

EVALUACIÓN DE LA OBTENCION Y USO DEL ACEITE ESENCIAL DE
EUCALIPTO (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO FUNGICIDA.

PAULIN ANDREA AMAYA SANCHEZ
JESSICA JOHANA SANDOVAL JAIME

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.
2020

EVALUACIÓN DE LA OBTENCIÓN Y USO DEL ACEITE ESENCIAL DE
EUCALIPTO (*EUCALYPTUS GLOBULUS*) COMO FUNGICIDA.

PAULIN ANDREA AMAYA SANCHEZ
JESSICA JOHANA SANDOVAL JAIME

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
JUAN CAMILO CELY GARZÓN.
Ingeniero Químico MSc.

Co-Director
DAVID LEONARDO SOTELO TOBON.
Químico MSc.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.
2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería Química

Ing. IVÁN RAMÍREZ MARÍN

Las directivas de la fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A Dios, quien hace todo posible.
A nuestros padres, por darnos la oportunidad de desarrollarnos como profesionales, por su apoyo y amor incondicional.

Al Instructor David Leonardo Sotelo Tobón, quien nos brindó su mano para la realización del trabajo, por su ayuda y comprensión.

Al ingeniero Juan Camilo Cely, nuestro director de trabajo de grado, por su guía y por compartirnos sus conocimientos aun ante la difícil situación.

Al ingeniero Edgar Fernando Moreno Torres, nuestro orientador de trabajo de grado, por su paciencia, comprensión y ánimos constantes.

A la universidad y al comité de trabajo de grado por su ayuda y respuesta ante la pandemia.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios, quien nos dio la vida y las fuerzas para que este día llegara. A nuestras familias por la paciencia y el amor. A la universidad y a su cuerpo docente por todos los conocimientos impartidos. A nuestros compañeros y amigos que hicieron de esta etapa de la vida una experiencia única y a cada pequeño investigador que está naciendo para que este trabajo sirva como fuente de conocimiento.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	20
OBJETIVOS	21
1. MARCO TEÓRICO	22
1.1 EUCALIPTO (<i>Eucalyptus globulus</i>)	22
1.1.1 Propiedades	25
1.1.1.1 Propiedades de compuestos aislados de las hojas	26
1.2 ACEITE ESENCIAL	27
1.2.1 Composición química	28
1.2.2 Usos	28
1.2.3 Prospecto como fungicida	30
1.2.3.1 Modo de acción fungicida	30
1.2.3.2 Modo de acción de los controles fúngicos existentes	31
1.3 METODOS DE EXTRACCION DE LOS ACEITES ESENCIALES	32
1.3.1 Métodos directos	33
1.3.2 Destilación	34
1.3.2.1 Arrastre de vapor	34
1.3.2.2 Hidrodestilación	35
1.3.3 Extracción con solventes	36
1.3.4 Métodos de vanguardia	36
1.4 SISTEMAS DE SEPARACION PARA COMPONENTES ESPECIFICOS DEL PRODUCTO DE LA EXTRACCION	39
1.4.1 Pervaporación	39
1.4.2 Destilación molecular de ruta corta	40
1.4.3 Sistemas acuosos de dos fases	40
1.5 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCION	41
1.6 NANOEMULSION COMO PERSPECTIVA DE FORMULACIÓN PARA UN BIOCIDA	44
1.7 NORMATIVIDAD ASOCIADA	45
2. ESTADO DEL ARTE	47
2.1 ACEITE ESENCIAL DE <i>EUCALYPTUS GLOBULUS</i> COMO FUNGICIDA	47
2.1.1 Factores que influyen en la actividad antifúngica	47
2.1.1.1 Composición	47
2.1.1.2 Efecto de la concentración	49
2.1.1.3 Tipo de hongo	50
2.1.2 Métodos para determinar la actividad antifúngica	50
2.1.3 Revisión de artículos	51
2.1.2.1 Hongos que presentan inhibición a bajas concentraciones (0-10 $\mu\text{L}/\text{mL}$)	52
2.1.2.2 Hongos que presentan inhibición a medias (entre 10 - 100 $\mu\text{L}/\text{mL}$) y altas concentraciones (>100 $\mu\text{L}/\text{mL}$)	52
2.1.2.3 Hongos que no presentan inhibición	53
2.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE AE DE EUCALIPTO (<i>EUCALYPTUS GLOBULUS</i>)	54
2.2.1. Revisión de estudios de caso para la extracción de AE de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	58
2.2.2 Selección del método de extracción para el escalamiento	64
2.2.2.1 Casos de estudio sobre arrastre de vapor	64

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL A ESCALA PLANTA PILOTO	69
3.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO	69
3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL PROCESO	70
3.3 DETERMINACION DE PARAMETROS	71
3.3.1 Acondicionamiento de la materia prima	71
3.3.2 Extracción del aceite esencial	74
3.3.3 Separación	75
3.4 BALANCE DE MASA	76
3.4.1 Balance de masa de la molienda	76
3.4.2 Balance de masa del secado	77
3.4.3 Balance de masa de la extracción	79
3.4.4 Balance de masa en el condensador	80
3.4.3 Balance de masa del separador	81
3.5 BALANCE DE ENERGIA	82
3.5.1 Balance de energía en el generador de vapor	82
3.5.2 Balance de energía en Condensador	84
3.6 ESCALAMIENTO	85
3.6.1 Especificaciones técnicas a escala piloto	86
3.6.2 Equipos	86
3.6.2.1 Sistemas de control de los equipos	92
3.6.3 Proceso escala piloto	93
4. COSTOS	95
4.1 COSTO DE CAPITAL	95
4.2 COSTOS VARIABLES	95
4.2.1 Costo materia prima	95
4.2.2 Costo de operación equipos	96
4.2.3 Costo servicios	97
4.2.4 Mano de obra	98
5. CONCLUSIONES	101
6. RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica de eucalipto	23
Tabla 2. Métodos convencionales para la extracción de aceites esenciales	33
Tabla 3. Componentes mayoritarios en el <i>Eucalyptus globulus</i> determinados por cromatografía de gases según diferentes autores	48
Tabla 4. Compuestos mayoritarios en diferentes tipos de eucalipto por cromatografía de gases según diferentes autores	49
Tabla 5. Métodos usados para la determinación de la actividad antifúngica	50
Tabla 6. Actividad antifúngica del eucalipto	53
Tabla 7. Clasificación y características de los métodos de extracción de aceites esenciales	55
Tabla 8. Casos de estudio sobre la extracción del aceite esencial de <i>Eucalyptus globulus</i>	58
Tabla 9. Acondicionamiento, diseño experimental y resultados de los casos de estudio de arrastre de vapor	65
Tabla 10. Condiciones de secado de las hojas de <i>Eucalyptus globulus</i>	73
Tabla 11. Datos de la humedad absoluta	78
Tabla 12. Revisión de las características de equipos escala piloto para su selección, según romero	89
Tabla 13. Comparación de equipos para extracción de ae a escala piloto	90
Tabla 14. Escala a planta piloto	93
Tabla 15. Precios de los equipos para el proceso de extracción	95
Tabla 16. Aportes salariales a cargo del empleador	98
Tabla 17. Costo mano de obra mensual del proceso de producción de aceite esencial	98
Tabla 18. Resumen costos	99

LISTA ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Árbol, tronco y hojas <i>eucalyptus globulus</i>	24
Ilustración 2. Flor del eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	24
Ilustración 3. Frutos del eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	25
Ilustración 4. Extrusor de aceites	33
Ilustración 5. Montaje para la extracción por arrastre de vapor nivel laboratorio	34
Ilustración 6. Montaje hidrodestilación a nivel laboratorio	35
Ilustración 7. Montaje de extracción por solventes a nivel laboratorio (soxhlet)	36
Ilustración 8. Esquema de extracción de aceites por fluido supercríticos	37
Ilustración 9. Extracción de hidrodestilación asistida con microondas a nivel laboratorio	38
Ilustración 10. Mecanismo de liberación de componentes activos de las células mediante ondas de ultrasonido	39
Ilustración 11. Vista esquemática de la recuperación del producto de destino basado en sistemas acuosos de dos fases	41
Ilustración 12. Representación de los métodos de alta energía	44
Ilustración 13. Representación de los métodos de baja energía	45
Ilustración 14. Proceso general de la extracción de ae por arrastre de vapor	70
Ilustración 15. Curva de secado para las hojas <i>Eucalyptus globulus</i>	73
Ilustración 16. Cambio de calor del agua a presión de 1 bar	82
Ilustración 17. Características equipo mg-d24 para secado de hojas	87
Ilustración 18. Características equipo cwcc-80 para molienda de hojas	88
Ilustración 19. Equipo de extracción de ae de figmay	91
Ilustración 20. Equipo de extracción de ae de ecirtec	91
Ilustración 21. Características equipo lxt-03wc regulador de temperatura	92

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Diagrama de bloques general del proceso de obtención del AE de <i>eucalyptus globulus</i>	71
Diagrama 2. Balance de masa del proceso de molienda	77
Diagrama 3. Balance de masa del proceso de secado	79
Diagrama 4. Balance de masa del proceso de extracción por arrastre de vapor	80
Diagrama 5. Balance de masa del proceso de condensación	81
Diagrama 6. Balance de masa para proceso de separación	81
Diagrama 7. Balance de energía para el proceso de condensación	84
Diagrama 8. Diagrama de proceso (PFD)	94

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Balance de masa general	76
Ecuación 2. Balance de masa de molienda	76
Ecuación 3. Balance de masa del agua en el secado	77
Ecuación 4. Masa seca de las hojas	78
Ecuación 5. Masa de agua en las hojas	78
Ecuación 6. Masa de agua en el aire	78
Ecuación 7. Balance de masa en el extractor	79
Ecuación 8. Rendimiento	80
Ecuación 9. Masa de la corriente a la salida del extractor	80
Ecuación 10. Balance de masa en el extractor	81
Ecuación 11. Balance de masa en en condensador	81
Ecuación 12. Balance general de energia	82
Ecuación 13. Energía de calentamiento en el generador de vapor	83
Ecuación 14. Energía de evaporacion en el generado de vapor	83
Ecuación 15. Calor cedido en el condensador	84
Ecuación 16. Calor ganado en el condensador	84
Ecuación 17. Conservación de energía	85

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Parámetros y resultados del diseño experimental para los casos de estudio por arrastre de vapor	118
Anexo B. Hongos que afectan cultivos	121
Anexo C. Gráfico psicométrico a temperaturas normales y presión barométrica de 101,325 kPa.	122
Anexo D. Propiedades del agua saturada	123
Anexo E. Propiedades de líquidos	124
Anexo F. Equipos para extracción de aceites esenciales usados por diferentes autores	125
Anexo G. Equipos para extracción de AE a escala piloto presente en el mercado 2020	127

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

%: porcentaje
 λ : Calor latente de vaporización
°C: Grados Celsius
 ρ : Densidad
AE: Aceite esencial
as: Aire seco
cm: centímetros
COP: Pesos colombianos
Cp: Capacidad calorífica
g: gramos
h: hora
ha: Hectárea
kg: Kilogramos
kJ: Kilojouls
L*W*H: Largo, ancho, alto
L: Longitud
m: Masa
ma: Masa aire seco
ms: Masa solido seco
m³: Metros cúbicos
MIC: Concentración mínima de inhibición.
min: minuto
Min: minutos
mL: Mililitros
pH: potencial de Hidrógeno
Qc: Calor de calentamiento
Qe: Calor de evaporación
Qf: Calor ganado
Qh: Calor cedido
s: Segundo
ss: Solido seco
T: Temperatura
Tbh: Temperatura de bulbo húmedo
Tbs: Temperatura de bulbo seco
W: Watts
V: Volumen
W: Humedad absoluta
w: Contenido de humedad en base seca
 μ L/mL: Cantidad de microlitros en 1 mililitro

GLOSARIO

BIOCIDA: productos químicos utilizados para suprimir organismos que son perjudiciales para la salud humana o animal, o que causan daños a los materiales naturales o manufacturados.

CITOCROMO MONOOXIGENASA P450: es un conjunto de proteínas que presentan un grupo Hemo, se caracterizan por utilizar el NADPH o NADP⁺ para reducir el oxígeno molecular hasta H₂O y la incorporación de un átomo de O₂ al sustrato.

DIFUSION: es el término general para definir el movimiento de moléculas de una región de alta concentración a otra más baja, por efecto de la energía cinética de las moléculas.

FUNGICIDA: es un compuesto o mezcla de compuestos orgánicos, utilizados para prevenir, destruir, mitigar, repeler o actuar de cualquier forma contra plagas de hongos.

GRADO DE INHIBICIÓN: grado de reducción de la actividad de un microorganismo ante la presencia de un agente inhibidor.

IN VITRO: técnica que se realiza fuera del organismo, dentro de un tubo de ensayo, en un medio de cultivo, o en cualquier otro ambiente artificial.

MACROFITO: se usa para describir a plantas visibles y observables a simple vista. Dentro de ellas se encuentran las macroalgas, las pteridofitas (musgos y helechos amoldados a la existencia hídrica), y las angiospermas.

MICROCOSMOS: ser o entidad concebidos como imagen y reflejo del universo.

MICROTÚBULOS: son uno de los 3 tipos de filamentos que adopta el citoesqueleto de la célula. En este caso, los microtúbulos corresponden a los de mayor tamaño y proporcionan un soporte estructural a la célula, entre otras funciones.

MITOCONDRIA: la mitocondria es un orgánulo celular que se encuentra en las células eucariotas, y aporta la energía necesaria para llevar a cabo la actividad celular.

MOLIENDA: reducción de partículas con diámetro menor a 1 pulgada.

PATÓGENO: es un agente que origina o favorece el desarrollo de enfermedades. Este término deriva del griego, <patho> enfermedad y <guen> generar. Estos pueden ser seres biológicos, agentes químicos o agentes físicos.

PLACA PETRI: es un instrumento de laboratorio el cual puede ser de cristal o de plástico, que consta de una base circular, paredes de una altura aproximadamente de 1 cm; y una cubierta (tapa) de la misma forma pero con diámetro mayor para evitar el cierre hermético.

PARAFILM: es una película semitransparente y flexible compuesta por una mezcla patentada de ceras y poliolefinas. Es un termoplástico dúctil, maleable, no tóxico, insípido e inodoro, y auto-sellable.

RANGO DE ACTIVIDAD: hace referencia a la eficiencia de un componente presente en los aceites esenciales de inhibir el crecimiento de los hongos.

SÍNTESIS DE ERGOSTEROL: producción del esterol que compone las membranas celulares de los hongos y cumple la misma función que el colesterol realiza en las células animales.

RESUMEN

Los hongos son una de las principales causas de daños en cultivos, lo que genera grandes pérdidas económicas. Actualmente se usan biocidas sintéticos los cuales son nocivos para la salud y el ambiente, por lo que se han encontrado diferentes alternativas orgánicas, como los aceites esenciales, que pueden mitigar estos efectos. Colombia posee una gran cantidad de plantas poco aprovechadas e inexploradas a nivel científico que han demostrado tener propiedades fungicidas; una de estas es el eucalipto común (*Eucalyptus globulus*). En el presente trabajo integral de grado se realizó la revisión documental de diferentes artículos y casos de estudio, tanto para la elección del método de extracción del aceite esencial de eucalipto, como para su evaluación como fungicida. Por medio de esta revisión se seleccionó el método de arrastre de vapor debido a la cantidad de información encontrada; y se analizaron las diferentes concentraciones a las cuales el aceite esencial de eucalipto inhibe los diferentes hongos, así como los factores que podrían afectar esta inhibición. Posteriormente y partiendo de los casos de estudio del método seleccionado, se determinaron los parámetros óptimos para el proceso y se realizó el escalamiento a nivel piloto. El acondicionamiento de la materia prima hizo referencia a la selección, lavado, secado y molienda de las hojas, y los parámetros operacionales, correspondieron al tiempo de extracción de 98 min, la temperatura de condensación a la entrada de 15 °C y a la salida de 26,4 °C, la presión del equipo de 1 bar, el flujo de vapor de agua de 6,19 kg/h y la temperatura de vapor de 99,97°C. En consecuencia, los equipos de secado, molienda, extracción y regulador de temperatura fueron especificados. Para finalizar el trabajo, se obtuvo que el proceso de obtención del aceite esencial que responde a los parámetros establecidos podría tener un costo de \$107.394 COP y junto con los costos de la compra de equipos podría tener un costo total de inversión de \$99'813.979 COP.

Palabras claves: aceite esencial, eucalipto, arrastre de vapor, fungicida

ABSTRACT

Fungi are one of the main causes of crop damage, which generates large economic losses. Currently, synthetic biocides are used, which are harmful to health and the environment. Different organic alternatives, such as essential oils, have been found that can mitigate these effects. Colombia has a large number of plants that have been little exploited and unexplored at the scientific level and that have demonstrated fungicidal properties; one of these is the common eucalyptus (*eucalyptus globulus*). In the present comprehensive degree work, the documentary review of different articles and case studies was carried out, both for the choice of the method of extraction of eucalyptus essential oil, and for its evaluation as a fungicide. Through this review, the vapor drags method was selected due to the amount of information found; and the different concentrations at which the eucalyptus essential oil inhibits the different fungi, as well as the factors that could affect this inhibition, were analyzed. Subsequently, and based on the case studies of the selected method, the optimal parameters for the process were determined and scaling up was done at the pilot level. The conditioning of the raw material referred to the selection, washing, drying and grinding of the leaves, and the operational parameters corresponded to the extraction time of 98 min, the condensation temperature at the inlet of 15 °C and at the outlet of 26.4 °C, the pressure of the equipment of 1 bar, the water vapor flow of 6,19 kg/h and the vapor temperature of 99.97°C. Consequently, the drying, grinding, extraction and temperature control equipment was specified. To complete the work, it was obtained that the process of obtaining the essential oil that responds to the established parameters could have a cost of \$107.394 COP and together with the costs of purchasing equipment, it could have a total investment cost of \$ 99'813.879 COP.

Keywords: essential oil, eucalyptus, vapor drag, fungicide.

INTRODUCCION

En Colombia, los cultivos son severamente afectados por diferentes hongos causando pérdidas económicas del 40.5% al año según estudio del DNP. Actualmente las alternativas más usadas para la mitigación de estas enfermedades son los biocidas sintéticos, dentro de los cuales podemos encontrar los pesticidas organofosforados, organoclorados y carbamatos. Aunque estos son bastante efectivos, han sido clasificados como COPs (contaminantes orgánicos persistentes) por lo que su excesivo uso, altas concentraciones y constante exposición causan graves problemas ambientales, de salud a trabajadores y consumidores y ha favorecido el desarrollo de cepas resistentes a los patógenos¹. Por esta razón, se han buscado alternativas orgánicas más amigables de protección a los cultivos entre las que se encuentran los aceites esenciales, los cuales están presentes en la mayoría de plantas.

Colombia posee una gran diversidad de plantas poco aprovechadas e inexploradas industrialmente, con gran potencial fungicida revelado a partir del amplio conocimiento tradicional y que pueden usarse como alternativa a los biocidas sintéticos, como el eucalipto común (*Eucalyptus globulus*), esta es una planta ornamental, cuyos metabolitos secundarios han evidenciado tener propiedades antifúngicas y de la cual existen varios documentos referentes a su uso como fungicida vegetal.

Teniendo en cuenta esto, se realiza la evaluación del uso del AE de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) como fungicida a través de la revisión bibliográfica de diferentes documentos que analizaron el grado de inhibición del aceite esencial contra diferentes hongos, donde, además, se consideraron los factores que podrían afectar esta actividad antifúngica. Posteriormente se realizó una revisión documental de diferentes casos de estudio que realizaron la extracción del AE de eucalipto con el fin de escoger el método de obtención.

Partiendo de los casos de estudio del método seleccionado, se determinaron los parámetros óptimos del acondicionamiento de la materia prima y las condiciones de operación; adicionalmente, se realizaron los respectivos balances de materia y energía y se seleccionaron los equipos pertinentes. Por último, el uso del AE de esta planta podría llegar a ser una alternativa orgánica que no solo mitigaría los daños nocivos que provocan los fungicidas sintéticos, sino que disminuiría las pérdidas económicas de producción al proteger los cultivos de enfermedades y podría llegar a ahorrar costos, al provenir de materias primas económicas y de fácil acceso siendo de gran interés industrial, por lo que se determinaron los costos asociados a el proceso de obtención.

¹ TOMAZONI, Elisa Zorzi, *et al.* In vitro and in vivo activity of essential oils extracted from *Eucalyptus staigeriana*, *Eucalyptus globulus* and *Cinnamomum camphora* against *Alternaria solani* Sorauer causing early blight in tomato. En: *Scientia Horticulturae*. 2017. vol. 223, p. 72-77. ISSN 0304-4238

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la obtención y uso de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) como fungicida.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado del arte del método de obtención del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y su uso como fungicida.
- Establecer las especificaciones técnicas del proceso de obtención del aceite esencial a escala planta piloto.
- Determinar los costos asociados al proceso de obtención del aceite esencial.

1. MARCO TEÓRICO

A continuación, se encuentra el sustento teórico empleado a lo largo del proyecto. En esta parte se especifican algunas generalidades sobre la materia vegetal de estudio (*Eucalyptus globulus*), los aceites esenciales, su potencial como fungicida y sus métodos de extracción. También se exponen los controles existentes para las plagas de hongos y, por último, se nombra la normativa asociada a los aspectos ambientales de la obtención del aceite esencial.

1.1 EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*)

El género *Eucalyptus* está conformado por más de 900 especies y subespecies.² La especie *globulus* es la más frecuentemente usada de este género, a nivel mundial. Este árbol, que vive en el litoral y zonas bajas, hasta los 300 m de altitud, crece de forma espontánea preferentemente en terrenos margosos y arenoso – arcillosos. Es cultivada como forestal y se puede asilvestrar. Tiene glándulas que segregan aceites esenciales en sus hojas, los cuales producen un olor característico y poseen componentes que pueden ser diferenciados en productos químicos de valor industrial³. Además, el eucalipto es la especie forestal que mejores rendimientos presenta en Colombia con 30 (m³/ha/año) y con tala de 8 años.⁴

Aparece de forma natural en el sur de Australia (Victoria), Tasmania y las islas del estrecho de Bass, además es cultivado en el sur de Europa y California.⁵

En la siguiente tabla se encuentra la respectiva clasificación taxonómica del eucalipto en relación al nombre científico, común, familia, género y especie

² BARBOSA, Luiz; FILOMENO, Claudinei y TEIXEIRA, Robson. Chemical Variability and Biological Activities of *Eucalyptus* spp. Essential Oils. En: Molecules. 2016. vol. 21, no. 12, p.33. DOI:10.3390/molecules21121671

³ MORENO, Jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel y SICHE, Raul. Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). En: Scientia Agropecuaria. 2010. vol. 1, no. 2, p. 147-154. ISSN 2306-6741.

⁴ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Invierta en Colombia. [en línea]. Bogotá D.C. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: https://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/089_Sector%20Forestal.pdf

⁵ Ibíd., p.147

Tabla 1. Clasificación taxonómica de eucalipto.

Nombre científico	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill
Nombre Común	Eucalipto
Familia	Myrtaceae
Género	<i>Eucalyptus</i>
Especie	<i>Globulus</i>

Fuente: elaboración propia, con base en NCBI. Taxonomy database. [en línea]. [Consultado 06, julio, 2020] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browse/wwwtax.cgi?mode=Info&id=34317&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>

- **Tronco:** “El tronco del eucalipto es muy variable, existiendo eucaliptos de porte arbóreo y otros de porte arbustivo. El tronco de los eucaliptos arbóreos puede ser recto o flexuoso, alcanzando hasta 2 metros de diámetro en la base del mismo y llegando a medir hasta unos 60 metros de altura como se evidencia en la ilustración 1. Muchas especies presentan una cepa fuertemente engrosada, formando un tubérculo leñoso de gran importancia en la generación y como reserva de nutrientes.”⁶
- **Hojas:** en cuanto a las hojas son simples y persistentes, suelen presentar heterofilia, es decir, en el mismo árbol se encuentran diferencias entre sus hojas jóvenes, acorazonadas y opuestas de coloración más bien tenue y las de su adultez que son gruesas y lanceoladas con punta de lanza.⁷

⁶ MONTROYA, O. El eucalipto. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España; 1995 Citado por: BERMUDO, Gianella. Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de aceites esenciales. [en línea]. Tesis. Universidad Nacional De San Cristobal De Huamanga. 2019. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3392>

⁷ FARGA, C., LASTRA, J. y HOFFMANN, A., Plantas medicinales de uso común en Chile, Santiago de Chile, 1988. Citado por: BERMUDO, Gianella. Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de aceites esenciales. [en línea]. Tesis. Universidad Nacional De San Cristobal De Huamanga. 2019. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3392>

Ilustración 1. Árbol, tronco y hojas *Eucalyptus globulus*



Fuente: ARC TEMPLATES. Eucalipto. [en línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/a/nogales.edu.co/plants-in-colegio-los-nogales/home/eucalipto>

- **Flores:** en cuanto a las flores, el género *Eucalyptus* se caracteriza por la falta de diferenciación de caliza y corola, estando sus piezas soldadas y formando un receptáculo con opérculo caedizo en la floración. A la protección que el opérculo presta a las piezas sexuales hace alusión el nombre del género, que significa “bien cubierto”. La caída del opérculo permite la expansión de los estambres que, inicialmente se encuentran doblados hacia adentro, las flores aparecen generalmente en racimos o cimas umbeliformes axilares rara vez aisladas o en pequeños grupos.⁸ Como se evidencia en la siguiente ilustración:

Ilustración 2. Flor del Eucalipto (*Eucalyptus globulus*).



Fuente: MONTOYA, O., El eucalipto. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España; 1995

- **Fruto:** el fruto de este árbol es muy variable en la forma y tamaño de la cápsula, como en la forma de abrirse, la posición de las valvas y del disco

⁸ MONTOYA, O. Op. Cit., p. 12.

circundante demostrada en la ilustración 3. La producción de semillas es abundante, las semillas fértiles suelen ser poliédricas, más gruesas y de diferente coloración, aunque a veces adquieren formas redondeadas aladas.⁹

Ilustración 3. frutos del Eucalipto (*Eucalyptus globulus*).



Fuente: MONTOYA, O., El eucalipto. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España; 1995

1.1.1 Propiedades. Dentro de las propiedades que la comunidad científica ha señalado que contienen algunos extractos acuosos de esta planta, se encuentra las propiedades antiinflamatorias antisépticas, antiinfecciosas, antirreumáticas, desodorantes y mucolíticas. Por esto, se utiliza comúnmente para desinfectar la piel, en higiene bucal, en aromaterapia y para aplicación tópica mediante el uso de aceites de masaje para el tratamiento de las infecciones de las vías respiratorias, bronquitis, migrañas, dolor muscular y como ayuda a la cicatrización.¹⁰

Gracias a las grandes cantidades de residuos generados en la industria maderera y de papel,¹¹ se ha evaluado el potencial y uso de extractos provenientes de la corteza de *Eucalyptus globulus*. Según un reciente estudio,¹² extractos hidrofílicos obtenidos de la corteza del *E. globulus* muestran ser ricos en compuestos fenólicos y ser válidos antifúngicos sobre la especie *Trametes Versicolor* (1,875 – 15 µg/µL). Además, demuestran tener gran poder antioxidante ya que son resistentes a la degradación de la madera del pino atacada por hongos descomponedores.

⁹ Ibid., p. 13

¹⁰ GARCIA, Lourdes. Plantas con propiedades antiinflamatorias. En: Rev. cubana Invest Bioméd. vol. 21, no. 3. ciudad de la Habana. 2002. p. 2. ISSN 1561-3011

¹¹ RODRIGUES, Vítor H., et al. Simulation and techno-economic optimization of the supercritical CO₂ extraction of *Eucalyptus globulus* bark at industrial scale. En: The journal of supercritical fluids. 2018. vol. 145, p. 169-180. DOI: 10.1016/j.supflu.2018.11.025

¹² GONZÁLEZ, Nicolás, et al. Extraction of polyphenols from *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus globulus*: Experimental kinetics, modeling and evaluation of their antioxidant and antifungal activities. En: Industrial crops and products. 2017. vol.109. p. 737–745. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.09.038

1.1.1.1 Propiedades de compuestos aislados de las hojas. Las hojas de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) presenta en su composición aceites esenciales cuyo principal constituyente es el 1,8-cineol o eucaliptol (éter óxido terpénico), además, contienen: alfa-pineno, d-limoneno, p-cimeno, alfa-felandreno, canfeno, gamma-terpineol, sesquiterpenos, ácidos, taninos, pigmentos flavónicos, entre otros los cuales le otorgan propiedades antisépticas, bacteriostáticas, insecticidas y fungicidas.^{13,14} Además, recientes estudios han comprobado, por métodos no convencionales, las propiedades y el poder de compuestos aislados de las hojas de *Eucalyptus globulus*. Algunas de estas propiedades son:

- **Plaguicida:** por medio de la tecnología de acoplamiento molecular, la cual ayuda a detectar compuestos activos de interés por medio de la detección con proteínas relacionadas, en el estudio realizado por Pan¹⁵ ha encontrado que entre todos los ingredientes identificados de las hojas de *Eucalyptus globulus*, el ácido protocatéquico, perteneciente a los extractos acuosos y el citral, perteneciente a los ingredientes volátiles (monoterpenos), obtuvieron el mayor acoplamiento con la toxina insecticida (2KSL), lo que les otorga potencial actividad biológica contra insectos. El ácido protocatéquico es común en las plantas y es uno de los ingredientes efectivos de muchas hierbas medicinales chinas. Tiene diferentes efectos antibacterianos sobre *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Bacillus tifoidea*, *Bacillus disentería*, *Bacillus alcaloide*, *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*.

Finalmente, el estudio mostró efectividad en cuanto a la actividad repelente del citral y el ácido contra el escarabajo de estudio, lo que indica la efectividad del método de acoplamiento para el desarrollo de bioplagicidas.

- **Antimicrobiano:** la actividad antimicrobiana de los extractos etanolicos de las hojas de *E. globulus* se atribuye a sus compuestos fenólicos y flavonoides. Esta actividad se debe a su interacción con los constituyentes de la membrana celular, causando perforación y/o reducción de la fluidez de la membrana.¹⁶ Por lo que el extracto de hojas de *E. globulus* podría ser utilizado como agente bioactivo "natural" en varias aplicaciones industriales.

¹³ BOTANICAL ONLINE SL. Propiedades botánicas del Eucalipto. [Sitio WEB]. Bogotá D.C. [consultado 06, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.botanical-online.com/plantas-medicinales/eucalipto-propiedades-caracteristicas>.

¹⁴ QUATRIN, Priscilla Maciel, et al. Antimicrobial and antibiofilm activities of nanoemulsions containing *Eucalyptus globulus* oil against *Pseudomonas aeruginosa* and *Candida* spp. En: *Microbial Pathogenesis*. 2017, vol. 112, p. 230-242. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.09.062

¹⁵ PAN, Meng; LEI, Qicheng y ZHANG, Hong. Prediction and confirmation of active ingredients in *Eucalyptus globulus* Labill leaves. En: *INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS*. 2020.. vol. 154, p. 6. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112631

¹⁶ GULLÓN, Beatriz, et al. Optimization of solvent extraction of antioxidants from *Eucalyptus globulus* leaves by response surface methodology: Characterization and assessment of their bioactive

- **Antibacteriano:** según un estudio,¹⁷ los extractos de etanol de las hojas de eucalipto indicaron ser eficaces al inhibir el crecimiento y eliminar tres bacterias grampositivas (*S. aureus*, *L. innocua* y *B. cereus*) y tres bacterias gramnegativas (*E. coli*, *P. aeruginosa* y *Salmonella sp.*), donde las grampositivas fueron más susceptibles a los extractos.
- **Actividades neuroprotectoras y antioxidantes:**¹⁸ los extractos de metanol y acetona (polaridad variable) han evidenciado propiedades antioxidantes, esto se debe a que contienen gran cantidad de compuestos fenólicos, entre ellos, el ácido clorogénico, el cual, es el compuesto principal. Adicionalmente, se ha comprobado que los extractos de *E. globulus* previenen el daño por estrés oxidativo al aumentar la viabilidad celular, los niveles de glutatión y la actividad de las enzimas antioxidantes. El poder antioxidante y antifúngico, se debe a sus compuestos sesquiterpenos, eudesmol, Beta-eudesmol y globulol.¹⁹ Por lo tanto, los extractos con naturaleza fenólica poseen beneficios para la salud frente al estrés oxidativo, pudiendo utilizarse como materia prima para complementos nutricionales, alimentarios y farmacéutico.

1.2 ACEITE ESENCIAL

Los aceites esenciales 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 tallos²⁰. 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 atrectores 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.²¹

properties. En: Industrial crops and products. 2017. vol. 108, p. 649-659. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.07.01

¹⁷ Ibid., p. 652.

¹⁸ GONZÁLEZ, Elena, et al. Antioxidant activity, neuroprotective properties and bioactive constituents analysis of varying polarity extracts from *Eucalyptus globulus* leaves. En: YÀOWU SHIPIN FENXI. vol. 26, no. 4, p. 1293-1302.

¹⁹ GULLÓN, Beatriz. Op. cit., p. 653

²⁰ SHARIFI RAD, Javad, et al. Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. En: Molecules. Switzerland. 2017, vol. 22, n°. 1. p. 70 DOI: 10.3390/molecules22010070.

²¹ DUARTE, M. C. T., et al. Essential Oils and their Characteristics. Essential Oils and their Characteristics. En: Essential Oils in Food Processing. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. p. 19. DOI: 10.1002/9781119149392.ch1

1.2.1 Composición química. Los aceites esenciales pueden variar en composición conforme a muchos factores, entre ellos el tipo de planta, especie y género. Los aceites esenciales están principalmente constituidos por una base integrada de hidrocarburos terpenicos que consisten en más de cinco estructuras de isopreno, entre lo más comunes se encuentran los monoterpenoides y los sesquiterpenoides²². Los monoterpenoides son incoloros con rangos de puntos de ebullición de 140°C a 180°C, algunos han mostrado potencialidad como manejo de plagas de insectos. Por otro lado, los sesquiterpenoides han manifestados algunas propiedades medicinales²³. Los monoterpenos y sesquiterpenos son terpenos de 10 y 15 átomos de carbonos respectivamente. De acuerdo con su estructura se les clasifica según el número de ciclos como acíclicos, monocíclicos, bicíclicos, etc. Algunos ejemplos de monoterpenos y sesquiterpenos son:²⁴

- Monoterpenos acíclicos: linalol, nerol, geraniol.
- Monoterpenos monocíclicos: p-mentano, 1,4- Cineol, 1,8-Cineol, Ascaridol.
- Monoterpenoides bicíclicos: carano, cis-carano y trans-carano.
- Sesquiterpenos: Farnesol, nerolidol.

En menor concentración también se encuentran sustancias químicas volátiles encargados de aportar el aroma en el aceite y finalmente otros componentes como ceras y ácidos que pueden tener importancia para determinadas aplicaciones. Los principales compuestos específicos de los aceites esenciales son los terpenos o terpenoides, aldehído benzoico, aldehído cinámico, butanal, propanal, ácido acético, ácido palmítico, alcoholes como linalol, geraniol y mentol, fenoles como anetol y cugenol, esterés como acetato de linalilo y acetato de geraniolo, cetonas, otros esterés, derivados nitrogenados, sulfuros, tioesterés y tioeterés.²⁵

1.2.2 Usos. Los aceites esenciales poseen diversas propiedades biológicas. Estos pueden actuar de muchas maneras, por lo que poseen diversas aplicaciones en las diferentes industrias:²⁶

²² ORTUÑO, M.F. Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes [en línea]. España: Aiyana, 2006. p.15 [consultado 21, febrero, 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pr/books?id=cW5TsDKqx9wC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>. ISBN 9788493452216.

²³ DUARTE, M. Op. cit., p. 2-3.

²⁴ GONZALEZ, Ángela. Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazona [en línea]. Tesis. Universidad nacional de Colombia sede Manizales. 2004. p. 48 [consultado 06, julio, 2020] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1173/1/angelaandreaonzalezvilla.2004.pdf>

²⁵ ORTUÑO, Op. cit., p. 14.

²⁶ SENA. Sistema de Bibliotecas. Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales extraídos de Plantas Medicinales y Aromáticas [en línea]. p.10. [Consultado 06, julio, 2020]. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales_aromaticas/

- **Industria Alimenticia:** son usados para saborizar y/o potenciar el sabor de todo tipo de bebidas, helados, galletas, golosinas productos lácteos, etc.²⁷ y para aromatizar productos como caramelos y chocolates. 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.
- **Industria cosmética:** los AE ricos en citronelal, citral y acetato de geranilo son usados en perfumería²⁸ gracias a su potente olor; también suelen ser usados como conservantes y principios activos en diferentes productos. Por otro lado, muchos de estos AE son usados en aromaterapia²⁹ y en masajes terapéuticos gracias a su gran capacidad de penetración en los tejidos profundos. Otra propiedad importante está relacionada a su poder cicatrizante puesto que estimula la regeneración celular.
- **Industria agrícola:** los AE han indicado poseer importantes propiedades antifúngicas, antimicrobianas, antibacterianas, acaricidas, insecticidas y herbicidas por lo que se están evaluando como agentes de control sobre diferentes clases de microorganismos.³⁰ Además, son usados para dar fragancia a los jabones, detergentes, desinfectantes, etc.
- **Industria farmacéutica:** los AE que contienen grandes cantidades de 1,8-cineol se utilizan con fines farmacéuticos.³¹ Gracias a su actividad antiséptica, los aceites esenciales son muy usados para problemas de las vías respiratorias; para infecciones urinarias; infecciones de la epidermis; en antisépticos bucales y en dentífricos. Además, tienen muchas propiedades benéficas al actuar como antiinflamatorios, analgésicos, antivirales, antiespasmódicos, entre otras. También poseen propiedades antirreumáticas y antineurálgicas, útiles en el tratamiento de afecciones dolorosas articulares. Los aceites esenciales son tan medicamentos como lo pueden ser los alcaloides, los antibióticos o las enzimas. Igualmente se debe tener en cuenta que algunas esencias pueden ser muy peligrosas si no se manipulan con criterio profesional, en la forma, dosis y circunstancias apropiadas.

²⁷ JIMENEZ, Maria. Química física para Ingenieros Químicos. Editorial: Universidad politécnica de Valencia 2006. Citado por: CABALLERO, Yohasky; RODRIGUEZ, Maria. Obtención de aceites esenciales a partir de cáscara de mango (*mangifera indica l.*) mediante técnica de destilación por arrastre de vapor. [en línea]. Tesis. Universidad de san buenaventura p.56. [consultado 06, julio, 2020]. Disponible: http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2599/1/Obtenci%C3%B3n%20de%20aceites%20esenciales%20a%20partir%20de%20c%C3%A1scara%20de%20mango_Yohasky%20Caballero_USBCTG_2015.pdf

²⁸ BARBOSA, Luiz; FILOMENO, Claudinei; TEIXEIRA, Robson. Op.cit., p.2.

²⁹ JIMENEZ, Maria. Op. cit., p.13.

³⁰ BARBOSA, Luiz; FILOMENO, Claudinei; TEIXEIRA, Robson. Op.cit., p. 9

³¹ Ibíd., p. 2

1.2.3 Prospecto como fungicida. los aceites esenciales han sido ampliamente usados para su evaluación como fungicidas gracias a sus múltiples propiedades antimicrobianas. Los resultados de diferentes estudios, han demostrado que los hidrocarburos monoterpenos, los monoterpenos oxigenados, los sesquiterpenos y los compuestos fenólicos son responsables de inhibir el crecimiento de varios hongos. “En la acción antimicrobiana de los componentes del aceite esencial, el carácter lipofílico de sus esqueletos de hidrocarburos y el carácter hidrofílico de sus grupos funcionales. son de importancia fundamental.”³² El rango de actividad de los componentes del aceite esencial contra los hongos, de mayor a menor, es el siguiente:

1. fenoles
2. aldehídos
3. cetonas
4. alcoholes
5. éteres
6. hidrocarburos

La actividad más alta se informa para fenol timol, carvacrol y eugenol, que se explican por naturaleza ácida del grupo hidroxilo, formando un enlace de hidrógeno con un centro activo enzimático.³³

1.2.3.1 Modo de acción fungicida. aún no se conoce exactamente el modo de acción de los AE contra los hongos³⁴, pero existen versiones que afirman que la inhibición del crecimiento de estos patógenos fúngicos puede deberse a que:

El aceite causa daños en la pared celular y la membrana celular en varios grados debido a la capacidad diferencial de penetrar en las paredes celulares de las hifas fúngicas a base de quitina. La acción del aceite esencial como agentes antifúngicos también puede deberse a la inhibición de la respiración y a la alteración de las barreras de permeabilidad de las estructuras de la membrana celular. Los compuestos naturales actúan sobre los mecanismos internos del hongo que conducen a la malformación de estructuras importantes, granulación citoplasmática, desorganización del contenido celular, alteración de la membrana plasmática

³² MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Essential Oil and Antifungal Therapy A. En: Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy, Springer India. 2016. p. 29-74. DOI: 10.1007/978-81-322-2782-3_2

³³ KALEMBA, D y KUNICKA, A. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. 2003. Curr Med Chem 10:813–829. Citado por: MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Essential Oil and Antifungal Therapy A. En: Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy, Springer India. 2016. p. 29-74. DOI: 10.1007/978-81-322-2782-3_2

³⁴ GYAWALI, R.; HAYEK, S. A e IBRAHIM, S. A. Plant Extracts as Antimicrobials in Food Products: Mechanisms of Action, Extraction Methods, and Applications. En: Anonymous Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality. Elsevier Ltd, 2015. Capítulo 3. p. 49-68. DOI: 10.1016/B978-1-78242-034-7.00003-7

e inhibición de enzimas fúngicas, lo que inhibe la germinación, el alargamiento del tubo germinal y la reducción o inhibición del crecimiento de micelios.³⁵

Otras teorías afirman que podrían actuar:³⁶

- Interrumpiendo la membrana celular al inhibir la síntesis de ergosterol.
- Afectando a las mitocondrias fúngicas al inhibir el transporte de electrones mitocondriales.
- Inhibiendo la división celular.
- Interfiriendo con la síntesis de ARN o ADN y / o inhibiendo la síntesis de proteínas.
- Como bombas inhibitoras de flujo hacia el exterior.

1.2.3.2 Modo de acción de los controles fúngicos existentes. Los fungicidas sintéticos son la alternativa más usadas para el control y tratamiento de patógenos en los cultivos debido a su eficiencia y bajo costo. A continuación, se describen los fungicidas sintéticos más usados:

- **Fungicidas DMI:** “Estos contienen varios grupos químicos, como los triazoles e imidazoles, que comparten un modo de acción común (MoA), el cual consiste en bloquear el paso mediado por el citocromo P450 monooxigenasas (CYP) responsable de la producción de ergosterol fúngico y, por lo tanto, de la síntesis de la pared celular.”³⁷
- **Estrobilurinas:** las estrobilurinas “actúan inhibiendo la transferencia de electrones del citocromo b al citocromo c1 en la membrana mitocondrial fúngica. Pueden ser altamente tóxicas para todos los grupos de organismos. En estudios de microcosmos al aire libre, la piraxistrobina y la azoxistrobina desencadenaron efectos transitorios en las comunidades de fitoplancton a 1 y 3,3 µg / L, respectivamente”.³⁸
- **Bencimidazoles:** los fungicidas de benzimidazol inhiben el ensamblaje de los microtúbulos en la mitosis fúngica.³⁹ Si bien estos fungicidas parecen ser

³⁵ MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Op. cit., p.15.

³⁶ RAVEAU, Robin; FONTAINE, Joël y Anissa, LOUNÈS HADJ. Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. En: foods (basel, switzerland). 2020. vol. 9, no. 3, p. 365. DOI: 10.3390/foods9030365

³⁷ STENERSEN, J. Chemical Pesticides Mode of Action and Toxicology; CRC Press: Boca Raton, 2004. Citado por: ZUBROD, Jochen y BUNDSCHUH, Mirco. Fungicides: An Overlooked Pesticide Class? En: Environmental Science & Technology. 2019. Vol 53, n° 7, p. 3347-3365. DOI: 10.1021/acs.est.8b04392

³⁸ ZUBROD, Jochen y BUNDSCHUH, Mirco. Fungicides: An Overlooked Pesticide Class? En: Environmental Science & Technology. 2019. Vol 53, n° 7, p. 3347-3365. DOI: 10.1021/acs.est.8b04392

³⁹ STENERSEN, J. Op. cit., p.3353

principalmente de baja toxicidad para microorganismos acuáticos, macrófitos y vertebrados, pueden ser altamente tóxicos para invertebrados.

- **Clorotalonil:** el clorotalonil, un fungicida de cloronitrilo, es el fungicida multisitio más estudiado, presentando varios sitios meta moleculares o MoAs.⁴⁰ El clorotalonil exhibe toxicidad moderada a alta en varios grupos de organismos, aunque la toxicidad aguda al fitoplancton e invertebrados ha revelado ser bastante baja.
- **Ditiocarbamatos:** otro grupo compuesto de fungicidas multisitio son los ditiocarbamatos. Este ha señalado una toxicidad baja a moderada hacia las algas y las bacterias.⁴¹

1.3 METODOS DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

Existen varios métodos para la extracción de los aceites esenciales; los principales métodos se dividen en directos, destilación y extracción con solventes (tabla 2). Además, al pasar del tiempo, la tecnología y la industria han diseñado nuevos métodos de vanguardia⁴². Sin embargo, los métodos convencionales siguen predominando en cuanto a su relación costo-eficiencia. Dentro de los procedimientos más utilizados para la obtención de los aceites podemos encontrar la destilación con agua o hidrodestilación, la destilación por arrastre con vapor, la destilación con agua y vapor, la cohobación y la expresión.⁴³ Donde, los dos primeros, mencionados anteriormente, son de mayor uso, eficiencia y aceptabilidad en la industria.

⁴⁰ *Ibíd.*, p.3354

⁴¹ ZUBROD, Jochen; BUNDSCHUH, Mirco. *op. cit.*, p.3355

⁴² ALBARRACÍN, Gloria. GALLO, Sonia. comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial utilizando piper aduncum (cordoncillo) procedente de la zona cafetera. [en línea]. Tesis. Universidad nacional de Colombia, sede Manizales. 2003. p. 103. [Consultado 06, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/989/1/gloriacristinaalbarracinmontoya.2003.pdf>

⁴³ BANDONI, Arnold. Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. 2da Edición. La Plata Argentina. CYTED, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 2003. p. 418. ISBN 9874360720.

Tabla 2. Métodos convencionales para la extracción de aceites esenciales

Tipo de método	Procedimiento	Productos obtenidos
Directos	Extrusión	Aceites esenciales cítricos
	Exudación	Gomas, resinas, bálsamos
Destilación	Directa	Aceites esenciales y aguas aromáticas
	Arrastre con vapor de agua	
	Destilación - maceración	
Extracción con solvente	Solventes volátiles	Infusiones y resinoides alcohólicos
		Concretos y absolutos
	Solventes fijos (grasas y aceites)	Absolutos de pomadas
	Extracción con fluidos en estado supercrítico	Absolutos de enflorados

Fuente: elaboración propia, con base en: SENA. Sistema de Bibliotecas. Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales extraídos de Plantas Medicinales y Aromáticas. [en línea] p.10 [Consultado 06, julio, 2020]. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales_aromaticas/

1.3.1 Métodos directos. Los métodos directos consisten en someter el material vegetal a fuerzas mecánicas como por ejemplo la extrusión (ilustración 4), estos se aplican principalmente a los cítricos, ya que sus aceites están presentes en la corteza de la fruta, y el calor de los métodos de destilación puede alterar su composición.⁴⁴

“El aceite de los cítricos está contenido en numerosas celdas del epicarpio. Al exprimir la corteza tales celdas se rompen y liberan el aceite, el cual se recoge inmediatamente para evitar que sea absorbido por la corteza esponjosa que resulta después de este tipo de procesos.”⁴⁵

Ilustración 4. Extrusor de aceites.



Fuente: MEELKO. Prensa extrusora de oleaginosas extracción de aceites [en línea]. [Consultado 6, julio, 2020]. Disponible en: <http://articulo.meelko.com/382-prensa-extrusora-de-oleaginosas-extraccion-de-aceites-200-330kghr.html>

⁴⁴ SENA. Op. cit., p.10

⁴⁵ SENA. Op. cit., p.10

1.3.2 Destilación. La destilación consiste en separar por medio del calentamiento, sustancias volátiles, relativamente inmiscibles con el agua, de otras más fijas, enfriando luego su vapor para reducir las nuevamente a líquido.⁴⁶

Los aceites esenciales son una mezcla de compuestos volátiles que, “a una temperatura dada, la presión total del vapor ejercida por el aceite esencial, será la suma de las presiones del vapor de sus componentes individuales, por lo que, durante el proceso de la destilación de vapor, la vaporización del aceite ocurre a una temperatura menor que la del punto de ebullición del agua.”⁴⁷

1.3.2.1 Arrastre de vapor. Es el proceso más común para extraer aceites esenciales. Esta técnica aprovecha la propiedad que tienen las moléculas de agua en estado de vapor de asociarse con moléculas de aceite.⁴⁸ “Es una destilación de la mezcla de dos líquidos inmiscibles y consiste en una vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto de una corriente directa de vapor de agua, el cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y adicionar tensión de vapor a la de los componentes volátiles del aceite esencial.”⁴⁹ El vapor es generado mediante una fuente externa separado del material como se evidencia en la ilustración 5.

La destilación por arrastre con vapor de agua, no ha podido ser sustituida por la extracción con solventes orgánicos o con calentamiento directo por la gran cantidad de ventajas que tiene respecto a estos. Entre esas ventajas está que el vapor de agua es muy económico en comparación al costo de los disolventes orgánicos y que no requiere uso de equipos sofisticados.⁵⁰

Ilustración 5. Montaje para la extracción por arrastre de vapor a nivel laboratorio.



Fuente: FIGUERO, Selene, et al. Práctica No. 1 destilación por arrastre de vapor [en línea]. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional De Ciencias Biológicas, 2016. [Consultado 6, julio, 2020] Disponible en: <https://vdocuments.mx/practica1-destilacionpor-arrastre-de-vapor.html>

⁴⁶ SENA. Op. cit., p. 11

⁴⁷ SENA. Op. cit., p. 11

⁴⁸ SENA. Op. cit., p. 11

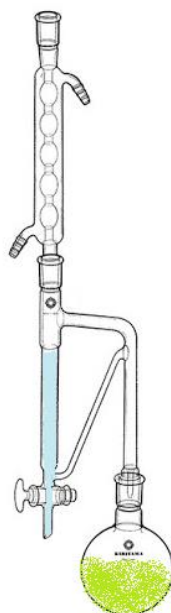
⁴⁹ ALBARRACIN, Gloria. Op. cit., p. 19

⁵⁰ BANDONI, Arnold. Op. cit., p. 144.

1.3.2.2 Hidrodestilación. La hidrodestilación es también llamada destilación en agua y es uno de los métodos más usados junto a el arrastre de vapor. “El principio de esta se basa en llevar a estado de ebullición una suspensión acuosa de un material vegetal aromático, de tal manera que los vapores generados puedan ser condensados y colectados (ilustración 6). El aceite, que es inmisible en agua, se separa posteriormente.”⁵¹

“Aunque en términos generales no es más eficiente que el arrastre de vapor, este método es útil cuando el material vegetal tiende a aglomerarse cuando el vapor pasa a través de él. Una ventaja adicional es que el costo involucrado para la fabricación del equipo es de los más bajos comparativamente entre los métodos enunciados”⁵², además de que su operación no requiere de servicios de energía eléctrica, vapor, aire u otros.⁵³

Ilustración 6. Montaje hidrodestilación a nivel laboratorio.



Fuente: CANFOR LABORATORY AND EDUCATION SUPPLIES CO., LTD. Productos. [en línea]. China: [Consultado 05, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.canfortlab.com/451-pp451.html>

⁵¹ BANDONI, Arnold. Op. cit., p. 142.

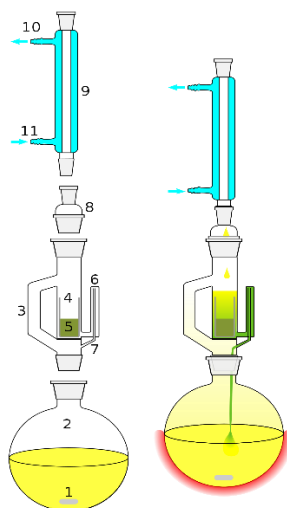
⁵² LOPEZ, Edison y CARVAJAL, José. Diseño y construcción de una planta para la extracción de aceites esenciales con capacidad de 300 kg de material vegetal [en línea]. Tesis. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2009. p.160 [Consultado 05, julio, 2020]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/130410.pdf>

⁵³ SENA. Op. cit., p. 13.

1.3.3 Extracción con solventes. Es un método que utiliza disolventes orgánicos, los cuales penetran en el material vegetal para que a partir de las diferencias de punto de ebullición entre el disolvente y el aceite esencial se disuelvan los aceites volátiles. Es un método que requiere de bajas temperaturas, evitando la pérdida de componentes termolábiles, o reacciones químicas indeseables que alteren los componentes del aceite.⁵⁴

Este método es comúnmente usado en escala laboratorio debido a los altos costos que puede implicar el hecho de utilizar solventes a escala industrial (ilustración 7). El procedimiento más utilizado es soxhlet, donde la muestra seca y con reducción de tamaño de partícula se pone en contacto con solventes. Estos solventes solubilizan la esencia y extraen otras sustancias tales como ácidos grasos, ceras y pigmentos.⁵⁵

Ilustración 7. Montaje de extracción por solventes a nivel laboratorio (soxhlet).



Fuente: . TOUHAMI, F et al. Soxhlet extractor [en línea]. Sci. 2000. [consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: http://utpedia.utp.edu.my/846/1/dissertation_NOR_SYAMIRA.pdf

1.3.4 Métodos de vanguardia. Los métodos de vanguardia incluyen utilización de ultrasonidos en el proceso extractivo de hidrodestilación, extracción por microondas, extracción con fluidos supercríticos y extracción con agua subcrítica.

- **Extracción por Fluidos Supercríticos (EFS):** este método utiliza líquidos en condiciones críticas de temperatura y presión. “El material vegetal se corta en trozos pequeños y se empaca en una cámara por donde se hace circular un líquido supercrítico. Los aceites esenciales se solubilizan y el líquido

⁵⁴ SENA. Op. cit., p.15.

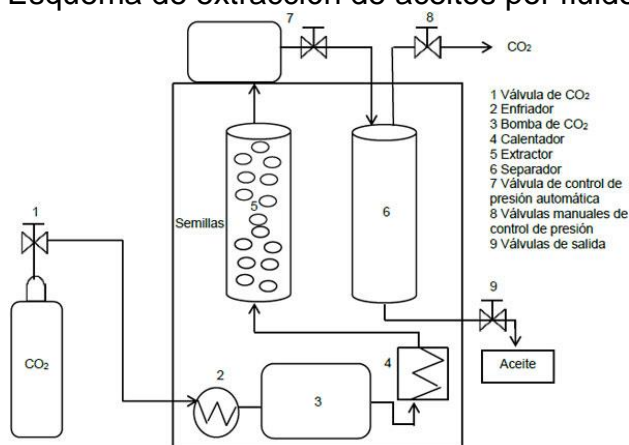
⁵⁵ SENA. Op. cit., p.15

supercrítico que actúa como solvente extractor se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente.”⁵⁶ El esquema de extracción con fluidos supercríticos se presenta en la ilustración 8.

En este proceso es necesario el uso de un co-solvente en bajas concentraciones que posea una volatilidad intermedia entre el solvente y el soluto con el fin de incrementar la polaridad y la fuerza manteniendo la solubilidad sensible con respecto a la presión y temperatura. Así mismo, el uso del co-solvente permite mejorar la selectividad de los componentes de interés en la extracción.⁵⁷

El líquido supercrítico utilizado con más frecuencia es el CO₂ el cual es considerado disolvente verde ya que no es, toxico, inflamable y puede recuperarse con facilidad. Este método, permite compensaciones debido a la variabilidad de factores como la presión, la temperatura, el contenido de etanol como co-solvente, el caudal de CO₂ y el tiempo de extracción que acorde al estudio presentado por Rodrigues⁵⁸ definen la productividad, los costos de operación y el rendimiento. Por ejemplo, el aumento de la presión da como resultado una mejor productividad, mientras que el aumento de temperatura desfavorece todas las variables respuesta.

Ilustración 8. Esquema de extracción de aceites por fluido supercríticos.



Fuente: PANTOJA, Ana, et al. Diagrama de proceso de extracción con fluidos supercríticos [en línea]. Evaluación del Rendimiento, Composición y Actividad Antioxidante de Aceite de Semillas de Mora (*Rubus glaucus*) Extraído con CO₂ Supercrítico. Colombia: 2017. p. 37. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v28n1/art05.pdf>

⁵⁶ SENA. Op. cit., p.15

⁵⁷ CUERVO, Williams. extracción del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Sp*) utilizando dióxido de carbono en condición supercrítica como solvente [en línea]. Tesis. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2008. p. 118. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <http://190.169.30.62/bitstream/123456789/16508/1/TEG%20Cuervo%20P.%20Williams%20D..pdf>

⁵⁸ RODRIGUES, Vitor. Op. cit. p 177.

- **Extracción asistida por microondas:** consiste en calentar el agua o disolvente (Cl₄C, hexano o tolueno) en el que se encuentra el material vegetal por medio de microondas (ilustración 9). Al aumentar la temperatura del medio, se rompen las estructuras celulares que contienen a la esencia por efecto de su presión de vapor. La esencia es así liberada y disuelta en el disolvente presente en el medio.⁵⁹

Ilustración 9. Extracción de hidrodestilación asistida con microondas a nivel laboratorio.



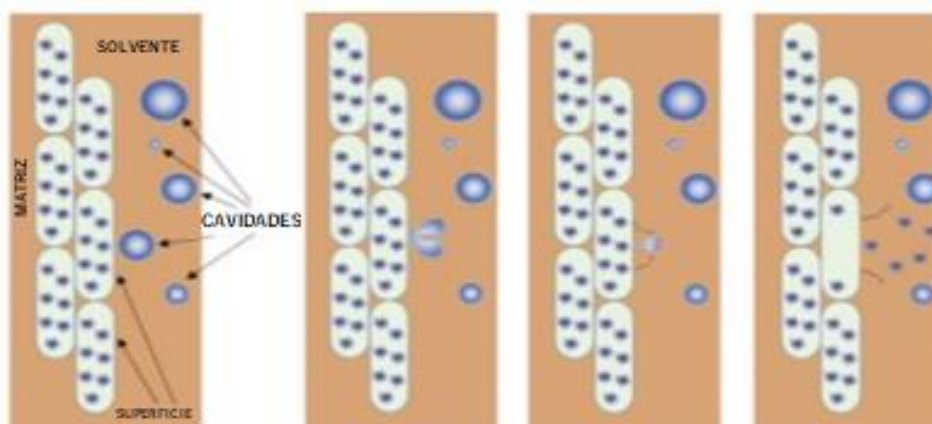
Fuente: elaboración propia.

- **Ultrasonidos en la hidrodestilación:** la aplicación del ultrasonido facilita la liberación del aceite esencial de las paredes celulares en la materia vegetal sometida al proceso extractivo. Se caracteriza por transmitir cantidades sustanciales de energía por la acción de vibraciones causando fenómenos de cavitación asociado a microcorrientes en los líquidos, calentamiento y fatiga en los sólidos.⁶⁰ El mecanismo de liberación del AE por medio de ondas por ultrasonido se muestra a continuación:

⁵⁹ ALBARRACÍN, Gloria; GALLO, Sonia. Op. cit., p. 22.

⁶⁰ ALBARRACÍN, Gloria; GALLO, Sonia. Op. cit., p. 22.

Ilustración 10. Mecanismo de liberación de componentes activos de las células mediante ondas de ultrasonido.



Fuente: GUERRERO, Karen y AVILA, Alexander. Mecanismo de liberación de componentes activos de las células mediante ondas de ultrasonido [en línea]. Obtención de un conservante natural a partir de la semilla de aguacate variedad hass (persea americana mill.). 2019. [Consultado 09, julio, 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7627/1/6112706-2019-2-IQ.pdf>

- **Extracción con agua subcrítica:** es una técnica que permite la extracción de compuestos a partir del uso de agua como solvente a altas temperaturas y presiones con el fin de alcanzar las condiciones críticas donde se conserve el estado líquido⁶¹. Es utilizada como una alternativa basada sobre el uso de fluidos supercríticos y es un método que presenta grandes ventajas por ser rápido, requerir menores costos de operación, y no necesitar de una etapa posterior para la desolventización.

1.4 SISTEMAS DE SEPARACION PARA COMPONENTES ESPECIFICOS DEL PRODUCTO DE LA EXTRACCION

Con el fin de adicionar valor agregado a los productos finales de extracción tanto para el aceite como para el hidrolato se han propuesto diferentes procesos en la literatura que logran tal objetivo.

1.4.1 Pervaporación. Esta alternativa presenta gran potencial para separar compuestos termolábiles. El método se caracteriza por la presencia de una membrana específica, la cual es selectiva con una alta permeabilidad a la difusión de uno o más componentes. La selectividad de la membrana define la viabilidad del proceso con respecto al flujo transmembrana, factor de separación, grado de

⁶¹ JIMÉNEZ, M. y LUQUE DE CASTRO, M. Isolation of eucalyptus essential oil for GC-MS analysis by extraction with subcritical water [en línea]. En: Chromatographia. 1999. vol. 50, no. 9, p. 578-582. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02493664>

hinchazón, estructura microscópica y resistencia química a la alimentación y componentes de interés.⁶²

En la separación de los componentes específicos de los aceites esenciales, debido a que estos poseen características no polares que tienden a interactuar y disolver algunos polímeros causando desgaste en la membrana (constituida por polímeros), el aceite debe disolverse en agua (hidrolato), en etanol o en disolución hidroalcohólica.⁶³

Dado a que durante la extracción del aceite esencial se obtiene a su vez hidrolato, la pervaporación puede ser usada como primera etapa de separación o como una segunda etapa para tratar el hidrolato obtenido removiendo los compuestos orgánicos diluidos en esta solución acuosa, donde se aproveche al máximo los componentes del *Eucalyptus globulus*.

1.4.2 Destilación molecular de ruta corta. Este método consiste en la separación de sistemas químicos con destilación al vacío de corto recorrido caracterizado por usar presiones muy bajas. Este método es utilizado como medio de refinamiento, purificación y desparafinado de los aceites esenciales.⁶⁴

La información bibliografía del método es escasa, y requiere de mayores estudios acerca de las implicaciones del flujo de fluidos, transferencia de calor y transferencia de masa. Sin embargo, a partir de un estudio realizado para la obtención de 1,8-cineol y α -pineno se obtuvo que existe mejor refinación y calidad a partir de la destilación molecular en comparación con la destilación tradicional, optimizando el proceso a una presión de 41 Pa y una temperatura de 38°C. Dado a esto también se puede evidenciar que las temperaturas requeridas en el proceso son más bajas lo cual evita la degradación de componentes de interés.⁶⁵

1.4.3 Sistemas acuosos de dos fases. Otra alternativa para la obtención del compuesto de interés se basa en el uso de sistemas acuosos de dos fases (ATPS) que consiste en formar dos fases inmiscibles a partir de la mezcla de dos polímeros o un polímero y una sal, en una solución acuosa (ilustración 11). Este método se

⁶² SILVESTRE, W., et al. Pervaporation in the separation of essential oil componentes. En: Trends in food science & technology. 2019. Vol. 93, no. 1. p. 42-52. ISSN 0924-2244

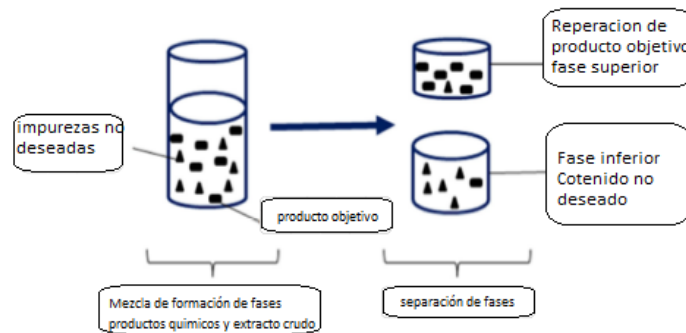
⁶³ FIGOLI, A, et al. Bergamot essential oil extraction by pervaporation. En: Desalination. p. 160–165 Citado por: SILVESTRE, W., et al. Pervaporation in the separation of essential oil components [en línea]. En: Trends in food science & technology. 2019. Vol. 93, no. 1. p. 45. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.003>

⁶⁴ XUEFANG, Hu, et., al. Optimización del aceite esencial de hoja de *Eucalyptus grandis* refinado mediante tecnología de destilación molecular de corto alcance [en línea]. En: Transacciones de la Sociedad China de Ingeniería Agrícola. Vol. 34. 2018. p. 299-307. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: 10.11975 / j.issn.1002-6819.2018.02.041

⁶⁵ Ibid., p. 304

caracteriza por una operación de proceso simple, rápida separación, alta selectividad, bajo consumo de energía y bajo costo.⁶⁶

Ilustración 11. Vista esquemática de la recuperación del producto de destino basado en sistemas acuosos de dos fases.



Fuente: PHONG, Win Nee, et al. Recovery of biotechnological products using aqueous two phase systems . En: Journal of bioscience and bioengineering [en línea]. 2018. p. 2. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.03.005>

Este proceso, por ejemplo, puede ser utilizado para la obtención de compuestos fenólicos, que como se menciona en el apartado 1.2.3 son los responsables de inhibir el crecimiento de varios hongos. Conforme a Phong, existen varios estudios donde se ha realizado la obtención de compuestos fenólicos a partir de la madera del *Eucalyptus globulus* en uno de ellos se utilizó poliglicol y sulfato de amonio, donde el rendimiento está relacionado con el tiempo de extracción, temperatura y cantidad de disolvente y donde el uso de ultrasonido demuestra mejoras en el proceso de extracción.⁶⁷

1.5 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCION

Considerando que durante la extracción del aceite de *Eucalyptus globulus* mediante se generan residuos de biomasa (hojas, corteza, ramas, etc), se propone incluir alternativas para la obtención de ciertos componentes dispuestos en el material con el fin de dar un uso específico a estos, logrando mayor valor agregado tanto al proceso, como a la materia prima.

En la industria se utiliza la biomasa vegetal enfocada en la biorrefinería, a partir de la separación o fraccionamiento de los componentes principales como es el caso de la lignina, celulosa y hemicelulosa, que para la madera de *Eucalyptus globulus* se

⁶⁶ PHONG, Win Nee, et al. Recovery of biotechnological products using aqueous two phase systems. En: Journal of bioscience and bioengineering [en línea]. 2018, vol. 126, no. 3. p. 9. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.03.005>

⁶⁷ Ibid., p. 6

encuentra en porcentajes de 20,3% a 30,2%; de 51,1% a 49,6% y de 12,2% a 30,2% respectivamente en base seca.⁶⁸

En cuanto a la lignina se puede separar de la biomasa vegetal mediante disolución en disolventes o soluciones acuosas seleccionadas como por ejemplo en productos que contienen azufre, sulfito de sodio, soluciones alcalinas u organosolventes. La lignina puede ser empleada como fuente de otros bioproductos como, por ejemplo, en los biocombustibles, la fabricación de resinas, carbón activado y fibras de carbón.⁶⁹ Otros métodos utilizados para la obtención de productos de interés industrial son:

- **Fraccionamiento con cationes:** el método de sulfito de diversos cationes como sodio, potasio o calcio es utilizado para la obtención de una pasta, donde los productos derivados de la lignina (lignosulfonatos) son utilizados como dispersantes, agentes emulsionantes y aditivos siendo el tipo más significativo de lignina comercial.⁷⁰
- **Fraccionamiento con organosolventes:** con respecto a los métodos con organosolventes se puede realizar con ácidos orgánicos, alcoholes y cetonas. Los ácidos orgánicos planteados como disolventes son ácido acético y fórmico con los cuales se ha evidenciado excelente capacidad para el fraccionamiento, produciendo sólidos lignificados. El uso de catalizadores en estos procesos permite excelente deslignificación, selectividad y bajas condiciones operativas.⁷¹
- **Fraccionamiento con alcoholes:** se realiza con metanol, etanol, 2-propanol, dioles, glicerol y alcohol tetrahidrofurfurílico en ausencia o presencia de catalizadores y aditivos. En el caso del metanol y etanol se caracterizan por lograr una buena separación entre la lignina y la celulosa, sin embargo, poseen desventajas en cuanto a la alta volatilidad por lo que deben operar en condiciones considerables y en cuanto a los altos costos relacionado con la energía necesaria para la recuperación de solventes. En el caso del glicerol presenta ventajas en cuanto al bajo costo, gran disponibilidad y capacidad para proporcionar sustratos deslignificados, no obstante, las desventajas están relacionadas a su alta viscosidad, la reutilización del solvente y separación

⁶⁸ PARAJO, J., ALONSO, J. y VAZQUEZ, D. z On the behavior of lignin and hemicelluloses during the Acetosolv processing of wood. *Bioresour.* Citado por: PENÍN, Lucía, et al. Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review [en línea]. En: *Bioresource technology*. 2020, vol. 311, p. 15. [Consultado 06, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123528>

⁶⁹ PENÍN, Lucía, et al. Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review [en línea]. En: *Bioresource technology*. 2020, vol. 311, p. 15. [Consultado 06, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123528>

⁷⁰ *Ibid.*, p.3

⁷¹ *Ibid.*, p. 3-6

efectiva de compuestos solubles no volátiles derivados de la hemicelulosa y lignina. Finalmente, para los dioles y el alcohol tetrahidrofurfurílico no existe suficiente información al respecto.⁷²

- **Fraccionamiento con cetonas:** por otro lado, también se han empleado acetona y metil isobutil cetona como agentes de fraccionamiento sin el uso de catalizadores. El metil isobutil cetona además de la capacidad de deslignificación ha demostrado purificación de los productos químicos en una sola reacción lo que permite la recuperación y purificación simultánea.⁷³
- **Fraccionamiento con líquidos iónicos:** es decir con sales compuestas de cationes orgánicos o aniones inorgánicos han sido una gran promesa ya que son materiales que generan un bajo impacto ambiental,⁷⁴ además este método se resalta por obtener una conversión de biomasa limpia, presentar estabilidad térmica y química, capacidad de disolución con polisacáridos y lignina.⁷⁵

Los métodos anteriormente presentados se pueden alcanzar en una sola reacción, sin embargo, presenta limitaciones como fraccionamiento incompleto, limitaciones en purificación y reciclaje de solventes; estos inconvenientes pueden solucionarse utilizando etapas consecutivas de solubilización de hemicelulosa y eliminación de lignina. La hemicelulosa puede obtenerse mediante extracciones alcalinas, ácidas o neutras. Las extracciones alcalinas son utilizadas cuando el producto de interés es el xileno. Las extracciones ácidas son utilizadas para la hidrólisis de hemicelulosa en azúcares, pero presentan inconvenientes en cuanto a corrosión de equipos y altos costo de catalizador.⁷⁶

Como es evidente la biomasa vegetal del eucalipto tiene gran potencial como materia prima para las refinerías, debido a su composición y propiedades físicas. La viabilidad económica de los métodos depende principalmente de los ingresos obtenidos a partir de la lignina y producto derivado de la hemicelulosa para contrarrestar los costos operativos.⁷⁷

⁷² Ibid., p. 6-7

⁷³ Ibid., p. 7-8

⁷⁴ FORT, D.A., et., al. Can ionic liquids dissolve wood? Processing and analysis of lignocellulosic materials with 1-n-butyl-3-methylimidazolium chloride. En: Green Chem. 2007. Vol. 9, p.63–69. Citado por: PENÍN, Lucía, et al. Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review [en línea]. En: Bioresource technology. 2020, vol. 311, p. 15. [Consultado 06, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123528>

⁷⁵ Ibid., p. 8

⁷⁶ Ibid., p. 10

⁷⁷ Ibid., p. 13

1.6 NANOEMULSION COMO PERSPECTIVA DE FORMULACIÓN PARA UN BIOCIDA

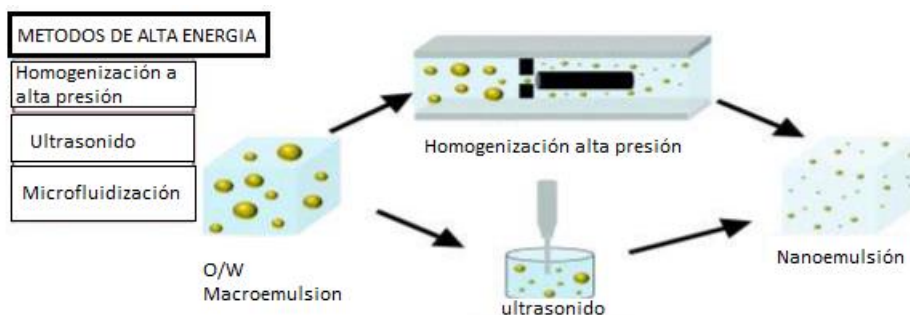
Diferentes industrias han mostrado gran interés en aspectos futuros, como el manejo de plagas e insectos, por lo que la nanoemulsión, se ha convertido en una formulación novedosa y de interés. En esta, se utilizan dos sistemas isotrópicos inmiscibles (agua y aceite) que se mezclan para formar una sola formulación.⁷⁸

A lo largo del tiempo los investigadores han explorado las nanoemulsiones basadas en aceites esenciales contra plagas, entre ellos el aceite de *Eucalyptus globulus*, los cuales han confirmado mayor capacidad de mortalidad contra ellos en comparación de los pesticidas comerciales y el aceite crudo.⁷⁹

La preparación de la nanoemulsión se lleva a cabo mediante dos métodos, uno de alta energía y otro de baja energía.⁸⁰

- **Método de alta energía.** Este contiene procesos de emulsificación de energía mecánica que incluye homogenización a alta presión para hacer nanoemulsiones de gotas finas, donde la mezcla atraviesa un orificio a presiones de 500 a 5000 psi creando cizallamiento hidráulico e incluye ultrasonido que permite que las fases se unan a partir de las vibraciones que causan cavitación (ilustración 12).

Ilustración 12. Representación de los métodos de alta energía.



Fuente: GUPTA, A, et., al Pictorial representation of High Energy Methods of Nanoemulsion Preparation. Nanoemulsions: formation, properties and applications [en línea].2006. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/-/content/articlehtml/2016/sm/c5sm02958a>

- **Métodos de baja energía.** Estos incluyen temperatura de inversión de fase utilizada para el cambio de afinidad de los tensoactivos no iónicos debido a un cambio de temperatura, inhibiendo coalescencia y produciendo nanoemulsión estable. Por último, se lleva a cabo un proceso llamado

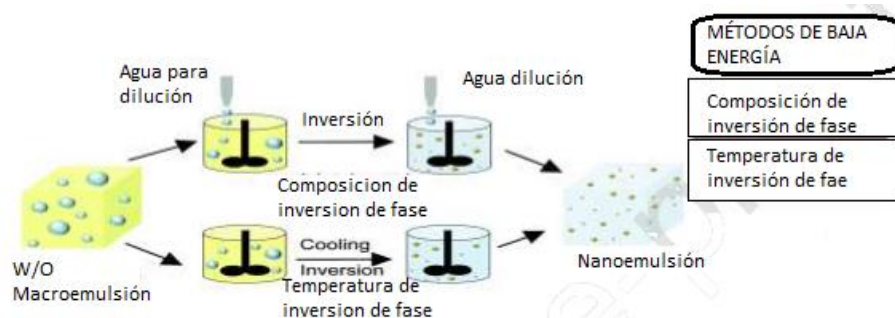
⁷⁸ SHARMA, Shivani, et al. Phyto-nanoemulsion: An emerging nano-insecticidal formulation [en línea]. En: Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2020, vol.14, p. 41. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100331>

⁷⁹ Ibid., p. 13

⁸⁰ Ibid., p. 5-6

composición de inversión de fase, en el que se cambia la composición manteniendo constante la temperatura (ilustración 13).

Ilustración 13. Representación de los métodos de baja energía



Fuente: GUPTA, A, et., al Pictorial representation of Low Energy Methods of Nanoemulsion Preparation. Nanoemulsions: formation, properties and applications [en línea]. 2006. [consultado 04 de Agosto de 2020]. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/--/content/articlehtml/2016/sm/c5sm02958a>

1.7 NORMATIVIDAD ASOCIADA

A continuación, se presentan algunas de las normas asociadas al proceso industrial de obtención del aceite esencial.

- **Ley 9 de 1979.** Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.⁸¹
 - TITULO I. De la protección del medio ambiente
 - TITULO 2. Suministro de agua. En cuanto a usos del agua, residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
 - TITULO 3. Salud ocupacional. Donde se encuentran las siguientes secciones:
 - ✓ De los agentes químicos y biológicos. Artículos 101-109.
 - ✓ De la seguridad industrial. Artículo 112. acerca de las maquinarias, equipos y herramientas.
 - ✓ De los plaguicidas Artículos 136-144
 - ✓ De las edificaciones. A lo que corresponde a ubicación de la planta industrial.
- **ley 1753.** Plan nacional de desarrollo. Artículo 252. de los contratos de acceso a recursos genéticos y/o sus productos derivados.

⁸¹ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 9. (16, julio, 1979). Por la cual se dictan Medidas Sanitarias [en línea]. En: Ministerio de salud. Bogotá D.C. 2020. p. 90. [Consultado 07 julio, 2020]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf

Las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, que a la entrada en vigencia de la presente ley hayan realizado o se encuentren realizando actividades de investigación científica no comercial, actividades de investigación con fines de prospección biológica, o actividades con fines comerciales o industriales, que configuren acceso a recursos genéticos y/o sus productos sin contar con la autorización del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, tendrán dos (2) años a partir de la entrada en vigencia de la presente ley para solicitar el contrato de acceso a recursos genéticos y sus productos derivados.⁸²

- **La resolución 0631 de 2015.** Norma de vertimientos. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- CAPITULO VI. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas- ARD a cuerpos de aguas superficiales.
- CAPITULO VII. Otras actividades no contempladas en el capítulo VI con vertimientos a cuerpos de agua superficiales.
- CAPITULO IX. Disposiciones finales. Artículo 17. De la exclusión de parámetros de la caracterización.⁸³

⁸² COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1753. (9, junio, 2015). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo [en línea]. En: secretaria general de la alcaldía mayor de Bogotá. Bogotá D.C. 2020. p. 114. [Consultado 07 julio, 2020]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normograma/Ley%201753%20de%202015.pdf>

⁸³ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Resolución 0631. (17, marzo, 2015) Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones [en línea]. En: Ministerio de ambiente y desarrollo. Bogotá D.C. 2020. p. 30. [Consultado 07 julio, 2020]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se lleva a cabo la recopilación y análisis de información documental sobre todos los casos de estudio referentes a la extracción y evaluación del aceite esencial de eucalipto como fungicida con el fin de elegir el método de extracción para la obtención del aceite esencial de eucalipto y determinar la factibilidad de usar este aceite como fungicida para inhibir el crecimiento de hongos que atacan cultivos.

2.1 ACEITE ESENCIAL DE *EUCALYPUS GLOBULUS* COMO FUNGICIDA

El aceite esencial de eucalipto ha demostrado tener gran potencial inhibidor hacia el crecimiento de diferentes hongos y aunque no se conoce exactamente el modo de acción de los AE contra los hongos⁸⁴ se ha comprobado que existen diferentes factores que influyen en la actividad antifúngica, los cuales se analizan a continuación.

2.1.1 Factores que influyen en la actividad antifúngica. Según los diferentes autores que han estudiado la acción fungicida de los aceites esenciales de diferentes plantas, existen diferentes factores que pueden favorecer o perjudicar la inhibición del AE contra los diferentes hongos; entre estos están:

- La composición del AE.
- La concentración del AE.
- La clase de hongo que ataca.

2.1.1.1 Composición. Algunos autores afirman que el efecto inhibidor se puede deber a su composición, ya que “la actividad antimicrobiana de un AE particular puede depender de uno o dos de los principales componentes que componen todo el aceite. Además, la proporción en la que están presentes los constituyentes principales puede no ser el único factor responsable de la actividad de los AE, las interacciones entre estos y los constituyentes secundarios en los AE también son importantes.”⁸⁵ Además también dependerá de la parte de la planta de la que se extrae.⁸⁶ En este caso se toman las hojas ya que se ha demostrado que son las que poseen mayor cantidad de eucalipto.⁸⁷

Primero se analiza las composiciones del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* obtenidas de las hojas por cromatografía de gases en diferentes documentos que evaluaron posteriormente su actividad antifúngica sobre diferentes hongos,

⁸⁴ GYAWALI, R.; HAYEK, S. A. e IBRAHIM, S. A. Op. cit., p. 50.

⁸⁵ PEDROTTI, Carine, *et al.* Alternative control of grape rots by essential oils of two Eucalyptus species. En: science of food and agriculture. Brazil. 2019. Vol. 99, n°14. p.32. DOI: 10.1002/jsfa.9936

⁸⁶ RAVEAU, Robin; FONTAINE, Joël y Anissa, LOUNÈS HADJ. Op. cit., p. 2.

⁸⁷ ANDREATTA, Alfonsina. Op. cit., p.2.

encontrando que aun en la misma clase de eucalipto los porcentajes de sus compuestos pueden variar⁸⁸ (tabla 3). Esto se puede deber a diferentes factores: El método de extracción por ejemplo juega un papel muy importante, ya que este generalmente podría implicar el uso de solventes químicos o calor, lo que podría afectar la funcionalidad de los compuestos activos en las plantas⁸⁹; “las condiciones de crecimiento y desarrollo de la planta de la que se originan, las condiciones climáticas (temperatura, lluvia, humedad, intensidad de luz), el sitio de cultivo (composición del suelo, acidez, contaminación y disponibilidad de nutrientes minerales), tiempo de cosecha,”⁹⁰ entre otros, también pueden influir en la composición.

Tabla 3. Componentes mayoritarios en el *Eucalyptus globulus* determinados por cromatografía de gases según diferentes autores.

<i>E. globulus</i>						
Autores	Dianéz ⁹¹		Rai ⁹²		Pedrotti ⁹³	
Componentes mayoritarios		%		%		%
	Eucaliptol	84,27	Eucaliptol	65-80	Eucaliptol	68.26
	Cimeno	7,52	Cimeno	1,92	Cimeno	1.20
	Terpineno	3,45	alfa-pineno	14,8	Terpineno	-----
	Alfa-Pineno	1,95	Mirceno	0,08	Alfa-Pineno	16,24
	Mirceno	0,76	Beta-pineno	0,45	Mirceno	0,42
	Terpineol	0,75	Felandreno	0,32	Terpineol	6,37
	Beta-Pineno	0,67	Canfeno	0,25	Beta-Pineno	0,42
	Alfa-felandreno	0,63	Limoneno y otros 5 componentes minoritarios	3,45	Alfa-felandreno	-----

Fuente: elaboración propia, con base en bibliografía.

Los estudios realizados con el fin de evaluar el efecto fungicida del aceite esencial de *E. globulus* son escasos. Debido a la falta de documentos y para ampliar el análisis, se estudia la composición y el comportamiento del aceite esencial de diferentes clases de eucalipto encontradas en la literatura.

Aunque se pueden encontrar varias especies de eucalipto que contienen gran acción fungicida contra un gran espectro de hongos, difieren bastante en su composición con respecto a el eucalipto en estudio; por ejemplo, el *E. tereticornis*, *E. grandis*, *E. citriodora*, entre otros⁹⁴. Por lo que en el presente trabajo solo se

⁸⁸ RAVEAU, Robin; FONTAINE, Joël y Anissa, LOUNÈS HADJ. Op. cit., p. 2.

⁸⁹ GYAWALI, R.; HAYEK, S. A. e IBRAHIM, S. A. Op. cit., p.1.

⁹⁰ RAVEAU, Robin; FONTAINE, Joël y Anissa, LOUNÈS HADJ. op. cit., p.3

⁹¹ DIÁNEZ, F., et al. Screening of antifungal activity of 12 essential oils against eight pathogenic fungi of vegetables and mushroom. En: Letters in applied microbiology. 2018. vol. 67, n°. 4, p. 400-410. DOI: 10.1111/lam.13053

⁹² RAI, M. K., QURESHI, S y PANDEY, A. K. In vitro susceptibility of opportunistic *Fusarium spp.* to essential oils. En: Mycoses. 1999. vol. 42, n°.1-2, p. 97-101. DOI: 10.1046/j.1439-0507.1999.00267.x.

⁹³ PEDROTTI, Carine. Op. cit., p.11.

⁹⁴ BARBOSA, Luiz; FILOMENO, Claudinei y TEIXEIRA, Robson Op.cit. p.2.

comparan los componentes mayoritarios de algunas de las especies de eucalipto que han señalado potencial fungicida y que además contienen como componente mayoritario el eucaliptol, a los cuales podría ser aplicable este estudio (tabla 4).

Tabla 4. Compuestos mayoritarios en diferentes tipos de eucalipto por cromatografía de gases según diferentes autores.

Planta	<i>E. staigeriana</i>	%	<i>E. camaldulensis</i>	%	<i>E. erythrocorys</i>	%
Componentes mayoritarios	Eucaliptol	24,59	Eucaliptol	60,32	Eucaliptol	54,81
	Limoneno	19,47	Alfa-pineno	13,65	Beta-ocimeno	3,29
	Cimeno	1,4	terpineno	8,77	Terpineno	---
	Terpineno	0,21	terpinen-4-ol	4,24	Alfa-Pineno	7,84
	Alfa-Pineno	1,18			Viridiflorol	8,97
	Mirceno	0,29			Ledol	5,32
	Terpineol	----			Beta-Pineno	---
	Beta-Pineno	----			Acido esteárico	5,32
	Alfa-felandreno	----			Viridiflorol	8,97
Referencia	Pedrotti ⁹⁵		Salem ⁹⁶		Ben ⁹⁷	

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía.

El componente predominante en la composición del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* es el eucaliptol (1,8-cineole) con porcentajes entre 60 y 84%. Si se compara la composición del *E. globulus* dada por Pedrotti con el aceite esencial de *E. camaldulensis* y *E. erythrocorys* podemos observar que tienen en común el eucaliptol como componente mayoritario y en una cantidad considerable, por lo que se les podría estudiar de manera semejante al *E. globulus*.

Por otro lado, el *E. staigeriana* en su composición solo posee 24,59% de eucaliptol.⁹⁸ Este valor es pequeño, pero corresponde al mayor constituyente, por lo que se podría semejar al efecto del aceite esencial de *E. globulus*.

2.1.1.2 Efecto de la concentración. La concentración a la cual se inhibe el crecimiento de los hongos es muy importante porque permite determinar si el aceite esencial es eficiente combatiendo hongos; ya que la actividad antifúngica del aceite esencial aumenta con el aumento de la concentración. Además, el tiempo transcurrido en el momento de la observación y toma de muestra y los métodos que se utilizan para determinar la actividad antifúngica pueden afectar los resultados.⁹⁹

⁹⁵ PEDROTTI, Carine. Op. cit., p.11.

⁹⁶ SALEM, Mohamed Z. M., et al. Antifungal activities of two essential oils used in the treatment of three commercial woods deteriorated by five common mold fungi. En: International biodeterioration & biodegradation. 2016. vol. 106, N°c. p. 88-96. DOI: 10.1016/j.ibiod.2015.10.010

⁹⁷ BEN, Asma, et al. Chemical composition of Eucalyptus erythrocorys essential oils and evaluation of their herbicidal and antifungal activities. En: Journal of pest science. 2013. vol. 86, n°. 3, p. 571-577. DOI: 10.1007/s10340-013-0501-2

⁹⁸ RAI, M. K., QURESHI, S y PANDEY, A. K. Op. cit., p. 98

⁹⁹ MOHAMMADI, P; LOTFI, N y NASERI, L, Etebarian HR. Antifungal activities of essential oils from somelranian medicinal plants against various post harvest moulds. 2013. J Med Plants Res 7(23) :1699–1708. Citado por: MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Essential Oil and

Para este análisis se realizó una revisión bibliográfica de diferentes artículos donde se evaluó el grado de inhibición de las concentraciones estudiadas de las diferentes clases de eucalipto vistas anteriormente, sobre diferentes hongos (tabla 6).

2.1.1.3 Tipo de hongo. Según la revisión que realiza Juárez¹⁰⁰ acerca de los hongos fitopatógenos de importancia económica, se conoce que existen más de 8000 especies de hongos que producen enfermedades en una variedad de plantas, siendo las más comunes especies de *Alternaria*, *Botrytis*, *Diplodia*, *Monilinia*, *Penicillium*, *Colletotrichum*, *Phomopsis*, *Fusarium*, *Rhizopus* y *Mucor*;¹⁰¹ entre otros se encuentra el *Cladobotrium* y el *Aspergillus*. Cada uno de estos hongos posee características diferentes en cuanto a su morfología, clasificación taxonómica, método de reproducción, así como de daño en los cultivos, por lo que se ha podido evidenciar en diferentes estudios que ciertos hongos son más sensibles hacia determinada clase de aceites esenciales, que como se mencionaba anteriormente, también contienen composiciones diferentes que afectan la respectiva inhibición.

2.1.2 Métodos para determinar la actividad antifúngica. Para determinar si los aceites esenciales lograron algún efecto inhibitorio sobre los hongos existen diferentes métodos. El más usado es el método de dilución de caldo o agar. Todos los métodos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Métodos usados para la determinación de la actividad antifúngica.

Método de Determinación	Descripción
Método de dilución de caldo o agar	Consiste en agregar diferentes cantidades de aceites esenciales puros disueltos en alcohol etílico absoluto, 5% de Tween 80 (v / v) y agar de dextrosa de papa (PDA) antes de verterlo en placas de Petri mientras el medio aún está caliente (40-50 ° C)
Método de difusión de disco	Se colocan discos de papel de filtro estériles empapados en las concentraciones deseadas de aceite esencial puro en la superficie interna de la tapa de la placa de Petri. Los platos se sellan con parafilm y se incuban boca abajo a un radio de colonia de 25 ° C

Antifungal Therapy A. En: Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy, Springer India. 2016. p. 29-74. DOI: 10.1007/978-81-322-2782-3_2

¹⁰⁰ JUÁREZ, P.C.; SOSA, M.E. y LÓPEZ, A. Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y metodos de control [en línea]. En: TSIA. Temas selectos de ingeniería de alimentos. México. 2010. Vol.4, n°2. p.14-23. [Consultado 08, julio, 2020]. Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-2/TSIA-4\(2\)-Juarez-Becerra-et-al-2010.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-2/TSIA-4(2)-Juarez-Becerra-et-al-2010.pdf)

¹⁰¹FHIA INFORMA. Deterioro poscosecha de las frutas y hortalías frescas por hongos y bacterias. Carta informativa. [en línea]. Staatsdrukker No. 4. Honduras. 2007. p. 12. [Consultado 08, julio, 2020]. Disponible en: http://www.fhia.org.hn/downloads/fhia_informa/fhiainfdic2007.pdf

Tabla 5. (Continuación)

Método de Determinación	Descripción
Prueba de fase de vapor (VP)	En la mayoría de los exámenes, un reservorio (disco de papel, copa y vidrio) contiene la muestra de aceite esencial y una placa de agar se siembra en el reservorio.
Cajas herméticas	Solo permiten la creación de valores relativos. los resultados se estiman con + + + ¼ crecimiento normal; + ¼ de crecimiento reducido; + ¼ de crecimiento visible; y NG ¼ sin crecimiento.
Ensayo de germinación de esporas	Se mezclan alícuotas de 0,1 mL de cada muestra con esporas obtenidas de hongos culturales y se colocan en portaobjetos de vidrio separados. Los portaobjetos que contienen las esporas se incuban en una cámara húmeda a 28 ° C durante 24 h.
Técnica de comida envenenada	En este método, la fungitoxicidad se expresa con respecto al porcentaje de crecimiento de micelios.
Porcentaje de inhibición del crecimiento de micelios	El efecto fungistático se expresa en términos de inhibición del crecimiento de micelios (%). La inhibición porcentual del crecimiento de hongos se determina en el crecimiento en placas de prueba en comparación con las placas de control respectivas.
Estimación de la concentración inhibitoria mínima (MIC) y la concentración fungicida mínima (MFC)	Identifica si el aceite esencial solo tiene actividad fungistática sobre los patógenos o si también podría tener un efecto fungicida.

Fuente: elaboración propia, con base en: MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Essential Oil and Antifungal Therapy A. En: Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy, Springer India. 2016. p. 29-74. DOI: 10.1007/978-81-322-2782-3_2

2.1.3 Revisión de artículos. En esta sección se realiza la revisión y análisis de los diferentes documentos encontrados en la bibliografía donde se evalúa el potencial fungicida del aceite esencial de las diferentes clases de eucalipto a diferentes concentraciones, sobre los hongos. En los documentos analizados se realizaron pruebas de contacto *in vitro* utilizando diferentes métodos de dilución del aceite esencial para la posterior evaluación del grado de inhibición (MIC) sobre los hongos. Los resultados se clasificaron según su concentración (baja, media, alta y sin inhibición) y se describen a continuación (tabla 6).

2.1.2.1 Hongos que presentan inhibición a bajas concentraciones (0-10 $\mu\text{L}/\text{mL}$). El aceite esencial de *E. globulus* evaluado por Martins¹⁰² mostró inhibición a bajas concentraciones sobre todos los hongos en estudio, lo que muestra el gran potencial de esta clase de eucalipto contra los hongos *Mucor hiemalis*, *Fusarium roseum*, *Alternaria alternata*, *Penicillium glabrum* y *Penicillium sp.* La misma especie evaluada por Tomazoni¹⁰³, mostro inhibicion completa a 10 $\mu\text{L}/\text{mL}$ sobre el hongo *Alternaria solani*; adicionalmente Pedrotti¹⁰⁴ demostró el gran potencial de esta misma especie contra los hongos *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum acutatum* (3 y 6 $\mu\text{L}/\text{mL}$ respectivamente). En el mismo estudio, Pedrotti determino que el aceite esencial de *E. staigeriana* inhibió el crecimiento de los hongos *Botritys cinérea* y *Colletotrichum acutatum* a una concentración de 0,5 $\mu\text{L}/\text{mL}$ lo que indica que estos hongos son bastante sensibles hacia el aceite esencial de esta especie de eucalipto. Tomazoni, además, incluye la *Alternaria solani* en el espectro de los microorganismos que *E. staigeriana* puede combatir a bajas concentraciones.

Por otro lado, en el artículo realizado por Ben¹⁰⁵ el aceite esencial de *E. erythrocorys* no mostro inhibición completa contra ninguno de los hongos en estudio bajo las concentraciones seleccionadas, el mayor porcentaje de inhibición fue de 78%, por lo que se podría esperar que la inhibición total de los hongos *Fusarium oxysporum* y *Botrytis cinérea* este sobre los 4 $\mu\text{L}/\text{mL}$ lo cual es igualmente bajo.

En el estudio realizado por Gakuubi¹⁰⁶, el aceite esencial de la especie *E. camaldulensis* mostro inhibición completa a bajas concentraciones sobre los hongos *fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *F.verticillioides*, *F.proliferatum* y *F. subglutinans*.

2.1.2.2 Hongos que presentan inhibición a medias (entre 10 - 100 $\mu\text{L}/\text{mL}$) y altas concentraciones (>100 $\mu\text{L}/\text{mL}$). Según Rai¹⁰⁷ el aceite esencial de *E. globulus* muestra inhibición completa contra los hongos *F. pallidroseum*, *F. chlamydosporumo*, *F. acuminatum* y *F. solani* a concentraciones intermedias e inhibición total a concentraciones altas sobre *Fusarium oxysporum*. Adicionalmente Diane¹⁰⁸ corrobora la inhibición a altas concentraciones sobre *Fusarium oxysporum* y añade los hongos *Cladobotrium mycophillum*, *Alternaria brassicae*, *Phytophthora parasítica* y *Sclerotinia sclerotiorum*.

¹⁰² MARTINS, Carla, et al. Effects of Essential Oils from *Eucalyptus globulus* Leaves on Soil Organisms Involved in Leaf Degradation. En: Plos one. 2013. vol. 8, n°. 4, p. 6123. DOI: 10.1371/journal.pone.0061233

¹⁰³ TOMAZONI., Op. cit. p. 74

¹⁰⁴ PEDROTTI, Carine., Op. cit. p. 10

¹⁰⁵ BEN, Asma. op. cit. p.575.

¹⁰⁶ GAKUUBI, Martin; MAINA, Angeline W. y WAGACHA, John M. Antifungal Activity of Essential Oil of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. against Selected *Fusarium* spp. En: International journal of microbiology. Hindawi. 2017. n°2, p.7 DOI: 10.1155/2017/8761610

¹⁰⁷ RAI, M. K., QURESHI, S y PANDEY, A. K. Op. cit., p.100

¹⁰⁸ DIÁNEZ, F. Op. cit. p.407

Rai también estudia la especie *E. camaldulensis*, esta muestra inhibición total de crecimiento sobre los hongos *F. chlamydosporum*, *F. pallidroseum* y *F. solani* a concentraciones intermedias mientras que necesita de concentraciones altas para inhibir totalmente el crecimiento de los hongos *F. acuminatum* y *F. oxysporum*.

2.1.2.3 Hongos que no presentan inhibición. Por último, se pudo evidenciar en el estudio de Dianéz que el AE de *E. globulus* no presentó inhibición sobre los hongos *Pythium aphanidermatum*, *Trichoderma aggressivum* y *Botrytis cinerea*; esto se puede dar por diversos factores como, el método de evaluación¹⁰⁹ o directamente por la sensibilidad del hongo hacia ciertos componentes.

Tabla 6. Actividad antifúngica del eucalipto

EXTRACTO	MICROORGANISMO	RESULTADO	REFERENCIA
Aceite esencial de <i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	Inhibición de crecimiento del 32% (30% v/v-300 μ L/mL)	[110]
	<i>Botrytis cinerea</i>	No presenta inhibición	
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Inhibición de crecimiento del 84% (30% v/v-300 μ L/mL)	
	<i>Phytophthora parasitica</i>	Inhibición de crecimiento del 53% (30% v/v-300 μ L/mL)	
	<i>Alternaria brassicae</i>	Inhibición de crecimiento del 21% (30% v/v-300 μ L/mL)	
	<i>Cladobotrium mycophillum</i>	Inhibición de crecimiento del 48% (30% v/v-300 μ L/mL)	
	<i>Trichoderma aggressivum</i>	No presenta inhibición	
	<i>Pythium aphanidermatum</i>	No presenta inhibición	
	<i>Alternaria alternata</i>	MIC 2,5 μ L/mL	[111]
	<i>Fusarium roseum</i>	MIC 2,5 μ L/mL	
	<i>Mucor hiemalis</i>	MIC 1,25 μ L/mL	
	<i>Penicillium glabrum</i>	MIC 5 μ L/mL	
	<i>Penicillium sp.</i>	MIC 5 μ L/mL	
	<i>F. acuminatum</i>	MIC 62,5 μ L/mL	[112]
	<i>F. chlamydosporum</i>	MIC 15,6 μ L/mL	
	<i>Fusarium oxysporum</i>	MIC 250 μ L/mL	
	<i>F. pallidroseum</i>	MIC 15,6 μ L/mL	
	<i>F. solani</i>	MIC 62,5 μ L/mL	[113]
<i>Botrytis cinerea</i>	MIC 3 μ L/mL		
<i>Colletotrichum acutatum</i>	MIC 6 μ L/mL	[114]	
<i>Alternaria solani</i>	MIC 10 μ L/mL		

¹⁰⁹ MOHAMMADI, P. Op. cit., p. 45

¹¹⁰ DIÁNEZ, F. Op. cit., p.407

¹¹¹ MARTINS, Carla. Op. cit., p.4.

¹¹² RAI, M. K., QURESHI, S y PANDEY, A. K. Op. cit., p.100

¹¹³ PEDROTTI, Carine., Op. cit., p. 10

¹¹⁴ TOMAZONI, Elisa. Op. cit., p.407

Tabla 6. (Continuación)

EXTRACTO	MICROORGANISMO	RESULTADO	REFERENCIA
AE de <i>Eucalyptus carnaldulensis</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	MIC 6 μ L/m	[115]
	<i>Fusarium solani</i>	MIC 6 μ L/mL	
	<i>F. verticillioides</i>	MIC 8 μ L/mL	
	<i>F. proliferatum</i>	MIC 6 μ L/mL	
	<i>F. subglutinans</i>	MIC 8 μ L/mL	
	[116]	<i>F. acuminatum</i>	MIC 125 μ L/mL
		<i>F. chlamydosporum</i>	MIC 31,2 μ L/m
		<i>Fusarium oxysporum</i>	MIC 250 μ L/mL
		<i>F. pallidroseum</i>	MIC 31,2 μ L/mL
		<i>F. solani</i>	MIC (62,5 μ L/mL)
AE de <i>E. erythrocorys</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	Concentración para inhibición del 74% (4 μ L/mL)	[117]
	<i>Botrytis cinerea</i>	Concentración para inhibición del 78% (4 μ L/mL)	
AE de <i>E. staigeriana</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	MIC 0,5 μ L/mL	[118]
	<i>Colletotrichum acutatum</i>	MIC 0,5 μ L/mL	[119]
	<i>Alternaria solani</i>	MIC 1 μ L/mL	

Fuente: elaboración propia, con base en bibliografía.

Es necesario aclarar, que los artículos usan diferentes métodos de dilución para las concentraciones de los aceites esenciales lo cual puede hacer variar los valores. Por otro lado, se debe tener en cuenta que una misma clase de hongo puede tener diferentes formas especiales, como se señalaba en el capítulo 1. Por lo que únicamente a partir de experimentación se podría saber la concentración exacta a la que el aceite esencial de los diferentes eucaliptos inhibe el tipo específico de hongo que se desee controlar.

2.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE AE DE EUCALIPTO (*EUCALYPTUS GLOBULUS*)

Existen diversos métodos de extracción para los aceites esenciales, cada uno de ellos posee características especiales en su operación, así como en el producto generado que nos pueden ayudar a seleccionar el método más conveniente para la obtención del AE de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Es por esto que, en este apartado, se presentan las características principales de cada método basadas en la revisión de diferentes documentos. Por otro lado, las condiciones del material vegetal y la parte de la planta que se utilice para la extracción, pueden influir en la selección del método, por ello es importante conocer previamente la manera en la que opera cada una de estas técnicas evidenciada en el apartado 1.3, y las características que posee cada uno de ellas (tabla 7).

¹¹⁵ GAKUUBI, Martin Muthee. op. cit., p.4

¹¹⁶ RAI, M. K., QURESHI, S y PANDEY, A. K. Op. cit., p.100

¹¹⁷ BEN, Asma. Op. cit., p.575.

¹¹⁸ PEDROTTI, Carine. Op. cit., p. 25

¹¹⁹ TOMAZONI, Elisa. Op. cit., p.75

Tabla 7. Clasificación y características de los métodos de extracción de aceites esenciales.

Método		Procedimiento	Características	Ref.
Directos		Extrusión	El aceite esencial obtenido es el de mayor calidad que se puede obtener ya que no existe intervención de sustancias químicas y se realizan a temperatura ambiente.	[120]
		Exudación		
Indirectos	Destilación	Directa	Requiere de altos consumos energéticos, debido a las altas temperaturas a las que debe llegar.	[121], [122]
			Conlleva a el uso de altas temperaturas y por ende a la degradación de compuestos térmicamente lábiles e hidrolisis parcial de compuestos sensibles al agua, formando así elementos indeseados.	[123], [124]
		Arrastre de vapor con agua	Se puede obtener un aceite con aroma desagradable cuando exista sobrecalentamiento o carbonización del material vegetal, esto ocurre cuando la materia prima no se pone en contacto con suficiente agua o el agua no es permanente.	[125], [126], [127], [128]
			Destilación-maceración	Requiere de un tiempo extenso para la extracción, factor que a la vez depende los componentes presentes en el vegetal. Si los compuestos tienen puntos de ebullición altos, mayor será el tiempo necesario en la extracción, aumentando además los costos.

¹²⁰ ORTUÑO, M. Op.cit., p. 40.

¹²¹ BERMUDO, Gianella. Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de aceites esenciales [en línea]. Tesis. Perú: Universidad Nacional De San Cristobal De Huamanga (Perú), 2019. p. 99. [Consultado 15, julio, 2020]. Disponible en: http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/3392/TESES%20AI176_Ber.pdf?sequence=1&isAllowed=y

¹²² CARDENAS, Edgar. Determinación de parámetros de operación para la destilación por arrastre con vapor de agua del aceite esencial de molle (*Schinus molle* Linneo) en el equipo modular de extracción de aceites esenciales de la FIQM UNSCH [en línea]. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, 2014. p. 144. [Consultado 30, junio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1032>

¹²³ FRANCISCO, José da Cruz y SIVIK, Björn. Solubility of three monoterpenes, their mixtures and eucalyptus leaf oils in dense carbon dioxide [en línea]. En: The Journal of Supercritical Fluids. vol. 23, no. 1, p.11-19. [Consultado 28, junio, 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(01\)00131-0](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(01)00131-0)

¹²⁴ PICKETT, J. A.; COATES, J. y SHAPES, F. R. Distortion of essential oil composition during isolation by steam distillation. En: CHEM. p. 571

¹²⁵ BANDONI, Arnaldo. Op. cit., p. 142

¹²⁶ GAVILLA, M. y TORNER, J. Contribución al estudio de los aceites esenciales españoles. I. Aceites esenciales de la provincia de Cuenca. Madrid: Ministerio de Agricultura, 1974. p.431

¹²⁷ LAWRENCE, B. Essential oil production: A discussion of influencing factors. Washington, DC: American Chemical Society, 1986. p. 363-369.

¹²⁸ CAMISA, N. y GRASSETTI, C. Consideraciones prácticas para el diseño de equipos destiladores de aceites esenciales. *Anales de SAIPA*. 1994, p. 35-91

Tabla 7. (Continuación)

	Método	Procedimiento	Características	Ref.	
Indirectos	Destilación		Se caracteriza por su simplicidad y flexibilidad para trabajar con aceites de diferente densidad y naturaleza.	[129]	
			Se obtienen aceites de alta pureza al no utilizar un solvente o componente adicional en su obtención.	[130]	
			Los conocimientos técnicos disponibles son amplios, debido a que es una tecnología muy conocida.	[131], [132]	
	Extracción con solventes	Solventes volátiles		El aceite esencial tiene buena calidad debido a la capacidad de obtener gran cantidad de compuestos químicos presentes en las plantas.	[133], [134], [135]
				Se caracteriza por tener fácil manejo y un funcionamiento automático.	
				Requiere un extenso periodo de operación y residencia del disolvente con la materia vegetal.	
				Los rendimientos de aceite esencial suelen ser bajos, debido a las extracciones sucesivas con el disolvente.	
				Demanda de una mayor seguridad en la operación, ya que los disolventes orgánicos volátiles pueden ser tóxicos, inflamables y/o irritantes.	
				Los aceites esenciales obtenidos representan mejor olor en comparación con la hidrodestilación, a pesar de que las trazas del disolvente se puedan incorporar.	
		Solventes fijos (grasas y aceites)		Genera productos de baja calidad.	[136]
		Necesitan suficiente tiempo para la extracción, son muy laboriosos y requieren bastante mano de obra.			

¹²⁹ CERPA, Manuel. Hidrodestilación De Aceites Esenciales: Modelado Y Caracterización. Universidad de Valladolid [en línea]. Tesis doctoral. 2007. p.304. [Consultado 30, junio, 2020]. Disponible: <http://www.anipam.es/downloads/43/hidrodestilacion-de-aceitesesenciales.pdf>

¹³⁰ ROMERO, Ana. Diseño De Una Planta Piloto Para La Extracción De Aceites Esenciales Mediante Destilación Por Arrastre De Vapor [en línea]. Tesis. Piura, Peru: Universidad de piura, 2016. p. 147. [Consultado 1 julio, 2020]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2658>

¹³¹ BERMUDO, Gianella. Op. cit., p. 35

¹³² CARDENAS, Edgar. Op. cit., p.23

¹³³ Ibid., p.32

¹³⁴ GALLEGO, L. C. y CARDONA, C. A. Generalidades y procesos de extracción. *Ingeniería química*. 2004, nro. 411. p. 144-152.

¹³⁵ AL DI CARA, Jr. Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Marcel Dekker ed. 1983. p. 3640

¹³⁶ ORTUÑO, Manuel. Op. Cit., p.45.

Tabla 7. (Continuación)

Método		Procedimiento	Características	Ref.
Indirectos	Técnicas de vanguardia	Utilización de ultrasonido	El uso de ultrasonido mejora el rendimiento de la extracción y reduce el tiempo.	[137]
			Disminuye el riesgo de degradación térmica.	[138], [139]
		Extracción asistida por microondas	Es un método que permite ahorrar tiempo y por ende energía durante la extracción.	[140],
			El uso de irradiación de microondas no influye negativamente en la composición de los aceites esenciales.	[141], [142]
		Extracción con fluidos supercríticos	Tiene selectividades altas, debido a la presencia de una sola fase que permite una transferencia de masa y calor óptimas	[143], [144]
			Involucra altas presiones en la operación, causando de esta manera altos costos en lo que involucra la compresión y los equipos necesarios para poder llegar a estas condiciones.	[145]
			El fluido utilizado como disolvente puede ser reciclado y reutilizado, disminuyendo así costos en la materia prima.	[146], [147]

¹³⁷ Ibid., p.45.

¹³⁸ KIMBARIS, Athanasios C., et al. Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*) [en línea]. En: *Ultrasonics - Sonochemistry*. vol. 13, no. 1, p. 54-60. [Consultado 02 de julio de 2020]. Disponible en: [10.1016/j.ultsonch.2004.12.003](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2004.12.003)

¹³⁹ VINATORU, M., et al. The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials [en línea]. 1997, vol. 4, p. 135-139. [Consultado 3, julio, 2020] Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(97\)83207-5](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(97)83207-5)

¹⁴⁰ GOLMAKANI, Mohammad-Taghi y REZAEI, Karamatollah. Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with the traditional hydrodistillation method in the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L [en línea]. En: *Food Chemistry*. Aug 15. vol. 109, no. 4, p. 925-930. [Consultado 02, julio, 2020] Disponible en: [10.1016/j.foodchem.2007.12.084](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.084)

¹⁴¹ KAUFMANN, B. y CHRISTEN, P. Recent extraction techniques for natural products [en línea]. 2002. p. 105-113. [Consultado 10, julio, 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1002/pca.631>

¹⁴² FERHAT, A., et al. An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. En: *Journal of Chromatography*. 2006. vol. 1112, p. 121-126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.12.030>

¹⁴³ BANDONI, Arnaldo. Op. cit., p. 153

¹⁴⁴ MANHEIMER, S. Aceites esenciales de América del Sur. 1973. p. 27-30.

¹⁴⁵ Producción de Biodiesel Utilizando Tecnología De Fluidos Supercríticos. s.f. [Anónimo].

¹⁴⁶ LANG, Qingyong y WAI, Chien M. Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies a practical review [en línea]. En: *Talanta*. vol. 53, no. 4, p. 772. [Consultado 11, julio, 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00557-9](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00557-9)

¹⁴⁷ LUQUE, M.; VALCAREL, M. y TENA, M. Analytical supercritical fluid extraction. España: Springer, 1994. p. 313. ISBN 978-94-011-4948-8

Tabla 7. (Continuación)

Método		Procedimiento	Características	Ref.
			Permite obtener más eficiencia y mejor calidad ya que el disolvente puede penetrar mejor en materiales sólidos y porosos, debido a la baja viscosidad, baja tensión superficial y alto coeficiente de difusión	
Indirectos	Técnicas de vanguardia	Extracción con fluidos supercríticos	Previene reacciones indeseables en la extracción como oxidación, hidrólisis, degradación y reordenamiento.	[148], [149]

Fuente: elaboración propia, con base en bibliografía.

2.2.1. Revisión de estudios de caso para la extracción de AE de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

Conociendo las características principales de los diferentes métodos de extracción para aceites esenciales encontrados en la literatura, se realiza la revisión de estudios de caso implementados por diferentes autores que estudiaron los parámetros y condiciones de operación del proceso de extracción del aceite esencial de eucalipto, lo optimizaron o aportaron información acerca de este, con el fin de determinar el método de extracción, las variables óptimas del proceso y las tendencias existentes acerca de estos métodos.

Con base en la bibliografía, se clasificaron los casos de estudio en la (tabla 8) de acuerdo a el método de extracción para la obtención del aceite esencial de eucalipto con su respectiva descripción, donde se presentan los hechos principales que se llevaron a cabo en cada uno de ellos.

Tabla 8. Casos de estudio sobre la extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*.

Método		Procedimiento	Caso de estudio	Descripción del caso de estudio	Ref.
Indirectos	Destilación	Directa	Caracterización de aceites esenciales del departamento San Justo (Córdoba)	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizó la extracción de los diferentes aceites esenciales, entre ellos el del <i>Eucalyptus globulus</i>. • Se especificaron las condiciones en las que se realizó la extracción. • Se determinó la composición de cada uno de los componentes del aceite. 	[150], [151]

¹⁴⁸ ESPINOSA, Hugo., et al. Los compuestos bioactivos y tecnologías de extracción. 1 ed. Ciatej, 2016. pp.138. ISBN 978-607-97421-5-7

¹⁴⁹ LUQUE, M.; VALCAREL, M. y TENA, M. Op.cit., p. 57

¹⁵⁰ ANDREATTA, Alfonsina, et al. Caracterización De Aceites Esenciales Del Departamento San Justo (Córdoba) [en línea]. Córdoba: p. 6. [Consultado 03, julio,2020]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/cyfal_frm/cyfal_2012/tf/tf008.pdf

¹⁵¹ DI LEO LIRA, P., et al. Essential oil and by-products of distillation of bay leaves (*Laurus nobilis L.*) from Argentina. En: Industrial Crops and Products. 2009, vol. 30. p. 259-264. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.04.005>

Tabla 8. (Continuación)

Método	Procedimiento	Caso de estudio	Descripción del caso de estudio	Ref.	
Indirectos	Destilación	Arrastre de vapor con agua	Diseño de una planta piloto agroindustrial para la producción de aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), no convencional, bajo la filosofía “zero waste”	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizó la propuesta de planta piloto para el proceso de extracción de AE de eucalipto que opere de manera no convencional. • La extracción se llevó a cabo en un lecho fijo compactado y la separación en un pera de decantación. • Se realizó el diagrama de flujo de bloques, diagrama de procesos, el balance de masa, balance de energía con los respectivos cálculos del calor que ingresa al sistema, el calor recuperado en el condensador, el calor que se recupera en la corriente de agua de enfriamiento y el calor perdido en total. • Se elaboró el diseño de la planta con las especificaciones para la columna de extracción, el generador de vapor y el decantador. • Se realizó un estudio económico con las inversiones fijas tangible e intangibles, capital de trabajo, inversión total, costo de fabricación e ingresos. 	[152], [153], [154]
		Estudio de aceites esenciales colombianos III. aceites esenciales de eucaliptus I.	<ul style="list-style-type: none"> • Se evaluaron las mejores condiciones para la extracción del aceite esencial de eucalipto con la mayor calidad, así como su posible obtención de cineol. Las hojas se recolectaron de la sabana de Bogotá. Se extrajo el aceite por el método convencional de arrastre de vapor. El condensado se filtró por sulfato de sodio anhidro y se almacenó. Posteriormente se determinaron las constantes físicas y químicas, se realizó un ensayo de pureza 	[155]	

¹⁵² NATIVIDAD, Jose. Diseño de una planta piloto agroindustrial para la producción de aceite esencial de eucalipto (*eucalyptus globulus*), no convencional, bajo la filosofía “zero waste” [en línea]. Tesis. Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion (Peru), 2019. p. 153. [Consultado 9, julio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3044/JOS%C3%89%20LUIS%20NATIVIDAD%20MERCEDDES.pdf?sequence=1>

¹⁵³ AGUAYO, Silva, *et al.* Aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill Y *Eucalyptus nitens* H. Deane. & Maiden (MYRTACEAE) para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Sci ELO*. 2016, p. 204-216. ISSN 0719-3882.

¹⁵⁴ KUSUMA, Heri y MAHFUD, Mahfud. The extraction of essential oil from sandalwood (*santalum album*) by microwave air-hydrodistillation method. En: *Journal of Materials and Environmental Science*. 2018, vol. 57, p. 1597-1606. DOI: 10.1016/j.aej.2017.02.007

¹⁵⁵ CALDERON, Eduardo; DE NIGRINIS, Stella; CALLE, Jairo. Estudio de aceites esenciales colombianos III. aceites esenciales de eucaliptus I. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, Volumen 3, Número 1, p. 95-105, 1976. ISSN electrónico 1909-6356. ISSN impreso 0034-7418.

Tabla 8. (Continuación)

Método		Procedimiento	Caso de estudio	Descripción del caso de estudio	Ref.
Indirectos	Destilación	Arrastre de vapor con agua		(presencia de metales pesados) y espectroscópico. Se determinó su composición por cromatografía y se valoró el cineol. <ul style="list-style-type: none"> • Estos resultados fueron comparados con una esencia obtenida de un laboratorio alemán. 	
			Diseño de una planta piloto para la extracción de aceites esenciales mediante destilación por arrastre de vapor.	<ul style="list-style-type: none"> • Los ensayos de destilación se realizaron bajo unas condiciones generales y se analizaron ciertas variables (tabla 9) obteniendo como resultado los rendimientos de la extracción. • Se propuso un diseño de la planta piloto, se describieron las operaciones, se determinó la capacidad de producción de la planta, se realizó la selección de los equipos, donde se elabora una matriz de decisión con respecto al costo, diseño, capacidad, potencia y mantenimiento para el equipo de extracción. • Se realizó la distribución de la planta. • Se estableció la inversión total de implementación, el precio del aceite esencial y se hallaron los egresos del proyecto e indicadores financieros. 	[156], [157], [158]
			Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto	<ul style="list-style-type: none"> • Se estudió el efecto de la humedad de la hoja y el tiempo de extracción para alcanzar altos rendimientos. • Se realizó la experimentación con parámetros obtenidos en pre-experimentos mediante el equipo de arrastre de vapor no convencional y un proceso de separación por decantación (Anexo 1). 	

¹⁵⁶ ROMERO, Ana. Op. cit., p.122

¹⁵⁷ PEREDO, H. A.; PALOU, E. y LÓPEZ, A. Aceites esenciales: métodos de extracción. Universidad de las Américas Puebla San Andrés Cholula [en línea]. 2009. p. 24-32. [Consultado 10, julio, 2020]. Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3\(1\)-Peredo-Luna-et-al-2009.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3(1)-Peredo-Luna-et-al-2009.pdf)

¹⁵⁸ RODRIGUEZ, Margarito; ALCARAZ, Lilia y REAL, Sergio. Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas [en línea]. *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. 2012, p. 38. [Consultado 11, julio, 2020]. Disponible: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales_aromaticas/pdf/ACEITES%20ESENCIALES%20EXTRAIDOS%20DE%20PLANTAS%20MEDICINALES%20Y%20AROMATICAS.pdf

Tabla 8. (Continuación)

Método		Procedimiento	Caso de estudio	Descripción del caso de estudio	Ref.
Indirectos	Destilación	Arrastre de vapor con agua		<ul style="list-style-type: none"> • Se elaboró el modelamiento del proceso de secado por ajustes lineales y relación polinómica de segundo orden, los cuales representan un ajuste altamente significativo dando como resultado una curva de secado de la humedad en función de tiempo • Se realizó el modelamiento de la extracción del aceite esencial mediante el análisis de regresión para el rendimiento y el costo asociado al gasto de combustible y energía eléctrica. • Utilizando un diseño central compuesto rotacional se obtuvo la optimización del proceso mejorando los rendimientos a ciertos tiempos de extracción, de humedad y reduciendo los costos. 	[159], [160], [161]
			Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) con el equipo modular de aceites esenciales	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizó un diseño de experimentos para el estudio de las variables, entre las cuales se encuentran el porcentaje de flujo inyectado de agua, altura del lecho de extracción, el tiempo de extracción y tamaño de partícula (tabla 9). Finalmente se determinaron las mejores condiciones de operación y se optimizó el proceso. • Se llevó a cabo la descripción del proceso, balances de materia en la columna de extracción y balances de energía en la columna de extracción y condensador. • Se determinaron las condiciones experimentales para la extracción por medio de fuentes bibliográficas para determinar un rendimiento final. A partir de esa información se realizó el diseño de la planta a escala piloto comenzando con la selección de los materiales de los equipos 	[162], [163], [164], [165]

¹⁵⁹ MORENO, Jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel y SICHE, Raul. Op. cit., p. 147-154.

¹⁶⁰ CALDERON, E.; DE NIGRINIS, S. y CALLE, J. Op. cit., p.95

¹⁶¹ MARTINEZ, Alejandro. Aceites esenciales. Universidad de Antioquia [en línea]. 2001. p.34. [consultado 10, julio, 2020]. Disponible en: http://www.med-informatica.com/OBSERVAMED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf

¹⁶² BERMUDO, Gianella. Op. cit., p. 1-99

¹⁶³ MARTINEZ, A. Op. cit., p.4

¹⁶⁴ FAIR, J. Distillation. Handbook of separation Process technology. Georgia institute of technology. 1987. p. 227-339. ISBN: 978-0-471-89558-9

¹⁶⁵ KUBEC SKA, L. Destilación de aceites esenciales. En: procesamiento de alimentos a pequeña escala. 2002, p.11

Tabla 8. (Continuación)

Método		Procedimiento	Caso de estudio	Descripción del caso de estudio	Ref.
Indirectos	Destilación	Arrastre de vapor con agua	Diseño y puesta en marcha de una planta piloto de arrastre con vapor para la obtención de aceites esenciales	<p>involucrados en el proceso y las especificaciones técnicas de los equipos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se variaron las condiciones para mejorar los rendimientos del proceso tales como cantidad de materia vegetal y tiempo de extracción. • Se presentó un reporte cromatógrafo y se realizó el análisis de la composición del aceite esencial. • Se efectuó la evaluación costo-beneficio de la extracción a nivel planta piloto. 	[166], [167]
	Técnicas de vanguardia	Extracción con fluidos supercríticos	Extracción Del Aceite Esencial De Eucalipto (<i>Eucalyptus Sp</i>) Utilizando Dióxido De Carbono En Condición Supercrítica Como Solvente	<ul style="list-style-type: none"> • Se describió el proceso de obtención de los aceites esenciales, las etapas de pretratamiento, obtención del extracto, caracterización de los extractos, optimización del proceso y los procesos de separación asociados. La experimentación se realizó con el <i>Eucalyptus Urophylla</i> que a pesar de tener diferencias en la composición con respecto al <i>Eucalyptus globulus</i>, fue considerada según el autor una planta con un porcentaje de eucaliptol estándar y menor cantidad de compuestos residuales, lo que permitió que fuera un punto de comparación con las demás especies. • Para la etapa de pretratamiento se determinó la relación entre el porcentaje de humedad y el tiempo de secado por lecho fluidizado. • Se establecieron las condiciones óptimas del proceso para aumentar la selectividad del eucaliptol como componente de interés, se realizó un escalamiento del proceso preliminar y una estimación económica. 	[168]

Tabla 8. (Continuación)

¹⁶⁶ ESCOBAR, Andres. Diseño Y Puesta En Marcha De Una Planta Piloto De Arrastre Con Vapor Para La Obtención De Aceites Esenciales. Universidad de carabobo [en línea], 2012. p.106. [Consultado 8, julio, 2020]. Disponible en: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/8044/aescobar.pdf?sequence=3>

¹⁶⁷ PAVAS, Edison y VEGA, Alex. Evaluación a escala de planta piloto del proceso industrial para la obtención de aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía “cero emisiones” [en línea]. Tesis. Universidad eafit, 2005. p. 38. Disponible en: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1363>

¹⁶⁸ CUERVO, Williams. op. cit., pp. 118

Método	Procedimiento	Caso de estudio	Descripción del caso de estudio	Ref.
Indirecto	Técnicas de vanguardia	Optimización de la extracción de ácidos triterpénicos de la corteza de <i>Eucalyptus globulus</i> con fluidos supercríticos utilizando diseño experimental	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizó la metodología de superficies con el objetivo de encontrar las variables de operación óptimas del proceso. • Se realizó el estudio de la variación de temperatura, presión y adición del co-solvente con un caudal del disolvente, tiempo de extracción y tamaño de partícula constantes. • Se estableció el modelamiento experimental del rendimiento de la extracción, válida estadísticamente. • La extracción también se realizó mediante el método de soxhlet bajo condiciones fijas, consiguiendo un solo resultado con el fin de lograr una comparación entre los métodos. 	[169], [170]
		Aislamiento de aceite esencial de eucalipto para análisis GC-MS por extracción con agua subcrítica	<ul style="list-style-type: none"> • Se estudió la idoneidad del método comparándolo con el método convencional de hidrodestilación. El equipo de extracción utilizado fue una celda de extracción patentada por salvador y Merchfin¹¹¹ de 14,5 mL con un pre calentador, un controlador de temperatura, un sistema de enfriamiento, y un restrictor variable para controlar la presión. • Se efectuó la extracción con hojas recolectadas de Chile y se determinó la influencia de las variables de temperatura, presión y caudal del agua. • Se obtuvo que es un método competitivo con respecto a los demás, debido a las diversas ventajas presentadas a lo largo del desarrollo de la experimentación. 	[171] [172], [173]

Fuente: elaboración propia, con base en bibliografía.

¹⁶⁹ DOMINGUES, Rui M. A., et al. Optimization of the supercritical fluid extraction of triterpenic acids from *Eucalyptus globulus* bark using experimental design [en línea]. En: The Journal of Supercritical Fluids. Feb. vol. 74, p. 105-114. [Consultado 4, julio, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.12.005>

¹⁷⁰ DESARTE, F.; CLARK, J. y HARDY, J. Extraction of high-value chemicals from wheat straw by supercritical carbon dioxide. 2005. p. 61-62

¹⁷¹ Official Gazette of the United States Patent and Trademark Office: Trademarks, citado por: JIMÉNEZ CARMONA, M. y LUQUE DE CASTRO, M. Isolation of eucalyptus essential oil for GC-MS analysis by extraction with subcritical water. En: Chromatographia. Nov. vol. 50, no. 9, p. 578-582

¹⁷² JIMÉNEZ, M. y LUQUE, M. op. cit., p. 578-582.

¹⁷³ GULLIEN, Maria; CABO, Nerea y BURILLO, Jesus. Characterisation of the Essential Oils of some Cultivated Aromatic Plants of Industrial Interest. En: Sci Food Agric. 1996, p. 359. Disponible en: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199603\)70:3<359::AID-JSFA512>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199603)70:3<359::AID-JSFA512>3.0.CO;2-0)

Generalmente los casos más estudiados son los métodos de arrastre de vapor y fluidos supercríticos, debido a que el primero es el método convencional más utilizado a nivel industrial por su simplicidad, flexibilidad y bajos costos; y el segundo, debido a las ventajas que presenta. Esto se debe, también, a que los antimicrobianos de origen vegetal se producen con mayor frecuencia mediante los métodos de destilación de vapor, destilación hidráulica, y los métodos alternativos como la extracción con fluido supercrítico, los cuales proporcionan una mayor solubilidad y mejores tasas de transferencia de masa.¹⁷⁴

Los métodos que utilizan solventes, por otro lado, generan más costos y requieren varios pasos complejos de separación, además algunos de estos solventes (ácido clorhídrico, cloruro de amonio, etanol, metanol y alcohol) se consideran tóxicos.¹⁷⁵ Es por esto que el arrastre de vapor es el método preferido por diferentes autores, que, además, a través de los casos de estudio, usualmente realizan propuestas diferentes para generar mejores ventajas.

2.2.2 Selección del método de extracción para el escalamiento. La tendencia o la mayor información proporcionada en la búsqueda bibliográfica se encuentra para el método arrastre de vapor, por ello a lo largo del trabajo de grado se estudiará este método. En consecuencia, se decide ampliar la información presente en los respectivos casos de estudio para este método, que será usada en el posterior escalamiento a nivel planta piloto.

2.2.2.1 Casos de estudio sobre arrastre de vapor. A continuación, se amplía la información encontrada en los diferentes casos de estudio que realizan la extracción de AE de eucalipto por el método de arrastre de vapor, esto con el fin de analizar los datos del acondicionamiento, el diseño experimental, las variables más importantes, y los resultados obtenidos en los diferentes casos de estudio (tabla 9) para la posterior selección de condiciones de operación óptimas.

¹⁷⁴ HAYEK, Saeed; GYAWALI, Rabin; IBRAHIM, Salam A. Natural products as antimicrobial agents. En: FOOD CONTROL. 2004. Dec.vol. 46, p. 412-429. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.047>

¹⁷⁵ HERRERO, Miguel, CIFUENTES, Alejandro, IBAÑEZ, Elena. Sub-and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: plants, food-by-products, algae and microalgae: a review. 2006. Food Chemistry, 98(1), 136e148. Citado por: GYAWALI, R.; HAYEK, S. A. IBRAHIM, S. A. Plant Extracts as Antimicrobial in Food Products: Mechanisms of Action, Extraction Methods, and Applications. En: Anonymous Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality. Elsevier Ltd, 2015. p.412

Tabla 9. Acondicionamiento, diseño experimental y resultados de los casos de estudio de arrastre de vapor.

Titulo	Acondicionamiento	Diseño de experimentos		Resultado	Ref.
		Factores	Dominio experimental		
Diseño de una planta piloto agroindustrial para la producción de aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), no convencional, bajo la filosofía “zero waste”	Selección de hojas: manualmente	Presión (bar)	1 y 10	El rendimiento fue de 2,87% para 900g de materia vegetal, proveniente de Ambar con una presión de 10 bar, un tiempo de extracción de 24 min, y una reducción de tamaño de la hoja (20mm).	[176] [177] [178]
		Procedencia	Huncayo(H) y Ambar (A)		
	Temperatura de Secado: a temperatura ambiente. Método de secado: convección natural	Tamaño matriz vegetal	Entero (E) y Partido (P)		
		Tiempo de extracción (s)	24 min. y 60 min.		
		Factores (planta piloto)	Dominio experimental (planta piloto)		
Estudio de aceites esenciales colombianos III. aceites esenciales de eucaliptus I.	Hojas recolectadas de la sabana de Bogotá	Muestra vegetal (kg)	10	En el análisis de composición se determinó 46-70% de cineol (p/p) y no se encuentran metales pesados. Se determinó un rendimiento del 2%, el índice de refracción, la rotación angular y la solubilidad, el Índice de acidez e índice de saponificación.	[179]

¹⁷⁶ NATIVIDAD, Op. Cit., pp.153

¹⁷⁷ AGUAYO, Op. Cit., pp. 204-216

¹⁷⁸ KUSUMA, Op. Cit., pp. 1597-1606.

¹⁷⁹ CALDERON, Eduardo; DE NIGRINIS, Stella y CALLE, Jairo. Op. cit., p. 95-105.

Tabla 10.(Continuación)

Titulo	Acondicionamiento	Diseño de experimentos		Resultado	Ref.
		Factores	Dominio experimental		
Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Selección de hojas: hojas sin lesiones.	Humedad de la hoja (%)	16,1 35,9 12,0 40,0 26,0	Las variables dependientes fueron rendimiento y costo. El proceso se optimizo mediante el método superficie respuesta, para un rendimiento de 2,1 mL por cada 100g de hoja y un costo de \$607 COP (2010) por mL de aceite esencial operando con tiempos de extracción de 98 a 126 min con hojas entre 25 y 30% de humedad.	[180] [181] [182]
	Método de Secado: incubadora				
Diseño de una planta piloto para la extracción de aceites esenciales mediante destilación por arrastre de vapor	Tiempo de secado: en función de la humedad requerida para lo que se realizó un modelamiento.	Temperatura del condensador	Temperatura ambiente y 10 °C	Los experimentos se realizaron con un tiempo de extracción de 1h, utilizados 2L de agua. El mayor rendimiento fue de 1,05%, se presentó para una temperatura de 10 °C en el condensador y 152,73 g de materia vegetal.	[183] [184] [185]
	Temperatura de Secado: temperatura ambiente				
Tiempo de secado: 3 días.					
Molienda: manualmente.					

¹⁸⁰ MORENO, Op. Cit., p.147-154

¹⁸¹ CALDERON, Op. Cit., p. 95-105

¹⁸² MARTINEZ, Op. Cit., p. 34

¹⁸³ ROMERO, Op. Cit., p. 122

¹⁸⁴ PEREDO, Op. Cit., p.24-32

¹⁸⁵ RODRIGUEZ, Op. Cit., p.38

Tabla 9. (Continuación)

Titulo	Acondicionamiento	Diseño de experimentos		Resultado	Ref.
		Factores	Dominio experimental		
Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) con el equipo modular de extracción de aceites esenciales.	Método de Secado: mediante convección natural.	Tamaño de partícula (cm)	10 5 2,5 1,25	La variables óptimas para 3kg de materia vegetal se dio a un porcentaje de flujo de agua de 81,4%, a un tamaño de partícula de 1,25 cm, a una altura del lecho de 32 cm equivalente a la mitad del diámetro del tanque de extracción y un tiempo de 60 minutos, condiciones a las cuales se obtuvo el mayor rendimiento (1,16%)	[186] [187] [188]
		Altura del lecho (cm)	15 30 45 60		
		Flujo de vapor de agua (%)	50 60 80 90		
		Tiempo de extracción (min)	30 45 60 75		
Diseño y puesta en marcha de una planta piloto de arrastre con vapor para la obtención de aceites esenciales	Temperatura de secado: ambiente de 22°C -28°C Tiempo De secado: 15 días Humedad de la hoja: 11,138%	Tamaño de partícula (cm)	0,02 x 0,02 1x2	Se realizó previamente la extracción a nivel laboratorio para 80 g de masa vegetal, un tiempo de extracción de 1,5h obteniendo como mejor rendimiento 0,266% para el tamaño de partícula de 1x2 cm. A nivel planta piloto se determinó el tiempo óptimo de extracción (90 min) y la carga de vegetal de 900 g para el que se demuestra mejores rendimientos.	[189] [190]
		Factores (planta piloto)	Dominio experimental (planta piloto)		
		Masa vegetal (g)	300 600 900		
		Tiempo de extracción (min)	60 90 120		

Fuente: elaboración propia, con base en bibliografía.

¹⁸⁶ BERMUDO, Op. Cit., p. 99

¹⁸⁷ FAIR, Op. Cit., p. 229

¹⁸⁸ KUBECKSKA, Op. Cit., p. 8-11

¹⁸⁹ ESCOBAR, Op. Cit., p. 106

¹⁹⁰ PAVAS, Op. Cit., p.38

Para ampliar la información acerca de los parámetros de operación y los resultados completos del diseño de experimentos de cada caso de estudio para la extracción por arrastre de vapor ver (Anexo A).

Existen numerosos casos de estudio con relación a los aceites esenciales de eucalipto, cada uno con un objetivo principal diferente, pero, sin embargo, aportan datos importantes para el desarrollo del actual trabajo de grado.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL A ESCALA PLANTA PILOTO

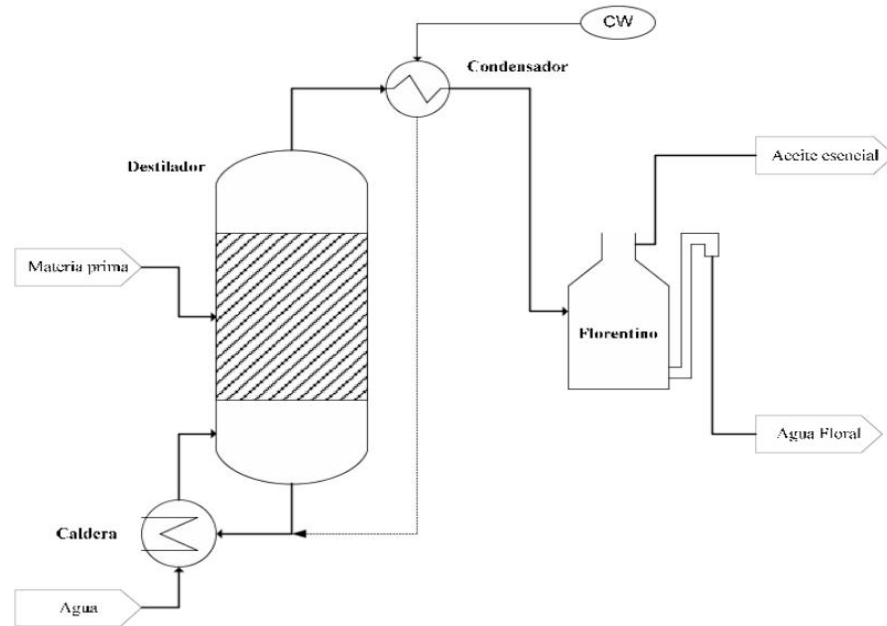
En este capítulo se determinarán las especificaciones técnicas del proceso de obtención del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), se propondrá el diagrama de procesos, los balances de materia y energía y los equipos necesarios. Para esto, una vez analizado el estado de arte del proceso de extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* y seleccionado el arrastre de vapor como método de extracción conforme a la cantidad de información suministrada por distintas fuentes, se hará una descripción general del proceso y se determinarán las variables nivel laboratorio, para su posterior escalamiento.

3.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO

El proceso comienza con el acondicionamiento de la materia prima. Esta puede estar molida, cortada o entera y se suministra en la columna de tal manera que forme un lecho fijo. Según Cerpa¹⁹¹ el proceso de arrastre de vapor se caracteriza por utilizar vapor sobrecalentado o saturado, fuera del equipo principal, para lo que se utiliza un generador de vapor externo a la columna que contiene la materia prima. El vapor de agua se inyecta mediante un distribuidor interno con la suficiente presión para vencer la resistencia hidráulica del lecho, entra en contacto con la materia prima y libera el aceite gracias a la volatilidad de los componentes. El aceite esencial es arrastrado por el vapor hacia la cima del equipo y posteriormente al condensador, donde es enfriado a temperatura ambiente. A la salida del condensador se obtiene una emulsión líquida inestable entre el agua y el aceite (hidrolato e hidrosol), los cuales posteriormente se llevan a un decantador dinámico llamado florentino, con un cuerpo cónico o cilíndrico y un fondo cónico, donde se separan las fracciones debido a su inmiscibilidad y a su diferencia de densidades.

¹⁹¹ CERPA, Manuel. Op. cit., p.32

Ilustración 14. Proceso general de la extracción de AE por arrastre de vapor.

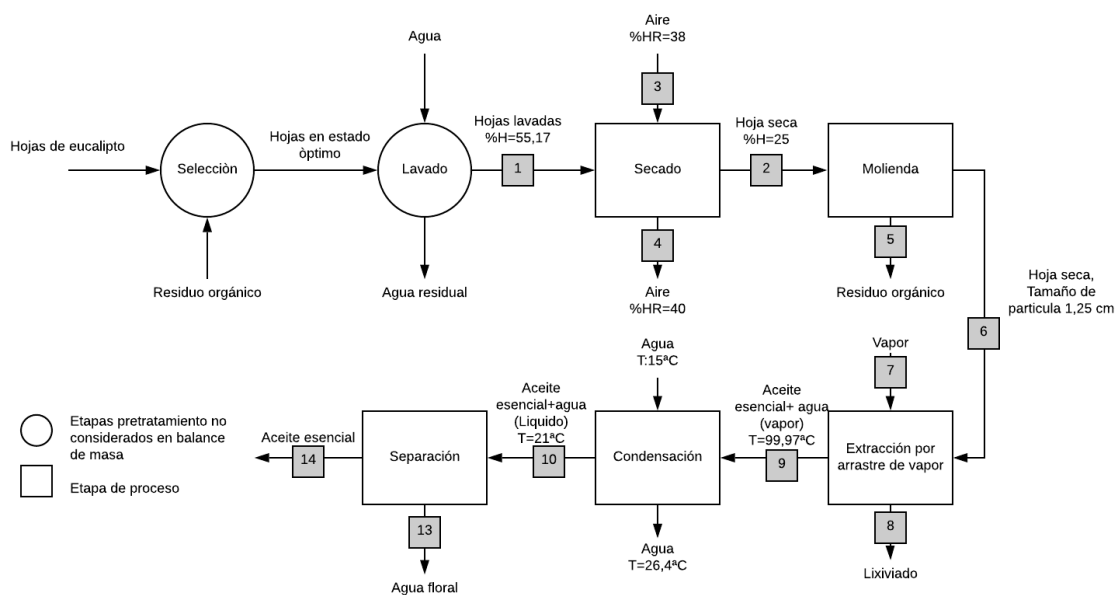


Fuente: CERPA, Manuel. Hidrodestilación De Aceites Esenciales: Modelado Y Caracterización [en línea]. Universidad de valladolid, 2007. p.6. [Consultado 19, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.anipam.es/downloads/43/hidrodestilacion-de-aceitesesenciales.pdf>

3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL PROCESO

Para la obtención del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* se requieren una serie de etapas individuales establecidas por diferentes operaciones unitarias, donde las hojas de eucalipto como materia prima sufren transformaciones físicas para luego dar paso al proceso de extracción donde finalmente se obtiene el aceite esencial. El diagrama de bloques, representa gráficamente el funcionamiento del proceso con las corrientes que intervienen en él.

Diagrama 1. Diagrama de bloques general del proceso de obtención del AE de *Eucalyptus globulus*.



Fuente: elaboración propia.

3.3 DETERMINACION DE PARAMETROS.

A continuación, se determinarán los parámetros que requiere cada etapa tomando como base las variables técnicas propuestas en los diferentes casos de estudio (Tabla 9 y Anexo A). El criterio de selección del valor óptimo para cada parámetro, estará determinado por los análisis realizados en cada caso de estudio.

3.3.1 Acondicionamiento de la materia prima. El acondicionamiento tiene como objetivo preparar la materia prima vegetal para el proceso de extracción, es importante ya que define los resultados en las siguientes etapas. La materia prima a utilizar serán las hojas, ya que según diferentes autores la mayor cantidad de eucaliptol, el cual es el agente activo fungicida, se encuentra en estas.¹⁹² El acondicionamiento consta de 3 sub-etapas:

- Selección y lavado:** es necesario hacer una selección previa para retirar las hojas dañadas y lavar, para retirar cualquier impureza o suciedad. De esta manera se evita causar mayor caída de presión, resistencia en la circulación del flujo de vapor a través de las ranuras del lecho, incremento en la tensión superficial y disminución de la difusión del aceite esencial hacia la corriente de flujo de vapor.¹⁹³

¹⁹² ANDREATTA, Alfonsina. Op. cit., p.2.

¹⁹³ BERMUDO, Gianella. Op. Cit., p.59 .

- **Secado:** el secado es una alternativa que permite acelerar el proceso de eliminación de agua, necesario para obtener la humedad conveniente en la extracción, ya que se considera que un bajo contenido de humedad en un mismo tiempo de extracción, genera altos rendimientos debido a su alta volatilidad.¹⁹⁴ Adicionalmente, promueve la conservación de las hojas de la planta, puesto que los microorganismos capaces de producir descomposición no pueden desarrollarse en ausencia de humedad.

Según Moreno¹⁹⁵, la humedad óptima de las hojas para el proceso debe estar entre el 25 y 30%. Por otro lado, según Escobar¹⁹⁶ la humedad de las hojas debe estar entre el 10 y 20 %. Sin embargo, cuando la humedad de las hojas es muy baja, requiere de un alto gasto energético en la extracción¹⁹⁷, debido a la rehidratación de la materia prima vegetal, donde la absorción de agua, la lixiviación de solutos y el hinchamiento de la muestra afectan la cinética de extracción, llevando así a una disminución en la difusión del aceite del medio interno al medio externo.¹⁹⁸ La solución de aceite en agua se da por ósmosis, a través de las membranas inflamadas, y finalmente alcanza la superficie externa, donde el aceite se vaporiza al pasar el vapor. Cuando la humedad de la hoja desaparece por medio del secado, la difusión ya no tiene lugar, debido a que el vapor no penetra las membranas celulares secas.¹⁹⁹ Esto provoca una disminución en la velocidad de recuperación del aceite esencial, por ende, el tiempo de extracción y en consecuencia los costos de operación, se incrementan.

Asimismo, si se desea efectuar el proceso a porcentajes de humedad muy bajos, se requerirán mayores temperaturas en el proceso de secado lo cual puede provocar pérdida de componentes volátiles²⁰⁰ o mayor tiempo de secado lo que va a generar, de igual forma, mayor consumo energético.

Teniendo en cuenta que el efecto inhibitor del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* puede estar dado por la composición e interacción de los componentes, es importante garantizar que no exista pérdida por volatilidad de ninguno de ellos, considerando esto y a los altos costos que involucran un contenido muy bajo en la humedad se define el porcentaje de humedad del 25% para la extracción, que de acuerdo al modelamiento presentado en la (ilustración 15) del primer artículo mencionado, requiere un tiempo de secado de 548 minutos para las condiciones de operación presentadas en la (tabla

¹⁹⁴ MORENO, jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel; SICHE, Raul. Op. Cit., p.150.

¹⁹⁵ Ibid., p.152.

¹⁹⁶ ESCOBAR, Op. Cit., p. 52

¹⁹⁷ MORENO, jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel; SICHE, Raul. Op. Cit., p.150.

¹⁹⁸ TORRES, Golda, *et al.* Op. Cit., p. 17.

¹⁹⁹ GROOT, Anton C.; SCHMIDT, Erich. Essential oils. Boca Raton: CRC Press, 2016. p. 108-115. ISBN: 978-1482246407

²⁰⁰ VASQUEZ, Oscar. Op. Cit., p. 41.

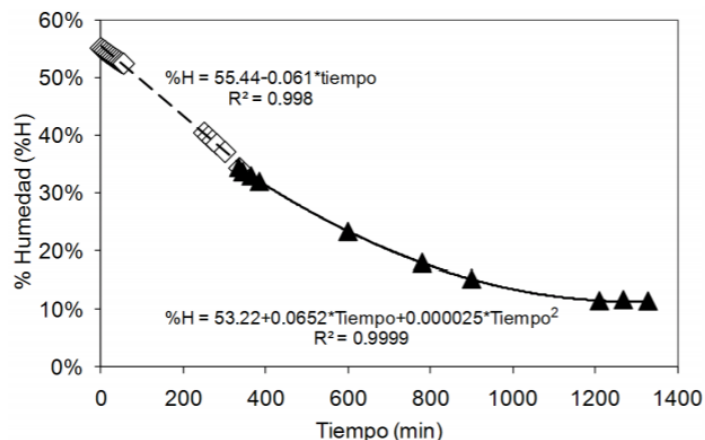
10), las cuales en la lectura de la carta psicrométrica (Anexo C) a presión atmosférica, con la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa no se obtienen el mismo valor reportado para la temperatura de bulbo húmedo, hecho que puede presentarse por las condiciones de presión del secado la cual no es reportada o error del instrumento.

Tabla 11. Condiciones de secado de las hojas de *Eucalyptus globulus*.

Parámetro	Inicio	Fin
Temperatura de bulbo seco (°C)	36	42
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	27	30
Humedad relativa (%)	38	40

Fuente: MORENO, Jeancarlos. Condiciones de operación del secado de las hojas de eucalipto [en línea]. Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). En: Scientia Agropecuaria. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/27>

Ilustración 15. Curva de secado para las hojas *Eucalyptus Globulus*.



Fuente: MORENO, Jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel; SICHE, Raúl. Modelación del proceso de secado [en línea]. Perú. 2010. p. 150. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/27>

- **Molienda:** se comprueba en los casos de estudio la influencia del tamaño de partícula de la materia prima en el rendimiento, donde para los estudios presentados por Natividad²⁰¹ y Bermudo²⁰² se obtiene que entre menor sea el tamaño de partícula, mayor es el rendimiento, hecho que se asume por el aumento del área de contacto en la superficie del material y el vapor de agua. También puede estar dado a que, si se utiliza el material entero, la tasa de

²⁰¹ NATIVIDAD, José. Op. Cit., p. 70.

²⁰² BERMUDO, Gianella. Op. Cit., p. 60.

recuperación estaría dada principalmente por la difusión. En consecuencia, antes de la destilación, el material vegetal debe desintegrarse hasta cierto punto, para llegar a tener presencia de aceite esencial en las superficies inmediatamente disponible para el arrastre por vapor.²⁰³ Sin embargo, cuando el tamaño de partícula es igual o menor a 0,02 cm se pueden formar aglomeraciones las cuales impiden el paso del flujo de vapor como lo fue para el caso de Escobar²⁰⁴. En los artículos establecen tamaños de partícula desde 0,02 cm hasta 10 cm, los resultados para los rendimientos más altos se reportaron para 2 cm y 1,25 cm con rendimientos de 0,266% y 1,16% respectivamente. Entendiendo un alto rendimiento como mayor cantidad de producto obtenido, se selecciona un tamaño de partícula de 1,25 cm.

3.3.2 Extracción del aceite esencial. Una vez la materia prima este acondicionada, se somete al proceso de extracción. Este proceso requiere especificar ciertas condiciones de operación.

- **Tiempo de extracción:** para el proceso de extracción es necesario fijar la variable tiempo. Según los reportes bibliográficos entre mayor sea, mayor rendimiento va a generar en la extracción, sin embargo, está variable está limitada por los costos energéticos, la exposición de la materia prima al calor y la cantidad de componentes volátiles encerrados dentro del tejido de la planta²⁰⁵. Según Moreno²⁰⁶, el proceso de extracción del aceite de Eucalipto se optimiza operando en un tiempo de extracción entre 98 a 126 minutos con un tamaño de carga de materia prima de 100 g y con una humedad entre 25% y 30%. Considerando que la humedad seleccionada fue del 25% y que el rango de tiempo propuesto en las diferentes fuentes se encuentra entre 30 minutos y 126 minutos el tiempo de extracción se define de 98 minutos.
- **Presión:** en los casos de estudio presentados en la tabla 8 se estudia la variabilidad de presión en la extracción por arrastre de vapor, donde se deduce que el uso de presiones altas favorece la obtención del aceite esencial, afectando el tiempo de extracción y disminuyendo la cantidad de vapor requerido por unidad de peso de aceite, obteniendo como resultado la reducción del consumo energético. No obstante, los autores Groot y Schmidt²⁰⁷ afirman que el uso de presiones altas no es recomendable para la destilación con vapor si la operación contiene componentes volátiles delicados, ya que el aumento de temperatura repercute en la descomposición en el producto. Los rangos de las presiones estudiadas oscilan entre 1 bar y 10 bar, en todos los casos se obtuvieron rendimientos más altos para las

²⁰³ GROOT, Anton C.; SCHMIDT, Erich. Op. Cit., p. 114

²⁰⁴ ESCOBAR, Op. Cit., p. 56

²⁰⁵ GROOT, Anton C.; SCHMIDT, Erich. Op. Cit., p. 116

²⁰⁶ MORENO, jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel; SICHE, Raul. op. cit., p.152

²⁰⁷ GROOT, Anton C. de y SCHMIDT, Erich. Op. Cit., p. 95

presiones altas, sin embargo, no informan la calidad obtenida en el producto, factor el cual es determinante en el presente trabajo dado al uso como fungicida. Por esta razón se propone realizar la extracción a condiciones normales, es decir alrededor de 1 bar de presión, teniendo en cuenta la ubicación donde se realice la extracción.

- **Flujo de vapor de agua:** el porcentaje de flujo de vapor es de gran importancia ya que la circulación de este a través de los intersticios del lecho es determinante sobre el rendimiento. Esto es comprobado por el estudio de Bermudo²⁰⁸ donde se realiza la obtención del aceite con cuatro diferentes porcentajes de flujo de vapor controladas por una válvula neumática (50%, 60%, 80% y 90%), porcentajes que están dados. Finalmente se determinó que a 80% de flujo de vapor se obtuvo los mejores rendimientos, puesto que conforme incrementa la convección del caudal de vapor en el lecho, también aumenta la velocidad de obtención de aceite. Respecto a ello se considera el flujo de vapor como 6,19 kg/h, el cual hace referencia al dato más grande presentado en los artículos, considerando que se reportaron datos entre 0,062 kg/h y 6,19 kg/h. Allí mismo se reportaron los datos del flujo de vapor a la salida del extractor con un valor de 4,79 kg/h.
- **Temperatura de vapor:** la temperatura de vapor solo es expuesta en dos casos de estudio. Uno de ellos define la temperatura a 100°C y otro a 90°C. Este factor puede variar en base a las condiciones que se establezca en el proceso, usualmente se utiliza vapor saturado, pero también es posible el uso de vapor sobrecalentado a una presión fija, con cualquier temperatura por encima del punto de ebullición, permitiendo ventajas en el ahorro de la cantidad de vapor utilizado. No obstante, el uso de vapor sobrecalentado requiere de mucha precaución, ya que puede lograr estancar el proceso de obtención del aceite esencial siendo capaz de secar la materia prima a tal punto de que las fuerzas difusoras no puedan producirse.²⁰⁹ Teniendo esto en cuenta, se define la temperatura de vapor a 99,97°C con el fin de obtener un vapor saturado a 1 bar.
- **Temperatura de condensación (°C):** teniendo en cuenta el servicio que se utilice, en este caso agua, se define la temperatura de condensación. En los reportes bibliográficos registran rangos de temperatura de 14,6 - 21°C y 18,9 - 26,4°C para la entrada y salida del condensador respectivamente, a partir de ello se especifica para el trabajo actual una temperatura de entrada en el condensador de 15°C y de salida de 26,4°C.

3.3.3 Separación. En esta etapa se pretende separar la mezcla inmisible presentada por el hidrosol (fase oleosa) y el hidrolato (fase acuosa) como resultado

²⁰⁸ BERMUDO, Gianella. Op. Cit., p. 61

²⁰⁹ GROOT, Anton C.; SCHMIDT, Erich. Op. Cit., p. 97

de la extracción. La separación usualmente, se realiza por decantación debido a su fácil separación, gracias a la inmiscibilidad que presentan las fases y a la diferencia de masas al final de la extracción entre ellas, por otro lado, presenta la ventaja de no recurrir a altas temperaturas que provoquen desnaturalización de los componentes.

3.3 BALANCE DE MASA

El balance de masa se realizará tomando una muestra inicial de 3 kg de *Eucalyptus globulus* en la etapa extracción, con base en los datos experimentales presentados en el estudio de Bermudo.²¹⁰ El balance de masa se realiza a partir de la operación unitaria de molienda, para determinar la masa requerida en la corriente de salida del secado; además, se considera que en la etapa de lavado no ocurre transferencia de materia con las hojas de eucalipto.

Los balances de masa están dados por la siguiente ecuación general:

$$m \text{ de entrada} - m \text{ salida} + m \text{ generada} - m \text{ consumida} = m \text{ acumulada} \quad (\text{Ecuación 1})$$

A lo largo del proceso no ocurren reacciones químicas y además el sistema es considerado en estado estacionario, razón por la cual la masa generada, la masa acumulada y la masa consumida serán igual a cero.

3.4.1 Balance de masa de la molienda. En los balances de masa para la reducción de tamaño de partícula, se considerará el 1% de residuos orgánicos como se muestra en el (diagrama 2) dados a las pérdidas durante la operación, el cual corresponde al material que queda adherido a las paredes del molino, como es reportado en el caso de estudio de Natividad.²¹¹

Para esta operación se precisa el siguiente balance de masa:

$$m_2 = m_5 + m_6 \quad (\text{Ecuación 2})$$

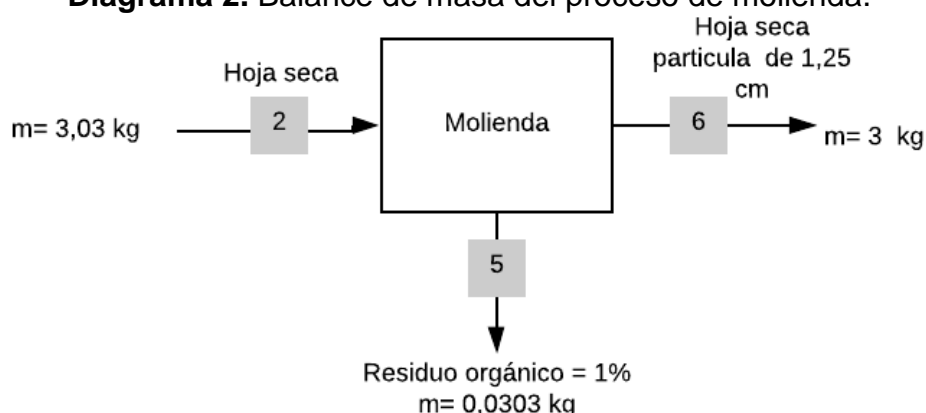
Definida la masa de la corriente de entrada al extractor y la corriente 5 con el 1% de la masa que entra en la operación, se puede determinar, mediante la ecuación 2, la masa que sale después de la reducción del tamaño de partícula.

$$\begin{aligned} m_2 &= 0,01kg (m_2) + 3 kg \\ m_2(1 - 0,01) &= 3 kg \\ m_2 &= 3,03 kg \end{aligned}$$

²¹⁰ BERMUDO, Gianella. Op. Cit., p. 61

²¹¹ NATIVIDAD, José. Op. Cit., p. 97.

Diagrama 2. Balance de masa del proceso de molienda.



Fuente: elaboración propia.

3.4.2 Balance de masa del secado. Para el balance de secado es importante especificar la humedad inicial de las hojas, la cual depende en gran medida de las condiciones locales, como el uso de la tierra o la vegetación circundante²¹². Acorde a que la información es limitada para el contenido de humedad de las hojas de *Eucalyptus globulus* en Colombia, se limita a la condición presentada en el artículo de Moreno²¹³ donde demuestran una humedad inicial del 55,17%.

En vista de que las cuatro corrientes contienen agua, el balance de materia para este componente está dado por la siguiente ecuación:

$$ma_3 W_3 + ms_1 w_1 = ma_4 W_4 + ms_2 w_2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

ma : Masa de aire seco (kg as).

ms : Masa de hojas secas (kg ss).

W : Humedad absoluta (kg de H₂O/ kg as).

w : Contenido de humedad de las hojas en base seca (kg de H₂O/ kg ss).

En vista de que la masa de aire seco y la masa de las hojas secas no cambian durante el proceso, se supone que:

$$ms_1 = ms_2$$

$$ma_3 = ma_4$$

La masa de las hojas secas, es decir la masa sin considerar el contenido de agua en ellas, se calcula con la masa total de las hojas y la humedad. Para ello se utilizaron los datos de la corriente dos por disponibilidad de ellos.

²¹² METEOBLUE. Leaf wetness prediction. Validation and improvement [en línea]. 2018. p.5. [Consultado 20, julio, 2020]. Disponible en: <https://content.meteoblue.com/ru/specifications/weather-variables/leaf-wetness>

²¹³ MORENO, jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel y SICHE, Raul. Op. Cit., p. 150

$$ms_2 = m_2 (1 - H_2) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$ms_2 = 3,03 \text{ kg} (1 - 0,25) = 2,273 \text{ kg ss}$$

Con el contenido de humedad de las hojas a la entrada y salida del secador, se determinó el contenido de humedad en base seca, obteniendo:

$$w_1 = \frac{0,5517}{1-0,5517} = 1,23 \text{ kg de } H_2O/\text{kg ss}$$

$$w_2 = \frac{0,25}{1-0,25} = 0,333 \text{ kg de } H_2O/\text{kg ss}$$

La humedad absoluta presentada en la (tabla 11) se halló con ayuda de la carta psicométrica (Anexo C), considerando la presión atmosférica en la operación del secado.

Tabla 12. Datos de la humedad absoluta.

Corriente	Tbs (°C)	%HR	W (kg de H ₂ O/ kg as)
3	36	38	0,014
4	42	40	0,0205

Fuente: elaboración propia con base en carta psicométrica.

Reemplazando los valores de w , W y ms en la ecuación 1, se calcula la masa de aire seco.

$$ma W_3 - ma W_4 = ms w_2 - ms w_1$$

$$ma = \frac{ms (w_2 - w_1)}{W_3 - W_4}$$

$$ma = 313,605 \text{ kg as}$$

Finalmente, se puede calcular la masa de agua en la corriente uno y dos con la ecuación 4 y en la corriente tres y cuatro con la ecuación 5.

$$mH_2O = ms w \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$mH_2O = ma W \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$mH_2O_{(1)} = ms w_1 \quad mH_2O_{(1)} = 2,796 \text{ kg } H_2O$$

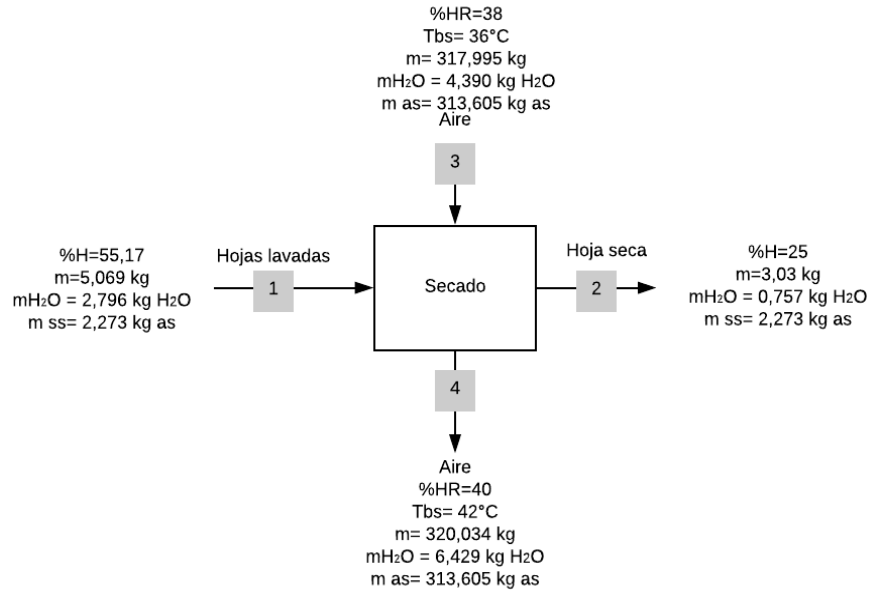
$$mH_2O_{(2)} = ms w_2 \quad mH_2O_{(2)} = 0,757 \text{ kg } H_2O$$

$$mH_2O_{(3)} = ma W_3 \quad mH_2O_{(3)} = 4,390 \text{ kg } H_2O$$

$$mH_2O_{(4)} = ma W_4 \quad mH_2O_{(4)} = 6,429 \text{ kg } H_2O$$

Para lo que finalmente se obtiene la composición en cada una de la corrientes, presentado en el siguiente diagrama:

Diagrama 3. Balance de masa del proceso de secado.



Fuente: elaboración propia

3.4.3 Balance de masa de la extracción. El balance de masa en el extractor corresponde a la entrada de hojas y vapor y a la salida del producto (mezcla aceite-agua) y el lixiviado (residuo) (diagrama 4):

$$m_6 + m_7 = m_8 + m_9 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Con el tiempo de extracción y el flujo de vapor a la entrada y salida del extractor especificados en el apartado 3.3.2, se determina la masa en la corriente 7 la cual hace referencia a 100% vapor de agua y la masa de vapor de agua en la corriente 9 donde también hay presencia de aceite.

$$m_7 = 6,19 \frac{kg}{h} * 98 \text{ min} * \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 10,11 \text{ kg}$$

$$m_{H_2O(9)} = 4,79 \frac{kg}{h} * 98 \text{ min} * \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 7,824 \text{ kg}$$

Para la extracción se asumirá el rendimiento máximo reportado en la bibliografía de 2,87%,²¹⁴ acorde a ello se determina la cantidad de aceite a la salida de la extracción y la masa equivalente a la corriente 9.

²¹⁴ NATIVIDAD, José. Op. Cit., p. 67

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{m \text{ aceite esencial (kg)}}{m \text{ hoja de eucalipto (kg)}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

En las experimentaciones, el rendimiento lo consideran con base en las hojas utilizadas de eucalipto, debido a la dificultad que puede presentarse para determinar el aceite esencial contenido inicialmente en las hojas y la escasa información al respecto.

$$m \text{ aceite esencial}_{(9)} = 0,0287 * 3 \text{ kg} = 0,086 \text{ kg}$$

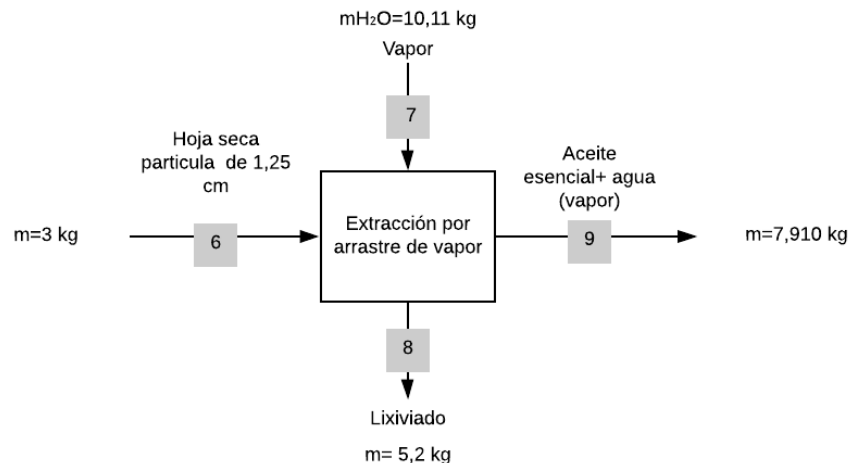
$$m_9 = mH_2O_{(9)} + m \text{ aceite esencial}_{(9)} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$m_9 = 7,824 \text{ kg} + 0,086 \text{ kg} = 7,910 \text{ kg}$$

En vista de que la masa de entrada en el extractor es de 3 kg con la ecuación general de balance de masa en el extractor, se obtiene:

$$m_8 = 3 \text{ kg} + 10,11 \text{ kg} - 7,910 \text{ kg} = 5,2 \text{ kg}$$

Diagrama 4. Balance de masa del proceso de extracción por arrastre de vapor.



Fuente: elaboración propia.

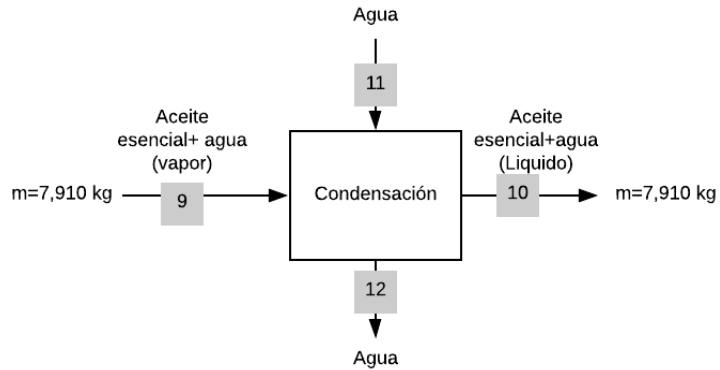
La composición en cada una de las corrientes de la extracción no es posible determinarla, dado a que no existen datos suficientes acerca de la cantidad de aceite presente en las hojas antes y después de la extracción. Sin embargo, se deduce que en la corriente 8 sale contenido de agua proveniente de la corriente de vapor inyectado, puesto que mientras se alcanza el equilibrio térmico entre las hojas de eucalipto y el vapor se produce una condensación durante el desarrollo inicial de la extracción.

3.4.4 Balance de masa en el condensador. En el condensador la masa que entra es igual a la que sale, por lo que en esta unidad solo ocurrirá el cambio de fase

(diagrama 5). La masa de agua necesaria para el enfriamiento del aceite con vapor se determina posteriormente en el balance de energía.

$$m_9 = m_{10} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Diagrama 5. Balance de masa del proceso de condensación.



Fuente: elaboración propia.

3.4.3 Balance de masa del separador. Ya que se desea separa el aceite esencial de hidrolato (diagrama 6), el balance de masa del separador se describe como:

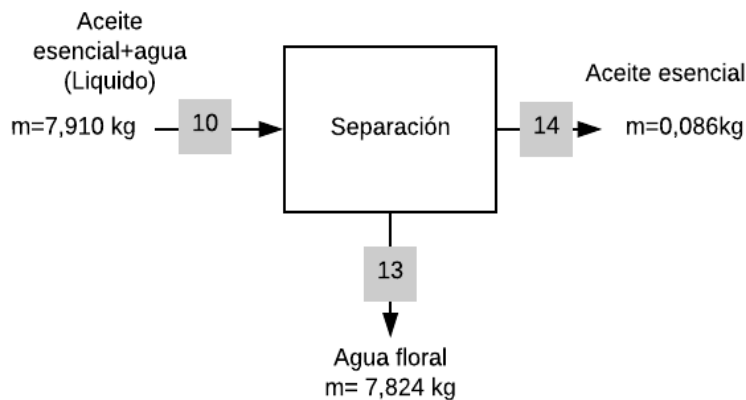
$$m_{10} = m_{13} + m_{14} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Los datos de las respectivas corrientes fueron hallados con anterioridad. Suponiendo que se obtiene una separación total de la mezcla, se obtiene:

$$m_{13} = m_{H_2O_{(g)}} = 7,824 \text{ kg}$$

$$m_{14} = m_{\text{aceite esencial}_{(g)}} = 0,086 \text{ kg}$$

Diagrama 6. Balance de masa para proceso de separación.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se obtuvo que en la etapa inicial de secado se debe contar con 5,069 kg de hojas de eucalipto para obtener 3 kg iniciales en la extracción y 0,086kg de aceite esencial. Por otra parte, la cantidad de agua floral obtenida en la separación es bastante considerable por lo que se sugiere comercializar como subproducto, debido a la presencia de los componentes del aceite esencial en pequeñas concentraciones y al aroma característico, el cual puede permitir su uso en sectores como farmacéutica, cosmetología o agrícola.

3.4 BALANCE DE ENERGIA

El Principio de generación de energía en el sistema se define como:

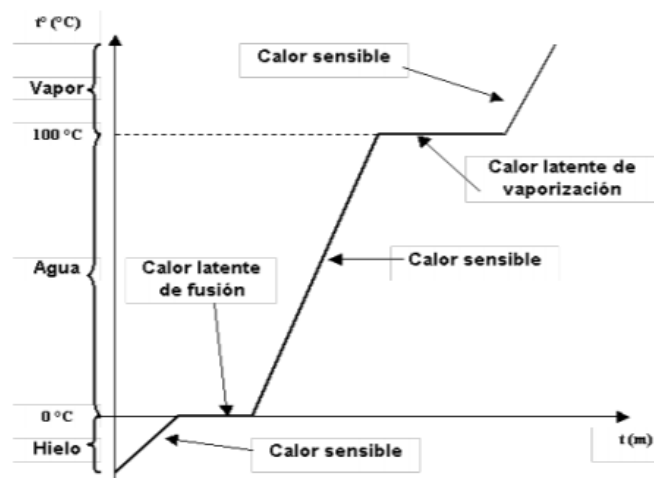
$$\text{Energía que ingresa} = \text{Energía que sale} + \text{Energía acumulada} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Para lo que la energía acumulada se considera igual a cero.

En este apartado se determinara el calor necesario transferido en el vaporizador y el calor removido en el condensador.

3.5.1 Balance de energía en el generador de vapor. El calor necesario para aumentar la temperatura del agua en el generador de vapor se especifica como la etapa de calentamiento, donde no hay cambio de fase, y la evaporación, donde se produce el cambio de fase,²¹⁵ como se muestra en la ilustración.

Ilustración 16. Cambio de calor del agua a presión de 1 bar.



Fuente: ESCOBAR, Andres. Cambio del calor del agua[en línea].Diseño y puesta en marcha de una planta piloto de arrastre con vapor para la obtención de aceites esenciales. 2012. p.75. [Consultado 18, julio, 2020]. Disponible en: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/8044/aescobar.pdf?sequence=3>

²¹⁵ GONZALEZ, Ángela. Op. cit., 48

- **Calentamiento:**

$$Q_c = m * C_p * \Delta T \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde:

Q_c = Calor de calentamiento

m = Masa de agua calentada

C_p = Capacidad calorífica del agua

ΔT = Diferencia de temperatura entre la de ebullición y la inicial

- **Evaporación:**

$$Q_e = m * \lambda \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Donde:

Q_e = Calor de evaporación

m = masa de agua evaporada

λ = Calor latente de vaporización

Tomando en cuenta las tablas presentadas en libro de termodinámica con respecto a las propiedades de líquidos (Anexo E), se obtiene:

$$C_p = 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$\lambda = 2.257 \frac{kJ}{kg}$$

La masa de agua calentada en el evaporador es la misma cantidad de agua evaporada lo largo de la extracción (m_7). La temperatura del agua de entrada es de 15°C y la temperatura del vapor se especifico en el apartado 3.3.2.

$$Q_c = 10,11kg * 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot C} * (99,97^{\circ}C - 15^{\circ}C) = 3.590,82 kJ$$

$$Q_e = 10,11kg * 2.257 \frac{kJ}{kg} = 22.818,27kJ$$

Finalmente, el calor consumido en el evaporador es:

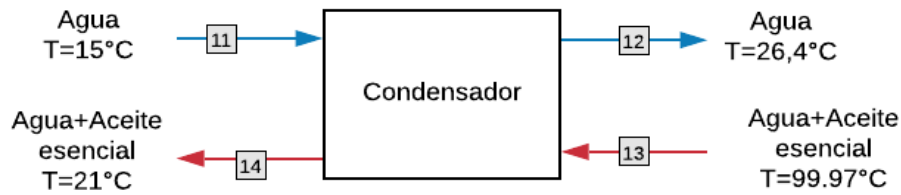
$$Q_T = Q_e + Q_c$$

$$Q_T = 22.818,27 kJ + 3.590,82 kJ = 26.409,09 kJ$$

$$\frac{26.409,09 \text{ kJ}}{98 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4,49 \text{ kW}$$

3.5.2 Balance de energía en Condensador. Para determinar el calor removido del condensador es necesario fijar la temperatura de salida del agua floral con el aceite. Esta temperatura solo fue reportada en el estudio de Bermudo²¹⁶ como 21°C. La temperatura del servicio se contempló en el apartado 3.3.2.

Diagrama 7. Balance de energía para el proceso de condensación.



Fuente: elaboración propia.

La corriente de la mezcla de agua con aceite pasan de vapor a líquido saturado por lo que se debe considerar el cambio de fase.

$$Qh = m_{13} * \lambda + m_{13} * Cp * \Delta T_1 \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$Qf = m_{11} * Cp * \Delta T_2 \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

Qh = Calor cedido por la corriente de (Agua+aceite esencial)

Qf = Calor ganado por la corriente de enfriamiento (Agua)

m_{13} = Masa condensada (Agua+Aceite)

m_{11} = Masa de agua de enfriamiento (Agua)

Debido a que no se cuenta con las propiedades del aceite esencial de eucalipto y a que el componente mayoritario en la corriente a condensar es agua se asume que esta compuesta solo de ella.

$$Qh = 7,824 \text{ kg} * 2.257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 7,824 \text{ kg} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} * (99,97\text{C} - 21\text{C}) = 20.241,43 \text{ kJ}$$

$$\frac{20.241,43 \text{ kJ}}{98 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 3,44 \text{ kW}$$

²¹⁶ BERMUDO, Gianella. Op. cit., p.50

Considerando la conservación de energía se establece que:

$$Qh = Qf \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$Qf = m_{11} * 4,18 \frac{kJ}{kg.^{\circ}C} * (26,4^{\circ}C - 15^{\circ}C)$$

$$20.569,99 \text{ kJ} = m_2 * 4,18 \frac{kJ}{kg.^{\circ}C} * (26,4^{\circ}C - 15^{\circ}C)$$

$$m_{11} = m_{12} = 424,78 \text{ kg}$$

Conforme a los resultados obtenidos en cuanto a los requerimientos energéticos, se establece que durante el proceso de generación de vapor se requiere 4,49 W y en el de condensación se requiere 3,44 W, el hecho de que se requiera más energía para la generación de vapor está relacionado directamente a la cantidad de agua que debe calentarse en comparación con la cantidad de agua y aceite que debe condensarse, como se mencionó anteriormente esta pérdida de masa se debe a que ocurre condensación durante el desarrollo inicial de la extracción, mientras se alcanza el equilibrio térmico entre las hojas y el vapor.

3.5 ESCALAMIENTO

Según Anaya²¹⁷, el escalamiento es una herramienta vital para la ingeniería química, con ella se pueden reducir errores en diseños directos, debidos a correlaciones inexactas o a la falta de información. Bisio y Kabel definen el escalado como la "operación y puesta en marcha de manera exitosa de una unidad de tamaño comercial cuyo diseño y procedimientos de operación se basan, en parte, en experimentación y demostración a una escala más pequeña de operación". Por otro lado, Kossen²¹⁸ define el escalado como "el diseño y construcción de una unidad o conjunto de unidades de procesamiento a gran escala, tomando como base los cálculos y experimentos a pequeña escala".²¹⁹

El escalamiento cuenta con 5 niveles, escalas o etapas, las cuales se pueden limitar en función de varios parámetros. Estos, en orden de dificultad, son:

1. **Laboratorio:** se basa en la comprobación de la teoría.

²¹⁷ ANAYA, Alejandro, et al. Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina. En: Tecnología, Ciencia, Educación. 2008. vol. 23, n°. 1. México. p. 31-39. ISSN: 0186-6036

²¹⁸ KOSSEN, N., Scale-Up, Advances in Bioprocesses engineering. 1996, 53-65 p 1985. Citado por: RUIZ, Ángela A. ÁLVAREZ, Hernán. Escalamiento de Procesos Químicos y Bioquímicos basado en un Modelo Fenomenológico. En: Información tecnológica. 2011. vol. 22, no. 6, p. 33-52 ISSN 0718-0764

²¹⁹ BISIO, Von A y KABEL, R. L. Scaleup of Chemical Processes. John Wiley & Sons. New York. 1985. Citado por: RUIZ, Ángela A. ÁLVAREZ, Hernán. Escalamiento de Procesos Químicos y Bioquímicos basado en un Modelo Fenomenológico. En: Información tecnológica. 2011. vol. 22, no. 6, p. 33-52 ISSN 0718-0764.

2. **Banco:** agrega aspectos tecnológicos, como equipos, instrumentos y automatización
3. **Piloto:** costos altos, optimización de procesos
4. **Semi-industrial:** prueba que usa cantidades menores a la escala industrial
5. **industrial:** no es parte del proceso de investigación, es el fin.

3.6.1 Especificaciones técnicas a escala piloto. En este trabajo se realiza el escalamiento a nivel piloto ya que, este nivel es necesario para llevar un proceso a la industria química.²²⁰ Como dice Gonzales,²²¹ la escala piloto es la técnica más usada en el diseño de procesos para posterior escalado a nivel industrial, sin embargo, debido al alto costo de esta etapa es importante que las anteriores etapas (laboratorio y banco) se extiendan lo necesario como para que se obtenga la información necesaria para que la planta piloto permita satisfacer al menos uno de los siguientes objetivos principales:

- Evaluar la factibilidad de un proceso tecnológico.^{*222}
- Obtener la información para el diseño de una planta comercial.
- obtener cantidades de productos con fines de ensayo o promoción.

La planta piloto debe producir cantidades de muestra de producto con la calidad adecuada y con los requerimientos previstos. Lo fundamental es lograr que la planta piloto sea suficientemente grande para que pueda servir de indicador del costo y la calidad del trabajo requerido para la operación comercial del proceso y que, a su vez, sea razonablemente pequeña de manera que pueda minimizar las materias primas requeridas y los residuos producidos.²²³

Para realizar el escalado es necesario conocer el proceso de manera detallada:²²⁴

- El proceso de extracción de AE se realiza en modo semicontinuo.
- Para realizar la extracción se utilizan destiladores de lecho fijo, este es la modalidad más usada en todas las escalas.
- La carga de la materia prima se hace por lotes.
- El flujo del vapor de agua, seco o saturado, es continuo.
- La decantación también es continua.

3.6.2 Equipos. Para la extracción del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) a nivel piloto son necesarios los siguientes equipos:

²²⁰ JOHNSTONE, R. E. y THRING, M. E. op. cit., p. 22

²²¹ GONZALES, Roberto. Principios básicos de escalado, Editorial Universitaria, 2018. p.139. ISBN 959-16-0112-3

^{*222} En el presente trabajo solo se realizará la evaluación de la factibilidad del proceso tecnológico de forma teórica.

²²³ GONZALES, Roberto. op. cit. p. 16

²²⁴ CERPA, Manuel. op. cit., p.32

- Secador-horno.
- Equipo para molienda (molino)
- Equipo extractor
- Condensador
- Decantador
- Generador de vapor
- Equipo de enfriamiento de agua

Ya que, a escala piloto e industrial, se carga toda la materia prima fresca, trozada o entera y que además los equipos que se encargan de la extracción del AE incluyen condensador y decantador y en otros casos también generador de vapor, se podría reducir el número de equipos a extractor y equipo de enfriamiento de agua para reducir los costos. En el presente trabajo se consideran las etapas de acondicionamiento, por lo que los equipos requeridos para el proceso se muestran a continuación:

- **Secador:** los equipos más usados para el secado de hojas son los hornos de bandejas. Para efectuar este proceso se propone el equipo MG-D24 (ilustración 17), el cual posee gran capacidad. Sus características se presentan a continuación:

Ilustración 17. Características equipo MG-D24 para secado de hojas.



MG-D24

- 1100 USD
- (L*W*H):101*80*160 cm
- Acero inoxidable
- 24 capas de malla
- Peso 150 Kg
- 4kw
- Capacidad: 75 kg/tiempo

Fuente: elaboración propia con base en ALIBABA. alibaba.com. [en línea]. Internacional: dora pan. [13, julio, 2020]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/energy-saving-moringa-leaf-dryer-stainless-steel-meat-flower-drying-machine-commercial-fruit-and-vegetable-dryer-62182714011.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.19f92d673YNOft>

- **Equipo para molienda:** ya que la materia vegetal debe encontrarse en un tamaño de partícula de 1,25 cm según lo establecido en el apartado 3.3.1, el equipo adecuado para efectuar este proceso corresponde a la cámara de molienda especializada en hojas. En esta la materia prima entra a través de la tolva de alimentación. El material, impactado por los cortadores rotativos de alta

velocidad, se lanzan a los revestimientos fijos, luego rebotan y se cortan. El equipo propuesto es el CWCC-80 (ilustración 18) y sus características se describen a continuación:

Ilustración 18. Características equipo CWCC-80 para molienda de Hojas.



CWCC-80

- 3000 USD
- (L*W*H): 550 x 580 x 880 mm
- Acero inoxidable 304 completa
- Peso 100 Kg
- 10-100kg/hora
- 1.5kW
- Fresado, trituración, trituración y pulverización.

Fuente: elaboración propia con base en ALIBABA. alibaba.com. [en línea]. Internacional: Trading. [13, julio, 2020]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/High-quality-almond-tea-leaf-coarse-62315460193.html?spm=a2700.8699010.normalList.4.75f231803nRWBq&s=p>

- **Equipo extractor:** estos están contruidos en su mayoría, en acero inoxidable, debido a sus beneficios de mantenimiento y durabilidad; también se encuentran en acero comercial o cobre y con menor frecuencia en vidrio borosilicato. Pueden ser de dos tipos: con generador externo o acoplado al destilador. Están conformados de un destilador cilíndrico simétrico o de una altura ligeramente mayor al diámetro. El vapor de agua es inyectado por los fondos del equipo o generado en esa sección. La materia prima suele estar compactada y almacenada en una cesta para su mejor carga y descarga. El condensador es de coraza y tubos o de un doble serpentín sumergido en un tanque de agua. Los florentinos son en acero inoxidable, con un cuerpo cónico o cilíndrico y un fondo cónico.²²⁵ Actualmente los equipos que se encuentran en el comercio constan de dimensiones similares entre ellos, con el fin de reducir el espacio ocupado en la planta, además y poseen la opción de operar a gas o eléctricamente.

Los equipos escala piloto para la extracción poseen una capacidad entre 50 a 500 litros según algunos autores²²⁶, pero se pueden presentar equipos desde 20 L considerados escala piloto.

²²⁵ *Ibíd.*, p.32

²²⁶ *Ibíd.*, p.32

Los casos de estudio evaluados en este trabajo usaron diferentes equipos para la extracción del aceite esencial a escala laboratorio (ANEXO F) y en algunos casos realizaron el escalamiento a nivel piloto. En los respectivos estudios se tomaron en cuenta diferentes criterios de selección, por ejemplo, Romero²²⁷ usó una matriz de selección presentada en la (tabla 12) tomando en cuenta los criterios de costo, diseño, capacidad, potencia y mantenimiento a los cuales se les asignó un valor de 30%, 20%, 20%, 15% y 15%, respectivamente. Para finalmente encontrar que el equipo que presentaba mayores ventajas era el SUNRISE.

Tabla 13. Revisión de las características de equipos escala piloto para su selección, según Romero.

Equipo	Costo (US\$)	Diseño	Capacidad (L)	Potencia	Mantenimiento
FIGMAY	23 200	Vidrio borosilicato	50	6 kW	Fácil lavado y limpieza
SUNRISE	1 600	Acero inoxidable	100	3 kW	Desacople y mangueras de drenaje
JUNYU	61 000	Acero inoxidable	100	10 kW	Desacople de todas las piezas
CAPSUCOR	45 000	Aluminio	80	GLP	Desacople condensador y extractor
ECIRTEC	36 150	Acero inoxidable	100	GLP	Desacople de todas las piezas
INOXECU	42 416	Acero inoxidable	150	Gas propano	Desacople tubo del condensador

Fuente: elaboración propia, con base en ROMERO, Ana. Diseño de una planta piloto para la extracción de aceites esenciales mediante destilación por arrastre de vapor. [en línea]. Tesis. Universidad de piura, Perú. 2016. p. 147 [Consultado 10, julio, 2020]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2658>

La metodología que se implementa en el presente trabajo para la selección del equipo, se basa en la cantidad y calidad de información que entreguen las empresas y en las características que generen valor añadido al proceso.

Realizando la actualización de los equipos reportados por Romero y a través de la revisión de diferentes fuentes bibliográficas y electrónicas se presentan los equipos que están disponibles actualmente en el mercado para la extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor (ANEXO G). Para la obtención de los precios se utilizó cotización directa en algunos casos.

- **Selección del extractor:** los equipos que ofrecen mayor cantidad de información son FIGMAY y ECIRTEC, encontrando que ambos poseen un volumen de 50 L y requerimientos energéticos de 5000 W, lo que permite la comparación expuesta en la siguiente tabla:

²²⁷ ROMERO, Ana. op. cit., p.73.

Tabla 14. Comparación de equipos para extracción de AE a escala piloto.

FIGMAY²²⁸	ECIRTEC²²⁹
<ul style="list-style-type: none"> • 22 900 USD • 50 L • vidrio borosilicato • 5000 W • L*W*H= (1300 x 850 x 1700) mm • Peso: 45 Kg 	<ul style="list-style-type: none"> • 31 500 USD • 50L • Acero inoxidable AISI 304. • 5000W • Opera a P atm • Puede funcionar sin presión.
<ul style="list-style-type: none"> • Cámara de Extracción de vidrio borosilicato marca Schott Duran, resistente a la corrosión química. • Condensador de alto rendimiento de vidrio borosilicato. • Caldera con velas calefactoras de cuarzo. montada sobre bujes y tuercas de teflón. Se usa el hidrolato recirculado. • Sistema de seguridad de nivel constante el cual evita el funcionamiento del Equipo en condiciones dañinas y alerta al operador. • Tablero electrónico de comando • Canastos de acero inoxidable para colocar la materia prima. • Válvula de descarga con llaves selectoras de vidrio borosilicato marca Schott Duran y PTFE. • Estructura autoportante de acero pintada en epoxi. • Bocas estratégicamente ubicadas, para una fácil y rápida limpieza del equipo. • Tablero electrónico de comando. • Todos sus repuestos se encuentran en stock en FIGMAY S.R.L. Argentina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara de Extracción cilíndrica vertical recubierta con mantas de lana de roca con espesor de 50 mm y acabado con placas de acero inoxidable AISI 304 pulido. Dimensionado para operar con presión de 3 kg/cm2 (presión de proyecto de 6 kg/cm2). • Interconexión con el intercambiador de calor con tubos en acero inoxidable. • Equipo fornecido con manómetro en la entrada del vapor, termómetro, tubo para entrada de vapor con válvula de bloqueo. • condensador: intercambiador de acero inoxidable AISI 304 con un paso por los tubos. • Caldera externa para 50 kg/h de vapor • Sistema de enfriamiento de agua Torre de enfriamiento de agua y bomba de circulación. • Distribuidor de vapor localizado entre la cesta y la parte inferior del aparato, fabricado con tubo en acero inoxidable AISI 304. • separador: en acero inoxidable, forma cilíndrica vertical, destinado a la separación de agua / aceite.

Fuente: elaboración propia, con base en bibliografía.

²²⁸ FIGMAY. Equipo extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor. [Sitio WEB]. Argentina. La entidad. [12, julio, 2020]. Disponible en: <https://figmay.com/extractor-de-aceites-esenciales/>

²²⁹ ECIRTEC. Arrastre de vapor. [Sitio WEB]. Brasil. La entidad. [12, julio, 2020]. Disponible en: <https://es.ecirtec.com/equipamientos/arrastre-de-vapor/>

Ilustración 19. Equipo de extracción de AE de FIGMAY



Fuente: FIGMAY.

Ilustración 20. Equipo de extracción de AE de ECIRTEC



Fuente: ECIRTEC.

Al analizar las características específicas de estos equipos, se selecciona el equipo FIGMAY gracias a la disponibilidad de información específica brindada por el proveedor a través de diferentes manuales y por sus beneficios a la hora de controlar el proceso y a calidad tecnológica, lo que genera valor añadido al proceso. Además, el equipo posee caldera integrada lo que genera ventajas, ya que se busca utilizar la menor cantidad de equipos externos al extractor para evitar tuberías que puedan complicarlo, además el equipo permite el uso de solventes, gracias a su material de vidrio borosilicato, llegado el caso que se requiera. Adicionalmente este posee un costo más bajo.

Ya que el equipo extractor escogido posee caldera integrada y opera recirculando el hidrolato a esta, no se considera el uso de un generador de vapor, por lo que solo queda especificar el equipo que suministrara el refrigerante al condensador.

- **Chiller:** el equipo de extracción necesita una fuente de refrigerante para el condensador, dentro de los equipos a escala piloto se encontró que usan equipos con capacidades de 30 L aprox.²³⁰ por lo que se propone el uso del chiller modelo LXT-03WC (Ilustración 21), el cual cumple con los requerimientos. Sus características se muestran a continuación:

²³⁰ Romero, Ana. Op. Cit., p. 74.

Ilustración 21. Características equipo LXT-03WC regulador de temperatura.



LXT-03WC

- 500 USD
- 45L
- Flujo de agua: 1,65 m³/h
- Flujo de la bomba: 90 L/min
- 870 x 550 x 900
- Peso 120 Kg
- 3 kw
- Rango de T°= 3 - 50 °C

Fuente: elaboración propia con base en ALIBABA. alibaba.com. [en línea]. Internacional: Hoydon Xu. [13, julio, 2020]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-manufacture-automatic-water-cooled-chillers-machines-factory-price-industrial-small-water-cooling-chillers-62532093650.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.9.d20d63eczCo571

3.6.2.1 Sistemas de control de los equipos. La instrumentación para el proceso de extracción del aceite esencial está compuesta principalmente por el monitoreo de la presión, temperatura y flujo.²³¹ Algunos de los elementos de control que podemos encontrar en los equipos presentes en el mercado son:

- Rotámetro para medición de flujo de agua de enfriamiento.
- Válvula de regulación de flujo para agua de enfriamiento.
- Bomba de vacío libre de aceite, presión de vacío.
- Sensores de temperatura tipo Pt-100, ubicados en: hervidor, boca superior de extractor (salida de vapores), cabezal de reflujo, y dos localizados a la entrada y a la salida de la tubería de agua de enfriamiento.
- Indicadores digitales de temperatura montados sobre gabinete de control.²³²
- Mirilla de policarbonato para controlar la separación de agua.²³³
- Válvula de control de flujo de vapor.
- Pulsadores de marcha y parada.²³⁴
- UPS Trifasi 20kv-30kva como respaldo energético.

²³² NEWHOUSE MFG. Co. newhouse-mfg [Sitio WEB]. Redmond. La entidad. [09, julio, 2020]. Disponible en: https://www.newhousemfg.com/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=143&jsmallfib=1&dir=JSROOT/Essential+Oil+Distillation

²³³ INOXIMEXICO. Destiladores. [Sitio WEB]. México. La entidad. [09, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.inoximexico.com/producto/389/destilador-de-aceites-esenciales-de-50-litros-388>

²³⁴ BERMUDO, Gianella. Op. Cit., p.52

3.6.3 Proceso escala piloto. Para realizar el escalamiento es necesario definir el factor de escala el cual depende de las condiciones del equipo seleccionado (FIGMAY).

Según Bermudo,²³⁵ quien realiza el escalamiento nivel piloto de los equipos para la extracción de aceite esencial partiendo de 3kg de materia vegetal se necesita un tanque de extracción de 20 L. Ya que este volumen esta fuera del rango que reportan diferentes autores para el nivel piloto (min 50 L) se consideró este valor a escala laboratorio para su posterior escalamiento, ya que el equipo FIGMAY posee un volumen de 50 L, se requerirán 7,5 kg de material vegetal.

El factor de escala (FE) se calcula de la siguiente manera:

$$FE = \frac{\text{Flujo escala piloto}}{\text{Flujo escala laboratorio}} = \frac{7,5}{3} = 2,5$$

Una vez determinado el factor de escala, se determina la masa de cada una de las corrientes a escala piloto presentados en la (tabla 14) y se realiza el diagrama de proceso (diagrama 8) con base a los símbolos de ingeniería química de Austin,²³⁶ obteniendo:

Tabla 15. Escala a planta piloto.

Corriente	Masa a Escala laboratorio (kg)	Masa a Escala piloto (kg)	Temperatura (°C)
1	5,069	12,6725	-
2	3,03	7,575	-
3	317,995	794,9875	36
4	320,034	800,085	42
5	0,0303	0,07575	-
6	3	7,5	-
7 ^a	10,11	25,275	15
7	10,11	25,275	99,97
8	5,2	13	-
9	7,910	19,775	-
10	7,910	19,775	-
11	424,78	1061,95	15
12	424,78	1061,95	26,4
13	7,824	19,56	99,97
14	0,086	0,215	21

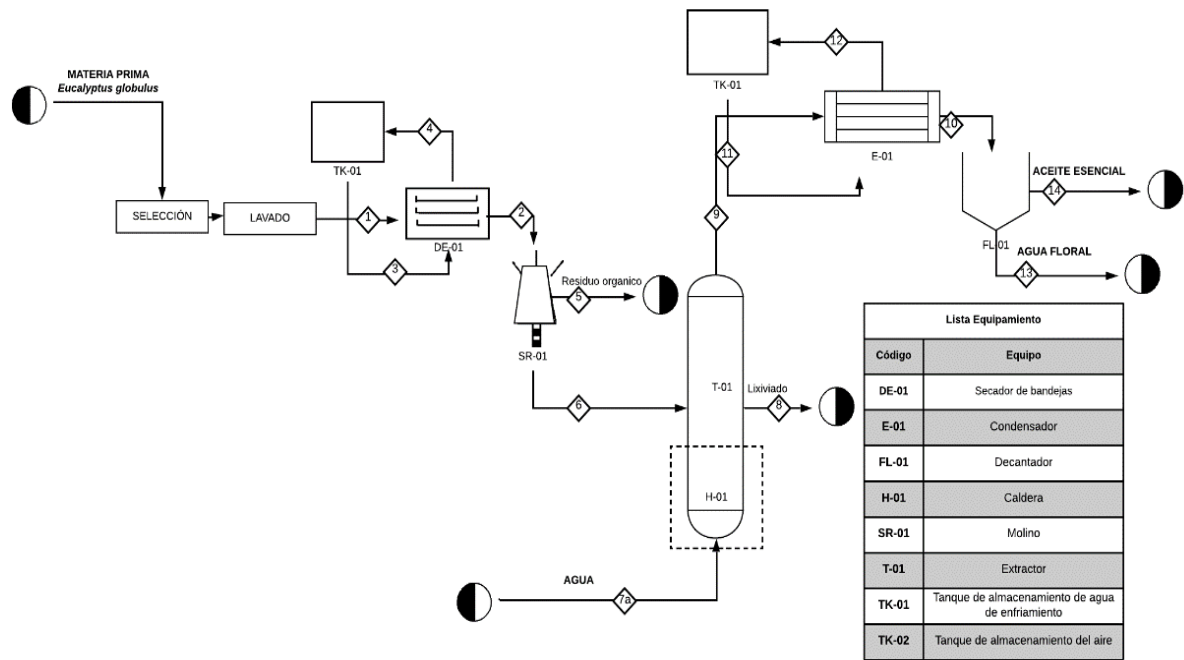
Fuente: elaboración propia.

²³⁵ BERMUDO, Gianella. Op. Cit., p.67.

²³⁶ D, G. Austin. Chemical Engineering Drawing Symbols. ed. John Wiley & Sons Inc. Canadá: Copyright, 1979. p.13-47. ISBN 0-7114-3318-6

Nota: La corriente 7 no está representada en el diagrama de proceso ya que hace referencia a la corriente de salida del generador de vapor, la cual se debe tener en cuenta que se encuentra inmersa en el extractor ya que el generador de vapor se encuentra allí.

Diagrama 8. Diagrama de proceso (PFD)



Fuente: elaboracion propia.

4. COSTOS

En este capítulo se determinarán los costos asociados a la producción del aceite esencial por arrastre de vapor a escala piloto. Por esto, se evaluarán los costos de capital, referente a los equipos y los costos variables como la cantidad de materiales, los servicios utilizados y el gasto energético.

4.1 COSTO DE CAPITAL

El costo de capital surge a manera de factor importante en la evaluación financiera de los proyectos de inversión a corto plazo. Hace referencia a cualquier elemento o factor que se necesita para realizar el proceso o proyecto. En este caso hará referencia a los equipos. Los costos de compra de los equipos presentados en la (tabla 15) fueron convertidos de dólares a pesos colombianos conociendo a la fecha que un dólar equivale a \$3.623,85 pesos colombianos.

Tabla 16. Precios de los equipos para el proceso de extracción.

PROCESO	EQUIPO	PRECIO (COP)
Equipo de secado	MG-D24	\$ 3'986.235
Equipo de molienda	CWCC-80	\$ 10'922.160
Equipo extractor	FIGMAY	\$ 82'986.165
Regulación de temperatura	LXT-03WC	\$ 1'811.925

Fuente: elaboración propia con base en bibliografía

4.2 COSTOS VARIABLES

Son aquellos dependientes de la producción. Todo aquel costo que aumenta o disminuye según aumente o disminuya la producción, será considerado como costo variable. Es por esto que dentro de los costos variables se encuentra la materia prima, el costo de operación de los equipos que depende del tiempo que sea requerido su uso, el costo de mano de obra, teniendo en cuenta que el proceso de extracción es semi continuo y los costos de los servicios, que en este caso corresponderán al agua de enfriamiento y calentamiento.

4.2.1 Costo materia prima. Se consultó el valor de las plantas de eucalipto en la Plaza distrital de mercado Quiriguá, ubicada en la localidad de Engativá de la ciudad de Bogotá, Colombia, donde el kilo de hojas de *eucalyptus globulus* ronda por los \$5.000 COP. Fuentes de la plaza confirman que pueden proveer 500 kg a la semana. Ya que para el proceso de extracción se requieren 7,5 kg de hojas previamente tratadas, se compran 10 kg, tomando en cuenta la selección previa.

$$\frac{\$5.000 \text{ COP}}{1 \text{ kg}} * 10 \text{ kg} = \$50.000 \text{ COP}$$

4.2.2 Costo de operación equipos. El proceso de obtención del AE se realiza por lotes, por lo que el costo de operación de los equipos estará relacionado al consumo energético que requiera durante el tiempo de funcionamiento. Conociendo los requerimientos energéticos y el valor promedio de la energía en la ciudad de Bogotá dada por Enel-Codensa²³⁷ para el sector industrial sin contribución (\$ 500,79/kWh) se determinaron los costos de operación.

A continuación, se muestran los costos de los equipos usados a través del proceso de acondicionamiento de las hojas y extracción del aceite esencial.

- **Secado.** Se propone un secador de bandejas modelo MG-D24 el cual tiene un consumo energético de 4 kW, ya que para llevar a cabo el proceso de secado de la materia prima se proponen 548 min., el costo de operación de este equipo se halla de la siguiente manera:

$$4 \text{ kW} * 548 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{\$ 500,79 \text{ COP.}}{1 \text{ kW h}} = \$18.295,528 \text{ COP}$$

- **Molienda.** El proceso de molienda se propone realizarlo en el equipo CWCC-80 el cual posee un consumo energético de 1,5 kW. Ya que en la bibliografía no reportan el tiempo de molienda, se calcula partiendo de las especificaciones del equipo (media de 50 kg/hora). Para el proceso propuesto, donde se utilizarán 7,575 kg (apartado 3.3.2), se requieren 0,152 horas, el equivalente a 9,09 minutos. El costo de operación del equipo se calcula de la siguiente manera:

$$1,5 \text{ kW} * 9,09 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{\$ 500,79 \text{ COP.}}{1 \text{ kW h}} = \$113,80 \text{ COP.}$$

- **Proceso de extracción.** El equipo propuesto para efectuar la extracción del aceite esencial FIGMAY utiliza un consumo energético de 5000 W. Ya que el proceso de extracción se lleva a cabo de manera discontinua, el tiempo especificado para el proceso es de 98 min. El costo de operación de este equipo durante el tiempo establecido se halla mediante la siguiente ecuación:

$$5 \text{ kW} * 98 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{\$ 500,79 \text{ COP.}}{1 \text{ kW h}} = \$4089,78 \text{ COP.}$$

²³⁷ EN EL-CODENSA. Tarifas de energía eléctrica (\$/kwh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (creg) junio de 2020. [Sitio WEB]. Bogota D.C. La entidad. [12, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-codensa.html>

- **Chiller:** el equipo propuesto para proveer el refrigerante al condensador es el *equipo* LXT-03WC utiliza un consumo energético de 3 kW y ya que debe estar en funcionamiento durante todo el proceso de extracción, su costo de operación se calcula de la siguiente manera:

$$3 \text{ kW} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * 98 \text{ min} * \frac{\$ 500,79 \text{ COP.}}{1 \text{ kW h}} = \$2453,87 \text{ COP}$$

4.2.3 Costo servicios. El método de arrastre de vapor necesita vapor para extraer el aceite esencial el cual es generado desde la caldera interna que posee el equipo seleccionado y agua de enfriamiento, la cual es suministrada por un chiller, que será dirigida al condensador para obtener el producto en fase líquida, por lo que es necesario conocer el valor del agua requerida tanto para el proceso de calentamiento como de enfriamiento.

- **Agua para la refrigeración en el condensador:** en base al volumen de agua necesario para el proceso de condensación calculado anteriormente (1,065 m³) y conociendo el valor del uso de agua proporcionado por el Acueducto,²³⁸ el cual a nivel industrial tiene un valor de \$3.710,14 pesos colombianos por metro cúbico de agua para julio del año 2020, se obtiene el costo del servicio de agua para el proceso.

Para este cálculo es necesario conocer la cantidad de agua que usará el equipo. Esta fue calculada como la división entre la cantidad de agua determinada en el apartado 3.5.2 y la densidad del agua:

$$\text{volumen de agua} = \frac{1061,95 \text{ kg}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,065 \text{ m}^3$$

$$1,065 \text{ m}^3 * \frac{\$ 3710,14 \text{ COP}}{\text{m}^3} = \$3.951,30 \text{ COP}$$

- **Agua calentada en la caldera:** la cantidad de agua empleada en la evaporación es de 25,275 kg, dividido entre la densidad, da el volumen de

²³⁸ ACUEDUCTO. Tarifas 2020. [Sitio WEB]. Bogotá D.C. La entidad. [13, julio, 2020]. Disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas%202020!/ut/p/z1/nZJPb4JAEMU_iweOZYzdQmhvQAgbbcSIWOxcDFKKpMo aCiXtpy_9c6jRgHGSPezO773svAwQrICq9L0s0qZUVbrr709krWe2xURgs7nNZiZKw_GF6zssFAyS H8CSHho2sjnKCFHK25AHPGbBIAMdtU3moXxYuFG49ITwOTwCAb01Jz4n4IBPHJt_ejqwB92luR wxCNk1-v9OI-kHALokxwGAhr-XfOc4ksCYBw0MaSxiPgIYJkyBip3a_C6OU224XQDV-Ute57Xe1v3ztkmOdxpq2HWdnmZt_txmjdIzte-Phud0W9Xvx-ocD4f9svoo-7p5jcTnfZ44k8kXodHRkA!!/dz/d5/L2dBISevZ0FBIS9nQSEh/

agua utilizado, además, conociendo el valor del agua se hallan los costos asociados.

$$\text{volumen de agua} = \frac{25,275\text{kg}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0254\text{m}^3$$

$$0,0254\text{m}^3 * \frac{\$3710,14 \text{ COP}}{\text{m}^3} = \$94,23 \text{ COP}$$

4.2.4 Mano de obra. El costo de la mano de obra será calculado teniendo en cuenta el tiempo que dura el proceso. Ya que el proceso desde la selección de las hojas de eucalipto hasta la recolección del aceite esencial dura 12 horas aproximadamente y que una persona en Colombia trabaja una jornada ordinaria de máximo 8 horas diarias, según el artículo 161 del código sustantivo de trabajo²³⁹, se requiere la mano de obra de dos operarios. A continuación, se presenta la tabla de los aportes salariales a cargo del empleador (empresa).

Tabla 17. Aportes salariales a cargo del empleador

concepto	%
Salud	8,5
Pensión	12
Parafiscales (SENA, ICBF, CCF)	9
ARL (Nivel 1)	0,522

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza a continuación en la (tabla 17) el cálculo de la mano de obra, teniendo en cuenta que a los dos operarios se les pagará el salario mínimo ya que deberán realizar actividades básicas como la selección, lavado y transporte de materia prima por los respectivos equipos.

Tabla 18. Costo mano de obra mensual del proceso de producción de aceite esencial.

CARGO	SUELDO (COP)	AUXILIO DE TRANSPORTE (COP)	COSTOS POR PARTE DEL EMPLEADOR (COP)	TOTAL MANO DE OBRA POR MES (COP)
Operario	\$ 877.802	\$ 102.853	\$297.135	\$ 1'277.791

Fuente: elaboración propia.

²³⁹ SENADO. Código sustantivo del trabajo. [en línea]. Bogotá D.C. La entidad. [Consultado 27, julio, 2020]. Disponible en: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/codigo_sustantivo_trabajo.html

Conociendo el costo mensual de la mano de obra y teniendo en cuenta que un mes en promedio tiene 30 días, se calcula el precio de la hora de trabajo de cada operario para estimar el costo de mano de obra neto del proceso.

$$VALOR DE LA HORA = \frac{\$1'277.791}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = \$ 1.775 \text{ COP}$$

Suponiendo que ambos operarios trabajan una jornada de 8 horas al día, en horarios diferentes, abarcando las 12 horas que dura el proceso, se obtiene que el costo de la mano de obra del proceso es de \$28.395 COP.

Finalmente, los costos totales del proceso de obtención de AE de eucalipto a partir de 7,5 kg de hojas tratadas corresponden a la suma de los costos de capital y los costos variables. El costo de capital corresponde al costo de compra de los equipos y los costos variables corresponden a la suma de: costo de materia prima, costos de operación de los equipos, costos de los servicios de agua para calentamiento y enfriamiento y costos de mano de obra. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19. Resumen costos.

Costo capital	cantidad	Precio (\$ COP)
Equipo de secado	1 unidad	\$ 3'986.235
Equipo de molienda	1 unidad	\$ 10'922.160
Equipo extractor	1 unidad	\$ 82'986.165
Chiller	1 unidad	\$ 1'811.925
Total costos capital		\$ 99'706.485
Costos variables		
Materia prima	10 Kg	\$ 50.000
Operación secado	---	\$18.296
Operación molienda	---	\$113,80
Operación extracción	---	\$4090
Operación chiller	---	\$2453,87
Agua de enfriamiento	---	\$3951,30
Agua de calentamiento	---	\$ 94,23
Mano de obra	2 operarios	\$ 28.395
Total costos variables		\$ 107.394
Total		\$ 99.813.879

Fuente: elaboración propia.

Los costos totales corresponden en su mayoría a los costos de capital, esto se debe a que la maquinaria para realizar la extracción del aceite esencial, así como su previo acondicionamiento a través del secado y la molienda, es costoso. Por otro lado, los costos variables, correspondientes a la producción del aceite esencial

partiendo de 7,5 kg de hojas de eucalipto tratadas, tienen un costo de \$107.394 pesos colombianos.

Dado a que la densidad del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* reportada por el autor Moreno es de 0,9083 g/mL²⁴⁰ se determinan los costos por mL del aceite esencial de eucalipto obtenido en la extracción escala piloto, asociados a los costos variables.

$$COSTO\ DEL\ AE\ POR\ mL = \frac{\$107.394\ COP}{0,215\ kg} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{0,9083g}{mL} = \$453,67 \frac{COP}{mL}$$

El autor Moreno, evaluó el costo del AE de eucalipto en sus extracciones, obteniendo costos entre 0,5 y 0,7 soles/mL que convertidos al valor de pesos colombianos a la fecha son 531 y 744 COP/mL respectivamente. El costo relacionado a la optimización del proceso fue de \$607 COP/mL el cual estuvo asociado al gasto de combustible y energía eléctrica; por lo que se concluye que el costo obtenido en el presente trabajo (\$453,67 COP/mL), a partir de los parámetros y equipos seleccionados, está por debajo del rango obtenido por el autor, lo indica que el proceso es viable, permitiendo obtener ingresos y atrayendo el interés de las industrias para su uso como componente activo y/o su posterior formulación como biocida. Además, como se afirma en un estudio realizado para la obtención de extractos por medio de fluidos supercríticos, la obtención de estos es más costosos que la de los aceites esenciales.²⁴¹ Lo que confirma la viabilidad económica de los aceites esenciales.

²⁴⁰ MORENO, Jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel y SICHE, Raul. Op. cit., p. 149.

²⁴¹ RODRIGUES, Vitor. Op. cit., p.175.

5. CONCLUSIONES

- Existe potencial fungicida en términos de literatura para los aceites esenciales que en su composición poseen alto contenido de eucaliptol contra diferentes tipos de hongo, pero se debe realizar un diseño de experimentos para lograr determinar la concentración inhibitoria y/o letal del AE de eucalipto sobre el tipo de hongo específico.
- Mediante el estado del arte se pudo clasificar los métodos de extracción con sus respectivas características, donde se estableció que el método de arrastre de vapor a pesar de contar con grandes desventajas en cuanto a la posible degradación térmica y alto consumo de energía, ha presentado ventajas en la simplicidad y flexibilidad de operación, donde se obtienen productos sin presencia de solventes orgánicos, lo que lo convierte en una técnica bastante utilizada industrialmente y con amplios conocimientos técnico disponibles presentados para cinco casos de estudio del *Eucalyptus globulus*.
- Se seleccionaron las condiciones de operación teniendo en cuenta la información bibliográfica disponible en los diferentes casos de estudio, donde se seleccionó el valor que presentó mejores resultados en cada uno de los estudios. Se estableció una humedad inicial para el *Eucalyptus globulus* de 55,17%, valor el cual puede afectar el proceso de extracción, por lo que debe pasar por una etapa de secado donde se obtenga una humedad final del 25%.
- Se fijó el tiempo de extracción de 98 min, un flujo de vapor de 6,19 kg/h a la entrada del extractor, una temperatura para el servicio del condensador de 15°C a la entrada y 26,4 °C a la salida, una presión de aproximadamente 1 bar, una temperatura de vapor de 99,97°C, una base de cálculo de 3 kg en la extracción, suponiendo finalmente que se alcanza un rendimiento de 2,87% lo cual debe comprobarse por medio de prácticas experimentales.
- Se seleccionaron los equipos que cumplen los requerimientos necesarios para cada etapa del proceso. Para el secado de las hojas de eucalipto sobresalen los secadores de bandejas, por lo que se propone el uso del equipo MG-D24, para el proceso de molienda se utilizan diferentes molinos según las especificaciones del proceso, en este caso fue necesario el equipo MG-30BP que nos provee el tamaño de partícula requerido.
- Para el proceso de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor se propone el extractor FIGMAY, el cual además posee caldera integrada. Finalmente, se hace necesario el uso de un chiller para suministrar el agua de enfriamiento al condensador del extractor. El equipo propuesto es el modelo LXT-03WC.

- Finalmente, los costos totales asociados al proceso de obtención de AE de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) por el método de arrastre de vapor partiendo de 7,5 kg de hojas tratadas son de \$ 99'813.879 COP.
- Los costos variables, los cuales corresponden al proceso de producción del aceite a partir de 7,5 kg de hojas tratadas tienen un valor de \$ 107.394 COP. Al calcular el costo del aceite esencial por mL se obtuvo un valor de \$453,67 COP/mL el cual está por debajo del rango encontrado en la literatura.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar la concentración letal fungicida del AE de eucalipto por medio de pruebas *in vitro* a nivel laboratorio para determinar su eficacia combatiendo hongos.
- Evaluar el aceite esencial de *Eucalyptus globulus* como posible agente biocida contra diferentes hongos como, *Mucor hiemalis*, *Fusarium roseum*, *Alternaria alternata*, *Penicillium glabrum* o *Penicillium sp* mediante pruebas *in vivo* en productos agrícolas colombianos a diferentes concentraciones para posteriormente determinar el efecto inhibitor.
- Determinar experimentalmente los parámetros óptimos para la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor de *Eucalyptus globulus*, ya que no se encuentran estudios realizados en Colombia.
- Evaluar la extracción del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* con las variables de operación seleccionadas en el trabajo actual mediante el procedimiento de arrastre de vapor para comprobar su eficacia en términos de rendimiento, costos y porcentaje de composición del eucaliptol como componente de interés para la mitigación de hongos.

BIBLIOGRAFÍA

ACUEDUCTO. Tarifas 2020. [Sitio WEB]. Bogotá D.C. La entidad. [13, julio, 2020]. Disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas%202020!/ut/p/z1/nZJPb4JAEMU_iweOZYZdQmhvQAgbbcSIWOxcDFKKpMoaCiXtpy_9c6jRgHGSPezO773svAwQrICq9L0s0qZUVbrr709krWe2xURgs7nNZiZKw_GF6zssFAySH8CSHho2sjnKCFHK25AHPGbBIAMdtU3moXxYuFG49ITwOTwCAb01Jz4n4IBPHJt_ejwqB92luRwxCNk1-v9OI-kHALokxwGAhr-XfOc4ksCYBw0MaSxiPgIYJkyBip3a_C6OU224XQDV-Ute57Xe1v3ztkmOdxpq2HWdnmZt_txmjdIzte-Phud0W9Xvx-ocD4f9svoo-7p5jcTnfZ44k8kXodHRkA!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/

AGUAYO, Silva, *et al.* Aceite esencial de *Eucalyptus globulus Labill* Y *Eucalyptus nitens* H. Deane. & Maiden (MYRTACEAE) para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Sci ELO*. 2016, p. 204-216. ISSN 0719-3882.

ALBARRACÍN, Gloria. GALLO, Sonia. comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial utilizando piper aduncum (cordoncillo) procedente de la zona cafetera. [en línea]. Tesis. Universidad nacional de Colombia, sede Manizales. 2003. p. 103. [Consultado 06, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/989/1/gloriacristinaalbarracinmontoya.2003.pdf>

ALIBABA. alibaba.com [en línea]. Internacional: dora pan. [13, julio, 2020]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/energy-saving-moringa-leaf-dryer-stainless-steel-meat-flower-drying-machine-commercial-fruit-and-vegetable-dryer-62182714011.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.19f92d673YNOft>

ALIBABA. alibaba.com [en línea]. Internacional: Trading. [13, julio, 2020]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/High-quality-almond-tea-leaf-coarse-62315460193.html?spm=a2700.8699010.normalList.4.75f231803nRWBq&s=p>

ALIBABA. alibaba.com [en línea]. Internacional: Hoydon Xu. [13, julio, 2020]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-manufacture-automatic-water-cooled-chillers-machines-factory-price-industrial-small-water-cooling-chillers-62532093650.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.9.d20d63eczCo57l

ANAYA, Alejandro, *et al.* Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina. En: Tecnología, Ciencia, Educación. 2008. vol. 23, n°. 1. México. p. 31-39. ISSN: 0186-6036

ANDREATA, Alfonsina, *et al.* Caracterización De Aceites Esenciales Del Departamento San Justo (Córdoba) [en línea]. Córdoba: p. 6. [Consultado 03,

julio,2020]. Disponible
en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytaal_frm/cytaal_2012/tf/tf008.pdf

ARC TEMPLATES. Eucalipto. [en línea]. Disponible
en: <https://sites.google.com/a/nogales.edu.co/plants-in-colegio-los-nogales/home/eucalipto>

BANDONI, Arnold. Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. 2da Edición. La Plata Argentina. CYTED, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 2003. p. 418. ISBN 9874360720.

BARBOSA, Luiz; FILOMENO, Claudinei y TEIXEIRA, Robson. Chemical Variability and Biological Activities of Eucalyptus spp. Essential Oils. En: *Molecules*. 2016. vol. 21, no. 12, p.33. DOI: 10.3390/molecules21121671

BEN, Asma, et al. Chemical composition of Eucalyptus erythrocorys essential oils and evaluation of their herbicidal and antifungal activities. En: *Journal of pest science*. 2013. vol. 86, n°. 3, p. 571-577. DOI: 10.1007/s10340-013-0501-2

BERMUDO, Gianella. Parámetros Óptimos De Operación En La Extracción De Aceite Esencial De Eucalipto (Eucalyptus Globulus) Con El Equipo Modular De Aceites Esenciales [en línea]. Tesis. Perú: Universidad Nacional De San Cristobal De Huamanga (Perú), 2019. p. 99. [Consultado 15, julio, 2020]. Disponible en: http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/3392/TESIS%20A1176_Ber.pdf?sequence=1&isAllowed=y

BISIO, Von A y KABEL, R. L. Scaleup of Chemical Processes. John Wiley & Sons. New York. 1985. Citado por: RUIZ, Ángela A. ÁLVAREZ, Hernán. Escalamiento de Procesos Químicos y Bioquímicos basado en un Modelo Fenomenológico. En: *Información tecnológica*. 2011. vol. 22, no. 6, p. 33-52 ISSN 0718-0764.

BOTANICAL ONLINE SL. Propiedades botánicas del Eucalipto. [Sitio WEB]. Bogotá D.C. [consultado 06, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.botanical-online.com/plantas-medicinales/eucalipto-propiedades-caracteristicas>

CALDERON, Eduardo; DE NIGRINIS, Stella; CALLE, Jairo. Estudio de aceites esenciales colombianos III. aceites esenciales de eucaliptus I. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, Volumen 3, Número 1, p. 95-105, 1976. ISSN electrónico 1909-6356. ISSN impreso 0034-7418.

CAMISA, N. y GRASSETTI, C. Consideraciones prácticas para el diseño de equipos destiladores de aceites esenciales. *Anales de SAIPA*. 1994, p. 35-91

CANFOR LABORATORY AND EDUCATION SUPPLIES CO., LTD. Productos. [en línea]. China: [Consultado 05, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.canfortlab.com/451-pp451.html>

CARDENAS, Edgar. Determinación de parámetros de operación para la destilación por arrastre con vapor de agua del aceite esencial de molle (*Schinus molle* Linneo) en el equipo modular de extracción de aceites esenciales de la FIQM UNSCH [en línea]. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, 2014. p. 144. [Consultado 30, junio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1032>

CERPA, Manuel. Hidrodestilación De Aceites Esenciales: Modelado Y Caracterización. Universidad de Valladolid [en línea]. Tesis doctoral. 2007. p.304. [Consultado 30, junio, 2020]. Disponible: <http://www.anipam.es/downloads/43/hidrodestilacion-de-aceitesesenciales.pdf>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 9. (16, julio, 1979). Por la cual se dictan Medidas Sanitarias [en línea]. En: Ministerio de salud. Bogotá D.C. 2020. p. 90. [Consultado 07 julio, 2020]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1753. (9, junio, 2015). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo [en línea]. En: secretaria general de la alcaldía mayor de Bogotá. Bogotá D.C. 2020. p. 114. [Consultado 07 julio, 2020]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normograma/Ley%201753%20de%202015.pdf>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Resolución 0631. (17, marzo, 2015) Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones [en línea]. En: Ministerio de ambiente y desarrollo. Bogotá D.C. 2020. p. 30. [Consultado 07 julio, 2020]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

CUERVO, Williams. Extracción Del Aceite Esencial De Eucalipto (*Eucalyptus* Sp) Utilizando dióxido de carbono en condición supercrítica como solvente [en línea]. Tesis. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2008. pp. 118. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <http://190.169.30.62/bitstream/123456789/16508/1/TEG%20Cuervo%20P.%20Williams%20D..pdf>

D, G. Austin. Chemical Engineering Drawing Symbols. ed. John Wiley & Sons Inc. Canadá: Copyright, 1979. p.13-47. ISBN 0-7114-3318-6

DIÁNEZ, F., et al. Screening of antifungal activity of 12 essential oils against eight pathogenic fungi of vegetables and mushroom. En: Letters in applied microbiology. 2018. vol. 67, n°. 4, p. 400-410. DOI: 10.1111/lam.13053

DI LEO LIRA, P., et al. Essential oil and by-products of distillation of bay leaves (*Laurus nobilis L.*) from Argentina. En: Industrial Crops and Products. 2009, vol. 30. p. 259-264. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.04.005>

DESARTE, F.; CLARK, J. y HARDY, J. Extraction of high-value chemicals from wheat straw by supercritical carbon dioxide. 2005. p. 61-62

DOMINGUES, Rui M. A., et al. Optimization of the supercritical fluid extraction of triterpenic acids from Eucalyptus globulus bark using experimental design [en línea]. En: The Journal of Supercritical Fluids. Feb. vol. 74, p. 105-114. [Consultado 4, julio, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.12.005>

DUARTE, M. C. T., et al. Essential Oils and their Characteristics. Essential Oils and their Characteristics. En: Essential Oils in Food Processing. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. p. 19. DOI: 10.1002/9781119149392.ch1

ECIRTEC. Arrastre de vapor. [Sitio WEB]. Brasil. La entidad. [12, julio, 2020]. Disponible en: <https://es.ecirtec.com/equipamientos/arrastre-de-vapor/>

EN EL-CODENSA. Tarifas de energía eléctrica (\$/kwh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (creg) junio de 2020. [Sitio WEB]. Bogota D.C. La entidad. [12, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-codensa.html>

ESCOBAR, Andres. Diseño Y Puesta En Marcha De Una Planta Piloto De Arrastre Con Vapor Para La Obtención De Aceites Esenciales. Universidad de carabobo [en línea], 2012. p.106. [Consultado 8, julio, 2020]. Disponible en: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/8044/aescobar.pdf?sequence=3>

ESPINOSA, Hugo., et al. Los Compuestos Bioactivos Y Tecnologías De Extracción. 1 ed. Ciatej, 2016. p.138. ISBN 978-607-97421-5-7

FAIR, J. Distillation. Handbook of separation Process technology. Georgia institute of technology. 1987. p. 227-339. ISBN: 978-0-471-89558-9

FARGA, C., LASTRA, J. y HOFFMANN, A., Plantas medicinales de uso común en Chile, Santiago de Chile, 1988. Citado por: BERMUDO, Gianella. Parámetros

óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de aceites esenciales. [en línea]. Tesis. Universidad Nacional De San Cristobal De Huamanga. 2019. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3392>

FERHAT, A., *et al.* An im-proved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. En: Journal of Chromatography. 2006. vol. 1112, p. 121-126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.12.030>

FHIA INFORMA. Deterioro poscosecha de las frutas y hortalías frescas por hongos y bacterias. Carta informativa. [en línea]. Staatsdrukker No. 4. Honduras. 2007. p. 12. [Consultado 08, julio, 2020]. Disponible en: http://www.fhia.org.hn/downloads/fhia_informa/fhiainfdic2007.pdf

FIGMAY. Equipo extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor. [Sitio WEB]. Argentina. La entidad. [12, julio, 2020]. Disponible en: <https://figmay.com/extractor-de-aceites-esenciales/>

FIGOLI, A, *et al.* Bergamot essential oil extraction by pervaporation. Desalination. pp. 160–165 Citado por: SILVESTRE, W., *et al.* Pervaporation in the separation of essential oil componentes. [en línea]. En: Trends in food science & technology. 1990. p. 45. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.003>

FIGUERO, Selene, *et al.* Práctica No. 1 destilación por arrastre de vapor [en línea]. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional De Ciencias Biológicas, 2016. [Consultado 6, julio, 2020] Disponible en: <https://vdocuments.mx/practica1-destilacionpor-arrastre-de-vapor.html>

FORT, D.A., *et., al.* Can ionic liquids dissolve wood? Processing and analysis of lignocellulosic materials with 1-n-butyl-3-methylimidazolium chloride. En: Green Chem. 2007. Vol. 9, p.63–69. Citado por: PENÍN, Lucía, *et al.* Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review [en línea]. En: Bioresource technology 2020, vol. 311, p. 15. [Consultado 06, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123528>

FRANCISCO, José da Cruz y SIVIK, Björn. Solubility of three monoterpenes, their mixtures and eucalyptus leaf oils in dense carbon dioxide [en línea]. En: The Journal of Supercritical Fluids. vol. 23, no. 1, p.11-19. [Consultado 28, junio, 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(01\)00131-0](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(01)00131-0)

GAKUUBI, Martin; MAINA, Angeline W. y WAGACHA, John M. Antifungal Activity of Essential Oil of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. against Selected Fusarium spp. En: International journal of microbiology. Hindawi. 2017. n°2, p.7 DOI: 10.1155/2017/8761610

GALLEGO, L. C. y CARDONA, C. A. Generalidades y procesos de extracción. *Ingeniería química*. 2004, nro. 411. p. 144-152.

GARCIA, Conrado, *et al.* Extracción de aceite esencial de hojas de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) en baja california. En: *Convirtiendo los residuos sólidos en energía: hacia la sustentabilidad*. México. 2013. p. 206-211. ISBN 9786079625801.

GAVILLA, M. y TORNER, J. Contribución al estudio de los aceites esenciales españoles. I. Aceites esenciales de la provincia de Cuenca. Madrid: Ministerio de Agricultura, 1974. p.431

GOLMAKANI, Mohammad-Taghi y REZAEI, Karamatollah. Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with the traditional hydrodistillation method in the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L [en línea]. En: *Food Chemistry*. Aug 15. vol. 109, no. 4, p. 925-930. [Consultado 02, julio, 2020] Disponible en: 10.1016/j.foodchem.2007.12.084

GONZALEZ, Ángela. Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazonas.[en línea]. Tesis. Universidad nacional de Colombia sede Manizales. 2004. p. 48 [consultado 06, julio, 2020] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1173/1/angelaandreaonzalezvilla.2004.pdf>

GONZÁLEZ, Elena, *et al.* Antioxidant activity, neuroprotective properties and bioactive constituents analysis of varying polarity extracts from *Eucalyptus globulus* leaves. En: *Yàowu shìpīn fēnxi*. vol. 26, n°. 4, p. 1293-1302. DOI: 10.1016/j.jfda.2018.05.010

GONZÁLEZ, Nicolás, *et al.* Extraction of polyphenols from *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus globulus*: Experimental kinetics, modeling and evaluation of their antioxidant and antifungal activities. En: *Industrial crops and products*. 2017. vol.109. p. 737–745. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.09.038

GONZALES, Roberto. Principios básicos de escalado, Editorial Universitaria, 2000. p.139 . ISBN 959-16-0112-3

GROOT, Anton C.; SCHMIDT, Erich. *Essential oils*. Boca Raton: CRC Press, 2016. p. 108-115. ISBN: 978-1482246407

GUERRERO, Karen y AVILA, Alexander. Mecanismo de liberación de componentes activos de las células mediante ondas de ultrasonido [en línea]. Obtención de un conservante natural a partir de la semilla de aguacate variedad hass (persea americana mill.). 2019. [Consultado 09, julio, 2020]. Disponible

en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7627/1/6112706-2019-2-IQ.pdf>

GULLIEN, Maria; CABO, Nerea y BURILLO, Jesus. Characterisation of the Essential Oils of some Cultivated Aromatic Plants of Industrial Interest. En: *Sci Food Agric*. 1996, p. 359. Disponible en: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199603\)70:3<359::AID-JSFA512>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199603)70:3<359::AID-JSFA512>3.0.CO;2-0)

GULLÓN, Beatriz, et al. Optimization of solvent extraction of antioxidants from *Eucalyptus globulus* leaves by response surface methodology: Characterization and assessment of their bioactive properties. En: *Industrial crops and products*. 2017. vol. 108, p. 649-659. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.07.014

GUPTA, A, et., al Pictorial representation of High Energy Methods of Nanoemulsion Preparation. *Nanoemulsions: formation, properties and applications* [en línea]. 2006. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/--/content/articlehtml/2016/sm/c5sm02958a>

GYAWALI, R.; HAYEK, S. A e IBRAHIM, S. A. Plant Extracts as Antimicrobials in Food Products: Mechanisms of Action, Extraction Methods, and Applications. En: *Anonymous Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality*. Elsevier Ltd, 2015. Capítulo 3. p. 49-68. DOI: 10.1016/B978-1-78242-034-7.00003-7

HAYEK, Saeed; GYAWALI, Rabin; IBRAHIM, Salam A. Natural products as antimicrobial agents. En: *FOOD CONTROL*. 2004. vol. 46, p. 412-429. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.047>

HERRERO, Miguel, CIFUENTES, Alejandro, IBAÑEZ, Elena. Sub-and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: plants, food-by-products, algae and microalgae: a review. 2006. *Food Chemistry*, 98(1), 136e148. Citado por: GYAWALI, R.; HAYEK, S. A. IBRAHIM, S. A. Plant Extracts as Antimicrobial in Food Products: Mechanisms of Action, Extraction Methods, and Applications. En: *Anonymous Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality*. Elsevier Ltd, 2015. pp.412

INOXIMEXICO. Destiladores. [Sitio WEB]. México. La entidad. [09, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.inoximexico.com/producto/389/destilador-de-aceites-esenciales-de-50-litros-388>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018. p.153. ISBN 9789588585673.

JIMÉNEZ, M y LUQUE DE CASTRO, M. Isolation of eucalyptus essential oil for GC-MS analysis by extraction with subcritical water. [en línea]. En: Chromatographia 1999. vol. 50, no. 9, p. 578-582. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02493664>

JIMENEZ, Maria. Quimica física para Ingenieros Quimicos. Editorial: Universidad politécnica de Valencia 2006. Citado por: CABALLERO, Yohasky; RODRIGUEZ, Maria. Obtención de aceites esenciales a partir de cáscara de mango (*mangifera indica L.*) mediante técnica de destilación por arrastre de vapor. [en línea]. Tesis. Universidad de san buenaventura p.56. [consultado 06, julio, 2020]. Disponible: http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2599/1/Obtenci%C3%B3n%20de%20aceites%20esenciales%20a%20partir%20de%20c%C3%A1scara%20de%20mango_Yohasky%20Caballero_USBCTG_2015.pdf

JOHNSTONE, R. E., THRING, M. E., "Pilot Plants, Models and Scale-up Methods in Chemical engineering"m Mc.Graw-Hill Books Co., New York, 1957. Citado por: JUÁREZ, P.C.; SOSA, M.E. y LÓPEZ, A. Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y metodos de control [en línea]. En: TSIA. Temas selectos de ingeniería de alimentos. México. 2010. Vol.4, n°2. p.14-23. [Consultado 08, julio, 2020]. Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-2/TSIA-4\(2\)-Juarez-Becerra-et-al-2010.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-2/TSIA-4(2)-Juarez-Becerra-et-al-2010.pdf)

KALEMBA, D y KUNICKA, A. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. 2003. Curr Med Chem 10:813–829. Citado por: MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Essential Oil and Antifungal Therapy A. En: Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy, Springer India. 2016. p. 29-74. DOI: 10.1007/978-81-322-2782-3_2

KAUFMANN, B. y CHRISTEN, P. Recent extraction techniques for natural products [en línea]. 2002. p. 105-113. [Consultado 10 de julio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/pca.631>

KIMBARIS, Athanasios C., et al. Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*) [en línea]. En: Ultrasonics - Sonochemistry. vol. 13, no. 1, p. 54-60. [Consultado 02 de julio de 2020]. Disponible en: 10.1016/j.ultsonch.2004.12.003

KOSSEN, N., Scale-Up, Advances in Bioprocesses engineering. 1996, 53-65 p 1985. Citado por: RUIZ, Ángela A. ÁLVAREZ, Hernán. Escalamiento de Procesos Químicos y Bioquímicos basado en un Modelo Fenomenológico. En: Información tecnológica. 2011. vol. 22, no. 6, p. 33-52 ISSN 0718-0764.

KUBECKSKA, L. Destilación de aceites esenciales. En: procesamiento de alimentos a pequeña escala. 2002, p.11

KUSUMA, Heri y MAHFUD, Mahfud. The extraction of essential oil from sandalwood (*santalum album*) by microwave air-hydrodistillation method. En: Journal of Materials and Environmental Science. 2018, vol. 57, p. 1597-1606. DOI: 10.1016/j.aej.2017.02.007

LANG, Qingyong y WAI, Chien M. Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies a practical review. En: Talanta. vol. 53, no. 4, p. 772. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00557-9](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00557-9)

LAWRENCE, B. Essential oil production: A discussion of influencing factors. Washington, DC: American Chemical Society, 1986. p. 363-369.

LOPEZ, Edison y CARVAJAL, José. Diseño y construcción de una planta para la extracción de aceites esenciales con capacidad de 300 kg de material vegetal [en línea]. Tesis. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2009. p.160 [Consultado 05, julio, 2020]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/130410.pdf>

LUQUE, M.; VALCAREL, M. y TENA, M. Analytical Supercritical Fluid Extraction. España: Springer, 1994. p. 313. ISBN 978-94-011-4948-8

MANHEIMER, S. Aceites esenciales de América del Sur. 1973. p. 27-30.

MARTINS, Carla, et al. Effects of Essential Oils from *Eucalyptus globulus* Leaves on Soil Organisms Involved in Leaf Degradation. En: Plos one. 2013. vol. 8, n°. 4, p. 6123. DOI: 10.1371/journal.pone.0061233

MARTINEZ, Alejandro. Aceites esenciales. Universidad de Antioquia [en línea]. 2001. p.34. [consultado 10, julio, 2020]. Disponible en: http://www.med-informatica.com/OBSERVAMED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf

METEOBLUE. Leaf wetness prediction. Validation and improvement [en línea]. 2018. p.5. [Consultado 20, julio, 2020]. Disponible en: <https://content.meteoblue.com/ru/specifications/weather-variables/leaf-wetness>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Invierta en Colombia. [en línea]. Bogotá D.C. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: https://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/089_Sector%20Forestal.pdf

MEELKO. Prensa extrusora de oleaginosas para extracción de aceites [en línea]. [Consultado 06, julio, 2020]. Disponible en: <http://articulo.meelko.com/382-prensa-extrusora-de-oleaginosas-extraccion-de-aceites-200-330kg/hr.html>

MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Essential Oil and Antifungal Therapy A. En: Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy, Springer India. 2016. p. 29-74. DOI: 10.1007/978-81-322-2782-3_2

MOHAMMADI, P; LOTFI, N y NASERI, L, Etebarian HR. Antifungal activities of essential oils from somelranian medicinal plants against various post harvest moulds. 2013. J Med Plants Res 7(23) :1699–1708. Citado por: MOGHADDAM, Mohammad y MEHIDIZADEH, Leila. Essential Oil and Antifungal Therapy A. En: Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy, Springer India. 2016. p. 29-74. DOI: 10.1007/978-81-322-2782-3_2

MONTOYA, O. El eucalipto. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España; 1995 Citado por: BERMUDO, Gianella. Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de aceites esenciales. [en línea]. Tesis. Universidad Nacional De San Cristobal De Huamanga. 2019. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3392>

MORENO, Jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel y SICHE, Raul. Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). En: Scientia Agropecuaria. 2010. vol. 1, no. 2, p. 147-154. ISSN 2306-6741

NATIVIDAD, Jose. Diseño de una planta piloto agroindustrial para la producción de aceite esencial de eucalipto (*eucalyptus globulus*), no convencional, bajo la filosofía “zero waste” [en línea]. Tesis. Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion (Peru), 2019. p. 153. [Consultado 9, julio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3044/JOS%C3%89%20LUIS%20NATIVIDAD%20MERCEDES.pdf?sequence=1>

NCBI. Taxonomy database. [en línea]. [Consultado 06, julio, 2020] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browsr/wwwtax.cgi?mode=Info&id=34317&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>

NEWHOUSE MFG. Co. newhouse-mfg [Sitio WEB]. Redmond. La entidad. [09, julio, 2020]. Disponible en: https://www.newhousemfg.com/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=143&jsmallfib=1&dir=JSROOT/Essential+Oil+Distillation

Official Gazette of the United States Patent and Trademark Office: Trademarks, citado por: JIMÉNEZ CARMONA, M. y LUQUE DE CASTRO, M. Isolation of eucalyptus essential oil for GC-MS analysis by extraction with subcritical water. En: *Chromatographia*. Nov. vol. 50, no. 9, p. 578-582

ORTUÑO, M.F. Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes [en línea]. España: Aiyana, 2006. p.15. [consultado 21, febrero, 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pr/books?id=cW5TsDKqx9wC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>. ISBN 9788493452216.

PAN, Meng; LEI, Qicheng y ZHANG, Hong. Prediction and confirmation of active ingredients in *Eucalyptus globulus* Labill leaves. En: *INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS*. 2020.. vol. 154, p. 6. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112631

PANTOJA, Ana, et al. Diagrama de proceso de extracción con fluidos supercríticos [en línea]. Evaluación del Rendimiento, Composición y Actividad Antioxidante de Aceite de Semillas de Mora (*Rubus glaucus*) Extraído con CO₂ Supercrítico. Colombia: 2017. p. 37. [Consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v28n1/art05.pdf>

PAVAS, Edison y VEGA, Alex. Evaluación a escala de planta piloto del proceso industrial para la obtención de aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía “cero emisiones” [en línea]. Tesis. Universidad eafit, 2005. p. 38. Disponible en: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1363>

PEDROTTI, Carine, et al. Alternative control of grape rots by essential oils of two *Eucalyptus* species. En: *science of food and agriculture*. Brazil. 2019. Vol. 99, n°14. p.32. DOI: 10.1002/jsfa.9936

PENÍN, Lucía, et al. Technologies for *Eucalyptus* wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review. *Bioresource technology*. 2020, vol. 311, p. 15

PEREDO, H. A.; PALOU, E. y LÓPEZ, A. Aceites esenciales: métodos de extracción. Universidad de las Américas Puebla San Andrés Cholula [en línea]. 2009. p. 24-32. [Consultado 10, julio, 2020]. Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3\(1\)-Peredo-Luna-et-al-2009.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3(1)-Peredo-Luna-et-al-2009.pdf)

PHONG, Win Nee, et al. Recovery of biotechnological products using aqueous two phase systems [en línea]. En: *Journal of bioscience and bioengineering* 2018. p. 2. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.03.005>

PICKETT, J. A.; COATES, J. y SHAPES, F. R. Distortion of essential oil composition during isolation by steam distillation. En: Chem. p. 571
Producción de Biodiesel Utilizando Tecnología De Fluidos Supercríticos. s.f. [Anónimo].

QUATRIN, Priscilla Maciel, *et al.* Antimicrobial and antibiofilm activities of nanoemulsions containing Eucalyptus globulus oil against Pseudomonas aeruginosa and Candida spp. En: *Microbial Pathogenesis*. 2017, vol. 112, p. 230-242. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.09.062

RAI, M. K., QURESHI, S y PANDEY, A. K. In vitro susceptibility of opportunistic Fusarium spp. to essential oils. En: *Mycoses*. 1999. vol. 42, n°.1-2, p. 97-101. DOI: 10.1046/j.1439-0507.1999.00267.x.

RAVEAU, Robin; FONTAINE, Joël y Anissa, LOUNÈS HADJ. Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. En: *foods* (basel, switzerland). 2020. vol. 9, no. 3, p. 365. DOI: 10.3390/foods9030365

RODRIGUES, Vítor H., *et al.* Simulation and techno-economic optimization of the supercritical CO₂ extraction of Eucalyptus globulus bark at industrial scale. En: *The journal of supercritical fluids*. 2018. vol. 145, p. 169-180. DOI: 10.1016/j.supflu.2018.11.025

RODIGUEZ, Margarito; ALCARAZ, Lilia y REAL, Sergio. Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas [en línea]. *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. 2012, p. 38. [Consultado 11, julio, 2020]. Disponible: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales_aromaticas/pdf/ACEITES%20ESENCIALES%20EXTRAIDOS%20DE%20PLANTAS%20MEDICINALES%20Y%20AROMATICAS.pdf

ROMERO, Ana. Diseño de una planta piloto para la extracción de aceites esenciales mediante destilación por arrastre de vapor. [en línea]. Tesis. Universidad de piura, Perú. 2016. p. 147 [Consultado 10, julio, 2020]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2658>

SALEM, Mohamed Z. M., *et al.* Antifungal activities of two essential oils used in the treatment of three commercial woods deteriorated by five common mold fungi. En: *International biodeterioration & biodegradation*. 2016. vol. 106, N°c. p. 88-96. DOI: 10.1016/j.ibiod.2015.10.010

SENA. Sistema de Bibliotecas. Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales extraídos de Plantas Medicinales y Aromáticas. [en línea] p.10 [Consultado 06, julio, 2020]. Disponible

en: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales_aromaticas/

SENADO. Código sustantivo del trabajo. [en línea]. Bogotá D.C. La entidad. [Consultado 27, julio, 2020]. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/codigo_sustantivo_trabajo.html

SHARIFI RAD, Javad, *et al.* Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. En: *Molecules*. Switzerland. 2017, vol. 22, n°. 1. p. 70 DOI: 10.3390/molecules22010070

SHARMA, Shivani, *et al.* Phyto-nanoemulsion: An emerging nano-insecticidal formulation. En: *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea]. 2020, vol.14, p. 41. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100331>

SILVESTRE, W., *et al.* Pervaporation in the separation of essential oil components. En: *Trends in food science & technology*. 2019. Vol. 93, n°.1. p. 42-52. ISSN 0924-2244

STENERSEN, J. *Chemical Pesticides Mode of Action and Toxicology*; CRC Press: Boca Raton, 2004. Citado por: ZUBROD, Jochen y BUNDSCHUH, Mirco. Fungicides: An Overlooked Pesticide Class? En: *Environmental Science & Technology*. 2019. Vol 53, n° 7, p. 3347-3365. DOI: 10.1021/acs.est.8b04392

TOMAZONI, Elisa Zorzi, *et al.* In vitro and in vivo activity of essential oils extracted from *Eucalyptus staigeriana*, *Eucalyptus globulus* and *Cinnamomum camphora* against *Alternaria solani* Sorauer causing early blight in tomato. En: *Scientia Horticulturae*. 2017. vol. 223. p. 72-77. ISSN 0304-4238

TOUHAMI, F *et al.* Soxhlet extractor [en línea]. *Sci*. 2000. [consultado 07, julio, 2020]. Disponible en: http://utpedia.utp.edu.my/846/1/dissertation_NOR_SYAMIRA.pdf

VINATORU, M., *et al.* The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials [en línea]. 1997, vol. 4, p. 135-139. [Consultado 3, julio, 2020] Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(97\)83207-5](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(97)83207-5)

XUEFANG, Hu, *et.*, *al.* Optimización del aceite esencial de hoja de *Eucalyptus grandis* refinado mediante tecnología de destilación molecular de corto alcance [en línea]. En: *Transacciones de la Sociedad China de Ingeniería Agrícola*. 2018. Vol. 34. p. 299-307. [Consultado 04, agosto, 2020]. Disponible en: 10.11975 / j.issn.1002-6819.2018.02.041

ZUBROD, Jochen y BUNDSCHUH, Mirco. Fungicides: An Overlooked Pesticide Class? En: Environmental Science & Technology. 2019. Vol 53, n° 7, p. 3347-3365. DOI: 10.1021/acs.est.8b04392

ANEXOS

ANEXO A
PARÁMETROS Y RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LOS
CASOS DE ESTUDIO POR ARRASTRE DE VAPOR

TITULO	CONDICIONES FIJAS	ACONDICIONAMIENTO	CONDICIONES VARIABLES				RESULTADOS				
Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) ²⁴²	Flujo de vapor: 28,96-33,79 cm ³ /s	Tamaño de hoja: 1cm x 1cm	Tiempo (min)				Rendimiento (g/100g hojas)	Costos (s/mL)			
		Humedad de la hoja (%)									
	Temperatura de vapor: 100°C	16,1	37,6				1,5339	0,8129			
		16,1	122,4				2,1212	1,7897			
	Presión de extracción: 1 atm	35,9	37,6				1,2524	0,3660			
		35,9	122,4				1,5257	0,5148			
	Porosidad del lecho: 34,2%	12	80				1,9382	0,9466			
		40	80				1,5455	0,3433			
	Altura de lecho: 15 cm	26	20				1,1375	0,5639			
		26	140				1,9482	0,6033			
	Temperatura del agua de condensación: 0-2 °C	26	80				1,7626	0,5304			
		26	80				1,7630	0,5153			
		26	80				1,7276	0,5258			
Diseño De Una Planta Piloto Agroindustrial Para La Producción De Aceite Esencial De Eucalipto (<i>Eucalyptus Globulus</i>), No Convencional, Bajo La Filosofía "Zero Waste". ²⁴³	Masa vegetal: 900 g	Limpier las hojas de eucalipto (jóvenes) H: Huncayo A: Ambar Secado: Secadas por convección natural a temperatura ambiente. Reducción de tamaño: manual. E: Entera P:Partida (20mm)	Presión (bar)	Procedencia	Tamaño hoja	Tiempo (s)	Volumen AE (mL)	Volumen Hidrolato (mL)	Índice de refracción AE	Densidad AE (g/mL)	Rendimiento AE(%/g)
			10	A	E	1325	27	2405	1,461	0,924	2,77
			1	A	E	3342	19	4175	1,458	0,929	1,96

²⁴² MORENO, jeancarlos; LÓPEZ, Gabriel y SICHE, Raul. Op. cit., pp. 147-154

²⁴³ NATIVIDAD, Jose. Op. cit., pp. 11-153

TITULO	CONDICIONES FIJAS	ACONDICIONAMIENTO	CONDICIONES VARIABLES				RESULTADOS				
			10	H	E	1348	26	2430	1,455	0,931	2,69
			1	H	E	3593	20	4330	1,460	0,918	2,04
			10	A	P	1434	28	2625	1,463	0,922	2,87
			1	A	P	3484	21	4200	1,451	0,934	2,18
			10	H	P	1379	28	2540	1,462	0,919	2,86
			1	H	P	3762	20	4320	1,448	0,041	2,09
Diseño De Una Planta Piloto Para La Extracción De Aceites Esenciales Mediante Destilación Por Arrastre De Vapor ²⁴⁴	Cantidad de agua: 1L Tiempo de extracción: 1 h	Secado: convección natural a temperatura ambiente durante 3 días Tamaño de partícula: Pequeña manual	Condensador a temperatura ambiente.				Condensador a temperatura ambiente.				
			Muestra inicial (g)				Aceite (g)		Rendimiento (%)		
			100,34				0,67		0,67		
			150,05				0,99		0,66		
			Condensador a 10°C				Condensador a 10°C				
			152,73				1,6		1,05		
Parámetros Óptimos De Operación En La Extracción De Aceite Esencial De Eucalipto (Eucalyptus Globulus) Con El Equipo Modular De Extracción De Aceites Esenciales. ²⁴⁵	Humedad: 34,8% Materia vegetal: 3 kg Temperatura entrada de agua: 90°C Temperatura de entrada al condensador: 14,6-21 °C Temperatura de salida del condensador: 18,9 -26,4°C Temperatura del agua floral y el aceite esencial: 15,5-34°C	Secado: convección natural con temperatura ambiente.	Tamaño de partícula (cm)	Altura del lecho (cm)	Porcentaje de flujo de vapor de agua (%)	Tiempo (min)	Volumen extraído mL	Peso extraído (g)	Rendimiento (%)		
			10	30	80	60	29	25,79	0,86		
			5	30	80	60	32	27,63	0,98		

²⁴⁴ ROMERO, Ana. Op. cit., pp. 1-122

²⁴⁵ BERMUDO, Gianella. Op. cit., pp. 1-99

TITULO	CONDICIONES FIJAS	ACONDICIONAMIENTO	CONDICIONES VARIABLES				RESULTADOS		
	Presión de extracción: 5 bar		2,5	30	80	60	33	32,23	1,01
			1,25	30	80	60	35	30,39	1,07
			1,25	30	50	60	28	25,79	0,86
			1,25	30	60	60	30	27,63	0,92
			1,25	30	80	60	35	32,23	1,07
			1,25	30	90	60	32	30,39	0,98
			1,25	15	80	60	15,3	14,09	0,94
			1,25	30	80	60	36	33,16	1,11
			1,25	45	80	60	47,8	43,38	1,03
			1,25	60	80	60	63	58,02	0,96
			1,25	30	80	30	20	18,42	0,61
			1,25	30	80	45	28	25,79	0,86
			1,25	30	80	60	36	33,16	1,16
1,25	30	80	75	36	33,16	1,16			
Diseño Y Puesta En Marcha De Una Planta Piloto De Arrastre Con Vapor Para La Obtención De Aceites Esenciales ²⁴⁶	Nivel laboratorio	Temperatura de secado: ambiente de 22°C -28°C	Nivel laboratorio						
	Masa vegetal: 80g		Tamaño de partícula			Rendimiento (%)			
	Tiempo de extracción: 1,5 h		0,02 x 0,02			0,018			
	Temperatura de enfriamiento: 0-2 °C		0,02 x 0,02			0,084			
	Planta piloto		1 x 2			0,266			
			1 x 2			0,142			
			Planta Piloto						
			Masa vegetal (g)			Rendimiento (%)			
			300			0,529			
			300			0,404			
			300			0,126			
			600			0,665			
			600			0,427			
			600			0,667			
			900			0,805			
			900			0,797			
			900			0,485			
			Tiempo de extracción (min)			Rendimiento (%)			
			60			0,219			
			60			0,112			
	90			0,529					
	90			0,404					
	120			0,418					
	120			0,553					

Fuente: Elaboración propia en base a bibliografía

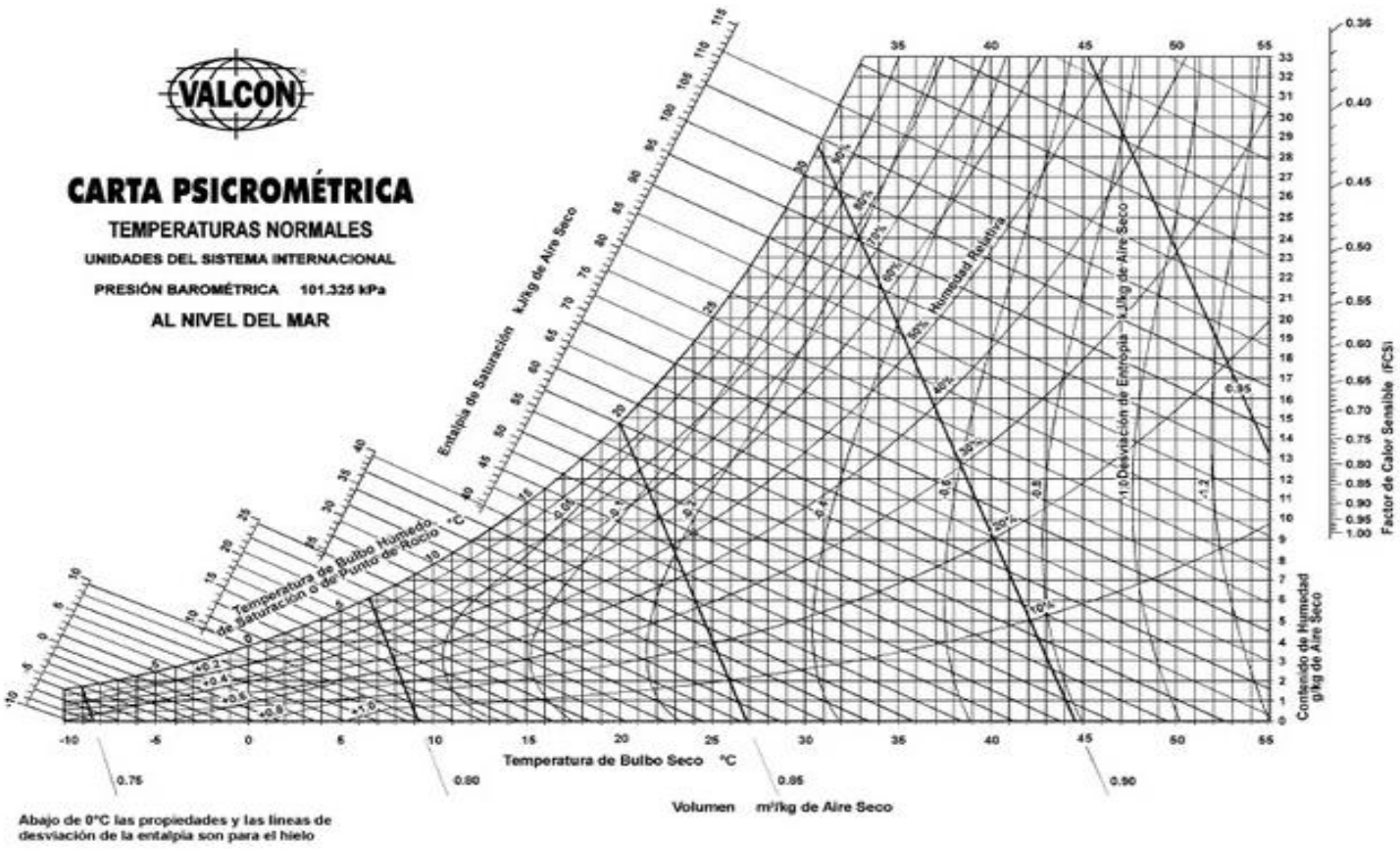
²⁴⁶ ESCOBAR, Andres. Op. cit., pp. 1-106

ANEXO B

HONGOS QUE AFECTAN CULTIVOS

Los hongos hacen parte de los patógenos más letales contra los cultivos, lo que genera grandes pérdidas económicas y biológicas para los productores. Estos microorganismos “producen estructuras especializadas (esporas, conidias, células, etc.) que deben ser depositadas sobre el producto para que el patógeno pueda germinar, invadir y eventualmente colonizar el tejido y causar daño económico.” Además, como señala la revista INFORMA, los hongos causantes de deterioro poscosecha generalmente muestran crecimiento a 20-25 °C (dependiendo de la especie), aunque existe algunos (como *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* y *Cladosporium herbarum*) que pueden llegar a crecer y causar daño a temperaturas entre -1 y 1°C, por lo que será más difícil combatirlos.

ANEXO C
GRÁFICO PSICOMÉTRICO A TEMPERATURAS NORMALES Y PRESIÓN BAROMÉTRICA DE 101,325 kPa



Fuente: Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101,325 kPa

ANEXO D PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Liq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Liq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Liq. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Liq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Fuente: CENGEL, Yunes y BOLES, Michael. Propiedades de agua saturada. Tabla de presiones. [en línea]. Termodinámica. 7 ed. 2012. México: McGraw Hill/Interamericana. p.916



ANEXO E PROPIEDADES DE LIQUIDOS

a) Líquidos

Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades de líquidos		
	Punto de ebullición normal, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg · K
Aceite comestible (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
n-Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilén glicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	—	230-384	—	—	20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Refrigerante 134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-50	1443	1.23
Salmuera (20% de cloruro de sodio a base másica)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43

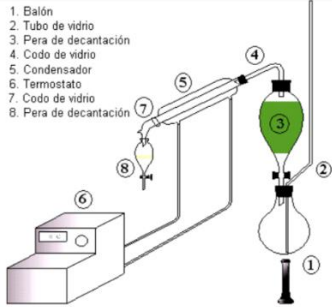

Fuente: CENGEL, Yunes y BOLES, Michael. Propiedades de líquidos. Tabla propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes. [en línea]. Termodinámica. 7 ed. 2012. México: McGraw hill/Interamericana. p.912

ANEXO F
EQUIPOS PARA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES USADOS POR DIFERENTES AUTORES

AUTORES	EQUIPO	DESCRIPCION
<p>Bermudo²⁴⁷</p>	 <p>Módulo de extracción de aceites esenciales de laboratorio de transferencia de masa de la facultad de ingeniería química de la UNSCH empleado en la corrida experimental a escala planta piloto.</p>	<p>El recipiente destilador tiene una capacidad útil de 40.84 litros y aproximadamente 60cm de altura, está fabricado de vidrio, en la parte inferior está provista de resistencia de calentamiento de 15 Kw y difusor del flujo de vapor de agua. El condensador es de tipo serpentín y carcasa de acero inoxidable. El florentino de vidrio borosilicato de dos tubos concéntricos de 25 mL.</p>
<p>Romero²⁴⁸</p>		<p>Equipo de acero inoxidable, conformado por un extractor o alambique con una capacidad de 4L, donde se deposita el material y condensador, el cual realiza el intercambio térmico con agua fría. El baño termorregulador regula la temperatura del agua y la bombea al condensador. Por ultimo se utilizó una pera de decantación para separa el aceite.</p>

²⁴⁷ BERMUDO, Gianella. op. cit., p.48

²⁴⁸ ROMERO, Ana. op. cit., p. 54.


<p>Moreno²⁴⁹</p>	 <p>1. Balón 2. Tubo de vidrio 3. Pera de decantación 4. Codo de vidrio 5. Condensador 6. Termostato 7. Codo de vidrio 8. Pera de decantación</p>	<p>Se utilizó un montaje de arrastre de vapor no convencional conformado por un balón, un tubo de vidrio, dos codos de vidrio, condensador de vidrio, termostato, dos peras de decantación (una para la materia vegetal y otra para la recolección del producto de la destilación).</p>
<p>Natividad²⁵⁰</p>	 <p>Equipos pertenecientes al Laboratorio de operaciones unitarias – FQyM-UNJFSC. Pag 64.</p>	<p>Formará un lecho fijo compacto. El generador de vapor, alimentado con agua blanda, es calentado verificando de tal manera que las variables de presión y temperatura deben mantenerse dentro del rango de trabajo establecido. La salida del vapor que contiene aceite esencial, es condensada y recibida en un decantador dinámico florentino con el fin de separar con mayor facilidad.</p>



Fuente: elaboración propia.



²⁴⁹ MORENO, Jeancarlos. op. cit., p. 149.



²⁵⁰ NATIVIDAD, Jose. op. cit., p. 64.




ANEXO G
EQUIPOS PARA EXTRACCIÓN DE AE A ESCALA PILOTO PRESENTE EN EL MERCADO 2020


EQUIPO	CARACTERISTICAS		IMAGEN
<p>PS-SL-200/EL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 10L • acero inoxidable, vidrio borosilicato y materiales resistentes a solventes. • Alimentación eléctrica: 120 VAC, 60 Hz 	<ul style="list-style-type: none"> - Hervidor para solvente con capacidad de 10 litros, fabricado en vidrio borosilicato, con válvula de vaciado. Mantilla de calentamiento eléctrico en el hervidor con regulación de potencia y protección para sobrecalentamiento de líquidos. - Extractor: diámetro nominal de cuatro pulgadas, altura de 50 cm. - Canastilla para producto sólido en extractor, fabricada en acero inoxidable. - Sistema de reflujo con electroválvula para control automático por medio de dos temporizadores y botón selector de tres posiciones. - Condensador tipo serpentín. - Dos recibidores de vidrio para producto de extracción proveniente de cabezal de rectificación, fabricados en vidrio borosilicato, con capacidad de dos litros. 	

<p>TECNAL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 20 L • 4000 W • Peso: 25 Kg • L*W*H= (600 x 450 x 1200) mm. • Acero inoxidable 304 	<ul style="list-style-type: none"> - Termóstato de seguridad que apaga la resistencia en caso de que falte de agua. - Canasta; Llave del manípulo; Manual de Instrucciones con Término de Garantía. 	
<p>FIGMAY</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 10.480 USD • 22L • 4000 W • L*W*H= (525 x 430 x 900) mm. • Peso: 11 Kg • vidrio borosilicato 	<p>compuesto de cámara de extracción de vidrio borosilicato con junta plana esmerilada, incluye caldera con vela calefactora de cuarzo, montada sobre bujes y tuercas de teflón.</p> <p>Los equipos son de industria argentina, fabricado íntegramente por FIGMAY S.R.L. por lo tanto todos sus repuestos se encuentran en STOCK.</p>	

<p>EOS-010</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 9.196 USD • 38 L • L*W*H= (78,74 x 48,26 x 142,24) mm • Acero inoxidable 	<p>Equipo con caldera integrada (propano) destilando aceites Esta unidad contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cesta de material. desmontable de 10 galones. - Quemador de propano - Condensador vertical. - Separador de pirámide de alta tecnología. - Montaje de base en ruedas de rodillos. 	
<p>FIGMAY</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 22 900 USD • 50 L • 5000 W • L*W*H= 0,65m x 0,84 m • Peso: 45 Kg • vidrio borosilicato 	<p>Equipo compuesto de cámara de extracción de vidrio borosilicato con junta plana esmerilada, incluye caldera con vela calefactora de cuarzo, montada sobre bujes y tuercas de teflón. Contiene, además:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tapa de PTFE con soporte de aluminio pintado en epoxi. - Tablero electrónico de comando estructura autoportante pintada en epoxi. - Sistema de calefacción de resistencia eléctrica, aislada en vela de cuarzo. - Colector de aceites esenciales e hidrolato, con llave de descarga. - Nivel constante de seguridad. <p>Todos sus repuestos se encuentran en stock en FIGMAY S.R.L. Argentina.</p>	

<p>INOXIMEXICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 4209,87 USD • 50 L • Diametro:0,4 m • Altura:0,5 m • acero inoxidable 304 calibre 10. • Gas o eléctrico 	<p>Equipado con condensador (intercambiador de tubos y coraza). Contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tina de separación con mirilla de policarbonato para controlar la separación de agua y aceite. - Válvula de aguja para su fácil control - Válvula de drenado del tanque. - Mirilla circular de 1.5" para ver el nivel mínimo de agua. - Quemador tipo jet burner de 10 esperas de alta eficiencia. - Tapa termómetro de 0-150°C y kit de manómetro con válvula de alivio de protección. -El intercambiador o condensador de 6" tipo clamp cuenta con válvula a la salida tipo clamp para pasar a la separación. 	
<p>ECIRTEC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 21.500 USD • 50L • Acero inoxidable AISI 304. <p>Diseñada para una presión de trabajo de 3 kg / cm²</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puede funcionar sin presión. 	<p>Compuesta por Tonel (extractor), condensador, separador agua/aceite, estructura e interconexiones. Complementan la unidad de extracción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caldera para generación de vapor - Torre de enfriamiento de agua y bomba de circulación. - Opera a Patm 	

FAES	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen a pedido. • Acero inoxidable AISI 304. • Gas o eléctrico 	<p>El vapor de agua es producido por un quemador a gas (o fuel oil) de 40.000 c/h lo que otorga al equipo autonomía de movimiento.</p>	
CHINA	<ul style="list-style-type: none"> • 4000 USD • 300L • Acero inoxidable 	<p>NO REPORTA INFORMACION</p>	
EOS-110	<ul style="list-style-type: none"> • 24200 USD • 100 L • L*W*H= (1.3208 x 1.6256 x 2.4892) m 	<p>El EOS-110 presenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corte del quemador alto / bajo - Control automático del nivel de agua - Encendido automático - Control automático de temperatura - Elevador eléctrico para levantar la canasta de material del conjunto de la olla de cocción y colocarla en el conjunto del soporte de descarga. 	

<p>INOXECU</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 4000 USD • 150L • Acero inoxidable 	<ul style="list-style-type: none"> - Tapa con condensador desmontable con sello de silicón - Olla en soporte tipo volqueta para descargar la materia prima - Quemador de gas con regulador de presión - Condensador multitubular con post condensador - Mesa de recepción incorporada - Recirculación de hidrosol para mejorar el rendimiento de 500 hasta 750 ml por parada - Necesita un tanque de gas propano y línea de agua con 30 PSI min 	
-----------------------	--	--	---

Fuente: elaboración propia, con base en bibliografía

