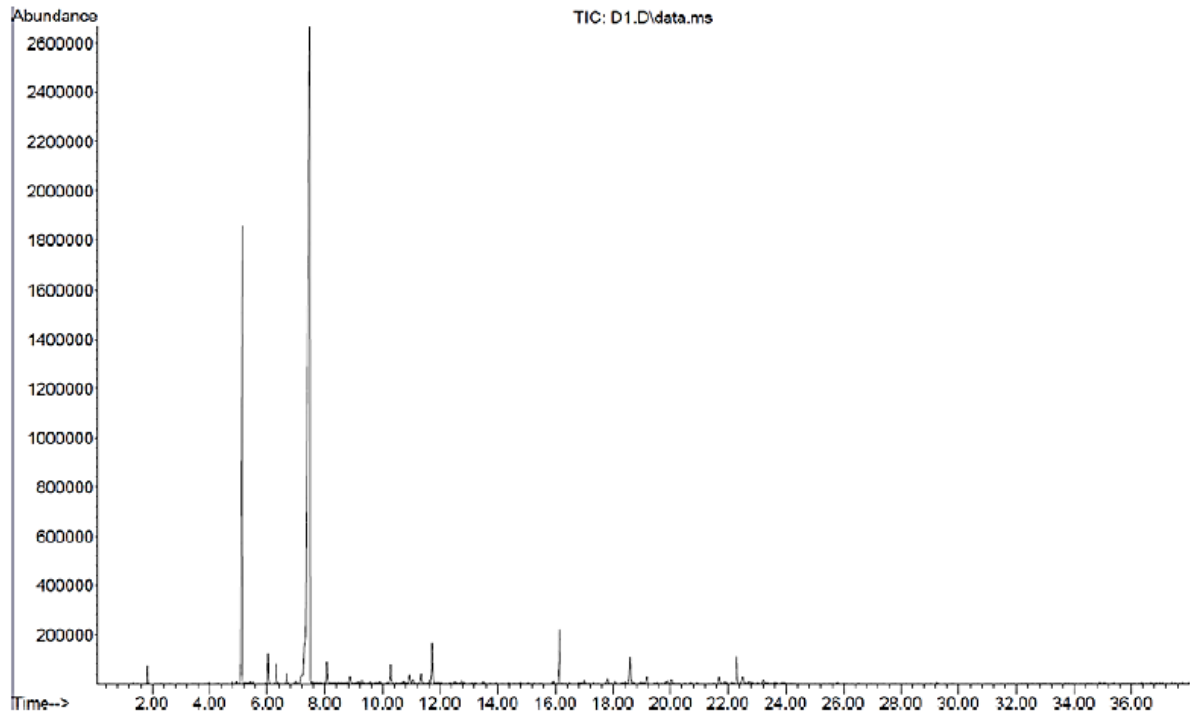


Químico. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría - UNSAAC.
 CQP - 514

VI. Cromatograma de componentes bioactivos de muestra D1 = arrastre de vapor.

RESULTADOS

Cromatograma D1



Químico. Jorge Choquenaira Parí
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914

VII. Resultados análisis bioquímico de muestra D2 = hidrodestilación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA – Pabellón de Control de Calidad
 AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855

RESULTADOS

Aceite Esencial D2

Pico	TR	Compuestos orgánicos volátiles (VOC) Librería Nist 11	CAS	Qual	Area	Contenido Relativo %
1	1.85	Isovaleraldehyde	000590-86-3	91	82517	0.28
2	5.16	.alpha.-Pinene	000080-56-8	97	4649344	15.68
3	6.07	.beta.-Pinene	000127-91-3	97	252032	0.85
4	6.35	.beta.-Myrcene	000123-35-3	81	275194	0.93
5	6.71	.alpha.-Phellandrene	000099-83-2	91	99901	0.34
6	7.02	alpha-Terpinene	000099-86-5	97	42570	0.14
7	7.54	Eucalyptol	000470-82-6	99	20143433	67.94
8	8.10	.gamma.-Terpinene	000099-85-4	97	144750	0.49
9	8.89	Terpinolene	000586-62-9	96	305869	1.03
10	9.17	Linalool	000078-70-6	96	52444	0.18
11	9.31	Isoamyl Isovalerate	000659-70-1	91	53964	0.18
12	10.31	(-)-trans-pinocarveol	000547-61-5	81	87880	0.30
13	10.98	Pinocarvone	030460-92-5	86	46545	0.16
14	11.38	Terpinen-4-ol	000562-74-3	96	179751	0.61
15	11.77	.alpha.-Terpineol	000098-55-5	87	982785	3.31
16	13.50	Nerol	000106-25-2	87	174639	0.59
17	15.95	2-Oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol, 1,3,3-trimethyl-, acetate	057709-95-2	90	47010	0.16
18	17.02	Neryl acetate	000141-12-8	91	237952	0.80
19	17.83	alpha-Gurjunene	000489-40-7	99	102903	0.35
20	18.61	Aromandendrene	000489-39-4	99	266001	0.90
21	19.18	Alloaromadendrene	025246-27-9	99	82758	0.28
22	19.89	Butanoic acid, 3-methyl-, 2- phenylethyl ester	000140-26-1	97	122654	0.41
23	20.05	(+)-Ledene	021747-46-6	97	118833	0.40
24	21.69	Epiglobulol	1000150-05-1	98	101175	0.34
25	21.89	Mayurone	004677-90-1	91	48083	0.16
26	22.31	gamma selinene	000515-17-3	95	577349	1.95
27	22.50	gamma-Gurjunene	022567-17-5	95	175494	0.59
28	22.73	Rosifoliol	063891-61-2	87	35005	0.12

Qual = Porcentaje de coincidencia con la base de datos Nist 11, se reporta mas del 70%

CAS = Numero para identificar la molécula

TR = Tiempo de Retención, tiempo al cual son detectados (ver cromatograma)

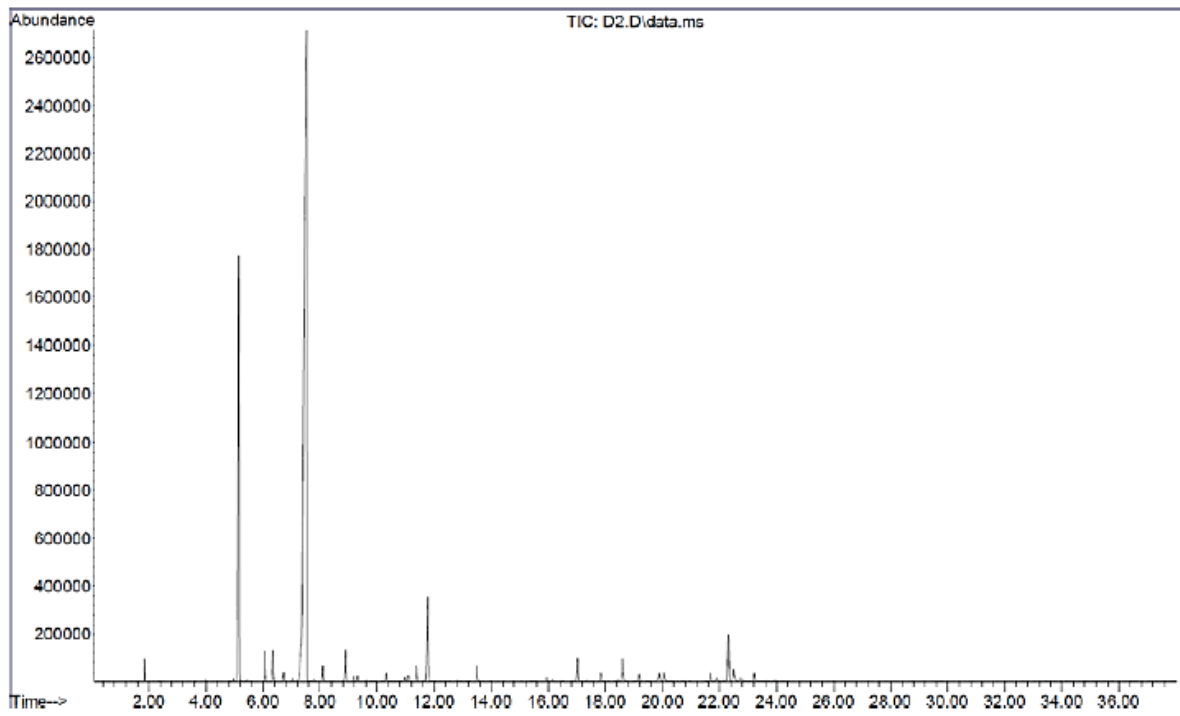


Químico. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría - UNSAAC.
 CQP - 914

VIII. Cromatograma de componentes bioactivos de muestra D2 = hidrodestilación

RESULTADOS

Cromatograma D2



Jorge Choquenaira Pari
Químico, Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914

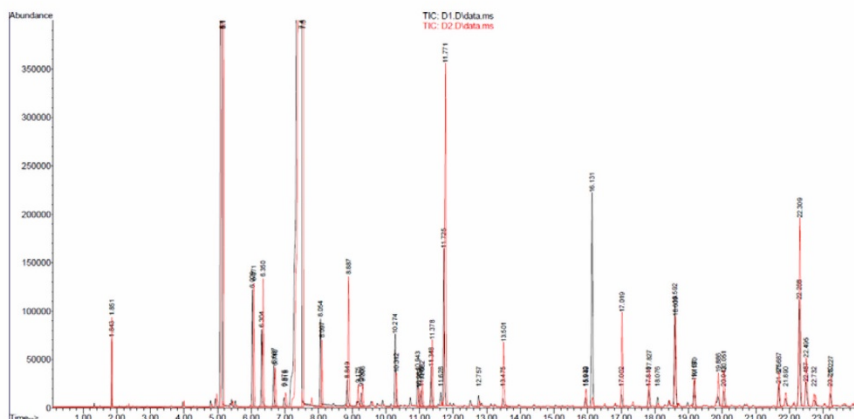
IX. Comparación cromatograma D1 = arrastre de vapor (negro) Y D2 = hidrodestilación (rojo)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA – Pabellón de Control de Calidad
AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855

RESULTADOS

Comparación Cromatograma D1 (negro) y D2 (rojo)



Condiciones de Análisis para Aceite esencial

Cromatógrafo: Agilent 6890N
Software de Control: Chemstation B.030
Detector de Masas: Agilent 5975B
Energía de Ionización: 70eV
Modo de Ionización: Impacto Electrónico (IE)
Modo de escaneo de masas: 40 a 400 uma
Retraso del disolvente: 0.0 minutos
Inyector Automático: Agilent 7683B

Columna: Agilent HP-5MS 5% Fenil Metil Siloxano 30m x 0.25id x 0.5um film

Temperatura del Horno inicial 60 °C, incremento de 5 °C/minuto hasta 230 °C, 3 min 230 °C

Puerto de Inyección

Modo : Split (con división)

Relación de Split : 90:1

Temp. Inicial : 200 °C

Tipo de Gas : Helio

Flujo : 1 mL/min

Tiempo de Análisis : 38.0 min

Volumen de Inyección : 0.1 uL

Muestra inyecta : Puro

Referencia

- Pino Alea. J. A. I Curso Internacional Análisis de Aceites Esenciales Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco 2014.
- Lynam, K. 2014 Potential Allergens in Aromatherapy Oils by GC/MS Using an Agilent J&W DB-XLB Capillary Column Agilent Technologies, Inc. 2850 Centerville Road Wilmington, DE 19808 USA 5990-5293EN



Químico. Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría – UNSAAC.
CQP - 914



X. Panel fotográfico



Fotografía 01 — Proceso de recolección de la materia prima *Eucalyptus globulus*



Fotografía 02 — Sector de Quisapata-Abancay, lugar de recolección de materia prima



Fotografía 03 — Proceso de selección de la materia prima (hojas de eucalipto) recolectada.



Fotografía 04 — Adición de hojas de eucalipto al interior del destilador prototipo



Fotografía 05 — Indicador de temperatura alcanzada en el proceso de extracción, tratamiento arrastre de vapor.



Fotografía 06 — Tesista iniciando el proceso de extracción de aceite esencial.



Fotografía 07 — Equipo destilador cargado completamente para iniciar la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor



Fotografía 08 — Tubería de paso con abrazadera tipo Clamp



Fotografía 09 — Equipo destilador prototipo inactivo.



Fotografía 10 — Hojas de eucalipto sumergidas en agua para el tratamiento de hidrodestilación.



Fotografía 11 — Ingreso de la materia prima para el proceso de extracción mediante hidrodestilación.



Fotografía 12 — Indicador de temperatura alcanzada en el proceso de extracción, tratamiento hidrodestilación.



Fotografía 13 — Recolección del aceite e hidrolato en una pera de decantación directamente del equipo.



Fotografía 14 — Proceso de decantación y estabilización del aceite esencial.



Fotografía 15 — Eliminación del hidrolato, mediante la llave de la pera.



Fotografía 16 — Hidrolato separado del aceite esencial.



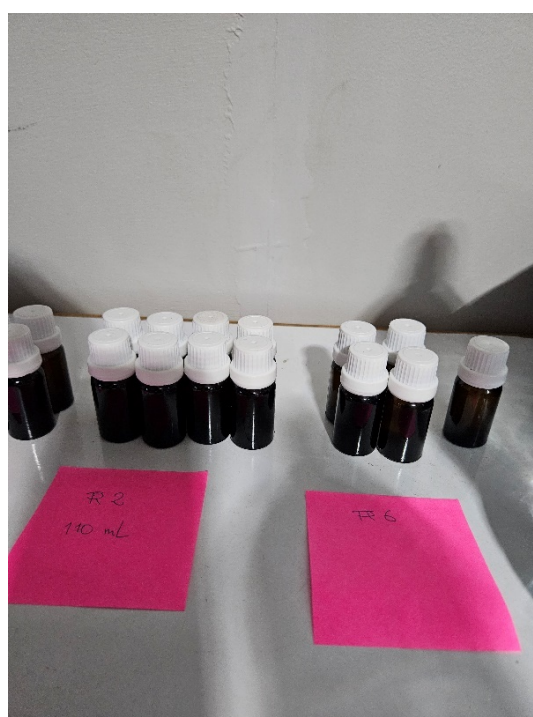
Fotografía 17 — Envasado del aceite esencial de eucalipto en botellas ámbar de capacidad de 10 ml



Fotografía 18 — Colocación manual de la tapa tipo gotero.



Fotografía 19 — Muestras de aceite esencial R1 Y R4 envasadas previo a los análisis de caracterización



Fotografía 20 — Muestras de aceite esencial R2 Y R6 envasadas previo a los análisis de caracterización



Fotografía 21 — Muestras de aceite esencial R3 Y R5 envasadas previo a los análisis de caracterización.