



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Evaluación de la Influencia de la forma y tamaño del palo santo, así como del tiempo y potencia de flujo de vapor en el rendimiento y calidad del aceite esencial del palo Santo (*Bursera graveolens*) extraído por destilación por arrastre de vapor

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Química

AUTOR

Carmen Naomi HERRERA PARIASCA

ASESOR

Dr. Eder Clidio VICUÑA GALINDO

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Herrera, C. (2024). *Evaluación de la Influencia de la forma y tamaño del palo santo, así como del tiempo y potencia de flujo de vapor en el rendimiento y calidad del aceite esencial del palo Santo (Bursera graveolens) extraído por destilación por arrastre de vapor*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	CARMEN NAOMI HERRERA PARIASCA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75166787
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-3183-0405
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09069542
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4980-0490
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	RAYMUNDO ERAZO ERAZO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08439329
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	KARINA LIZETH LOZADA CASTILLO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40438343
Datos de investigación	
Línea de investigación	Extracción de Productos naturales
Grupo de investigación	DEINPRO
Agencia de financiamiento	UNMSM-VRIP; Proyectos de Investigación con Financiamiento para Grupos de Investigación – año 2020: Diseño de un proceso de fraccionamiento de aceites esenciales basado en el modelamiento y simulación con PRO II Y COSMO SAC: caso de estudio aceite esencial de Palo santo. Código: C20070861.

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Química e Ingeniería Química País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Calle: Av. Germán Amézaga s/n. Ciudad Universitaria. Latitud: -12.05819215 Longitud: -77.0189181894387
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021-2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos Miembros del Jurado Evaluador de Sustentación de Tesis, nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, bajo la Presidencia del **Dr. ERAZO ERAZO RAYMUNDO**, la **Mg. KARINA LIZETH LOZADA CASTILLO** (Miembro Revisora) y el **Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO** (Asesor), habiendo presentado para el efecto la Tesis titulada: "**Evaluación de la Influencia de la forma y tamaño del palo santo, así como del tiempo y potencia de flujo de vapor en el rendimiento y calidad del aceite esencial del palo Santo (Bursera graveolens) extraído por destilación por arrastre de vapor**", después de sustentar de manera presencial y **habiendo aprobado la Tesis** elaborada por la Bachiller en Ingeniería Química: **CARMEN NAOMI HERRERA PARIASCA** para optar el Título Profesional de **INGENIERA QUÍMICA**, el Jurado Evaluador acuerda calificarla con la **NOTA** de:

DIECIOCHO

(LETRAS)

18

(NÚMEROS)

Lima, 23 de agosto de 2024

Dr. ERAZO ERAZO RAYMUNDO

Presidente

Mg. KARINA LIZETH LOZADA CASTILLO

Miembro

Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO

Asesor

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE

Director de la EPIQ.





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

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000639-2024-D-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es **“Evaluación de la Influencia de la forma y tamaño del palo santo, así como del tiempo y potencia de flujo de vapor en el rendimiento y calidad del aceite esencial del palo Santo (*Bursera graveolens*) extraído por destilación por arrastre de vapor”**, presentada por la bachiller Carmen Noemí Herrera Pariasca para optar el título Profesional de Ingeniería Química, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 14 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 26 de agosto de 2024

Firma de la Asesor _____

Nombres y Apellidos del asesor: Eder Clidio Vicuña Galindo

DNI : 09069542

DEDICATORIA

Agradezco profundamente a Dios, no solo por ser mi guía espiritual, sino también por brindarme la valiosa oportunidad de alcanzar mis metas y objetivos. Además, le agradezco por permitirme cerrar un capítulo más en mi vida, mientras me orienta y guía por el sendero del bien y la rectitud.

A mis padres maravillosos Francisco Herrera Blas y Giovanna Pariasca Jaicore, que son mi faro de amor y sabiduría, que desde el inicio de mi vida me enseñaron el valor del esfuerzo, la perseverancia.

A mis hermanos Steven, Anthony y Leonardo quienes son mi motivación a seguir y ser el mejor ejemplo para ellos. A lo largo de esta travesía académica, ustedes han sido mis compañeros de vida y mis amigos más cercanos. Han estado a mi lado en los momentos de alegría y en las horas de esfuerzo y estudio. Sus risas, palabras de aliento y apoyo inquebrantable han sido un regalo invaluable en mi vida.

A mi abuela Maximina Jaicore Castro, sé que desde el lugar donde te encuentres, estas muy orgullosa de mí, gracias por todo el amor, comprensión, y apoyo incondicional que me brindaste, nunca me olvidaré de ti.

A mis tías, por el apoyo brindado en toda mi vida universitaria.

A mis compañeros de cuatro patas, mis perritos Makoto, Luna, Abril, Loky, Milo, Kuky y Nairobi; fieles compañeros que con su alegría y compañía incondicional han representado un verdadero refugio para mí y, además, han sido una fuente invaluable de consuelo durante aquellos momentos que han sido especialmente difíciles y desafiantes en mi vida.

En este momento culminante de mi vida académica, quiero rendir homenaje a cada uno de ustedes, quienes han estado a mi lado, brindándome ánimo, amor y apoyo en cada desafío. Este logro no es solo mío, sino de todos nosotros, porque han sido parte fundamental de mi viaje. Vuestra

confianza en mí ha sido mi mayor inspiración, y esta tesis es un testimonio de nuestro amor compartido y compromiso mutuo.

Gracias por creer en mí, por secar mis lágrimas en las noches de estudio, por celebrar mis pequeños triunfos y por siempre estar ahí cuando más los he necesitado. Este trabajo está dedicado a ustedes, mi familia, mis amigos más cercanos, mis pilares y mis razones para seguir adelante. Cada página de esta tesis lleva un pedazo de vuestro amor y apoyo, y espero que les haga sentir tan orgullosos como yo me siento de tenerlos en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar mi más genuino y profundo sentido de gratitud, de una manera particularmente especial, hacia la persona que ha sido mi asesor, el Dr. Eder Vicuña Galindo por la valiosa oportunidad que me ofreció para aprovechar su vasto conocimiento científico y su notable capacidad en el campo. Además, estoy profundamente agradecida por toda la paciencia que mostró hacia mí a lo largo de todo el proceso de desarrollo de mi tesis, brindándome su guía constante y apoyo incondicional. El respaldo que me ha brindado, así como la confianza que ha depositado en la calidad de mi trabajo, junto con su notable habilidad para orientar y desarrollar mis ideas, realmente ha constituido un aporte de un valor incalculable para mí. Gracias a esto, pude llevar a cabo de manera efectiva todas las actividades que fueron propuestas a lo largo del desarrollo de esta tesis.

A la ingeniera la Dra. Eliana Jara, por su apoyo, consejos, enseñanza y por haberme orientado y acompañado en el uso de los equipos para el desarrollo de las pruebas experimentales del proyecto.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a los profesores y profesoras de la Escuela Profesional de Ingeniería Química. A ellos les debo una parte fundamental de toda la formación y conocimientos que he adquirido hasta este momento. Su infinita paciencia, su calidad de enseñanza y su inquebrantable dedicación han sido claves en mi proceso educativo y son verdaderamente apreciados.

Por último, a la Escuela de Ingeniería Química y alma mater la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. A la UNMSM-VRIP por el Financiamiento del proyecto: Diseño de un proceso de fraccionamiento de aceites esenciales basado en el modelamiento y simulación con PRO II Y COSMO SAC: caso de estudio aceite esencial de Palo santo. Código: C20070861.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
I. INTRODUCCIÓN.....	4
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2.1. Determinación del problema	8
2.1.1. Descripción del problema.....	9
2.1.2. Delimitación del problema	10
2.2. Formulación del problema.....	11
2.2.1. Problema general.....	11
2.2.2. Problemas específicos	11
2.3. Objetivos.....	11
2.3.1. Objetivo General:	11
2.3.2. Objetivos Específicos	12
2.4. Importancia y alcance de la investigación	12
2.5. Limitaciones de la investigación	13
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
3.1. Marco teórico.....	14
3.1.1. Internacional.....	14
3.1.2. Nacional	18
3.2. Bases teóricas	23

3.2.1.	Materia prima	23
3.2.2.	Características morfológicas	24
3.2.3.	Comercio del Palo Santo	30
3.3.	Aceites esenciales	33
3.3.1.	Definición de los aceites esenciales	33
3.3.2.	Composición y características de los aceites esenciales	35
3.3.3.	Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales	36
3.3.4.	Clasificación de los aceites esenciales	38
3.3.5.	Constitución de los aceites esenciales	40
3.3.6.	Aplicaciones de los aceites esenciales	43
3.4.	Aceite esencial de palo santo.....	47
3.4.1.	Composición química del aceite esencial de palo santo	48
3.4.2.	Propiedades físicas del aceite esencial de Palo Santo	52
3.4.3.	Aplicaciones y usos del aceite esencial de palo santo.....	53
3.5.	Métodos de extracción de aceites esenciales	54
3.5.1.	Extracción por Enfleurage.....	55
3.5.2.	Extracción por solventes	55
3.5.3.	Extracción con fluido supercrítico.....	55
3.5.4.	Extracción por prensado.....	56
3.5.5.	Extracción por Hidrodestilación.....	56

3.5.6.	Extracción por microondas:.....	57
3.5.7.	Extracción por Arrastre con vapor:	58
3.5.8.	Desventajas y ventajas de destilación con vapor de agua frente a otras técnicas de extracción.....	61
3.5.9.	Factores que influyen en la extracción por arrastre con vapor	63
3.6.	Diseño Box Behken	65
3.7.	Definición de términos	67
IV.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	69
4.1.	Hipótesis	69
4.1.1.	Hipótesis General:	69
4.1.2.	Hipótesis Específicos:	69
4.2.	Variables.....	70
4.3.	Operacionalización de las variables	70
V.	MATERIALES Y MÉTODOS	72
5.1.	Área de estudio	72
5.2.	Diseño de la investigación.....	72
5.2.1.	Diseño Box Behnken.....	73
5.3.	Población, muestra y unidad muestral	75
5.4.	Materiales	76
5.4.1.	Descripción del equipo de extracción de aceites esenciales	78

5.5.	Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información	81
5.5.1.	Procedimientos experimentales del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo	81
5.5.2.	Descripción del procedimiento del proceso de extracción.....	82
5.5.3.	Balance de materia para la obtención de aceite esencial	89
5.6.	Análisis estadístico	91
5.6.1.	Análisis de varianza (ANOVA)	91
VI.	RESULTADOS	94
6. 1	Rendimiento del aceite esencial del palo santo	94
VII.	DISCUSIÓN.....	103
7.1.	Influencia de los factores respecto al rendimiento de AE de palo santo	103
7.1.1	Estadística descriptiva para evaluar el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído.....	103
7.1.2.	Anova para evaluar la influencia de los factores en el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído	114
7.1.3.	Diagrama de cajas y bigotes para evaluar la influencia de los factores en el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído del palo santo	120
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
8.1.	Conclusiones.....	127
8.2.	Recomendaciones	129
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	130

X.	ANEXOS.....	135
----	-------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Descripción Taxonómica del Palo Santo</i>	23
Tabla 2.	<i>Grupos funcionales de las moléculas constituyentes de los aceites esenciales</i>	35
Tabla 3.	<i>Composición del aceite esencial de palo santo Tumbes –Perú.....</i>	48
Tabla 4.	<i>Composición del aceite esencial de palo santo- Manabí –Ecuador</i>	49
Tabla 5.	<i>Composición del aceite esencial de palo santo – Ecuador.</i>	49
Tabla 6.	<i>Composición del aceite esencial de palo santo Tumbes- Perú</i>	50
Tabla 7.	<i>Composición del aceite esencial de palo santo Lambayeque – Perú.....</i>	51
Tabla 8.	<i>Composición del aceite esencial de palo santo - México.....</i>	51
Tabla 9.	<i>Comparación de la eficiencia entre distintas RSM: diseño central compuesto (DCC), diseño Box Behnken (DBB), diseño de Doehlert (DD).....</i>	66
Tabla 10.	<i>Número de experimentos necesarios para un DBB de tres factores y tres niveles</i>	74
Tabla 11.	<i>Variables de control para la extracción de aceite esencial.</i>	91
Tabla 12.	<i>Niveles y factores de las variables de operación</i>	92
Tabla 13.	<i>Matriz experimental según el diseño Box Behnken (DBB)</i>	93
Tabla 14.	<i>Rendimiento obtenido de la extracción del AE de palo santo para los diferentes tratamientos según el diseño Box-Behnken.</i>	94
Tabla 15.	<i>Análisis de varianza (ANOVA) de los ensayos del DBB para el rendimiento del AE.</i>	95
Tabla 16.	<i>El componente D-Limoneno obtenido de la extracción del AE de palo santo para los diferentes tratamientos según el Diseño Box-Behnken.....</i>	97

Tabla 17. *Análisis de varianza de la extracción del D-Limoneno obtenido del palo santo según el DBB.* 98

Tabla 18. *El componente α -Terpineol obtenido de la extracción del AE de palo santo mediante la interacción de los parámetros óptimos según el diseño Box-Behnken*..... 99

Tabla 19. *Análisis de varianza del α -Terpineol del AE vs. Tiempo de extracción, potencia, densidad de lecho.*..... 100

Tabla 20. *Valores obtenidos para el diagrama de cajas y bigotes para el rendimiento*..... 121

Tabla 21. *Valores obtenidos para el diagrama de cajas y bigotes del D-Limoneno* 122

Tabla 22. *Valores obtenidos para el Diagrama de Cajas y Bigotes del α -Terpineol* 124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Palo Santo (Bursera graveolens)</i>	24
Figura 2. <i>Corteza de Palo Santo (Bursera graveolens)</i>	25
Figura 3. <i>Hoja de Palo Santo (Bursera graveolens)</i>	27
Figura 4. <i>Flor de Palo Santo (Bursera graveolens)</i>	27
Figura 5. <i>Fruto de Palo Santo (Bursera graveolens)</i>	29
Figura 6. <i>Semilla de Palo Santo (Bursera graveolens)</i>	29
Figura 7. <i>Exportaciones de inciensos y artesanías de la empresa Wanchako</i>	31
Figura 8. <i>Exportaciones de aceites esenciales de la empresa Essential Oils Peru, valor FOB en US\$</i>	32
Figura 9. <i>Exportación del palo de Perú hacia otros países en los años 2017 al 2019</i>	33
Figura 10. <i>Extracción del aceite con solventes</i>	56
Figura 11. <i>Equipo de extracción Soxhlet</i>	57
Figura 12. <i>Aparato Clevenger</i>	57
Figura 13. <i>Extracción por microondas</i>	58
Figura 14. <i>Destilación por arrastre de vapor</i>	60
Figura 15. <i>Representación geométrica de un DBB de tres factores y tres niveles</i>	74
Figura 16. <i>Equipo de extracción de aceite esencial del laboratorio de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la UNMSM</i>	78
Figura 17. <i>Diagrama de flujo para la obtención de aceite esencial de palo santo</i>	81
Figura 18. <i>Reducción de tamaño de partícula del palo santo en forma de astilla</i>	83
Figura 19. <i>Reducción de tamaño de partícula del palo santo en forma de viruta</i>	83
Figura 20. <i>Reducción de tamaño de partícula del palo santo en forma de aserrín</i>	83

Figura 21. <i>Pesado de la astilla y almacenado en la canasta.</i>	84
Figura 22. <i>Pesado del aserrín y almacenado en la canasta.</i>	84
Figura 23. <i>Pesado del aserrín y almacenado en la canasta.</i>	85
Figura 24. <i>Alimentación del sistema de nivel constante y caldera.</i>	86
Figura 25. <i>Regulación del tablero electrónico de comando</i>	86
Figura 26. <i>Separación del aceite esencial e hidrolato</i>	88
Figura 27. <i>Balance de materia para la obtención de aceite esencial de palo santo</i>	89
Figura 28. <i>Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el rendimiento del AE del palo santo.</i>	96
Figura 29. <i>Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el rendimiento del D-Limoneno</i>	99
Figura 30. <i>Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el rendimiento del α – Terpineol</i>	101
Figura 31. <i>Rendimiento del AE acorde a los tipos de tamaño y forma (densidad de lecho) del palo santo.</i>	104
Figura 32. <i>Efecto de la potencia vs rendimiento del aceite esencial de palo santo</i>	106
Figura 33. <i>Efecto del tiempo de extracción vs Rendimiento del aceite esencial de palo santo...</i>	110
Figura 34. <i>Rendimiento composicional del D-limoneno (ml/kg carga) extraído del aserrín, viruta y astilla.</i>	111
Figura 35. <i>Rendimiento composicional del α – Terpineol (ml/kg carga) extraído del aserrín, viruta y astilla.</i>	113
Figura 36. <i>Rendimiento composicional ente el D-limoneno y el α – Terpineol (ml/kg carga) extraído del aserrín, viruta y astilla.</i>	113
Figura 37. <i>Esquema del transporte de masa del aceite esencial.</i>	117

Figura 38.	<i>Esquema del transporte del aceite esencial.</i>	119
Figura 39.	<i>Diagrama de cajas y bigotes del efecto del tamaño y forma de partícula en el rendimiento del AE de palo santo extraído para la viruta, aserrín y astilla</i>	122
Figura 40.	<i>Diagrama de Cajas y Bigotes del proceso de extracción del D-Limoneno para la viruta, aserrín y astilla</i>	123
Figura 41.	<i>Diagrama de Cajas y Bigotes del proceso de extracción del α-Terpineol para la viruta, aserrín y astilla.</i>	125

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A.	Matriz de consistencia	136
ANEXO B.	Cromatografía de gases de aceite esencial del palo santo (<i>Bursera graveolens</i>)	138
ANEXO C.	Composición Química del Aceite Esencial por Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas de las 15 Pruebas Experimentales.....	142
ANEXO D.	Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°1	143
ANEXO E.	Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 1.....	144
ANEXO F.	Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°2	145
ANEXO G.	Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 2.....	146
ANEXO H.	Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°3	147
ANEXO I.	Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 3.....	148
ANEXO J.	Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°4	149
ANEXO K.	Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 4.....	150
ANEXO L.	Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°5	151
ANEXO M.	Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 5.....	152
ANEXO N.	Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°6	153
ANEXO O.	Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 6.....	154

ANEXO P. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°7	155
ANEXO Q. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 7.....	156
ANEXO R. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°8	157
ANEXO S. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 8.....	158
ANEXO T. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°9	159
ANEXO U. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 9.....	160
ANEXO V. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°10	161
ANEXO W. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 10.....	162
ANEXO X. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°11	163
ANEXO Y. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 11.....	164
ANEXO Z. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°12	165
ANEXO AA. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 12.....	166
ANEXO BB. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°13	167
ANEXO CC. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 13.....	168
ANEXO DD. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°14	169

ANEXO EE. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 14.....	170
ANEXO FF. Composición química del aceite esencial de <i>Bursera graveolens</i> por cromatografía de gases – Muestra N°15	171
ANEXO GG. Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 15.....	172
ANEXO HH. Panel Fotográfico	173

**“Evaluación de la Influencia de la Forma y Tamaño del
Palo Santo, así como del Tiempo y Potencia del Flujo
de Vapor en el Rendimiento y Calidad del Aceite
Esencial del Palo Santo (*Bursera graveolens*) Extraído
por destilación por Arrastre de Vapor”**

RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación fue identificar y analizar en profundidad las variables más relevantes que afectan directamente el rendimiento y la calidad del aceite esencial extraído de la planta llamada palo santo, cuyo nombre científico es 'Bursera graveolens'. Este análisis se enfocó en el proceso de destilación mediante arrastre de vapor, considerando variables operacionales: tiempo de extracción, dimensiones y forma del palo santo, densidad de lecho y potencia del vapor; aplicando diseño Box-Behnken y ANOVA, junto con diagramas de Cajas y Bigotes. El estudio estadístico validó la influencia significativa de la potencia de vapor, tiempo de extracción y forma y tamaño (densidad de lecho) de partícula, en el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído. La viruta resultó ser la más efectiva, con un rendimiento del 4.75%, utilizando un flujo del 80% y 90 minutos de extracción, mientras que el aserrín logró un 3.68% bajo condiciones similares. El D-limoneno y α -terpineol fueron más altos en viruta (46.94 y 1.64 ml/kg), luego en aserrín (32.32 y 1.14 ml/kg), y astilla mostró las menores concentraciones (10.67 y 0.45 ml/kg). El tamaño y la forma de la viruta impactaron notablemente en el rendimiento y separación de los compuestos del aceite esencial obtenido.

Palabras clave: Palo santo, extracción de aceite esencial, destilación por arrastre de vapor, parámetros operacionales influyentes.

ABSTRACT

The main objective of this research was to identify and analyze in depth the most relevant variables that directly affect the yield and quality of the essential oil extracted from the plant called palo santo, whose scientific name is 'Bursera graveolens'. This analysis focused on the steam distillation process, considering operational variables: extraction time, dimensions and shape of the palo santo, bed density and steam power; applying Box-Behnken design and ANOVA, together with Box and Whiskers diagrams. The statistical study validated the significant influence of steam power, extraction time and particle shape and size (bed density) on the yield and quality of the extracted essential oil. Wood chips proved to be the most effective, with a yield of 4.75%, using a flow rate of 80% and 90 minutes of extraction, while sawdust achieved 3.68% under similar conditions. D-limonene and α -terpineol were highest in shavings (46.94 and 1.64 ml/kg), then in sawdust (32.32 and 1.14 ml/kg), and woodchip showed the lowest concentrations (10.67 and 0.45 ml/kg). The size and shape of the chips had a significant impact on the yield and separation of the essential oil compounds obtained.

Key words: Palo santo, essential oil extraction, steam distillation, influential operational parameters.

I. INTRODUCCIÓN

La investigación relacionada con los aceites esenciales está atravesando una notable y significativa transformación, impulsada por la amplia variedad de aplicaciones que estos compuestos naturales encuentran en diversos ámbitos, entre los que se destaca el fascinante campo de la medicina. Esta situación ha generado una creciente demanda por la obtención de aceites esenciales de forma que sea tanto eficiente como respetuosa con el medio ambiente, garantizando al mismo tiempo que se adopten prácticas sostenibles a largo plazo. En contraste con lo que se podría esperar, la producción de palo santo en nuestro país se encuentra en el mercado sin haber sido sometida a un proceso que le añada valor agregado. Esto significa que es fundamental llevar a cabo acciones que permitan incrementar su valor comercial. De hecho, los países que han logrado alcanzar niveles más altos de desarrollo económico son precisamente aquellos que están en capacidad de añadir valor significativo a sus productos antes de comercializarlos. Perú se destaca como uno de los países con la mayor megadiversidad en todo el mundo, albergando un impresionante total de 84 de las 114 zonas de vida que han sido documentadas en nuestro planeta. Esta increíble variedad de ecosistemas y biomas indica un enorme potencial para su desarrollo, especialmente en lo que respecta al cultivo de una significativa cantidad de hierbas aromáticas. La mayoría de estas hierbas presentan múltiples usos valiosos que podrían ser explotados en diversas industrias, tales como la farmacéutica, la cosmética, la aromaterapia y muchas otras áreas. No obstante, a pesar de estas oportunidades, todavía no se está aprovechando al máximo el potencial que ofrecen estas propiedades, ya que su extracción se realiza sin la implementación de técnicas modernas y con parámetros que no han sido adecuadamente optimizados. No obstante, es fundamental destacar que a lo largo del desarrollo del proceso de destilación que se lleva a cabo utilizando el método conocido como

arrastre de vapor, surge la circunstancia en la que, , como resultado de una inadecuada supervisión y la ausencia de uniformidad en aspectos clave tales como: el tiempo de extracción, temperatura, forma y tamaño (densidad del lecho), que involucra área superficial y porosidad, así como la potencia de flujo de vapor, no se obtenga un rendimiento deseado provocando una pérdida económica.

Existen diversas técnicas y métodos de extracción, cada uno de los cuales presenta enfoques distintos y características significativas que los hacen únicos en su tipo. El procedimiento de extracción que emplea solventes implica la aplicación de una variedad de sustancias químicas específicas, con el objetivo de aislar los aceites esenciales presentes en la materia prima original. Este método permite, de manera efectiva, la obtención de estos compuestos que poseen propiedades aromáticas y son volátiles, facilitando su captura y uso en diversas aplicaciones. Es altamente eficiente y permite obtener altos rendimientos, sin embargo, plantea preocupaciones sobre residuos químicos y la posibilidad de alterar la composición del aceite. En contraste, la extracción por prensado es un método mecánico que, si bien es más lento y puede producir menor rendimiento, garantiza la calidad del aceite al evitar la exposición a sustancias químicas. El proceso de extracción que se realiza con fluidos supercríticos hace uso del dióxido de carbono que se encuentra en su estado supercrítico con el objetivo de producir aceites de alta calidad y pureza, siendo altamente selectivo y no dejando residuos, aunque su equipamiento especializado puede resultar costoso.

La técnica conocida como extracción con microondas se presenta como una innovación tecnológica que está ganando atención en el campo de la obtención de aceites esenciales, gracias a su notable rapidez y eficiencia en el proceso. No obstante, es importante tener en cuenta que este método puede provocar un aumento significativo en las temperaturas durante la extracción,

lo que puede, a su vez, impactar negativamente la calidad del producto final obtenido. Finalmente, el proceso de destilación por arrastre de vapor, que se considera un método tradicional y que ha sido empleado de manera extensiva en diversas industrias, tiene la ventaja de mantener la integridad y la pureza de los compuestos que se desean extraer. Sin embargo, es relevante señalar que este método puede enfrentar ciertas limitaciones en lo que respecta a la extracción efectiva de algunos componentes específicos que podrían no ser fácilmente recuperados a través de este procedimiento. El aceite esencial de palo santo, que es muy apreciado por sus diversas cualidades aromáticas y terapéuticas, se obtiene principalmente a través de un proceso conocido como destilación por arrastre de vapor. Este método de extracción es crucial y juega un papel fundamental, ya que permite obtener de manera efectiva los componentes predominantes que conforman este valioso aceite esencial. Este aceite esencial destaca por su aroma cálido, maderoso y ligeramente cítrico, caracterizado por componentes clave como el limoneno y α -terpineol. Durante la extracción, la madera de palo santo es reducida a 3 diferentes tipos de forma (aserrín, astilla y viruta), como también de tamaño, configurando una determinada densidad de lecho, luego sometiéndolo al vapor, que actúa como agente transportador, liberando y arrastrando los compuestos volátiles. Posteriormente, la condensación del vapor forma una mezcla de agua y aceite esencial, la cual se separa para obtener el aceite esencial.

En el estudio que se presenta a continuación, se llevará a cabo un análisis detallado y comprensivo acerca de cómo diferentes factores influyen en el procedimiento y la técnica empleados para la extracción del aceite esencial que proviene del palo santo. Entre los diversos elementos que se deben considerar, se encuentran la configuración y las dimensiones del material en cuestión. Estos aspectos serán explicados utilizando las distintas categorías que definen el tamaño de las partículas. En particular, se hará mención a tres designaciones específicas, las

cuales son: viruta, aserrín y astilla. Asimismo, se tendrán en cuenta otros factores fundamentales que son igualmente importantes, tales como la fuerza o potencia del flujo de vapor que se utiliza en el proceso y también el período de tiempo que se destina específicamente a la extracción del aceite. Con la finalidad de analizar y comprender de qué manera los diferentes factores afectan tanto el desempeño como la calidad del aceite esencial que se obtiene, se llevará a cabo la implementación de un diseño experimental que se considera particularmente apropiado para investigar tres variables. Este tipo de diseño es conocido como el diseño de Box-Behnken, el cual es ampliamente utilizado en estudios de este tipo debido a su eficacia en la evaluación de interacciones entre múltiples variables. Para realizar de manera efectiva este proceso, se empleará un equipo altamente especializado que utiliza la técnica de destilación por arrastre de vapor. El objetivo principal de este enfoque es optimizar no solo la cantidad de aceite esencial que se extrae del palo santo, sino también asegurar que su calidad sea la más alta posible.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Determinación del problema

El mercado de productos naturales, que experimenta un crecimiento continuo y notable en sectores como la alimentación, la farmacéutica y la cosmética, ha dado lugar a una demanda bastante significativa para estos tipos de productos. Esta notable tendencia pone de manifiesto un interés cada vez más pronunciado por parte de los consumidores, quienes están eligiendo con mayor frecuencia opciones que son no solo más saludables para su bienestar, sino también sostenibles en términos del impacto ambiental. Con el objetivo de ampliar y diversificar la producción de aceites esenciales, se están utilizando una variedad de especies vegetales diferentes y, al mismo tiempo, se están realizando investigaciones y estudios exhaustivos que integran tecnologías innovadoras. Esto se hace con la finalidad de descubrir nuevas y sorprendentes propiedades en los aceites esenciales, lo cual podría abrir nuevas oportunidades y aplicaciones en el ámbito de los productos naturales. Estas características únicas, que poseen las propiedades mencionadas, se utilizan de manera efectiva para crear y desarrollar aplicaciones novedosas y originales en una amplia variedad de sectores industriales. Sin embargo, hay un reto recurrente que enfrenta la industria en el proceso de producción de aceites esenciales, el cual se manifiesta en la inconsistencia y variabilidad que se observa en los rendimientos obtenidos. Esta variabilidad se encuentra relacionada con distintos factores, como los niveles de producción, el tipo de equipamiento utilizado, las condiciones térmicas del vapor empleado, variables de operación y otros factores adicionales. Aunque hay una variedad de metodologías disponibles que se pueden utilizar para la extracción de aceites esenciales provenientes de diversas partes de las plantas, tales como las hojas, las ramas y los tallos, es importante señalar que la experimentación, a pesar de su valor en el proceso, no es considerada el método más óptimo para lograr un rendimiento

elevado y una calidad superior del producto final. Esta situación resalta de manera clara y evidente la urgente necesidad de realizar una investigación más detallada y minuciosa que analice en profundidad las diversas variables y sus posibles efectos en los distintos entornos de laboratorio en los que se puedan estar desarrollando experimentos. Esta acción facilitaría el avance del proceso de producción del aceite esencial extraído del Palo Santo, al mismo tiempo que contribuiría al desarrollo de un método que sea consistente y confiable. La ejecución de pruebas experimentales podría proporcionar un enfoque firme y efectivo, lo cual beneficiaría a las futuras generaciones de producción de aceite esencial de Palo Santo en la región de Piura, asegurando así su sostenibilidad y calidad a largo plazo. A pesar de que en nuestra nación distintos sectores han comenzado a explorar y desarrollar productos relacionados con aceites esenciales, específicamente en lo que concierne al Palo Santo, es una pena que, desafortunadamente, no se esté utilizando de manera óptima ni se esté aprovechando adecuadamente todo el potencial que estos recursos ofrecen. Por otro lado, se reconoce que nuestro territorio cuenta con condiciones propicias para el cultivo de esta planta en numerosas zonas.

2.1.1. Descripción del problema

A lo largo del tiempo, se han llevado a cabo múltiples investigaciones enfocadas en la extracción de aceites esenciales provenientes de diversas especies vegetales. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha desarrollado un estudio que se centre específicamente en identificar los parámetros que tienen un mayor impacto en el proceso de extracción del aceite esencial extraído del palo santo. En la actualidad, este aceite esencial se obtiene principalmente mediante métodos empíricos, lo que implica que se han dejado de lado las rigurosas metodologías experimentales. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo de investigación es profundizar en el entendimiento de

las variables que influyen en este proceso, así como llevar a cabo evaluaciones que faciliten la obtención de un rendimiento elevado y asegurando la calidad del producto final.

2.1.2. Delimitación del problema

El objetivo fundamental que se persigue en el presente estudio es realizar un análisis detallado que permita la determinación y la identificación de las múltiples variables que ejercen una influencia considerable en el proceso de extracción del aceite esencial que proviene del palo santo. Para llevar a cabo este análisis, se empleará de manera específica una metodología de diseño reconocida en el ámbito científico, conocida como Box-Behnken, la cual es ampliamente utilizada para optimizar procesos. La presente investigación se llevará a cabo con un enfoque geográfico específico, limitándose a la provincia de Ayabaca, que se encuentra en la región de Piura. Este es el área donde se cultiva y se puede obtener el palo santo, el cual es extraído para diversos usos. La atención se centrará principalmente en implementar el método de destilación por arrastre de vapor, el cual será considerado el proceso de extracción más importante y fundamental en esta investigación. Los factores asociados con el diseño Box-Behnken serán elegidos con gran atención y meticulosamente supervisados, e incluirán específicamente los siguientes aspectos: el tiempo necesario para la extracción, la potencia del flujo de vapor utilizado, así como el tamaño de las partículas, teniendo en cuenta también la densidad del lecho. El presente estudio se llevará a cabo en las instalaciones de un laboratorio dentro de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Estas delimitaciones establecidas establecerán un marco que permitirá abordar, de una manera precisa y efectiva, los efectos que las variables independientes tienen en el proceso de extracción del aceite esencial derivado del palo santo, garantizando así que se utilice el enfoque y el rigor necesarios para obtener resultados confiables.

2.2. Formulación del problema

2.2.1. Problema general

¿Cómo determinar y/o identificar las características de las variables que influyan en el rendimiento y calidad del proceso de extracción del aceite esencial de palo santo “*Bursera graveolens*” por destilación por arrastre de vapor?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo desarrollar el proceso experimental de extracción del aceite esencial del palo santo “*Bursera graveolens*” por destilación por arrastre de vapor mediante la aplicación de diseño Box Behnken siguiendo una adecuada matriz experimental?
- ¿Cuál es el efecto de la forma y tamaño del palo santo “*Bursera graveolens*” en el rendimiento y la calidad del aceite esencial extraído mediante destilación por arrastre de vapor?
- ¿Cuáles son las condiciones operacionales del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo “*Bursera graveolens*” que aumenten el rendimiento y la calidad del aceite esencial del palo santo mediante destilación por arrastre de vapor?

2.3. Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general y los específicos:

2.3.1. Objetivo General:

Determinar y/o identificar las características y condiciones de las variables que tengan influencia significativa en el rendimiento y calidad del aceite esencial del palo santo “*Bursera graveolens*” extraído por destilación por arrastre de vapor mediante el diseño Box Behnken y la técnica de Cajas y Bigotes.

2.3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar el proceso de extracción de aceite esencial del palo santo "*Bursera graveolens*" por destilación por arrastre de vapor mediante la aplicación del diseño de Box-Behnken mediante una adecuada matriz experimental.
- Analizar el efecto de la forma y tamaño del palo santo "*Bursera graveolens*" en el rendimiento y la calidad del aceite esencial extraído mediante destilación por arrastre de vapor.
- Determinar las mejores condiciones operacionales del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo "*Bursera graveolens*" que aumenten tanto el rendimiento como la calidad del aceite esencial del palo santo extraído por destilación por arrastre con vapor.

2.4. Importancia y alcance de la investigación

El estudio que se centra en el proceso de obtención del aceite esencial del palo santo a través de la técnica de destilación por arrastre de vapor tiene una relevancia considerable, no solo en el ámbito académico, donde se busca profundizar en el conocimiento de este procedimiento, sino también en el ámbito industrial, donde su aplicación puede tener un impacto significativo en la producción y comercialización de este valioso aceite. En el ámbito académico, este estudio contribuye al conocimiento científico sobre la influencia de la forma y tamaño del material vegetal y los parámetros de operación en el rendimiento y la calidad del aceite esencial. Además, proporciona información valiosa para el desarrollo de técnicas más eficientes y sostenibles de extracción de aceites esenciales por lo que se beneficiarán las comunidades que manejan plantaciones de palo santo al brindarse la oportunidad de darle valor agregado al proceso de extracción del aceite esencial. Al mejorar la productividad del proceso, se aumentaría la demanda de mano de obra en la producción de aceites esenciales, lo que potencialmente podría traducirse en la creación de empleos y oportunidades económicas en las comunidades locales. Además, el

enfoque eco amigable y sostenible del proceso de extracción debe fortalecer los lazos entre las empresas y las comunidades locales. El enfoque eco amigable del proceso de extracción no solo asegura un impacto mínimo en el medio ambiente, sino que también desencadena efectos positivos, como adoptar prácticas sostenibles: la reducción del uso de recursos y la minimización de residuos asimismo estudiar el proceso desde un punto de vista mecánico permite conocer el fenómeno inherente al proceso, esto permitirá un control más efectivo sobre las variables operacionales y una comprensión más profunda de cómo afectan el rendimiento y, calidad de aceite esencial. Aparte de ayudar a aumentar la calidad del producto final, también reduciría la incertidumbre en la operación del proceso, lo que conllevaría a aumentar la productividad, dado que, al tener un conocimiento más preciso del proceso, se ajustaría mejor los valores de las variables del proceso y así se mejoraría la eficiencia técnica.

2.5. Limitaciones de la investigación

A pesar de los resultados obtenidos, es importante destacar algunas limitaciones de esta investigación. En primer lugar, debido a la complejidad y la variabilidad inherente de los procesos involucrados en la extracción de aceites esenciales, es posible que ciertos factores no hayan sido completamente controlados o considerados en el diseño experimental. Además, las condiciones ambientales y las características específicas de la materia prima pueden variar, lo que podría afectar la reproducibilidad de los resultados fuera del contexto experimental. Por último, se debe tener en cuenta que esta investigación se centró específicamente en el palo santo y sus condiciones de extracción, por lo que los hallazgos pueden no ser directamente extrapolables a otras especies botánicas o procesos de extracción.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Marco teórico

En el presente capítulo, se expondrán los antecedentes relevantes que sustentan y enriquecen el desarrollo de esta investigación sobre la extracción del aceite esencial de palo santo. Este apartado está organizado en dos secciones principales: antecedentes internacionales y antecedentes nacionales.

3.1.1. Internacional

- Boutemak et al. (2009). Extraction by Steam Distillation of *Artemisia herba-albs* Essential Oil from Algeria: Kinetic Study and Optimization of the Operating Conditions.

CONCLUSIÓN: La optimización fue realizada utilizando un enfoque que involucró un exhaustivo método de estudio paramétrico, combinado con una cuidadosa planificación de experimentos. Se eligieron los parámetros operativos: masa de artemisia a tratar, caudal de vapor y tiempo de extracción. Las condiciones óptimas de extracción obtenidas mediante el estudio paramétrico corresponden a: una masa de 30 g, un caudal de vapor de 1,65 mL.min⁻¹ y el tiempo de extracción de 60 min. Los resultados revelan que los efectos combinados de dos parámetros, el caudal de agua de vapor y el tiempo de extracción, son los parámetros más significativos. El rendimiento también se ve afectado por la interacción de los tres parámetros. El aceite esencial obtenido en condiciones óptimas fue analizado por GC-MS y en la cual se pudo realizar un estudio cinético.

- Khajeh (2010). Optimization of process variables for essential oil components from *Satureja hortensis* by supercritical fluid extraction using Box-Behnken experimental design.

CONCLUSIÓN: El aceite y los extractos de *Satureja hortensis* cultivados en Irán se extrajeron mediante dióxido de carbono supercrítico y el método de hidrodestilación. Los efectos de varios

parámetros, como presión, temperatura, porcentaje de modificador (metanol) y tiempo de extracción, se investigaron mediante un diseño factorial fraccionado (2^{4-1}). Los resultados mostraron que la presión, temperatura y porcentaje de modificador son significativos ($p < 0,05$), pero se encontró que el tiempo de extracción era insignificante. Se empleó la metodología de superficie de respuesta (RSM), basada en el diseño de Box-Behnken, para obtener las condiciones óptimas de los parámetros significativos (presión, temperatura y porcentaje de modificador). Las condiciones óptimas se pudieron obtener a una presión de 35,0 MPa, una temperatura de 72,6 °C y un 8,6 % (v/v) de metanol. Los principales componentes extraídos utilizando SFE fueron γ -Terpineno (35,5%), Timol (18,2%) y Carvacrol (29,7%).

- Arango et al. (2012). Optimización del rendimiento y contenido de timol de aceite esencial de orégano silvestre obtenido por arrastre con vapor.

CONCLUSIÓN: Mediante el uso de la técnica estadística conocida como ANOVA, se ha determinado que únicamente el factor relacionado con la densidad del lecho presenta una influencia significativa en el rendimiento del AE que se ha extraído. Los autores ofrecen una explicación para este fenómeno, que se puede resumir de la siguiente manera: "La razón detrás de esto radica en que existe una cantidad significativamente mayor de materia prima disponible en el lecho de extracción del equipo. Como consecuencia de esta situación, se genera un incremento en el nivel de contacto entre el vapor y las hojas de orégano en relación a cada unidad de volumen procesada." Como consecuencia de esta particular situación, la gran mayoría del vapor que se genera y se ofrece se utiliza de manera efectiva para facilitar el proceso de ruptura de las células que encierran el aceite esencial. Esto, a su vez, permite que dicha sustancia se evapore de manera adecuada, asegurando así que se obtengan los mejores resultados en su extracción. En contraste, en circunstancias en las que se presenta una falta de material vegetal en relación con cada unidad de volumen del lecho, el vapor tiene la tendencia a optar por trayectorias

preferidas. Estas trayectorias son aquellas en las que encuentra una menor cantidad de obstáculos que podrían interrumpir su camino durante su desplazamiento. Esta particular dinámica de interacción limita la capacidad del vapor para establecer un contacto ideal y efectivo con las hojas de orégano, lo cual, a su vez, resulta en una notable reducción de la eficiencia en el proceso de extracción del aceite esencial que se obtiene de dicha planta.

- Galadima et al. (2012) Optimization of Steam Distillation of Essential Oil of *Eucalyptus tereticornis* by Response Surface Methodology.

CONCLUSIÓN: Otra variable o factor influyente en el proceso de extracción es el flujo de vapor, así que involucraron este factor en el proceso de optimización del rendimiento del AE; obteniendo que un flujo de 0,032 kg/h y 78 ml/hr respectivamente. La posible explicación para esta influencia es que el flujo de vapor al aumentar su valor aumenta la turbulencia en el lecho y así propicia una mayor interacción de vapor con la planta, lo que puede favorecer una mayor rapidez del transporte del AE de la planta al vapor; pero también puede tener un efecto negativo al reducir el tiempo de contacto de vapor con planta.

- Zheljazkov et al. (2013) Distillation time effect on lavender essential oil yield and composition.

CONCLUSIÓN: El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la duración del tiempo de destilación (DT) sobre el rendimiento y la composición del aceite esencial de lavanda cuando se extraen de flores secas. Por lo tanto, se ensayaron los siguientes tiempos de destilación (DT) en este experimento: 1,5 min, 3 min, 3,75 min, 7,5 min, 15 min, 30 min, 60 min, 90 min, 120 min, 150 min, 180 min y 240°C. Min. El rendimiento del aceite esencial (rango 0,5-6,8%) alcanzó un máximo a 60 min DT. Las concentraciones de cineol (rango 6,4-35%) y fenchol (rango 1,7-2,9%) fueron más altas en el 1,5 min DT y disminuyó con el aumento de la longitud de la DT. La concentración de alcanfor (rango 6,6-9,2%) alcanzó un máximo a 7,5-15 min DT, mientras que

la concentración de acetato de linalool (rango 15-38%) alcanzó un máximo a 30 min DT. Los resultados sugieren que el rendimiento de aceite esencial de lavanda no puede aumentar después de 60 min DT. El cambio en el rendimiento de aceite esencial y las concentraciones de cineol, fenchol y acetato de linalol como cambios DT fueron modelados muy bien por el modelo de regresión no lineal asintótico.

- Del Valle y Zambrano (2015). Extracción de aceites esenciales de plantas autóctonas menta (*Mentha piperita* L.), palo santo (*Bursera graveolens*), hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) de la provincia de Manabí, con potenciales de industrialización.

CONCLUSIÓN : Se llevó a cabo la extracción de aceites esenciales utilizando dos técnicas distintas, las cuales son: el arrastre de vapor y la extracción por medio de un solvente. Posteriormente, realizamos un análisis comparativo detallado entre ambos métodos para evaluar su efectividad. Como resultado de este análisis, concluimos que el método de arrastre de vapor demostró ser significativamente más eficiente en comparación con el método de extracción por solvente. La razón detrás de esta superioridad se debe a que, con el arrastre de vapor, la separación de las dos fases resultantes fue mucho más prominente. Por otro lado, el segundo método no ofreció resultados tan destacados, ya que tanto el aceite esencial como el solvente utilizado eran compuestos orgánicos que, al estar en contacto, tendían a permanecer en solución, lo que complicó el proceso. Este inconveniente llevó a la necesidad de implementar operaciones adicionales, tales como la centrifugación, para intentar separar el aceite de manera efectiva; sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, el rendimiento obtenido seguía siendo muy reducido. Además de lo mencionado anteriormente, es importante señalar que los gastos asociados a la extracción utilizando solventes resultaron ser más elevados en comparación con los costos implicados en el proceso de extracción mediante arrastre de vapor.

- Palacios y Zúñiga (2022). Extracción de aceite esencial de lavanda (*Lavándula angustifolia*) mediante la metodología de arrastre de vapor.

CONCLUSIÓN: Se realizó de manera efectiva el proceso destinado a la extracción del aceite esencial de lavanda, empleando para ello el método conocido como arrastre de vapor, que es una técnica ampliamente utilizada en la obtención de aceites esenciales. Además, se mejoró el proceso de extracción mediante la implementación de un diseño experimental conocido como superficie de respuesta. Este diseño permitió analizar la interacción entre la masa del material, el disolvente utilizado y el tiempo de extracción. Para realizar este estudio, se estableció un intervalo de tiempo que variaba entre 60 y 150 minutos. Asimismo, se sugirió una relación de entre 1:3 y 1:5 para la proporción de material en relación con el agua destilada utilizada en el proceso. La combinación más favorable que se ha logrado obtener es aquella que presenta una relación de 1:5, la cual se establece con un tiempo de procesamiento de 150 minutos y un rendimiento alcanzado del 0,6499%.

3.1.2. Nacional

- García (2002) Características del aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens* (H.B.K.) Triana & Planchon) obtenido por dos métodos de destilación.

CONCLUSIÓN: En la presente investigación, se llevó a cabo la extracción del aceite esencial de palo santo mediante dos métodos: hidrodestilación y arrastre por vapor. Durante el proceso, se variaron los tamaños de partículas, dividiéndolos en Fracción R40, Fracción R60 y Fracción P60. Asimismo, se experimentó con diferentes tiempos de extracción, estableciendo intervalos de 20, 40 y 60 minutos, respectivamente. Los resultados indicaron un rendimiento superior en la extracción de aceite esencial utilizando el método de hidrodestilación, con un porcentaje de rendimiento del 1,66%. En contraste, el método de arrastre por vapor demostró un rendimiento

ligeramente inferior, obteniendo un porcentaje del 0,98%. Se evaluó la influencia del tiempo y tamaño de partícula, d_p : Partícula fina: $< 0,25$ mm; Partícula media: $0,25 \leq d_p \leq 0,50$ mm; Partícula grande: $> 0,50$ mm. Operando el proceso por arrastre por vapor se obtuvo la siguiente expresión cuantitativa del Rendimiento = $1,2033 + 0,555d_p - 0,3283d_p^2 + 0,3d_p \times \text{tiempo}$. Derivándose de esta ecuación que para mayor d_p y tiempo se obtiene un mayor rendimiento

- Cruzado (2012). Efecto de la presión de vapor y tiempo de extracción en el rendimiento y características fisicoquímicas de aceite esencial de cedrón (*Aloysia triphylla*).

CONCLUSIÓN: Las pruebas fueron realizadas utilizando un equipo diseñado específicamente para la extracción por arrastre de vapor. Este sistema tiene la capacidad de regular y ajustar de manera precisa los distintos parámetros operacionales que son fundamentales para el proceso de extracción, tales como la presión y la temperatura, asegurando así una operación eficiente y efectiva. Con el propósito de llevar a cabo una adecuada planificación del experimento, se optó por utilizar el diseño conocido como Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR). En este diseño experimental, se consideraron y aplicaron dos variables operacionales cruciales: la presión manométrica, que se refiere a la presión relativa medida en un manómetro, y el tiempo necesario para la extracción del aceite de cedrón, un proceso que busca maximizar la obtención de este aceite esencial. Se realizó un trabajo experimental en el que se aplicaron presiones que oscilaron entre 101,325 kPa y 202,65 kPa, mientras que la duración de este trabajo varió entre un mínimo de 50 minutos y un máximo de 100 minutos. Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el software de estadística denominado STATISTIC 7,0, a través de un diseño conocido como Superficie de Respuesta. En este análisis, se aplicó un nivel de significancia establecido en 0,05 para evaluar ambas variables de respuesta. A partir de los resultados, se verificó que hay una influencia notable de dos factores: la presión y el tiempo de proceso. Se observó que, al

aumentar la presión y el tiempo, se logra un mayor rendimiento del producto, así como un aumento en su índice de refracción. Por el contrario, al disminuir tanto la presión como el tiempo, se detecta un incremento en el índice de carbonilo. En una perspectiva alternativa, se llevó a cabo el proceso de obtención de los valores óptimos mediante la técnica de superposición de los gráficos de contorno. Este enfoque permitió establecer las condiciones ideales para tres diferentes parámetros: el rendimiento, el índice de refracción y el índice de carbonilo. Las condiciones específicas fueron las siguientes: para una presión que oscilaba entre 140 y 160 kPa, el tiempo de operación se fijó en un rango de 95 a 100 minutos; para una presión de entre 180 y 200 kPa, el tiempo requerido fue de 80 a 100 minutos; y, finalmente, para una presión que fluctuaba entre 100 y 120 kPa, el tiempo estipulado fue de 50 a 60 minutos.

- Cárdenas (2014). Determinación de parámetros de operación para la destilación por arrastre con vapor del agua del aceite esencial de molle (*Schinus molle* Linneo) en el equipo modular de extracción de aceites esenciales de la FIQM- UNSCH.

CONCLUSIÓN: Se ha llevado a cabo un estudio experimental que involucra tres factores específicos en la producción de aceite de molle, utilizando como materia prima la semilla de esta planta. El caudal del flujo de vapor de agua que se inyecta en el proceso se establece en cuatro niveles distintos. Además, la altura del lecho de carga se evalúa en dos diferentes niveles. Por otro lado, el grado de trituración de la semilla de molle se analiza en dos niveles también. Con el objetivo de determinar el tiempo óptimo que permite una extracción eficiente, se lleva a cabo un análisis exhaustivo y una interpretación detallada de los resultados experimentales correspondientes a cada una de las combinaciones factibles que se derivan de estas variables. Las condiciones ideales que se necesitan para llevar a cabo la extracción del aceite esencial de molle, utilizando el método de arrastre con vapor de agua a escala de planta piloto, para un lote que tiene un peso de 20,00 kg por cada batch, son las siguientes: se requiere que el flujo másico del vapor

de agua sea superior a 5,51 kg por hora, y que el tamaño de las partículas sea de aproximadamente 1,73 mm, lo cual es equivalente al diámetro promedio de la semilla de molle.

- Valdés (2017). Optimización del rendimiento y determinación del contenido de limoneno del aceite esencial de flavedo de mandarina.

CONCLUSIÓN: Se realizó una optimización en el rendimiento del aceite esencial obtenido del flavedo de mandarina durante el proceso de extracción que emplea la técnica de arrastre de vapor. En este proceso, las variables que se controlaron de manera independiente fueron tanto la presión de operación como el tiempo dedicado a la extracción, mientras que el rendimiento del aceite se consideró como la variable dependiente que se evaluó en función de las anteriores. Los parámetros ideales fueron establecidos a través del análisis realizado con un modelo matemático, utilizando específicamente el método de superficie de respuesta. Este proceso se llevó a cabo con la ayuda del software Statgraphics Centurión XVI.I. El objetivo principal era maximizar las condiciones más favorables para la extracción, lo que resultó en la obtención de una presión de 14 psi, un tiempo de extracción que alcanzó los 114 minutos y un rendimiento producido que se calcula en un 0.40%. La cantidad de limoneno presente en la muestra se analizó utilizando el método de Cromatografía de Gases acoplada a un Espectrómetro de Masas, y como resultado de este análisis se obtuvo una concentración de limoneno del 90.80%.

- Bermudo (2019) Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de extracción de aceites esenciales.

CONCLUSIÓN: Se llevó a cabo un proceso minucioso para extraer el aceite esencial del eucalipto utilizando un lote de 3.00 kg por cada extracción, empleando las hojas de esta planta. Durante el proceso, se trabajó con cuatro niveles específicos de flujo de vapor, que fueron 50%, 60%, 80% y 90%. Además, se realizaron ajustes en la altura de carga del lecho, que se estableció

en cuatro diferentes medidas: 15 cm, 30 cm, 45 cm y 60 cm. También se consideró el tamaño de las partículas, utilizando tamaños de 10 cm, 5 cm, 2.5 cm y 1.25 cm. Para determinar el tiempo óptimo de extracción, se evaluaron diferentes duraciones, que incluyeron 30 minutos, 45 minutos, 60 minutos y 75 minutos. Como resultado de este estudio, se concluyó que las condiciones ideales para la extracción del aceite esencial del eucalipto mediante arrastre con vapor de agua eran un porcentaje de flujo de vapor de agua del 81.4%, un tamaño de partícula de 1.25 cm y una altura de carga del lecho que correspondía a la mitad del diámetro del tanque de extracción, que medía 32 cm en su columna vertical. El tiempo óptimo de operación para conseguir los mejores resultados fue de 60 minutos, lo que permitió obtener un rendimiento de 0.033 kg por lote de aceite esencial a partir de las hojas de eucalipto.

- Puestas et al. (2022). Rendimiento de aceite esencial a partir de madera de *Bursera graveolens*: Aprovechamiento de astillas, viruta y aserrín.

CONCLUSIÓN: El propósito de la investigación que se lleva a cabo en este momento fue establecer de manera precisa el rendimiento del aceite esencial que se puede obtener a partir de la madera seca perteneciente a la especie forestal conocida como palo santo, cuyo nombre científico es *Bursera graveolens*. Para llevar a cabo el proceso de extracción, se utilizaron tres distintos tipos de partículas que variaban tanto en su forma como en su tamaño. Estas partículas incluían aserrín, viruta y astillas, las cuales estaban clasificadas con dimensiones específicas de 2 centímetros, 1 centímetro y 0,5 centímetros, respectivamente. Se utilizó el método conocido como arrastre por vapor para llevar a cabo la extracción del aceite esencial, utilizando para ello un equipo destilador de tipo Dual que tiene una capacidad para contener hasta 20 litros de agua. Los resultados obtenidos revelaron que, de la cantidad total de madera seca que fue colectada y que luego pasó por un proceso de transformación, únicamente el 66,24% de esta madera se encontraba en condiciones ideales y adecuadas para llevar a cabo el estudio.

Lamentablemente, se perdió el 33,76% restante, principalmente debido a la presencia de impurezas tanto externas como internas, así como a los métodos artesanales que fueron utilizados durante su proceso de transformación. En conclusión, al evaluar las cinco muestras analizadas, se determinó que las virutas y el aserrín exhibieron el rendimiento más alto en la extracción de aceite esencial, alcanzando volúmenes de 13,76 mL/kg y 14,53 mL/kg, respectivamente. Se llega a la conclusión de que, dado que hay una mayor área de la madera seca de palo santo expuesta al vapor, esto facilita la extracción de una cantidad superior de aceite esencial, lo que a su vez impacta de manera directa y significativa en el rendimiento del proceso.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Materia prima

Palo Santo

El palo santo, conocido científicamente como "*Bursera graveolens*", es un tipo de árbol que forma parte de la familia botánica de las Burseráceas. Este árbol se encuentra de manera natural en los bosques situados en el norte del Perú, con una presencia notable en varias regiones, específicamente en los departamentos de Cajamarca, Lambayeque, Piura y Tumbes. En la tabla 1, es posible observar con detalle la descripción taxonómica correspondiente al palo santo, un árbol que es conocido por sus propiedades aromáticas y su uso en diversas tradiciones culturales.

Tabla 1.

Descripción Taxonómica del Palo Santo

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta (plantas con flores)
Clase	Dicotiledónea
Orden	Sapindales
Familia	Burseraceae

Género	Bursera
Especie	Graveolens
Nombre científico	<i>Bursera graveolens</i>
Nombre común	Palo Santo
Zona de vida	Monte espinoso premontano tropical, matorral desértico de monte espinoso tropical
Distribución	Mayormente se distribuye a lo largo de la costa peruana, en Tumbes, Piura, Lambayeque, Cajamarca, La Libertad. (Puescas 2018)

Nota. Elaboración propia

3.2.2. Características morfológicas

El árbol de B. El "graveolens" es una especie de planta que se clasifica como caducifolia, lo que significa que sus hojas caen en una determinada época del año. Esta planta tiene la capacidad de crecer hasta alcanzar impresionantes alturas que pueden llegar a ser de hasta 15 metros. Además, se caracteriza por tener una corteza que presenta un atractivo color morado grisáceo. Su tronco tiene una forma cilíndrica, mientras que su copa se desarrolla en una forma globosa, lo que le da un aspecto distintivo y notable (Medina-Lemos, 2008). La copa tiene la capacidad de alcanzar un impresionante diámetro de hasta 12 metros, y cuando se la frota suavemente con las manos, se experimenta una sensación extremadamente placentera y refrescante que resulta muy gratificante. (Puescas, 2010).

Figura 1.

Palo Santo (Bursera graveolens).



Nota. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (2019).

El fuste, que se caracteriza por tener una forma cilíndrica, comienza a ramificarse a una altura de 2 metros desde el nivel del suelo. La parte exterior de la corteza se caracteriza por tener una superficie que parece ser irregular y áspera al tacto. Esta superficie presenta diversas protuberancias que se desarrollan y forman con el paso del tiempo. Además, el color de esta corteza varía desde un tono azulado hasta un pardo cenizo cuando se trata de ejemplares jóvenes, y adopta un tono marrón más oscuro en aquellos individuos que han alcanzado la adultez. Se puede observar la existencia de glándulas resiníferas que tienen la capacidad de exudar una resina que presenta un color entre blanco y amarillento, la cual emana un aroma distintivo que recuerda al alcanfor o al incienso. (Aguirre, 2012)

Figura 2.

Corteza de Palo Santo (Bursera graveolens).



Nota. Proyecto Palo santo, (UTPL, 2015).

Las raíces de esta planta están notablemente bien desarrolladas y poseen la capacidad de adaptarse y prosperar en una amplia variedad de tipos de suelo. Esto incluye no solo suelos pedregosos y rocosos, sino también aquellos que son arenosos, así como suelos que son sueltos y ligeros, que pueden contener componentes como limo, arena y arcilla. Esta característica permite a la planta crecer en diversas condiciones, asegurando su supervivencia y éxito en diferentes entornos. El objeto en cuestión exhibe una tonalidad gris en su superficie, y su fragancia es tan intensa y penetrante que puede detectarse incluso a una distancia de hasta 30 metros. Adicionalmente, es importante mencionar que este fuerte aroma puede llegar a quedar impregnada tanto en la ropa como en la piel de las personas que se encuentren expuestas a él. La raíz de la planta posee una notable capacidad para infiltrarse y atravesar incluso las superficies más duras como las rocas. Además, es evidente que esta especie muestra una gran habilidad para adaptarse y prosperar en áreas donde la humedad es limitada, así como también se puede observar cómo su raíz se asienta firmemente en entornos que son extremadamente ásperos y difíciles. (Puescas, 2010).

Las hojas que estamos considerando tienen una estructura compuesta, lo que significa que están formadas por múltiples partes. Pueden presentar entre tres a cuatro pares de pequeños folíolos, que son las divisiones de la hoja, pero también existen casos en los que estas hojas pueden alcanzar hasta nueve folíolos en total. Además, es importante destacar que los bordes de estas hojas presentan una textura aserrada y dentada, lo que les da un aspecto característico y distintivo. Las hojas de esta planta son de tamaño pequeño y están compuestas por dos folíolos, presentando una abundante cantidad de ramas primarias y secundarias que, además, son altamente flexibles, pero al mismo tiempo pueden ser bastante frágiles y susceptibles a romperse fácilmente. Tienen unas dimensiones que, en promedio, alcanzan una longitud de 12 centímetros y un ancho de 7 centímetros. Las hojas presentan un sabor que puede describirse como amargo y

que también recuerda a un metal, específicamente a la ironía de lo ferroso. El color que presenta esta materia abarca una gama que se extiende desde un tono de verde oscuro que es bastante pálido hasta un matiz que se asemeja a un verde amarillento. (Puescas, 2010).

Figura 3.

Hoja de Palo Santo (Bursera graveolens).



Nota. Bursera graveolens (Un mundo ecosostenible, 2019).

Las flores poseen un total de cinco pétalos que son de color blanco, mientras que tres de ellos presentan un tono amarillento. Además, estas flores alcanzan una longitud que varía entre 11 y 13 centímetros y cuentan con diez estambres que completan su estructura reproductiva. El tamaño más grande que puede alcanzar el diámetro de una flor es de hasta 2 centímetros. Una vez que la flor ha completado su ciclo de vida y ha marchitado, se forma una cápsula que presenta un color que varía entre marrón y verdoso. Esta cápsula tiene unas dimensiones que oscilan entre 3,5 y 5,0 centímetros de longitud y se caracteriza por poseer tres alas con una forma semicircular que están compuestas de una textura parecida al papel, lo que les confiere un aspecto apergaminado. (Hurtado, 2014).

Figura 4.

Flor de Palo Santo (Bursera graveolens).



Nota. Palo santo (Naturalista, s.f).

El fruto en cuestión es clasificado como una drupa que tiene una forma ligeramente aplastada y presenta un color que puede describirse como verde con tonalidades rojizas. Su tamaño es ovalado y mide aproximadamente 1 centímetro de longitud. Con tres puntas. (Aguirre, 2012). Conforme avanza el proceso de maduración, el objeto en cuestión va adquiriendo un tono rojizo y, al llegar a su tamaño pleno, alcanza aproximadamente una longitud de 1.5 centímetros. Además, esta formación cuenta con una estructura que le proporciona soporte, manteniéndolo firmemente sostenido en la rama donde se encuentra. El gusto que posee es una mezcla de dulce y ácido, lo que lo convierte en una experiencia de sabor peculiar. Sin embargo, este alimento no es adecuado para el consumo humano, ya que puede resultar perjudicial para la salud de las personas. A pesar de esto, es considerado como un excelente tipo de alimento para los animales que viven en las cercanías, quienes pueden beneficiarse de sus propiedades nutricionales. (Puecas, 2003)

Figura 5.

Fruto de Palo Santo (Bursera graveolens).



Nota. Proyecto Palo santo (UTPL, 2015).

Las semillas que son características de la especie que comúnmente se conoce como palo santo suelen presentar una longitud media que fluctúa entre 6 y 8 milímetros. Además, estas semillas se distinguen por su atractivo color marrón brillante, mientras que la parte superior de cada una presenta un distintivo tono rojizo, complementado por una ranura que también muestra un color diferente. La propagación de esta especie se lleva a cabo a través de sus semillas, tal y como se menciona en el estudio realizado por Puescas en el año 2010.

Figura 6.

Semilla de Palo Santo (Bursera graveolens).



Nota. Palo santo seeds. (Green Leave Perú S.A, 2019).

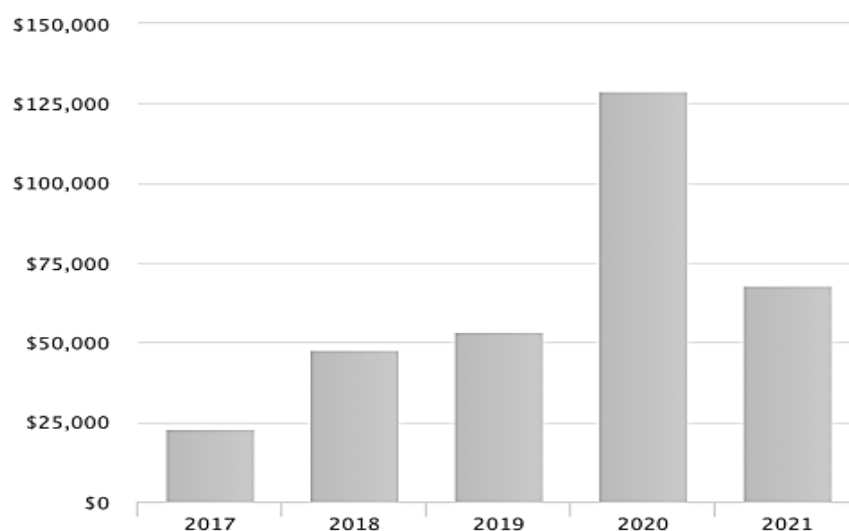
3.2.3. Comercio del Palo Santo

A. Comercio del Palo Santo en el Perú

El palo santo, una especie de árbol conocida por sus propiedades aromáticas y místicas, está comenzando a adquirir una importancia creciente en el ámbito comercial del Perú. En este contexto, se ha iniciado un ambicioso proyecto en la región de Tumbes, cuyo objetivo primordial es implementar un manejo y un desarrollo sostenible que utilice la madera seca del palo santo. Este esfuerzo no solo busca contribuir a que esta especie sea retirada de la clasificación de peligro crítico, sino que también tiene la finalidad de fortalecer el desarrollo académico a través de diversas investigaciones y estudios relacionados. (Fuente: Puestas M.) 2017). Huamán M. En el año 2016, se llevó a cabo un exhaustivo estudio con el propósito de evaluar la viabilidad de llevar a cabo la exportación de la madera de palo santo. Durante esta investigación, se descubrió que un significativo 44 % de la madera de palo santo que se exporta se destina a Estados Unidos. Además, se identificó que los otros dos países que también reciben esta madera son México y Bangladesh, aunque en cantidades menores. La compañía conocida como Wanchako ha decidido emplear el palo santo como su materia prima, asegurándose al mismo tiempo de utilizar este recurso de manera sostenible y responsable. Esta organización se dedica a la exportación de una variedad de productos, incluyendo artesanías elaboradas y inciensos que tienen como base el palo santo, a diversos mercados en Estados Unidos, Europa y Asia, tal como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7.

Exportaciones de inciensos y artesanías de la empresa Wanchako

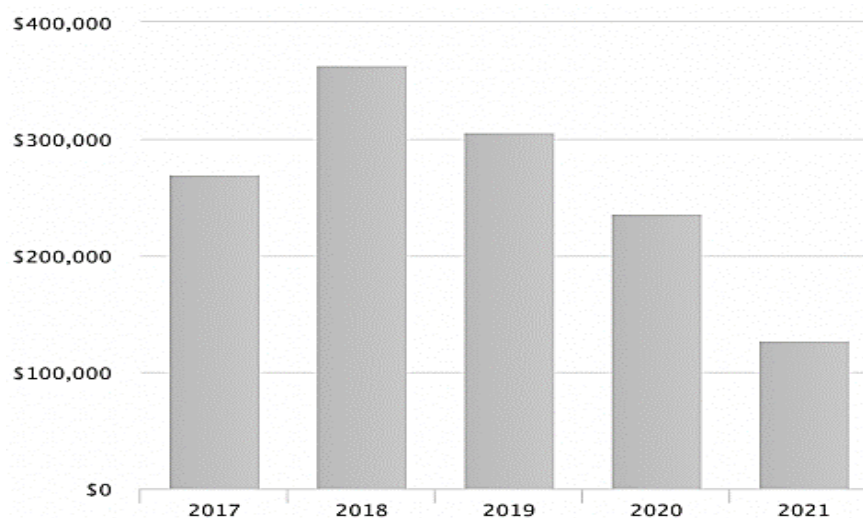


Nota. Veritrade: <https://www.veritradecorp.com/es/>)

Se ha conseguido proporcionar un valor adicional significativo al comercio del palo santo, especialmente a través de la exportación de sus preciados aceites esenciales. Un ejemplo de esto se puede observar en el año 2018, cuando la empresa Essential Oils Peru (Eop Peru) logró exportar aceites esenciales con un valor FOB que alcanzó los 294,120 dólares hacia mercados en Estados Unidos, Canadá y Alemania. A lo largo de los últimos cinco años, esta empresa ha conseguido exportar un impresionante total que asciende a 980,932 dólares, reflejando el creciente interés y la demanda por estos productos en el ámbito internacional. (Figura 8).

Figura 8.

Exportaciones de aceites esenciales de la empresa Essential Oils Peru, valor FOB en US\$

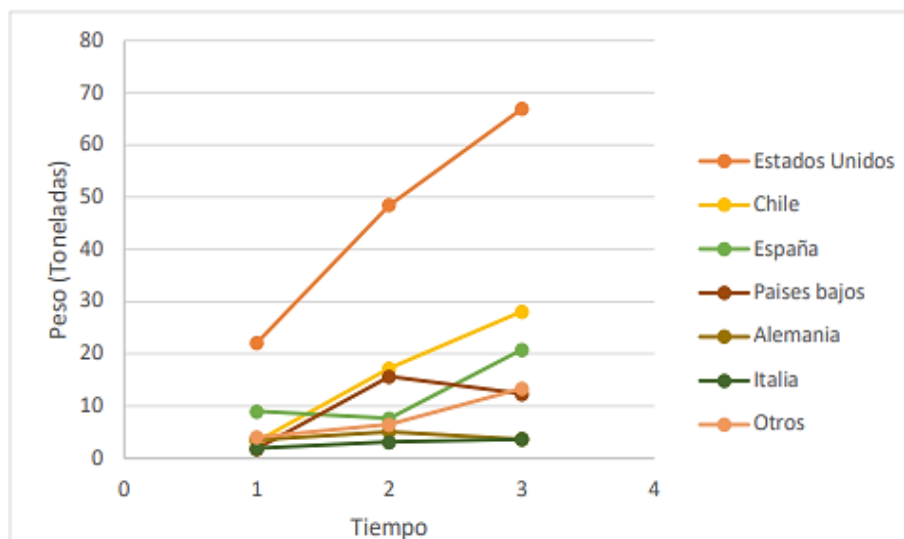


Nota. Veritrade: <https://www.veritrade.com/es/>

El aceite extraído de palo santo se encuentra incorporado en una variedad de productos que se ofrecen en el mercado, y este aceite se relaciona con diversas categorías, incluyendo materias primas y productos intermedios utilizados en procesos industriales. Pinchar. Los productos conocidos como químicos farmacéuticos que se encuentran en un estado semi-elaborado están clasificados bajo la subpartida arancelaria 3301.29.90.00, de acuerdo con la normativa y el sistema de clasificación de la SUNAT. No se ha logrado localizar información precisa acerca de la exportación específica de aceite de palo santo. Esto se debe a que es muy probable que dicho aceite se envíe en volúmenes reducidos, lo cual sugiere que solo unas pocas empresas de mensajería internacional están ocupándose de su distribución. Estas empresas, lamentablemente, no proporcionan datos detallados sobre las cantidades que son exportadas. No obstante, es importante señalar que Perú Exporta TV llevó a cabo un exhaustivo estudio de mercado que se centró en las exportaciones del palo santo durante el período comprendido entre los años 2017 y 2019. (Figura 9).

Figura 9.

Exportación del palo de Perú hacia otros países en los años 2017 al 2019



Nota. Peru Exporta TV: <https://www.peruexporta.tv/>

3.3. Aceites esenciales

3.3.1. Definición de los aceites esenciales

Según la investigación realizada por Bandoni en el año 2000, se determina que los aceites esenciales no son simplemente sustancias únicas, sino que en realidad constituyen mezclas complejas compuestas por diversos componentes volátiles que interactúan entre sí. Estos compuestos que estamos mencionando son el resultado directo de un proceso conocido como metabolismo secundario, el cual tiene lugar en las plantas en su búsqueda por adaptarse y sobrevivir en su entorno. En el análisis detallado de la composición química que caracteriza a estos aceites, se puede observar que esencialmente están compuestos en su mayoría por hidrocarburos, los cuales son un tipo específico de compuestos que pertenecen al grupo conocido como terpenos. Además de lo mencionado anteriormente, existen también compuestos que contienen oxígeno y que presentan un peso molecular relativamente bajo. Entre estos compuestos

se incluyen diversos tipos de alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos, los cuales se caracterizan por sus propiedades químicas únicas y su importancia en diferentes procesos químicos y bioquímicos. Todos estos componentes juegan un papel fundamental en la entrega del distintivo y característico aroma que se asocia a los aceites esenciales, lo que los convierte en productos verdaderamente únicos y diferenciados en su clase. Los metabolitos secundarios que poseen características volátiles presentan una distribución bastante limitada en el entorno natural, ya que se encuentran restringidos principalmente a ciertos tipos de plantas que son comúnmente referidas como "aromáticas". En algunos casos, su presencia se puede observar únicamente en unas pocas especies o incluso en subespecies particulares. Por esta razón, estos metabolitos son considerados como una expresión única y distintiva del organismo que los produce. Se les atribuye una amplia gama de funciones específicas que son relevantes en su contexto biológico, lo que sugiere que deben tener un significado biológico significativo. Esto se debe a que estos compuestos son sometidos a procesos de biosíntesis y biodegradación, lo que evidencia su importancia en el ciclo de vida de las plantas que los contienen. La composición de su estructura se encuentra compuesta por moléculas de naturaleza aromática, así como por partículas que poseen características energéticas. Estas sustancias son altamente volátiles y presentan una notable sensibilidad tanto a la radiación solar como a las variaciones drásticas en la temperatura ambiental. Se caracterizan por ser de un peso ligero y no contienen grasas, además son insolubles en agua, pero presentan una ligera solubilidad cuando se encuentran en vinagre. Se disuelven de manera eficaz en alcohol y se combinan de forma excelente con ceras, grasas y diferentes tipos de aceites de origen vegetal. (Hernández ,2005).

Los aceites esenciales son compuestos aromáticos que se obtienen mediante procesos de extracción de diversas partes de las plantas. Estas partes pueden incluir las raíces, como es el caso del jengibre, el sándalo, la valeriana y la cúrcuma; también se puede extraer de los rizomas,

específicamente del jengibre. Además, se obtienen de la madera, como el alcanfor y la canela; de las hojas, de plantas como la albahaca, el eucalipto, la hierbabuena y la menta; así como de los frutos, donde encontramos la nuez moscada, el perejil y la pimienta. Finalmente, las flores también son una fuente importante de aceites esenciales, con ejemplos que incluyen la lavanda, la manzanilla, el tomillo y la rosa. La proporción de aceite que se encuentra en estas plantas varía y es influenciada por el tipo específico de planta en cuestión. Es importante destacar que aquellas plantas que poseen el mayor potencial para la producción de aceites esenciales son aquellas que pertenecen a la familia botánica de las Labiadas. Según un estudio realizado por la Universidad Nacional del Nordeste en 2012, dentro de esta familia se pueden incluir diversas especies conocidas como la menta, el tomillo, el romero, la lavanda y el orégano, entre otras variedades destacadas. (Arraiza 2012).

3.3.2. Composición y características de los aceites esenciales

La disposición y estructura química de los aceites esenciales es compleja, ya que los metabolitos volátiles presentes pueden organizarse y clasificarse según sus grupos funcionales. Este proceso de clasificación se ilustra de manera detallada en la tabla 2.

Tabla 2.

Grupos funcionales de las moléculas constituyentes de los aceites esenciales

GRUPO	NATURALEZA	EJEMPLO
HIDROCARBUROS	Terpénicos	Limoneno, α terpineno
	Aromáticos	Cumeno ,p-Cimeno
	Sesquiterpénicos	Trans- β -Cariofileno
	Monoterpénicos	Citral
ALDEHÍDOS	Alifáticos	Nonanal, Octadenal
	Aromáticos	Cinamaldehido

	Monoterpénicos	Geraniol, Citronelol
	Alifáticos	3-Decanol
ALCOHOLES	Sesquiterpénicos	Espatulenol, Cedrol
	Aromáticos	Alcohol bencílico
FENOLES	Aromáticos	Timol, carvacrol

Nota. (Díaz, 2007)

Según el autor Bandoni, en su obra publicada en el año 2000, se destaca la importancia de considerar ciertos factores externos que pueden influir de manera significativa tanto en la cualidad como en la cantidad de los aceites esenciales que se forman y evolucionan en las plantas. En este sentido, Bandoni menciona varias variables que merecen ser resaltadas: las condiciones geobotánicas que comprenden el clima particular de la región, la altitud donde crece la planta, el tipo específico de suelo, así como la cantidad de pluviosidad que se recibe; las labores culturales que incluyen el uso de fertilizantes, abonos y pesticidas; la parte de la planta que se utiliza y el estado de su desarrollo fenológico; el momento exacto de la recolección; el método de almacenamiento y el manejo que se le da al material vegetal, que puede ser fresco, seco o incluso fermentado, así como el tratamiento posterior a la cosecha; y finalmente, el modo en que se obtiene el aceite, ya sea a través de la destilación o por medio de la expresión.

3.3.3. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales

De acuerdo con las afirmaciones realizadas por Cerpa en el año 2007, se puede señalar que estas sustancias comparten una característica fundamental: poseen la capacidad de producir una variedad de fragancias que resultan agradables y fácilmente perceptibles para los seres humanos. Sin embargo, es importante destacar que estas fragancias son siempre intensas y envolventes, evocando recuerdos del aroma característico de la planta de la cual se originan. Tienen un tono

que se encuentra dentro de la gama de colores amarillos, llegando incluso a ser transparentes en ciertos casos específicos. De acuerdo a la textura y la densidad de su consistencia, los aceites esenciales se dividen en tres categorías principales, que son las esencias fluidas, que son ligeras y etéreas; los bálsamos, que presentan una consistencia más espesa y resinosa; y las oleorresinas, que son una mezcla de aceites esenciales y resinas naturales. Las esencias en estado líquido, a menudo conocidas como esencias fluidas, son compuestos que poseen la propiedad de ser volátiles incluso a temperaturas que se encuentran dentro del rango ambiente. Los bálsamos, debido a su composición, tienden a tener una consistencia más densa y espesa, lo que significa que no se evaponizan con facilidad. Además, estas sustancias son susceptibles a llevar a cabo reacciones de polimerización, lo que puede alterar sus propiedades físicas y químicas. Las oleorresinas son compuestos que poseen un aroma extremadamente concentrado que evoca la fragancia fresca y natural de las plantas. Su consistencia suele ser la de líquidos muy viscosos, caracterizados por su espesor, o pueden presentarse también en forma de sustancias semisólidas que son igualmente ricas en aroma. En lo que respecta a las condiciones ambientales, estos líquidos poseen una menor densidad en comparación con el agua, sin embargo, su viscosidad es superior a la de este último. Estos compuestos tienen la capacidad de disolverse en los disolventes orgánicos que se utilizan comúnmente en diversas aplicaciones químicas. Son sustancias que presentan una casi nula solubilidad en disolventes polares que se encuentran relacionados, como, por ejemplo, el agua y el amoníaco. Poseen características que garantizan una buena capacidad de disolución y estabilidad para aquellos polímeros que contienen anillos aromáticos en su estructura molecular. Los aceites esenciales no se consideran completamente seguros o inofensivos, siempre y cuando la cantidad administrada no exceda los niveles establecidos de toxicidad que podrán ser perjudiciales para la salud. Y estos compuestos han sido reconocidos y aceptados como sustancias que pueden considerarse generalmente seguras para su consumo

(GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos de América.

3.3.4. Clasificación de los aceites esenciales

De acuerdo a Cerpa (2007), los aceites esenciales pueden ser clasificados así:

A. Por su composición elemental

- “Los aceites esenciales que presentan una baja concentración de oxígeno, pero que son particularmente abundantes en compuestos conocidos como terpenos, incluyen una variedad de opciones tales como el aceite esencial de trementina, el aceite de limón, el de bergamota, el de romero, el de eucalipto, el aceite extraído del ciprés, que corresponde a la especie *Cipreses sempervirens*, así como el de tomillo, laurel, naranja, entre otros.”
- Existen aceites esenciales que son particularmente ricos en oxígeno, tales como los aceites extraídos del anís, el hinojo, el comino, la menta, la manzanilla, así como también de las rosas y las violetas, entre otros.
- Los aceites esenciales que contienen compuestos sulfurados, tales como los que se extraen del ajo, la cebolla y la mostaza, entre otros, son ejemplos destacados de este tipo de aceites. Estos aceites se caracterizan por su notable aroma y potenciales beneficios para la salud debido a su composición química.

B. Por su punto de Ebullición

- Los aceites esenciales que se categorizan como "fijos" son comúnmente referidos por la denominación de “fijadores”. Estas sustancias poseen una amplia gama de frecuencias ondulatorias, lo que les proporciona características particulares en su comportamiento. Además, se caracteriza por tener un peso molecular que, por lo general, tiende a ser elevado, lo que influye en sus propiedades y aplicaciones. Dentro de este conjunto se encuentran tanto los productos balsámicos como también los aceites que contienen resinas.

- Los aceites esenciales que se consideran persistentes tienen una volatilidad superior en comparación con los aceites mencionados anteriormente. La duración de su efecto se extiende a lo largo de varios días, lo que otorga a las fragancias un toque distintivo y único que las hace resaltar.

C. Por su origen

Según (Grunfeld, 1960):

- Los aceites esenciales naturales son sustancias que se extraen directamente del mundo natural. Generalmente, estos aceites provienen de plantas, lo que implica que su fuente principal es de origen vegetal; sin embargo, es importante mencionar que también existen algunos aceites que pueden derivarse de fuentes de origen animal. Estos elementos pueden originarse ya sea a partir de secreciones producidas por el organismo o bien pueden estar relacionados con ciertos estados patológicos que afectan la salud.
- Los aceites esenciales sintéticos son productos que se crean a través de procesos de síntesis orgánica. Estos aceites pueden ser elaborados utilizando los diversos componentes que se extraen de los aceites esenciales naturales, así como también pueden derivarse de compuestos que no están relacionados con dichos aceites. Dentro de este grupo específico, se encuentran las yanonas que poseen un aroma similar al de las violetas, las cuales son ampliamente utilizadas en la industria de la perfumería debido a su fragancia distintiva.
- Los aceites esenciales artificiales son una combinación que resulta de la fusión de los dos tipos previamente mencionados, y poseen una fragancia que se asemeja de manera notable a la de los aceites esenciales naturales. Los productos que se analizan y organizan en esta categoría se dividen en dos subgrupos principales. El primero de estos subgrupos incluye aquellos productos que son derivados de aceites esenciales; un ejemplo de esto son sustancias como el geraniol, el acetol y el mentol. Por otro lado, el segundo subgrupo está compuesto por

productos que son el resultado de procesos de síntesis química, tales como la vainilla y la hemotropina.

3.3.5. Constitución de los aceites esenciales

De acuerdo con lo que expone Braverman en 1980, los aceites esenciales se componen de una amplia variedad de clases de compuestos químicos. Estos compuestos pueden presentarse de diversas maneras: hay algunos que están formados principalmente por un único componente que se encuentra en un porcentaje elevado, mientras que otros están constituidos por mezclas más complejas que incluyen compuestos acíclicos, compuestos aromáticos, compuestos heterocíclicos, así como también sus correspondientes derivados oxigenados, entre otros tipos de sustancias químicas. Desde el punto de vista químico, se puede afirmar que la mayoría de los aceites esenciales está compuesta principalmente por terpenoides, así como por sus derivados que contienen oxígeno. Además, también se encuentra presente una cantidad reducida de residuos que no son volátiles, conocidos específicamente como estearoptenos. Con base en la definición que se ha proporcionado, los carotenoides pueden ser considerados parte de este grupo específico. De hecho, muchos textos académicos y científicos categorizan a los carotenoides como un grupo particular y distintivo de sustancias que se clasifiquen dentro de los terpenoides. Ciertos compuestos aromáticos que se encuentran en los aceites esenciales, tales como los aldehídos y los ésteres, presentan una configuración estructural que puede describirse como lineal. Sin embargo, se presenta una situación interesante en la que todos los aceites esenciales se agrupan dentro de la categoría de compuestos conocidos como terpenoides. Dentro de esta familia, los compuestos más sencillos son los terpenos, los cuales tienen una fórmula general que se expresa como $C_{10}H_{16}$. De acuerdo con esta clasificación específica, se determina que la vitamina A se clasifica como un diterpeno, mientras que los carotenoides, que comparten la característica de

tener un total de 40 átomos de carbono en su estructura molecular, son considerados tetraterpenos. El caucho, que se clasifica como un polímero de gran tamaño y cuenta con una estructura isoprenoide en su composición, se puede definir adecuadamente como un tipo de politerpeno.

A. Terpenoides

Los terpenos constituyen una extensa y variada familia de compuestos químicos que se encuentran en la naturaleza. Estos compuestos pueden clasificarse como hidrocarburos, los cuales pueden ser tanto cíclicos como acíclicos. Sus fórmulas moleculares son múltiplos del isopreno, cuya fórmula química es C_5H_8 , lo que significa que todos los terpenos se derivan de esta unidad básica en distintas combinaciones y estructuras. Asimismo, se incorporan en esta clasificación diversos compuestos como los alcoholes, aldehídos, cetonas y otros derivados que comparten la misma estructura base de carbono que la del hidrocarburo terpénico fundamental. Estos tipos de compuestos son denominados de manera más precisa como terpenoides. Es importante señalar que este término también se utiliza para referirse a los terpenos en su sentido más estricto, tal como se indica en la obra de Kubeczka publicada en el año 2002.

- Los monoterpenoides son compuestos que pertenecen a una categoría significativa dentro de los hidrocarburos, así como también incluyen alcoholes y cetonas. Estos compuestos químicos forman la mayor parte de los ingredientes presentes en los aceites esenciales, que se obtienen principalmente de hojas, raíces y cortezas de diferentes especies vegetales. Se pueden clasificar en tres grupos distintos, según su posesión de anillos o su ausencia.
- Los monoterpenoides acíclicos son una categoría de compuestos químicos cuya estructura, con algunas pocas excepciones destacables, se fundamenta principalmente en el esqueleto molecular del 2,6-dimetil octano. Este tipo de compuestos presenta características estructurales que les confieren propiedades específicas, derivadas de su configuración básica.

- Los monoterpenoides monocíclicos son un tipo de compuestos que, en su mayoría, se caracterizan por tener estructuras de esqueleto de carbono que se derivan específicamente del p-mentano, lo que resalta su relación química y su configuración molecular.
- Los monoterpenoides bicíclicos, que son compuestos químicos de gran importancia, se componen principalmente de hidrocarburos y sus respectivos derivados oxigenados que presentan estructuras caracterizadas por esqueletos bicarbonados. Estos esqueletos son similares a los de los hidrocarburos saturados e incluyen ejemplos notables como el tuyano, el pinano y el canfano, entre otros. El α -pineno se considera uno de los compuestos más significativos en su categoría debido a su amplia disponibilidad en la naturaleza, así como a la gran variedad de productos que se pueden obtener a partir de su extracción y uso. Se encuentra ampliamente repartido en el entorno natural y se le considera uno de los elementos fundamentales que conforman los aceites esenciales (AE), según lo indicado por Kubeczka en el año 2002.

B. Sustancias oxigenadas

Se consideran como las precursoras iniciales que transportan y difunden los aromas característicos y distintivos de los aceites esenciales. El enfoque principal de esta discusión se centra en una variedad de compuestos químicos que incluyen, entre otros, alcoholes, aldehídos, cetonas y ésteres. Dentro de estas categorías de sustancias, podemos encontrar tanto compuestos saturados como no saturados, así como también aquellos que son de naturaleza alifática y aromática. Además, se hace mención de la presencia de compuestos terpénicos y sesquiterpénicos que también forman parte de este conjunto diverso de sustancias químicas. (Braverman, 1980).

C. Esteroptenos

Según Braverman (1980), tras llevar a cabo el proceso de destilación por vapor para extraer los aceites esenciales, se genera una cantidad bastante significativa de un residuo que no es volátil. Este residuo, después de haber permanecido en reposo durante un período prolongado de tiempo, da lugar a la separación de ciertas sustancias que tienen características similares a las de la cera. A estos tipos de residuos se les denomina específicamente estearoptenos. Es probable que algunos de estos compuestos estén relacionados con los flavonoides, que se encuentran en los tejidos de las plantas muy cerca de los sacos o glándulas que almacenan aceite.

D. Bioquímica de los aceites esenciales

Los aceites esenciales que tienen un alto contenido de oxígeno pueden convertirse en inactivos en numerosas ocasiones. Típicamente, se observa que su índice de refracción es bastante elevado. Justo después de ser extraídos, estos aceites esenciales suelen presentar una reacción que se considera neutra; sin embargo, con el transcurso del tiempo, su carácter reaccional tiende a tornarse más ácido. De manera general, los aceites esenciales tienden a no mezclarse con el agua, pero poseen la capacidad de disolverse en ella en una medida que les permite transferir su característico aroma a dicho líquido. Por otro lado, estos aceites son altamente solubles en alcohol, éter, así como en la mayoría de los disolventes orgánicos disponibles. (Braverman (1980)).

3.3.6. Aplicaciones de los aceites esenciales

Estos compuestos químicos forman la mayor parte de los ingredientes presentes en los aceites esenciales, que se obtienen principalmente de hojas, raíces y cortezas de diferentes especies vegetales. Se pueden clasificar en tres grupos distintos, según su posesión de anillos o su ausencia. Al no presentar en su composición enzimas, bacterias, impurezas o taninos, las plantas que sí contienen estos elementos poseen la capacidad de combatir la acción de agentes patógenos. Además, se han observado en ellas propiedades curativas, antiinflamatorias, diuréticas y

antiespasmódicas, tal como se menciona en el estudio realizado por Domínguez en el año 2006. En la siguiente sección, se presentará una breve explicación sobre los usos más destacados y significativos que se pueden observar:

A. En la industria alimentaria

Los aceites esenciales se emplean comúnmente como aditivos y condimentos que ayudan a garantizar la conservación adecuada de diversos productos alimenticios, tales como diferentes tipos de carnes, platos preparados, embutidos, helados, encurtidos y otros alimentos similares. Entre los aceites esenciales que son más frecuentemente empleados con este propósito, se pueden mencionar aquellos que tienen como base el cilantro, la naranja, la menta, la albahaca y el romero, tal como se señala en el estudio realizado por Arraiza en el año 2012. Asimismo, se les caracteriza como un agente que tiene propiedades conservantes. Un ejemplo de esto es que, cuando se utiliza el aceite esencial de clavo en concentraciones de 0,1 % y 0,5 %, se ha demostrado que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de la bacteria *Listeria monocytogenes* en productos como la carne y el queso, según lo señalado por Vrinda y Garg en su estudio del año 2001.

En el ámbito de la industria de las bebidas, los aceites esenciales desempeñan un papel fundamental como agentes saborizantes en una amplia variedad de productos, ya sean refrescos carbonatados o licores alcohólicos; entre los tipos de aceites aromáticos más comúnmente empleados en la elaboración de gaseosas se destacan el aceite de limón, así como otros aceites derivados de frutas cítricas, incluyendo el de naranja, que son ampliamente utilizados para crear sabores distintivos en estas bebidas (Sun, 2005). Además, en el ámbito de la confitería, que se refiere a la producción y creación de una amplia variedad de golosinas y dulces, se emplean las esencias que se obtienen de árboles de naranjo, así como de diferentes tipos de mentas, limones y otros frutos cítricos (Flórez y Méndez (2005)).

B. En la industria farmacéutica

En una amplia variedad de productos que están diseñados específicamente para el cuidado de la salud dental, tales como las pastas dentales y una serie de utensilios utilizados para la limpieza bucal, es bastante frecuente observar la inclusión de aceites esenciales que provienen de plantas como la menta, el hinojo y el eucalipto. Por otra parte, hay ciertos compuestos que exhiben diversas propiedades, tales como antibacterianas, antiinflamatorias, descongestionantes y analgésicas. Además, es importante destacar que los aceites esenciales se encuentran comúnmente en productos de medicina natural. De manera similar, estos ingredientes se utilizan como agentes que ayudan a neutralizar sabores indeseables en diversas preparaciones. Entre los aceites que son más comúnmente empleados para llevar a cabo esta función se encuentran los aceites extraídos de frutas cítricas, así como también los de menta y limón, según indican Flórez y Méndez en su estudio publicado en 2005.

C. En la industria de cosméticos

En el proceso de producción de artículos destinados al cuidado personal y cosméticos, se hace un uso significativo de aceites esenciales extraídos de geranio, lavanda y rosas. Por otro lado, en el ámbito de la perfumería y en la elaboración de cremas, se emplean de manera destacada aquellos aceites que se obtienen a partir de frutas cítricas, así como especias florales y vainilla, entre otros componentes aromáticos (Sun (2005)). A pesar de que en el ámbito industrial se han creado y sintetizado una gran cantidad de aromas, y que se hace uso de aceites esenciales que son artificiales, siempre resulta mucho más atractivo, y se considera de una calidad superior, optar por el uso de aceites esenciales que son de origen natural en la industria dedicada a la producción de sabores y olores.

D. Aromaterapia

En el año 1928, el químico y perfumista René Gattefosse fue el pionero que introdujo por primera vez en la literatura el concepto de "aromaterapia". Este innovador término surgió a raíz de una notable experiencia personal que vivió, en la cual empleó aceites esenciales con el fin de tratar y, posteriormente, sanar una dolorosa quemadura en su piel. La aromaterapia, que es una práctica terapéutica que utiliza aceites esenciales naturales, se basa en la creencia de que estos aceites poseen propiedades curativas que pueden ayudar a mejorar la salud y el bienestar. Esta disciplina busca fomentar la vitalidad tanto de la mente como del cuerpo, promoviendo así un estado general de equilibrio y armonía.

E. Otros usos

En el ámbito de la industria del tabaco, resulta imprescindible el uso de aceites esenciales derivados de mentas y eucalipto, ya que estos componentes son fundamentales para mejorar ciertos aspectos del proceso de producción y la calidad del producto final. Asimismo, es importante señalar que, además de su uso como insecticidas eficaces, los aceites extraídos de plantas como el tomillo, el clavo, la salvia, la menta, el hinojo, el limoncillo y el ajeno poseen notables propiedades antibacterianas, lo que los convierte en opciones valiosas para el control de plagas (Arraiza, 2012). Los aceites, al igual que los desodorantes de uso industrial, se incorporan en la mezcla con diferentes materiales como el caucho, los plásticos y las pinturas. El propósito de esta combinación es reducir notablemente el olor característico que emiten estos materiales, mejorando así su aceptación y funcionalidad en diversas aplicaciones. En contraposición, debido a su fragancia distintiva, estos elementos se emplean para impartir una agradable esencia en diversos tipos de papelería, que incluye cuadernos, tarjetas, y diferentes formatos de papel, así como también se utilizan como enmascaradores de olores en los procesos de tratamiento que utilizan mordientes, tanto en las fases previas como en las posteriores al teñido.

3.4. Aceite esencial de palo santo

El aceite esencial de palo santo se obtiene mediante un proceso de destilación que utiliza vapor de agua para arrastrar los componentes de la resina, así como de los pequeños brotes, la corteza, las hojas, los frutos y las maderas secas de este árbol. Este árbol se desarrolla de forma natural y silvestre en una variedad de regiones del Perú, y se puede encontrar en particular en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, Cajamarca y Huancavelica. El entorno en el que se desarrolla abarca desde la línea costera, que es el nivel del mar, y se extiende hasta altitudes impresionantes que pueden llegar hasta los 3,500 metros sobre el nivel del mar. (Manzano et al. (2009)).

En la actualidad, el aceite esencial de Palo Santo se obtiene de la madera seca de árboles que han muerto de manera natural en los bosques secos ubicados en la región norte de Perú. Además, es importante mencionar que se espera un periodo mínimo de tres años después de la muerte de estos árboles para que el aroma del aceite se concentre y adquiera una mayor intensidad. El aceite extraído del palo santo está compuesto por alrededor de 112 compuestos químicos diferentes, los cuales le confieren una variedad de propiedades beneficiosas. Entre estos compuestos, se encuentra el alfa-pineno, que le otorga propiedades antibacteriales; el terminén-4-ol, que actúa como un antiséptico eficaz; y el carvona, que posee cualidades sedantes e insecticidas. Adicionalmente, este producto cuenta con características quimioterapéuticas gracias a la presencia del compuesto conocido como limoneno, el cual se encuentra en una gran proporción que asciende al 62.88%. Este componente tiene el potencial de ayudar a prevenir la formación y el desarrollo de células cancerígenas, según lo mencionado por Eugenio en el año 2014.

En los últimos años, se ha observado un crecimiento significativo y notable en el interés por llevar a cabo estudios e investigaciones que se centran en la extracción del aceite esencial que

proviene del palo santo, un arbusto muy apreciado por sus propiedades aromáticas y terapéuticas. Esto se debe a que se ha demostrado científicamente que este aceite contiene una alta concentración de compuestos beneficiosos, incluyendo el ácido elémico ($C_{35}H_{45}O_4$), así como dos tipos de ácidos resínicos, clasificados como I y II. Además, se ha identificado en su composición la presencia de triterpenos y tetracíclicos, que son compuestos químicos que contribuyen significativamente a su actividad antimicrobiana. También se ha resaltado el hecho de que los triterpenos tetracíclicos poseen una marcada acción antiinflamatoria, como se ha evidenciado en los estudios realizados por Robles en 2005. Además, este aceite esencial ha mostrado potenciales propiedades antiartríticas y hepatoprotectoras, así como también efectos antineoplásicos. Debido a este motivo, se propone la idea de que el aceite extraído de palo santo podría poseer un potencial significativo en el ámbito de la medicina, específicamente en el tratamiento de múltiples enfermedades degenerativas. Entre estas patologías se incluyen diversas condiciones que son consideradas graves, tales como el fibrosarcoma, que es un tipo de cáncer de tejido conectivo, y la arteriosclerosis, que implica el endurecimiento y estrechamiento de las arterias. (Manzano, 2006).

3.4.1. Composición química del aceite esencial de palo santo

Tabla 3.

Composición del aceite esencial de palo santo Tumbes –Perú

COMPONENTE	FORMULA MOLECULAR	% EN MASA
Limoneno	$C_{10}H_{16}$	48,48
α -phellandreno	$C_{10}H_{16}$	36,59
Mentofurano	$C_{10}H_{14}O$	5,97
Germacreno	$C_{15}H_{24}$	1,22

α -pineno	$C_{10} H_{16}$	0,96
p-cymeno	$C_{10} H_{14}$	0,88
α -thujeno	$C_{10} H_{16}$	0,28
Sabineno	$C_{10} H_{16}$	0,35

Nota. En la Tabla 3, se detalla la composición del aceite esencial de palo santo de la región de Tumbes-Perú, tal como se describe en la investigación de Puescas (2011).

Tabla 4.

Composición del aceite esencial de palo santo- Manabí –Ecuador

Componente	Fórmula molecular	% en masa
Limoneno	$C_{10} H_{16}$	34,16
sesquiterpeno	C_{15}	25,53
α -terpineol	$C_{10} H_{18} O$	19,67
Mentofurano	$C_{10} H_{14} O$	6,07
Carvona	$C_{10} H_{14} O$	4,05
α -pineno	$C_{10} H_{16}$	0,66
Terpinen-4-ol	$C_{10} H_{18} O$	0,54
Ácido Acético	CH_3COOH	0,1360
Ácido Guayeretico	$C_{18} H_{22} O_4$	0.007

Nota. En la Tabla 4, se detalla la composición del aceite esencial de palo santo de la región de Manabí – Ecuador, según se describe en la investigación de Manzano (2006).

Tabla 5.

Composición del aceite esencial de palo santo – Ecuador.

COMPONENTE	FORMULA MOLECULAR	% EN MASA
D-Limoneno	$C_{10}H_{16}$	85
Mirceno	$C_{10}H_{16}$	19,8
Mentofurano	$C_{10}H_{14}O$	14,7
Z- β -Ocimeno	$C_{10}H_{16}$	14,3
Óxido de Cariofileno	$C_{15}H_{24}$	13,6
Trans-Cariofileno	$C_{15}H_{24}$	8,1

Nota. En la Tabla 5, se detalla la composición del aceite esencial de palo santo de Ecuador obtenida a través del proceso de extracción, tal como se describe en la investigación de Coello (2019).

Tabla 6.

Composición del aceite esencial de palo santo Tumbes- Perú

COMPONENTE	FORMULA MOLECULAR	% EN MASA
D-Limoneno	$C_{10}H_{16}$	77,06
Mentofurano	$C_{10}H_{14}O$	5,16
α -terpineol	$C_{10}H_{18}O$	4,01
germacreno D	$C_{15}H_{24}$	2,33
Carvona	$C_{10}H_{14}O$	0,83
m-Cimeno	$C_{10}H_{14}$	0,67
α -Gurjuneno	$C_{15}H_{24}$	0,52

Nota. En la Tabla 6, se detalla la composición del aceite esencial de palo santo de la región de Tumbes obtenida a través del proceso de extracción, como es descrito por Noel y Oviedo (2019).

Tabla 7.*Composición del aceite esencial de palo santo Lambayeque – Perú*

Componente	Formula Molecular	% en masa
Ácido octonodecanoico	$C_{18} H_{36} O_2$	24,70
D-Limoneno	$C_{10} H_{16}$	16,12
DL-cis ácido ectadecanoico	$C_{17} H_{34} O_2$	8,78
Gamma epoxi-elemene	$C_{15} H_{24} O$	7,78
Levonanol	$C_8 H_{11} NO_3$	7,53
Gamma-is sesquiciclo geranodiol	$C_{10} H_{18} O$	7,05
Ácido palmítico	$C_{16} H_{32} O_2$	6,76
β bisabolene	$C_{15} H_{24}$	4,22
β selinene	$C_{15} H_{24}$	3,05
α selinene	$C_{15} H_{24}$	3,4
L- α terpineol	$C_{10} H_{18} O$	2,36
Ácido heptadecanoico	$C_{17} H_{34} O_2$	2,34

Nota. En la Tabla 7, se detalla la composición del aceite esencial de palo santo de la región de Lambayeque obtenida a través del proceso de extracción, como es descrito por García (2002).

Tabla 8.*Composición del aceite esencial de palo santo - México.*

COMPONENTE	FORMULA MOLECULAR	% EN MASA
D-Limoneno	$C_{10} H_{16}$	42,90

β -ocimeno	$C_{10} H_{16}$	17,39
β -elemeno	$C_{18} H_{13} N_4 NaO_7 S$	11,82
Mentofurano	$C_{10} H_{14} O$	6,79
β -mirceno	$C_{10} H_{16}$	1,59
β -pineno	$C_{10} H_{16}$	1,09
α - pineno	$C_{10} H_{16}$	0,52

Nota. En la Tabla 8, se detalla la composición del aceite esencial de palo santo de México obtenida a través del proceso de extracción, tal como se describe en la investigación de Lujan et al. (2002).

3.4.2. Características físicas del aceite esencial de Palo Santo

- Líquidos a temperatura ambiente
- Volátiles
- Los destilados que han sido elaborados recientemente presentan un aspecto que puede ser incoloro o, en algunos casos, mostrar una leve tonalidad amarillenta.
- La densidad de esta sustancia es más baja en comparación con la densidad del agua.
- Alto índice de refracción
- Estos compuestos son apenas solubles en agua, sin embargo, son capaces de transferir y transmitir su característica aroma.
- Compuestos que poseen la capacidad de disolverse en alcoholes que cuentan con un alto porcentaje de concentración.
- Esta sustancia es capaz de disolverse en aceites vegetales o en grasas, lo que significa que puede mezclarse bien con estos tipos de líquidos.

3.4.3. Aplicaciones y usos del aceite esencial de palo santo

El aceite esencial extraído del palo santo posee una variedad de propiedades beneficiosas, entre las que se incluyen cualidades antisépticas, analgésicas y sedantes. Estas características hacen que dicho aceite se utilice predominantemente en aplicaciones locales, donde se diluye en algún tipo de aceite vegetal. Este proceso de aplicación no solo ayuda a tratar diversas afecciones de la piel, sino que también resulta efectivo para aliviar o contrarrestar destacados dolores reumáticos que afectan a muchas personas. Por esta razón, se vuelve sumamente beneficioso el uso de este recurso como un antiséptico que actúa en el entorno atmosférico, contribuyendo así a la purificación del aire dentro de nuestros hogares o en los lugares donde trabajamos. Además, es realmente fascinante porque también ayuda a promover la meditación y a fortalecer la conexión con nuestro ser espiritual. Por todo lo anterior, esta práctica se ha convertido en una herramienta de uso muy práctico y efectivo dentro de la disciplina del yoga. (Entrenamiento aromático (2020))

De acuerdo con el estudio realizado por Amaguaya en el año 2016, se establece que todas las características y propiedades asociadas al árbol de palo santo son utilizadas de manera eficiente, lo que permite que se minimicen al máximo posible los desperdicios generados durante su aprovechamiento. La utilización de la madera resinosa proveniente del árbol de palo santo se lleva a cabo con una variedad de objetivos, destacando especialmente aquellos que están destinados a fines curativos. Este árbol ha sido de gran relevancia en las prácticas de los chamanes de las antiguas civilizaciones sudamericanas, entre ellas se encuentran culturas como la aymara, la quechua y los jíbaros, así como también las civilizaciones Manteña, Machalilla, Valdivia e Inca. Estos chamanes empleaban tanto el humo emanado como el aceite extraído del palo santo para llevar a cabo rituales que buscaban sanar no solo el cuerpo físico, sino también el alma de aquellos que padecían enfermedades. De acuerdo con el autor Tejedor en el año 2015, es

importante señalar que entre las numerosas ventajas que ofrecen los aceites esenciales, se destaca un uso primordial que va más allá de la simple hidratación y nutrición de la piel. Quizás lo más relevante de estas esencias es que poseen propiedades que pueden ser relajantes, tonificantes y descongestivas. Estas características pueden ser percibidas de inmediato a través del sentido del olfato, y juntos forman un conjunto de prácticas que constituyen una auténtica ciencia de sanación conocida como aromaterapia. El asombroso potencial que poseen los aceites esenciales está directamente relacionado con los principios de la fitoterapia y las extraordinarias propiedades curativas de diversas plantas medicinales. Algunos ejemplos notables de sus efectos incluyen la capacidad de combatir el insomnio, la reducción de la ansiedad, la mitigación del estrés, el alivio de diferentes tipos de dolor, el calmar la tos y la mejora del sistema inmunológico del cuerpo.

3.5. Métodos de extracción de aceites esenciales

La producción de aceites esenciales se realiza mediante la aplicación de diversas técnicas y métodos que son diferentes entre sí, cada uno con sus propias características y procedimientos específicos. Entre las variadas metodologías que existen en este campo, podemos destacar varias de manera particular, tales como el innovador método de prensado o estrujado, el proceso tradicional que se conoce como enfleurage, así como también la sofisticada técnica de extracción mediante fluidos supercríticos, y la extracción que se lleva a cabo utilizando solventes, entre otros muchos enfoques que se encuentran disponibles para su aplicación. En la siguiente sección, nos tomaremos el tiempo necesario para describir en detalle y ofrecer una explicación exhaustiva sobre algunos de los diferentes y variados métodos que se utilizan actualmente para la extracción de aceites esenciales provenientes de las diversas especies de plantas que encontramos en la naturaleza.

3.5.1. Extracción por Enfleurage

En el proceso descrito por Olaya Flórez y sus colegas en el año 2005, se utilizan tanto grasas de origen vegetal como aquellas que provienen de animales. Para llevar a cabo este proceso, se aplica una capa de grasas absorbentes sobre las hojas de las plantas. Posteriormente, después de un periodo de unos días, estas grasas tienen la capacidad de absorber la esencia de las hojas. Luego, cuando se sumergen en alcohol, se facilita la separación de la grasa del aceite esencial que se ha logrado extraer a partir de la planta, tal como explican León y Robles en su estudio del año 2009. Generalmente se utiliza este método para llevar a cabo la extracción de ciertas plantas, entre las cuales se encuentran las rosas y los jazmines, tal como lo señala Domínguez en su obra publicada en el año 2006.

3.5.2. Extracción por solventes

La materia prima se introduce y se mantiene en contacto con el solvente durante un periodo de tiempo suficiente, de manera que el solvente pueda absorber completamente toda la esencia. Una vez que el solvente ha capturado todo el compuesto deseado, se procede a la separación de los componentes mediante un proceso de destilación. Este método específico de extracción se emplea con el propósito de preservar de manera más efectiva las fragancias de aquellas flores que son especialmente delicadas, como se menciona en el trabajo de Hernández (2005). La figura 10 proporciona una explicación detallada sobre este proceso particular.

3.5.3. Extracción con fluido supercrítico

Este procedimiento implica el uso de un fluido que se encuentra en un estado supercrítico, el cual actúa como un solvente extractor. Este fluido tiene la capacidad de circular, facilitando el proceso mediante el cual las esencias pueden ser solubilizadas y transportadas. Posteriormente, se lleva a cabo la eliminación de dicho fluido a través de un proceso de descompresión, tal como lo señalan Rodríguez y sus colegas en su investigación. (2012). Para llevar a cabo este método se

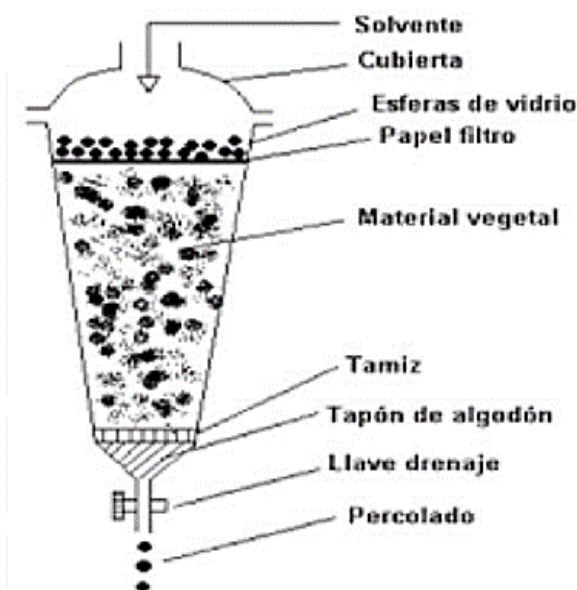
suele emplear principalmente el dióxido de carbono en estado supercrítico como un tipo de solvente, tal como se indica en el estudio de Domínguez publicado en el año 2006.

3.5.4. Extracción por prensado

El procedimiento que se detalla en este contexto consiste en la obtención de la esencia a partir de la materia prima específica. Este proceso se lleva a cabo mediante la utilización de una intensa presión que se aplica a los distintos componentes naturales de la materia, lo que permite separar y extraer la esencia deseada. En este contexto específico, la materia prima utilizada es la madera del palo santo que ha sido previamente triturada, la cual contiene la esencia deseada, tal como se indica en el estudio realizado por Hernández en el año 2005.

Figura 10.

Extracción del aceite con solventes



Nota. Del Valle y Zambrano (2015).

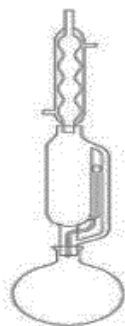
3.5.5. Extracción por Hidrodestilación

La materia orgánica de origen vegetal es cuidadosamente colocada dentro de un recipiente adecuado, el cual se llena con una cantidad de agua suficiente para asegurar que toda la materia prima quede completamente sumergida en el líquido. Posteriormente, se procede a calentar el

agua hasta su punto de ebullición, lo que permite que el material vegetal tenga un contacto directo y efectivo con el agua caliente que está hirviendo. De esta manera, se logra la liberación del aceite esencial, el cual, debido a su naturaleza volátil, es transportado y llevado a un proceso de condensación. En el contexto de este método que se lleva a cabo en un entorno de laboratorio, es común y habitual emplear un equipo que corresponde al tipo conocido como Clevenger. Ver las figuras 11 y 12.

Figura 11.

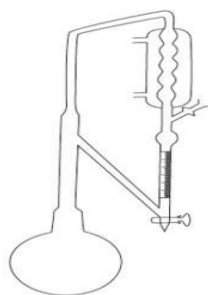
Equipo de extracción Soxhlet.



Nota. Lamarque et al. (2008).

Figura 12.

Aparato Clevenger



Nota. Lamarque et al. (2008).

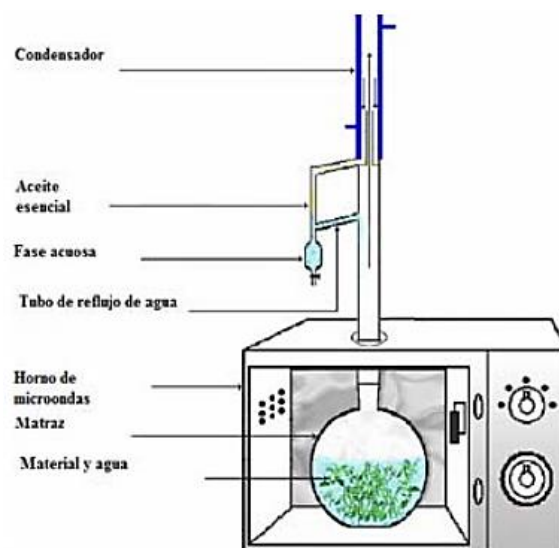
3.5.6. Extracción por microondas:

Se emplea la tecnología de microondas como una herramienta complementaria en los procesos de extracción. Esta técnica puede utilizarse en combinación con otros métodos, como la hidrodestilación o el arrastre por vapor, para mejorar su eficacia. Alternativamente, también es

posible llevar a cabo la extracción solamente utilizando microondas sin la necesidad de disolventes, lo que se conoce como SFME, que significa Solvent Free Microwave Extraction. Este método presenta la ventaja significativa de ser notablemente más rápido y de requerir una menor cantidad de energía en comparación con los tradicionales métodos de extracción, como el arrastre por vapor o la hidrodestilación, según lo señalado por Peredo et al. (2009)). En figura 13 se puede observar el equipo correspondiente.

Figura 13.

Extracción por microondas

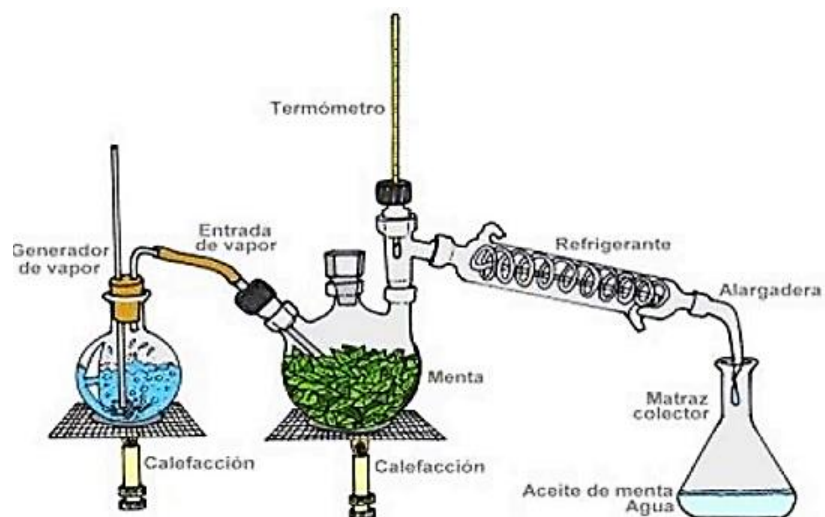


Nota. (Peredo et al. (2009)).

3.5.7. Destilación por Arrastre de vapor:

De acuerdo con la investigación realizada por Cárdenas en el año 2014, la técnica conocida como destilación por vapor de vapor se clasifica como un método especializado dentro del proceso de destilación. Esta particular forma de destilación se fundamenta en el principio del equilibrio entre líquidos que no se mezclan entre sí. Su uso es especialmente pertinente para la separación de compuestos orgánicos que son insolubles en agua y que poseen una volatilidad ligera, permitiendo así diferenciarlos de otras sustancias que no son volátiles, que pueden incluir

elementos como resinas o sales inorgánicas que se encuentran presentes dentro de la mezcla. Cuando se dispone de una combinación de líquidos que no se pueden mezclar entre sí de manera uniforme, se lleva a cabo un proceso de destilación que se adhiere a la ley de Dalton, la cual se refiere a las presiones parciales que ejercen estos líquidos en el sistema. Como consecuencia de este tipo de comportamiento observado en los distintos componentes de la mezcla, y en el caso particular en el que uno de esos componentes sea agua, se puede lograr la separación de un componente que tiene un punto de ebullición más alto en comparación con el de agua. Esto puede llevarse a cabo cuando se opera a presión atmosférica, utilizando una temperatura que sea inferior a los 100 grados Celsius. A raíz de lo mencionado anteriormente, esta técnica permite la separación de sustancias que no se mezclan con agua, así como aquellas que se desintegran cuando alcanzan su punto de ebullición o se encuentran muy próximas a dicha temperatura. Por esta razón, es comúnmente utilizada para extraer aceites esenciales naturales que se hallan en diversos elementos de plantas, tales como las hojas, cáscaras o semillas, como es el caso particular del té de limón. Entre los diversos ingredientes que se pueden utilizar, se encuentran la menta, la canela, las cáscaras de naranja o de limón, así como el anís y la pimienta, entre otros muchos.

Figura 14.*Destilación por arrastre de vapor*

Nota. (Del Valle H. y Zambrano (2015)).

Una descripción amplia y detallada de esta técnica en particular involucra el procedimiento de situar el material aromático que se obtiene de la planta específicamente en el tanque diseñado para el destilador. A continuación, se incorpora una cantidad apropiada de agua al proceso, la cual se somete a calentamiento hasta que logra alcanzar la temperatura en la cual comienza a hervir. Como una opción adicional, existe la posibilidad de decidir inyectar vapor, que se origina en la caldera, de manera directa en la carga del destilador. Esta acción no solo es una alternativa viable, sino que también juega un papel importante en facilitar y mejorar el proceso de extracción de los compuestos aromáticos presentes. Como consecuencia de la interacción y la actividad del agua caliente junto con el vapor, se lleva a cabo la extracción del aceite esencial proveniente de las glándulas responsables de la producción de aceite. Estas glándulas se localizan en el tejido suave y delicado de la planta, donde se alojan y generan estas sustancias aromáticas. La combinación resultante del vapor que se genera a partir de la mezcla de agua y aceite es llevada cuidadosamente hacia el condensador, un dispositivo específico diseñado para este propósito. En

este lugar, el vapor, que se encuentra en un estado gaseoso, pasa por un proceso de enfriamiento indirecto. Este proceso utiliza agua de refrigeración, que ayuda a que el vapor se transforme eficazmente en un líquido, completando así el ciclo de conversión de estados de la materia. Después de que se lleva a cabo el proceso de condensación, el líquido destilado se dirige hacia un separador diseñado específicamente para esta finalidad. En este separador especializado, tiene lugar un proceso de separación automática que permite dividir eficientemente el aceite del agua que está contenida en el destilado. Este procedimiento da lugar a la formación de dos fases líquidas diferentes que no son capaces de mezclarse ni combinarse entre sí. La sección que se sitúa en la parte superior del separador está formada por el aceite esencial, que es la sustancia que se recolecta y se utiliza en diversas aplicaciones, mientras que en la parte inferior, se puede observar el agua, la cual contiene varios componentes que son solubles en ella. En la figura 14, se puede observar claramente el proceso de destilación que se lleva a cabo mediante el arrastre de vapor.

3.5.8. Desventajas y ventajas de destilación con vapor de agua frente a otras técnicas de extracción

Ventajas

- Productos libres de solventes orgánicos

El procedimiento de destilación por vapor emplea agua como el principal medio de separación de los componentes, facilitando así el proceso de purificación y recuperación de sustancias. Este tipo de proceso es capaz de ofrecer productos naturales que no contienen solventes orgánicos, lo que significa que estos productos pueden ser utilizados de manera directa en otras etapas o procesos sin que sea necesario llevar a cabo pasos adicionales para la separación de componentes. (Bermuda (2019)).

- Alta Capacidad de Procesamiento

Se refiere a la notable habilidad y destreza que posee un sistema, dispositivo o tecnología para manejar, interpretar y analizar grandes volúmenes de información de manera eficiente y eficaz. En el proceso de destilación utilizando vapor, es posible operar con cantidades elevadas de materia prima, logrando cargas que pueden alcanzar hasta varias toneladas por día. (Bermuda (2019)).

- Bajos Costos de Inversión

El sistema de destilación que utiliza vapor de agua es una opción económica, altamente versátil y sencilla de fabricar, lo que lo convierte en una alternativa accesible para aquellos que buscan implementar este proceso. Existen numerosos y diversos tipos de materiales disponibles para la construcción, ya que el sistema de destilación que utiliza vapor funciona bajo condiciones ambientales, lo que elimina la necesidad de fabricar recipientes a presión para su operación (Bermuda (2019)).

- Los conocimientos técnico Disponibles

La destilación utilizando vapor es una técnica muy reconocida y ampliamente utilizada en diversas industrias debido a su eficacia y eficiencia. La metodología que se utiliza para llevar a cabo el proceso de destilación es idéntica, ya sea que estemos trabajando con matrices que son de naturaleza herbácea o con aquellas que son líquidas. No es imprescindible solicitar licencias o permisos, ni tampoco es necesario adquirir la tecnología que se requiere para llevar a cabo la destilación de una matriz compuesta por hierbas. (Cárdenas (2014)).

Desventajas

- Degradación Térmica de Productos

En caso de que el equipo no se manipule ni opere de manera adecuada, existe el riesgo de que la temperatura interna del lecho alcance niveles superiores a los 98 grados Celsius. Esta elevación de la temperatura puede resultar en la degradación térmica de los aceites esenciales, lo que a su

vez ocasionaría la formación de oligómeros y una serie de compuestos químicos complejos. Estos cambios no solo afectan negativamente la durabilidad, sino que también impactan la calidad de los productos, así como alteran la percepción organoléptica de los mismos. Un claro ejemplo de esto es la técnica conocida como hidrodestilación, en la cual es bastante frecuente que se produzca la hidrólisis de los aceites esenciales. Esto se debe a que, durante este proceso, el material herbáceo se encuentra sumergido en agua. Esto contrasta notablemente con otras metodologías de extracción, como la destilación que utiliza vapor húmedo y seco, en las cuales el material que se desea extraer solo entra en contacto con vapor de agua, no con agua líquida. Por este motivo específico, la técnica de hidrodestilación es empleada en contadas ocasiones. (Bermuda (2019)).

- Alto consumo de energía

Dado que la materia prima necesita ser sometida a un proceso de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de ebullición, el gasto de energía para llevar a cabo esta operación resulta ser considerablemente elevado. La principal causa que contribuye en mayor medida al consumo de energía está relacionada con el proceso de calentamiento de la masa de los equipos utilizados. En realidad, si se analiza con detenimiento, se puede observar que la carga térmica que realmente se presenta es considerablemente elevada cuando se la compara con la carga de calor ideal que se supone en circunstancias óptimas, las cuales consideran factores como el aislamiento efectivo, la recirculación del agua condensada y el mantenimiento de un vacío adecuado. Como resultado de esta situación, se han sugerido numerosas modificaciones tanto en los aspectos mecánicos como en los operativos de los sistemas, con el objetivo de minimizar el consumo total de energía, especialmente en procesos como la vaporización de aceites esenciales. (Cárdenas (2014)).

3.5.9. Factores que influyen en la destilación por arrastre de vapor

- Tiempo de secado del material:

La materia prima vegetal que se encuentra en un estado húmedo puede dar lugar a la proliferación de hongos, los cuales son responsables de impartir un aroma terroso y mohoso al aceite esencial resultante. Esta transformación ocurre como consecuencia de la formación de ácidos grasos en el proceso. Por este motivo, es crucial que el material sea procesado en un plazo no mayor a tres días; de lo contrario, se debe colocar en literas para facilitar su secado, o lo que se conoce como oreo.

- Tiempo de extracción:

Una vez que el proceso de destilación se ha realizado durante un tiempo específico y apropiado, la cantidad de aceite esencial que se logra obtener al final del mismo es sorprendentemente pequeña o prácticamente irrelevante.. Además, el exceso de vapor de agua que se genera durante este proceso provoca una reducción en la efectividad o rendimiento de la extracción. Esto se debe a que el exceso de vapor puede interferir con la solubilidad o provocar una emulsión del aceite esencial, lo que afecta negativamente el resultado final de la operación de destilación.

- Presión del vapor:

Cuando la presión del vapor utilizado para la extracción es excesivamente alta, alcanzando valores que pueden culminar en 6 psi, se produce un fenómeno conocido como hidrólisis en el aceite. Este proceso no solo afecta negativamente la calidad del aceite, sino que también reduce significativamente su rendimiento en términos de efectividad y utilidad.

- Factor de empaquetamiento:

En el caso de que el material esté demasiado suelto, el proceso de trabajo concluye de manera bastante rápida, lo que resulta en un consumo energético que es considerablemente alto; por otro lado, si el material se encuentra demasiado compacto o apretado, el vapor tendrá dificultades para fluir, lo que a su vez disminuirá la eficiencia en la producción de aceite. Por

lo tanto, es fundamental que el factor de empaquetamiento se mantenga dentro de un rango que oscile entre el 0.15% y el 0.25% para garantizar un rendimiento óptimo del proceso.

- Distribución interior del vapor.
- Eficiencia del condensador.
- Tiempo de residencia en el florentino.

En particular, cuando el diámetro es extremadamente reducido, se genera un fenómeno conocido como arrastre del aceite. (Cárdenas (2014)).

3.6. Diseño Box Behken

Se ha realizado un exhaustivo y detallado análisis comparativo que examina y contrasta el Diseño de Box-Behnken (DBB) en comparación con otros enfoques y tipos de diseños de superficie de respuesta. Entre estos enfoques se incluyen el diseño central compuesto, la matriz Doehlert y el diseño factorial completo, el cual se ejecuta utilizando tres niveles distintos. Este estudio busca resaltar las diferencias y similitudes entre estos métodos, proporcionando una visión más clara de su aplicación y eficacia en diversos contextos. El presente análisis ha puesto de manifiesto que tanto el Diseño de Bloques Basados (DBB) como la matriz Doehlert exhiben un nivel de eficiencia que se encuentra ligeramente por encima del que se observa en el diseño central compuesto. No obstante, ambos métodos demuestran ser notablemente más eficaces cuando los comparamos con los diseños factoriales completos que se utilizan en estudios con tres niveles. En el marco de esta discusión, resulta fundamental destacar que la eficacia o eficiencia de un diseño experimental se establece mediante el cálculo de una proporción específica. Esta proporción se obtiene al dividir el número total de coeficientes que se estiman dentro del modelo considerado, entre el total de experimentos que se han realizado en el transcurso de la investigación. Una de las ventajas adicionales que se puede mencionar sobre el diseño de bloques

divididos (DDB) es que este enfoque no incluye combinaciones en las que todos los factores se encuentran al mismo tiempo en sus niveles más altos o, por el contrario, en sus niveles más bajos. Esto permite evitar situaciones extremas en las que todos los factores están en sus máximos o mínimos, lo que podría sesgar los resultados del análisis. En consecuencia, estos tipos de diseños se consideran altamente útiles ya que permiten evitar la necesidad de llevar a cabo experimentos en condiciones que podrían catalogarse como extremas, las cuales a menudo pueden conducir a la obtención de resultados que no cumplen con las expectativas o son insatisfactorios. Los bloques en este contexto se utilizan para ilustrar diferentes condiciones experimentales. Por ejemplo, se puede considerar variaciones tales como el día específico de la semana en el que se lleva a cabo el experimento, quién es la persona encargada de ejecutarlo, la hora precisa del día en que se realiza, entre otras posibles variables. Clasificar los experimentos en bloques brinda la oportunidad de evaluar y estimar los efectos que provocan estas condiciones experimentales de manera separada, lo cual significa que se pueden analizar de forma independiente de los efectos que podrán tener otros factores involucrados en el estudio. Gracias a las características de ortogonalidad que presentan los bloques en este contexto, es posible ampliar el modelo de segundo orden para que contemple los efectos relacionados con dichos bloques, y de esta manera, se garantiza que las estimaciones que se obtienen no se vean alteradas o modificadas en absoluto. A continuación, tabla 9, se hace una comparación de la eficiencia entre distintas RSM: diseño central compuesto (DCC), diseño Box Behnken (DBB) y diseño de Doehlert (DD).

Tabla 9.

Comparación de la eficiencia entre distintas RSM: diseño central compuesto (DCC), diseño Box Behnken (DBB), diseño de Doehlert (DD)

Factores (k)	Número de experimentos (N)		
	DCC	DD	DBB
2	9	7	-
3	15	13	13
4	25	21	25
5	43	31	41
6	77	43	61
7	143	57	85
8	273	73	113

Nota. Elaboración propia

En resumen, se puede afirmar que el diseño Box-Behnken se considera una opción muy adecuada dentro de la metodología de superficie de respuesta, ya que facilita varias funciones importantes, como por ejemplo: (i) la estimación precisa de los parámetros que conforman el modelo cuadrático; (ii) la capacidad para desarrollar y crear diseños de manera secuencial; (iii) la identificación de posibles faltas de ajuste dentro del modelo existente; y (iv) la implementación del uso de bloques, lo que demuestra que este tipo de diseño es más eficiente en comparación con otros tipos de diseños disponibles en el ámbito de la investigación. Sin embargo, requiere que todas las variables a analizar sean del tipo cuantitativo.

3.7. Definición de términos

- Aceite esencial: Compuesto volátil y aromático que se encuentra en ciertas plantas y que se extrae para su uso en perfumes, aromaterapia, y otros productos.
- Destilación por arrastre de vapor: Es un proceso utilizado para la extracción de compuestos que son volátiles, como, por ejemplo, los aceites esenciales. Este método

consiste en calentar el material vegetal en presencia de vapor de agua, lo que genera un aumento en la temperatura que provoca la liberación de los compuestos aromáticos presentes en el material. Posteriormente, estos compuestos son condensados para ser recogidos, lo que permite obtener los ingredientes deseados de una manera eficiente y efectiva.

- Rendimiento de extracción: Cantidad de aceite esencial obtenido en relación con la cantidad de material vegetal utilizado, generalmente expresado como un porcentaje.
- Parámetros de operación: Se refiere a las diversas variables que se pueden controlar y ajustar dentro del proceso de extracción, incluyendo, pero no limitándose a, el tiempo que se dedica a la extracción, la temperatura a la que se realiza el proceso, el tamaño de las partículas(densidad de lecho) y la potencia con la que se hace fluir el vapor. Estas variables son fundamentales, ya que, al ser modificadas adecuadamente, tienen el potencial de optimizar tanto el rendimiento general como la calidad final del aceite esencial obtenido.
- Densidad de lecho: La cantidad de material vegetal presente en el equipo de extracción por unidad de volumen, caracterizada por la forma y tamaño del material.
- Morfología del material vegetal: Estudia la estructura externa que componen el cuerpo de la planta (hojas , tallos , raíces , etc.)
- α -Terpineol y D-limoneno: Son compuestos químicos que se encuentran de forma natural en el aceite esencial extraído del palo santo. Estos componentes no solo son responsables de la fragancia agradable y distintiva del palo santo, sino que también juegan un papel fundamental en sus características terapéuticas, lo que lo convierte en un recurso valioso para quienes buscan beneficios tanto aromáticos como curativos.

IV. HIPÓTESIS Y VARIABLES

4.1. Hipótesis

A continuación, se presenta o se plantea la hipótesis general y los específicos; estos últimos están en concordancia con el general.

4.1.1. Hipótesis General:

Mediante la aplicación del diseño experimental Box-Behnken, el análisis de ANOVA y el diagrama de Cajas y Bigotes, se determinará y/o identificará que las variables: tiempo de extracción y flujo de vapor tienen influencia significativa en el rendimiento y calidad del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo “*Bursera graveolens*” extraído por destilación por arrastre de vapor.

4.1.2. Hipótesis Específicas:

- A través de una adecuada matriz experimental del diseño de Box-Behnken se desarrollará el proceso de extracción del aceite esencial del palo santo “*Bursera graveolens*” por destilación por arrastre de vapor de la siguiente manera.
- La viruta del palo santo tiene un efecto mayor que el aserrín y la astilla en el rendimiento y calidad del aceite esencial de palo santo “*Bursera graveolens*” extraído mediante destilación por arrastre de vapor.
- Mediante el análisis de los resultados por ANOVA y del uso eficiente de la técnica estadística-matemática de las Cajas y Bigotes se determinarán las mejores condiciones de operación, que aumenten el rendimiento del aceite esencial del palo santo extraído por destilación por arrastre de vapor.

4.2. Variables

4.2.1. Variables independientes

- Tiempo de extracción
- Tamaño y forma del palo santo, categorizados como aserrín, viruta y astilla; expresada como tamaño de partícula y abreviadamente llamado densidad de lecho
- Potencia del flujo de vapor; resumida solamente como Potencia.

4.2.2. Variables dependientes

- Rendimiento del aceite esencial

4.3. Operacionalización de las variables

Tabla 9.

Operacionalización de las variables de investigación

Variables	Tipo de variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Categorías o Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Tiempo de extracción	Variable independiente	Duración total durante la cual el material vegetal está expuesto a un proceso de extracción	El tiempo total durante el cual se lleva a cabo el proceso de extracción de aceite esencial del palo santo mediante destilación por arrastre de vapor.	No aplica	Tiempo	Minutos

Tipo de partícula	Variable independiente	Clasificación de un material en función de su tamaño y forma	El tipo de partícula se determina mediante un proceso de reducción de tamaño y separación mecánica.	• Forma • Tamaño • Densidad de lecho	viruta, aserrín y astilla	• No aplica • cm • g/ml
Potencia de flujo de vapor	Variable independiente	Nivel de energía aplicada al generador de vapor, en kW.	La potencia aplicada al sistema para generar el flujo de vapor necesario para la extracción de aceite esencial.	No aplica	Relación de potencia entre la máxima potencia permitida.	%
Rendimiento de la destilación por arrastre de vapor del aceite esencial del palo santo	Variable dependiente	La cantidad de aceite esencial extraído en relación con la cantidad de material inicial procesado	La relación de aceite esencial obtenido por cantidad total del material vegetal utilizado taje de la cantidad total de material vegetal utilizado.	No aplica	(volumen de aceite esencial /por kg de materia prima) x100	%

Calidad del aceite esencial	Variable dependiente	Parámetro de concentración de componentes del aceite esencial	Tipo y composición de los compuestos principales en el aceite esencial.	Composición química del aceite	Cantidad de D-limoneno	ml/ kg carga
					Cantidad de α -terpineol	ml/kg carga

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

Las diversas pruebas experimentales y los estudios profundos que se han realizado en la investigación se llevaron a cabo en los laboratorios que están situados dentro de las instalaciones de la Facultad de Química e Ingeniería Química, que forma parte de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Para realizar estos análisis, se utilizó el equipo especializado en destilación mediante el método de arrastre de vapor, que es fundamental para este tipo de investigaciones. Dicha área de estudio se encuentra situada en el departamento de Lima, situada a una altitud de 154 msnm y coordenadas 12°03'36.4"S 77°04'59.4"W.

5.2. Diseño de la investigación

En la actualidad, las empresas se esfuerzan por garantizar que sus procesos sean lo más eficientes y efectivos posibles. Para lograr este objetivo, es fundamental que se realice un control adecuado de todos los procesos involucrados, así como de los diversos factores que pueden influir en estos. De esta manera, se podrán obtener productos que no solo cumplan con los estándares esperados, sino que también se destaquen por su alta calidad. Por lo que el diseño de esta investigación se define así:

- Según datos: es de tipo **cuantitativo**, puesto que se utilizarán medidas.
- Según objetivo: es de tipo **aplicada**, puesto que se pretende solucionar un problema.

- De acuerdo con la forma en que se manejarán y modificarán las diferentes variables en este contexto, se clasifica como un estudio **experimental**. Esto se debe a que se tendrá un control estricto y sistemático sobre dichas variables, lo que permitirá observar los efectos con mayor precisión.

5.2.1. Diseño Box Behnken

Uno de los enfoques más eficientes y eficaces que se han desarrollado para optimizar problemas que involucran una o más variables de interés se denomina Diseño Box Behnken. Este enfoque o técnica ha mostrado una notable eficacia y ha resultado ser especialmente beneficioso en el ámbito de la estadística, así como en la evaluación y análisis de distintos tipos de experimentos. El diseño que se ha desarrollado se fundamenta en las diferentes combinaciones de tratamientos que se encuentran situados en los puntos intermedios de los bordes del espacio experimental. Este enfoque requiere, como mínimo, la consideración de tres factores que deben ser continuos para su adecuado funcionamiento y análisis. Este diseño tiene la capacidad de facilitar una evaluación eficiente y precisa de los coeficientes tanto de primer orden como de segundo orden. Debido a que el diseño de Box-Behnken típicamente involucra una menor cantidad de puntos de diseño en comparación con los diseños centrales compuestos que incorporan la misma cantidad de factores, es posible que la implementación de los primeros resulte ser menos costosa en términos de recursos y esfuerzo requeridos para llevar a cabo el experimento. No obstante, es importante destacar que, dado que estos tipos de diseños no incorporan un diseño factorial en su estructura, no son apropiados ni útiles para llevar a cabo experimentos de carácter secuencial.

En la figura 15, se puede observar una representación gráfica que corresponde a un diseño de bloques completamente aleatorizados, el cual involucra tres factores y cada uno de ellos se

encuentra definido en tres niveles diferentes. La Tabla 9 presenta una representación detallada que ilustra la cantidad de experimentos que se requieren para llevar a cabo un Diseño de Bloques Completos (DBB) que involucra tres factores, cada uno de los cuales se encuentra en tres niveles diferentes. En esta tabla, se ha codificado el valor máximo, el valor mínimo y el valor medio de cada uno de los factores dentro del rango que ha sido seleccionado para este análisis, utilizando los símbolos “1”, “-1” y “0” respectivamente, para facilitar la comprensión de los niveles de cada factor.

Figura 15.

Representación geométrica de un DBB de tres factores y tres niveles.

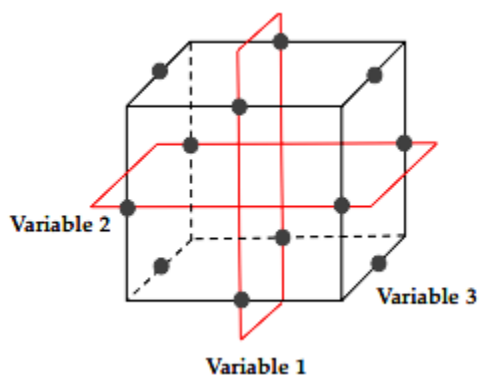


Tabla 10.

Número de experimentos necesarios para un DBB de tres factores y tres niveles

N° experimentos(N)	Variable 1(x_1)	Variable 2(x_2)	Variable 3(x_3)
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1

7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
C	0	0	0
C	0	0	0
C	0	0	0

Nota. elaboración propia

5.3. Población, muestra y unidad muestral

La población que se menciona está compuesta específicamente por el tallo de la planta conocida como Palo Santo, cuyo nombre científico es *Bursera graveolens*. Esta particular especie puede ser localizada en la provincia de Ayabaca, la cual es una de las provincias que conforman el departamento de Piura. Este departamento está ubicado en la región norte del país de Perú, donde se puede observar una diversidad de ecosistemas y biodiversidad. Este árbol es ampliamente reconocido por su importante papel en la elaboración de aceite esencial, y se desarrolla en su hábitat natural. A menudo, se recurre a este recurso cuando el árbol alcanza una edad avanzada, momento en el cual comienza a caer de manera natural, lo que permite su aprovechamiento.

La muestra elegida para llevar a cabo la investigación que se presenta a continuación fue obtenida a través de un procedimiento de muestreo no probabilístico, el cual se establece en función de la disponibilidad de la materia prima que se encuentra en la provincia de

Ayabaca. Esta muestra corresponde a árboles viejos que estaban disponibles en el momento de la recolección.

En el marco de este estudio, la unidad muestral se establece y se define con precisión como el tallo individual correspondiente al árbol conocido como Palo Santo, cuyo nombre científico es *Bursera graveolens*. Este tallo ha sido empleado específicamente en la realización de los experimentos dirigidos a la extracción del aceite esencial que se investiga.

5.4. Materiales

Los siguientes materiales utilizados en la extracción del aceite esencial del palo santo son:

- Embudo de decantación, 100 ml
- Soporte universal, 1 unidad
- Probeta de 100 ml
- Botellas color ámbar de 30 ml, 15 Unidades.
- Jeringas de 1 ml, 15 unidades
- Jeringas de 5 ml, 15 unidades
- Regla de 30 cm
- Termómetro digital

Equipos

- Destilador por arrastre de vapor, marca ASG
- Balanza digital
- Cronometro
- Cepilladora de madera convencional
- Pulidora de madera convencional
- Formón

Materia prima e insumos

- Palo Santo
- Agua

Cromatógrafo de gases unido a un espectrómetro de masas

- cromatógrafo de gases de la reconocida marca Agilent Technologies, modelo 7890, que se encuentra equipado con un avanzado detector espectrómetro de masas también de Agilent Technologies, específicamente el modelo 5975C.

5.4.1. Descripción del equipo de extracción de aceites esenciales

En la figura 16 se presenta la fotografía del equipo y se remarca sus partes principales y las características del material del equipo.

Figura 16.

Equipo de extracción de aceite esencial del laboratorio de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la UNMSM.



Nota. Elaboración propia

1. CALDERO Y TAPA: se ha diseñado y fabricado utilizando un material especial conocido como vidrio borosilicato 3.3. Este tipo de vidrio es notablemente resistente a la corrosión química, capaz de soportar choques térmicos significativos y altas temperaturas sin comprometer su integridad. Además, esta característica garantiza que no haya contaminación del agua que se esté tratando, lo que permite a los usuarios observar claramente todo el proceso de separación que se lleva a cabo.
2. TABLERO ELECTRÓNICO DE COMANDO: Es un dispositivo avanzado que ofrece la capacidad de ajustar y regular de manera precisa la cantidad de potencia que se entrega a la resistencia eléctrica, lo cual es fundamental para poder mantener un control eficiente sobre la temperatura del sistema.
3. SISTEMA DE NIVEL CONSTANTE: Es una tecnología diseñada especialmente para salvaguardar el funcionamiento del equipo. En situaciones donde se produce un corte en el suministro de agua o cuando el caudal es inadecuado y potencialmente perjudicial, este sistema actúa protegiendo el equipamiento al apagarse de forma automática. Además, como parte de su funcionamiento, emite una señal acústica alertando sobre la interrupción, lo que permite a los operadores estar informados y tomar las medidas necesarias.
4. LLAVE DE DESAGOTE: Se encuentra estratégicamente ubicada en la parte inferior del caldero, para una fácil y rápida limpieza del equipo.
5. SISTEMA DE CALEFACIÓN: Fabricado con material de vela de cuarzo que encierra a la resistencia eléctrica 1150 watts (resiste altas temperaturas sin contaminar el medio líquido).
6. CANASTO DESMONTABLE CON MANIJA: Fabricado con material de acero inoxidable, con una capacidad de 1000cm³ para distribuir la materia prima.
7. REFRIGERANTE: Fabricado con material de vidrio borosilicato 3,3(lo que asegura una alta calidad en la destilación) unido con un selector de descarga de hidrolato y aceite esencial.

8. COLECTOR: Hace una separación primaria del aceite esencial contenido en el hidrolato mediante una llave de descarga tipo aguja.

9. ESTRUCTURA AUTOPORTANTE: Fabricado de material de aluminio, la cual protege al equipo y lo integra en una sola unidad (Tablero, Caldera y Condensador) lo cual lo hace fácilmente trasladable.

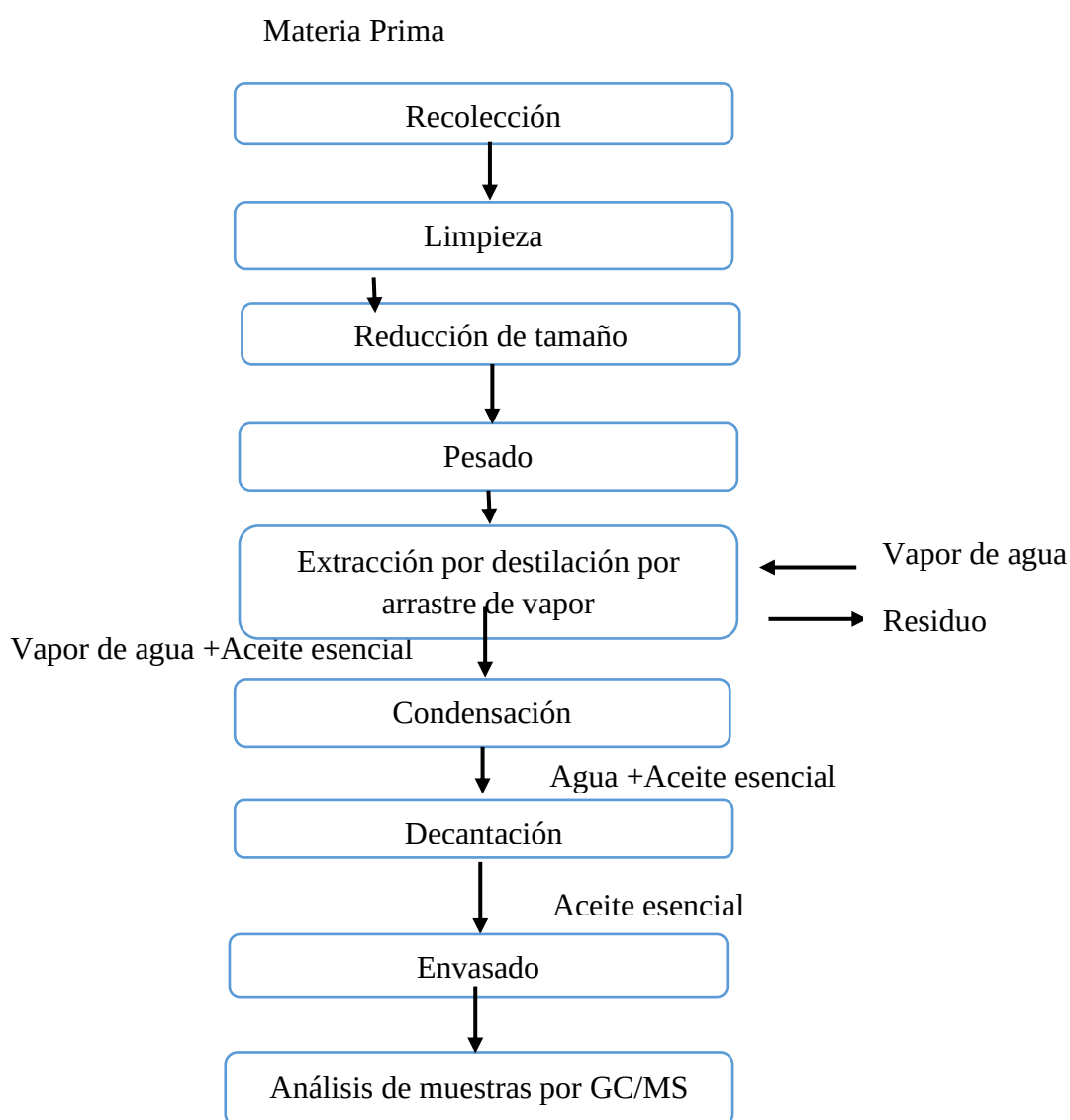
5.5. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

5.5.1. Procedimientos experimentales del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo

En la figura 17 se presenta el diagrama de flujo del procedimiento secuencial y detallado del procedimiento experimental que se siguió para obtener el aceite esencial.

Figura 17.

Diagrama de flujo para la obtención de aceite esencial de palo santo.



Nota. Elaboración propia

5.5.2. Descripción del procedimiento del proceso de extracción

- 1) Materia prima: En relación con el desarrollo experimental del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo, que se realizará con la técnica de destilación por arrastre de vapor, es relevante señalar que la recolección de este material vegetal se realizó en la provincia de Ayabaca. Esta provincia es una de las ocho que componen el departamento de Piura, ubicado en el norte del Perú.
- 2) Recolección: se recolectó las maderas del palo santo desde los terrenos de cultivo de la provincia de Ayabaca y transportado en costales con el debido cuidado hacia la ciudad de Lima.
- 3) Limpieza: En este procedimiento específico, llevamos a cabo un proceso de limpieza exhaustivo de la materia prima utilizada, que en este caso es el palo santo, con el objetivo de eliminar cualquier tipo de material extraño, como, por ejemplo, la tierra que pudiera haber estado presente.
- 4) Reducción de tamaño: Después de que se ha medido el peso de la madera proveniente de la materia prima, el siguiente paso es preparar la madera para que sea procesada y su tamaño sea reducido en diversas formas, como aserrín, viruta y astilla. Este proceso tiene como objetivo principal evaluar y encontrar el tamaño adecuado que permita obtener un mayor rendimiento de aceites esenciales, lo que a su vez contribuirá a determinar cuál de las opciones resultantes es la más adecuada y recomendable para llevar a cabo la extracción de estos aceites. En la Figura 18 se presenta de manera visual el procedimiento mediante el cual se lleva a cabo la reducción del tronco del palo santo, transformándolo en pequeñas astillas. Se observa que las astillas tienen una longitud que oscilan entre 5 y 10 centímetros de largo y con un espesor de 0.5 centímetros asimismo tienen una forma voluminosa e irregular, además de presentar bordes afilados debido al proceso de corte.

Figura 18.

Reducción de tamaño de partícula del palo santo en forma de astilla



La figura número 19 presenta una ilustración detallada que muestra el proceso mediante el cual se lleva a cabo la reducción del tronco del árbol conocido como palo santo, transformándolo en virutas finas. Se observa que tiene una longitud que puede variar entre 1 y 5 centímetros asimismo tiene una forma alargada además de presentar una ligera curvatura debido a la naturaleza del corte.

Figura 19.

Reducción de tamaño de partícula del palo santo en forma de viruta.



En la ilustración que corresponde a la figura 20, se puede observar de manera detallada el procedimiento mediante el cual se lleva a cabo la transformación del tronco del árbol de palo santo, convirtiéndolo en un material similar al aserrín. Se observa que son partículas muy finas menos de 1mm de diámetro además presenta una forma irregular y muy pequeña.

Figura 20.

Reducción de tamaño de partícula del palo santo en forma de aserrín.



5) Pesado: El proceso de pesaje se llevó a cabo de manera directa, empleando para ello una balanza digital que asegura una mayor precisión en las mediciones. Continuando con el procedimiento se retira los canastos del interior de la caldera y se procede a cargarlos con el material a destilar hasta una altura de 17 cm para la (astilla, aserrín y viruta), asimismo calculamos la densidad de lecho para cada muestra. En la Figura 21 se muestra la secuencia de pesado de la astilla en el canasto antes de su introducción en el equipo correspondiente.

Figura 21.

Pesado de la astilla y almacenado en la canasta.



En las Figuras 22 y 23 se muestran la secuencia de pesado de la viruta y aserrín respectivamente, en el canasto antes de su introducción en el equipo correspondiente.

Figura 22.

Pesado del aserrín y almacenado en la canasta.



Figura 23.

Pesado del aserrín y almacenado en la canasta.

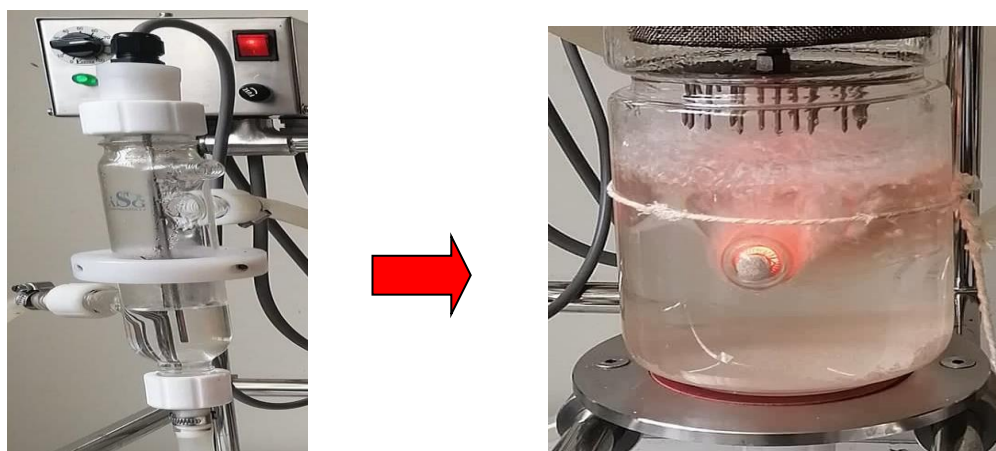


- 6) Destilación por arrastre de vapor: es un proceso importante que lleva a cabo una serie de pasos cuidadosos. En este caso, para comenzar el procedimiento, es necesario quitar la tapa de la caldera. Esto se logra desenroscando cuidadosamente las tuercas que tienen forma de mariposa. Tras realizar estos movimientos, se giran las tuercas como se muestra en la imagen proporcionada. Después de completar esta acción, se debe colocar la tapa de la caldera en una superficie segura para evitar cualquier accidente. Finalmente, es fundamental retirar la junta que se encuentra en la tapa. Colocamos cuidadosamente la tapa sobre la superficie correspondiente y, a continuación, procedemos a ajustar las tuercas que tienen forma de mariposa utilizando únicamente nuestras manos, sin la ayuda de ninguna herramienta. Este ajuste se realiza aplicando un torque mínimo, con el fin de prevenir cualquier daño o deterioro a los delicados componentes fabricados en vidrio que podrían verse afectados. Después de haber pesado cuidadosamente la muestra, se procedió a introducir las partículas de palo santo en la cámara de extracción, donde se estableció un lecho de 17 centímetros de altura para facilitar el proceso de extracción. Procedimos a abrir la llave de la red con el objetivo de proporcionar alimentación al sistema de refrigeración, asegurando así un nivel constante, y también al funcionamiento de la caldera. El volumen o el nivel del agua presente en el sistema debe ajustarse de tal manera que sea suficiente no solo para cubrir completamente ambos alambres que se encuentran situados a una altura constante, sino que además debe elevarse

por encima del nivel del sistema de calefacción que se encuentra dentro de la caldera, específicamente en la zona de la vela, aproximadamente en unos 2 centímetros. En la representación visual que se encuentra en la Figura 24, se puede observar de manera clara y detallada el proceso de alimentación que se lleva a cabo, tanto en el sistema que mantiene un nivel constante como en la caldera que forma parte del mismo.

Figura 24.

Alimentación del sistema de nivel constante y caldera.



Conectamos el equipo a la red eléctrica, presionamos el botón on/off. Regulamos la potencia al 50 % y deberá encender la luz testigo, aguardamos 4 minutos, y luego regulamos la potencia deseada [70 - 90 %]. En la figura 25 se puede apreciar la regulación del tablero electrónico de comando para trabajar a diferentes potencias de flujo de vapor.

Figura 25.

Regulación del tablero electrónico de comando

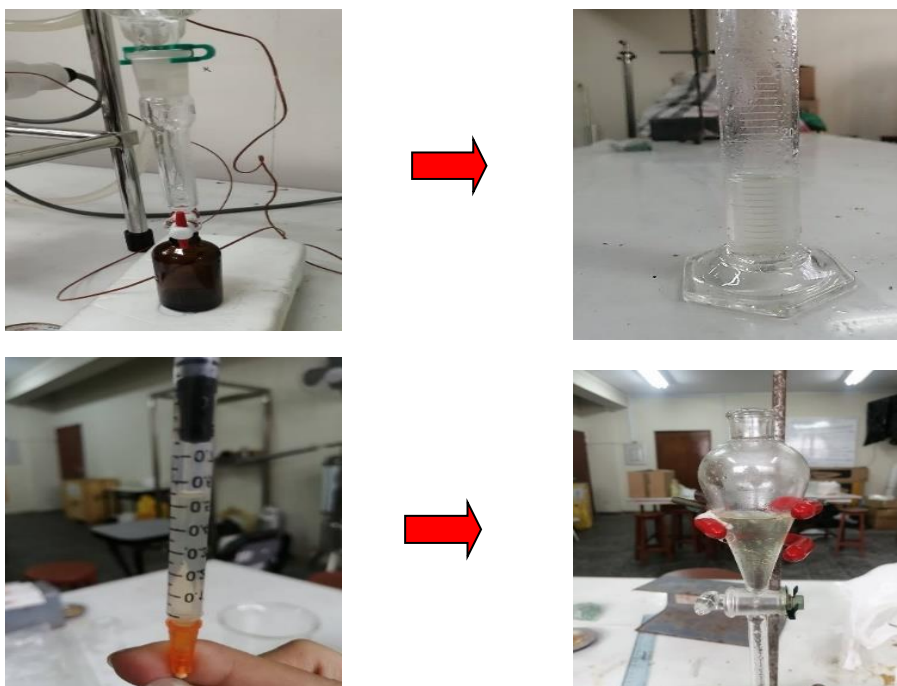


Se anticipa que tomará aproximadamente 20 minutos para que el agua logre alcanzar su temperatura de ebullición. Este fenómeno se produce debido a que el vapor de agua requiere un periodo específico de tiempo para realizar su recorrido, que va desde el fondo del recipiente hasta llegar a la superficie que se encuentra sobre el nivel del agua en el lecho del recipiente. Este fenómeno observado puede ser atribuido a la circunstancia de que, a lo largo de este periodo específico, el vapor de agua que ha sido cuidadosamente inyectado comienza a establecer un equilibrio térmico tanto con las hojas que componen el recipiente utilizado como con las superficies internas de las paredes del destilador que contienen dicho vapor. Durante este proceso, el vapor transfiere parte de su calor latente y, como resultado, se condensa. De esta manera, se produce un aumento significativo en el reflujo del vapor de agua que se encuentra en estado de condensación, dirigiéndose hacia la parte inferior del lecho. Una vez que se logre establecer un estado de equilibrio térmico, el vapor de agua comenzará a fluir en una proporción más intensa a través de todo el lecho del sistema. Este vapor, que se generará a partir del proceso de evaporación, transportará consigo diminutas partículas de agua en forma de pequeñas gotas microscópicas, las cuales han sido extraídas y vaporizadas a partir del aceite esencial de palo santo. El vapor, en esta mezcla, pasará a través del condensador, donde su temperatura disminuirá de 80°C hasta alcanzar un rango de entre 20 y 23°C. Este procedimiento conducirá a la creación de una combinación líquida que no se mezcla, lo cual resultará en la expulsión de esta

mezcla a través de un dispositivo conocido como florentino. El periodo dedicado al proceso de extracción se llevó a cabo dentro de un intervalo que abarca desde los 60 hasta los 120 minutos. En el transcurso del proceso de destilación, se logró obtener tanto el hidrolato como el aceite esencial. El hidrolato, que es el producto acuoso que se genera, se descarga de forma continua mediante el uso de un sistema de sifón. Para facilitar este proceso, se emplea un recipiente de vidrio de color ámbar con una capacidad aproximada de 100 mililitros.

Figura 26.

Separación del aceite esencial e hidrolato



- 7) Separación: La mezcla en estado líquido es recogida y almacenada en una probeta con capacidad de 100 mililitros, así como también en jeringas de un mililitro, las cuales se utilizan para medir y registrar el volumen obtenido durante un periodo específico de tiempo. Para concluir el proceso, se transfiere la mezcla líquida a un recipiente especializado conocido como pera decantadora, donde se permite que repose adecuadamente. Este tiempo de reposo es crucial, ya que facilita la separación de la fracción correspondiente al aceite esencial del

líquido denominado hidrosol o hidrolato.. En la figura 26 se aprecia la obtención y separación del AE de palo santo.

- 8) Envasado: El proceso de envasado consiste en que el aceite que ha sido cuidadosamente extraído de cada uno de los tratamientos se coloca en un frasco que tiene un color oscuro. Esta elección de un envase de color oscuro es fundamental, ya que ayuda a preservar mejor la calidad del aceite durante su almacenamiento.

Cálculo de rendimiento

El rendimiento del aceite esencial que ha sido extraído se determina mediante la utilización de la ecuación (3) ; para este cálculo, se emplea un valor estimado de la densidad del aceite esencial ρ_{AE} , el cual se establece en 0.83 gramos por mililitro (g/ml).

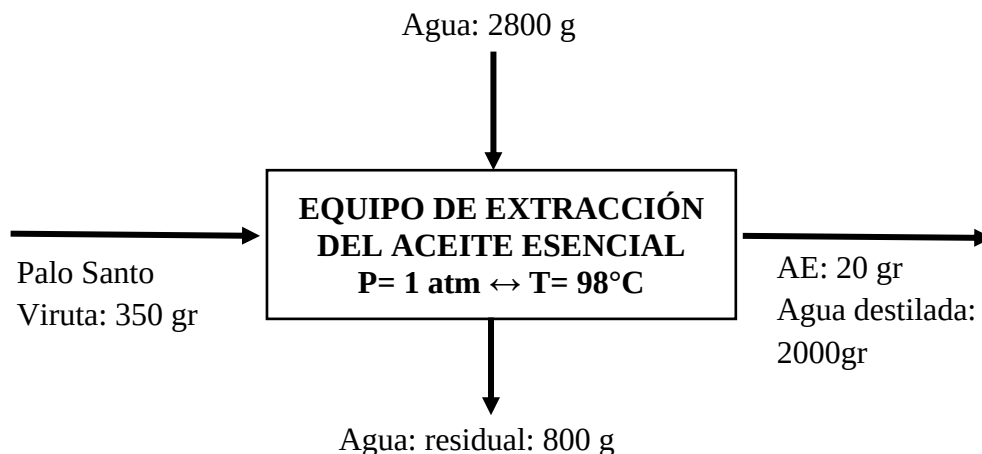
$$R = \frac{\text{vol AE} \times \rho_{AE} \times 100}{\text{Peso del palo santo}} \quad (3)$$

5.5.3. Balance de materia para la obtención de aceite esencial

La figura 27 presenta de manera detallada el balance de materia correspondiente al proceso de extracción del aceite esencial que se obtiene del palo santo. Esta figura subraya de forma notable cómo se distribuyen las diversas variables de control a lo largo de las distintas fases que conforman dicho proceso de extracción.

Figura 27.

Balance de materia para la obtención de aceite esencial de palo santo



Nota. Elaboración propia

Este análisis es crucial para comprender cómo se utilizan las materias primas, y otros insumos, y para garantizar la eficiencia del proceso, evitando pérdidas significativas de materiales. Los datos revelan la cantidad de aceite esencial extraído y cualquier subproducto generado, lo que a su vez informa sobre posibles áreas de mejora y optimización del proceso. Para llevar a cabo el análisis del balance del proceso en cuestión, se utilizan como referencia los valores que fueron empleados durante la prueba experimental que se realizó. Los datos específicos que se están considerando son los siguientes: se establece que la densidad del agua tiene un valor equivalente a 1 g/ml. De forma paralela, en el trabajo de investigación llevado a cabo por Noel y Oviedo en el año 2019, se tomó en cuenta una densidad para el aceite esencial de palo santo que se calcula en 0.83 g/ml. La Tabla 11 muestra de manera detallada las variables de control que son consideradas esenciales e indispensables para llevar a cabo de manera efectiva el proceso de extracción del aceite esencial proveniente del palo santo. Estas importantes variables juegan un papel fundamental en la calidad y en la eficiencia general del proceso, ya que tienen un impacto directo en la cantidad y en la pureza del aceite esencial que se logra obtener al final. Al llevar a cabo un cuidadoso monitoreo y realizar los ajustes necesarios en diversos factores, tales como la duración del tiempo de extracción, la potencia del flujo de vapor, el tamaño de las partículas, la temperatura, así como

otras variables relevantes, se podrá alcanzar un control más efectivo y optimizado sobre el proceso en cuestión. Se toman valores de una corrida experimental* para describir las variables de control.

Tabla 11.

Variables de control para la extracción de aceite esencial.

Ítem	Variables de Control	Unidad de Medición	Valor
1	Peso del palo santo (viruta)	g	350
2	Densidad de lecho del palo santo	g/ml	0.20
3	Volumen de agua del generador de vapor	ml	2800
4	Tiempo de salida de la primera gota	min	10
5	Tiempo de extracción	min	90*
6	Temperatura de destilación	°C	98
7	Presión del extractor	atm	1
8	Volumen de agua destilada	ml	2000
9	Peso final del palo santo (viruta)	g	329
10	Potencia del flujo de vapor	%	80*
11	Volumen de aceite esencial obtenido	ml	20*

Nota. elaboración propia

5.6. Análisis estadístico

5.6.1. Análisis de varianza (ANOVA)

El ANOVA establece qué efectos e interacciones presentan un efecto significativo en el rendimiento y calidad de la composición del aceite esencial extraído, si el valor p es menor a

0.05. Este se obtiene luego de aplicar el DBB según los siguientes niveles de valores máximos, medios y mínimos de nuestras tres variables independientes como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12.

Niveles y factores de las variables de operación

Nivel (Y)	Factor (X)	Tiempo de Extracción	Potencia de flujo de Vapor (P%)	*Densidad de Lecho
1		60 min	70%	0,15* gr/ml /Astilla
2		90 min	80%	0,20 gr/ml/ Viruta
3		120 min	90%	0,25 gr/ml / Aserrín

Nota. Elaboración propia

* El tamaño y forma de las partículas del palo santo se representan mediante la **densidad de lecho**, ya que esta variable continua permite evaluar cómo estos factores afectan el proceso de extracción en el diseño de Box-Behnken.

Donde:

X: representa a las variables independientes

Y: los niveles en cada variable evaluada

* Este valor no se pudo alcanzar experimentalmente, pues por diversas aproximaciones los valores se encontraron entre (0,17-0,20) gr/ml de modo que este valor se pudo considerar como nominal. No obstante, se utilizó el Diseño Box Behnken (DBB) con 3 factores + 3 repeticiones en el punto central, dándonos 15 tratamientos. En la Tabla 13 se presenta los parámetros que se utilizaron en la extracción del aceite esencial.

Tabla 13.*Matriz experimental según el diseño Box Behnken (DBB)*

Corridas	Combinaciones acordes a las variables y según el DBB		
	t (min)	P (%)	Densidad de lecho (gr/ml)
Nº1	60	80	0,25
Nº2	120	80	0,25
Nº3	90	70	0,25
Nº4	90	90	0,25
Nº5	90	80	0,20
Nº6	60	70	0,20
Nº7	60	90	0,20
Nº8	120	90	0,20
Nº9	120	70	0,20
Nº10	90	80	0,20
Nº11	90	80	0,20
Nº12	60	80	0,15
Nº13	120	80	0,15
Nº14	90	70	0,15
Nº15	90	90	0,15

Nota. Elaboración propia

VI. RESULTADOS

En este capítulo presentaremos los resultados experimentales y los calculados metodológicamente durante el curso de la investigación.

6.1 Rendimiento del aceite esencial del palo santo

En la tabla 14 se presenta el rendimiento obtenido de la extracción del AE de palo santo, estos valores son estimados usando la ecuación (3).

Tabla 14.

Rendimiento obtenido de la extracción del AE de palo santo para los diferentes tratamientos según el diseño Box-Behnken.

Corrida	Tiempo (min)	Potencia Flujo de Vapor (%)	Densidad de Lecho (g/ml)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
1	60	80	0,25	11	2,03
2	120	80	0,25	20	3,69
3	90	70	0,25	16	2,95
4	90	90	0,25	14	2,58
5	90	80	0,20	14	3,63
6	60	70	0,20	7,8	1,90
7	60	90	0,20	14	3,06
8	120	90	0,20	15	3,89
9	120	70	0,20	10	2,59
10	90	80	0,20	19	4,51
11	90	80	0,20	20	4,74
12	60	80	0,15	2,9	0,75

13	120	80	0,15	6	1,11
14	90	70	0,15	5	1,09
15	90	90	0,15	5	1,30

Nota. Elaboración propia

Hipótesis Estadística de significancia

Para determinar si existe o no relación entre las variables independientes y sus interacciones **X** e **Y** en la función establecida, se plantea las siguientes hipótesis.

$H_0: \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij} = 0$ (no hay relación entre **X** e **Y**)

H_a : Algunos de $\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij} \neq 0$ (hay relación entre **X** e **Y**)

En la tabla 15 se presenta los resultados del ANOVA para el rendimiento del aceite esencial del palo santo procesado por Minitab^(R) 18

Tabla 15.

Análisis de varianza (ANOVA) de los ensayos del DBB para el rendimiento del AE.

Fuente	Gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor <i>p</i>
Modelo	9	21.2189	2.35765	7.21	0.021
Tiempo	1	1.5637	1.56366	4.78	0.080
Potencia	1	0.6535	0.65353	2.00	0.216
Densidad de lecho	1	6.1307	6.13074	18.76	0.007
Tiempo*Tiempo	1	2.1273	2.12734	6.51	0.051
Potencia*Potencia	1	1.6705	1.67051	5.11	0.073
Densidad de lecho*Densidad de lecho	1	9.9316	9.93164	30.39	0.003
Interacción de 2 factores	3	0.5135	0.17116	0.52	0.685

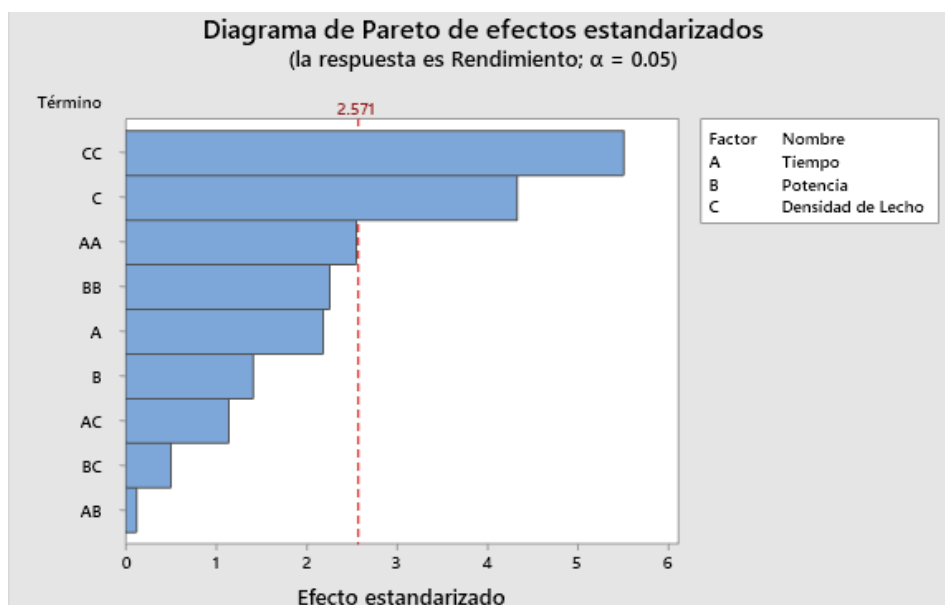
Tiempo*Potencia	1	0.0051	0.00512	0.02	0.905
Tiempo*Densidad de lecho	1	0.4261	0.42610	1.30	0.305
Potencia*Densidad de lecho	1	0.0823	0.08227	0.25	0.637
Error	5	1.6343	0.32685		
Total	14	22.8531			

Nota. Gl: Grados de libertad, SC Ajust.: Sumas ajustadas de los cuadrados, MC Ajust.: Promedio de los cuadrados ajustados

Aun cuando no se obtuvieron una densidad de lecho adecuado para la astilla que permita su uso preciso en el análisis de DBB y reportándose no buena repetibilidad en los resultados experimentales, consideramos seguir usando el diagnóstico del ANOVA para evaluar cualitativamente y cuantitativamente el trabajo experimental desarrollado.

Figura 28.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el rendimiento del AE del palo santo.



Nota. Diagrama obtenido del Minitab

En la tabla 16, se presentan la cantidad de D-Limoneno obtenido para cada corrida experimental, tratamiento, acorde a la combinación de los factores según el DBB.

Tabla 16.

El componente D-Limoneno obtenido de la extracción del AE de palo santo para los diferentes tratamientos según el Diseño Box-Behnken.

Tiempo	Potencia	Densidad de Lecho	D-Limoneno (ml/kg carga)
60	80	0,25	19.32822
120	80	0,25	32.3288
90	70	0,25	28.9244
90	90	0,25	23.2182
90	80	0,20	34.9387
60	70	0,20	16.0932
60	90	0,20	27.3110
120	90	0,20	36.3234
120	70	0,20	23.7812
90	80	0,20	38.0651
90	80	0,20	46.9485
60	80	0,15	3.6993
120	80	0,15	4.7333
90	70	0,15	7.3052
90	90	0,15	10.6765

En la tabla 17 se identifican diferentes factores e interacciones que muestran significancia estadística en relación con el componente mayoritario (D-limoneno) del AE del palo santo.

Tabla 17.

Análisis de varianza de la extracción del D-Limoneno obtenido del palo santo según el DBB.

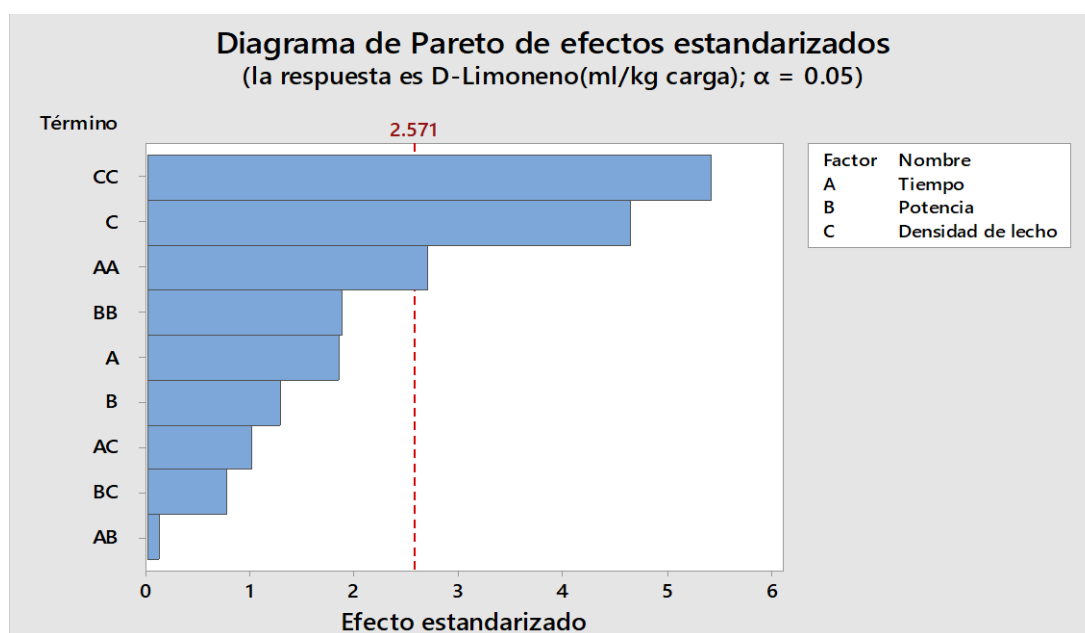
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.002249	0.000250	7.18	0.021
Tiempo	1	0.000118	0.000118	3.39	0.125
Potencia	1	0.000057	0.000057	1.65	0.255
Densidad de lecho	1	0.000749	0.000749	21.52	0.006
Tiempo*Tiempo	1	0.000255	0.000255	7.33	0.042
Potencia*Potencia	1	0.000124	0.000124	3.57	0.117
Densidad de lecho*Densidad de lecho	1	0.001024	0.001024	29.44	0.003
Interacción de 2 factores	3	0.000057	0.000019	0.54	0.673
Tiempo*Potencia	1	0.000000	0.000000	0.01	0.915
Tiempo*Densidad de lecho	1	0.000036	0.000036	1.03	0.357
Potencia*Densidad de lecho	1	0.000021	0.000021	0.59	0.476
Error	5	0.000174	0.000035		
Falta de ajuste	3	0.000096	0.000032	0.83	0.588
Error puro	2	0.000078	0.000039		
Total	14	0.002422			

De la figura 29 se observa que la densidad de lecho y el tiempo de extracción tienen una influencia significativa en el componente principal extraído (D-limoneno); podemos explicarlo de la siguiente manera, la influencia significativa de la densidad de lecho en la extracción del D-limoneno sugiere que la forma en que se empaquetan o distribuyen los materiales en el lecho, de modo que un aumento en la densidad de lecho promueve la interacción entre el disolvente y la

materia prima, lo que favorece una mayor extracción del D-limoneno. El tiempo de extracción también muestra una influencia significativa en la cantidad del componente principal extraído.

Figura 29.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el rendimiento del D-Limoneno



En la Tabla 18 se presentan las 15 corridas y las respectivas combinaciones según el diseño de Box-Behnken en relación con la cantidad de α -terpineol.

Tabla 18.

El componente α -Terpineol obtenido de la extracción del AE de palo santo mediante la interacción de los parámetros óptimos según el diseño Box-Behnken

Tiempo	Potencia	Densidad de Lecho	α -Terpineol (ml/kg carga)
60	80	0,25	0.7382
120	80	0,25	0.7377
90	70	0,25	0.5582
90	90	0,25	1.1417

90	80	0,20	1.5312
60	70	0,20	0.3808
60	90	0,20	0.8547
120	90	0,20	1.6406
120	70	0,20	0.6937
90	80	0,20	2.9477
90	80	0,20	1.3428
60	80	0,15	0.5093
120	80	0,15	0.8533
90	70	0,15	1.6421
90	90	0,15	0.4531

Nota. Elaboración propia

En la tabla 19, basándonos en los resultados obtenidos en Minitab para el análisis del diseño Box-Behnken, se identificaron diferentes factores y combinaciones estadísticas en relación con el componente (α -terpineol) del aceite esencial de palo santo.

Tabla 19.

Análisis de varianza del α -Terpineol del AE vs. Tiempo de extracción, potencia, densidad de lecho.

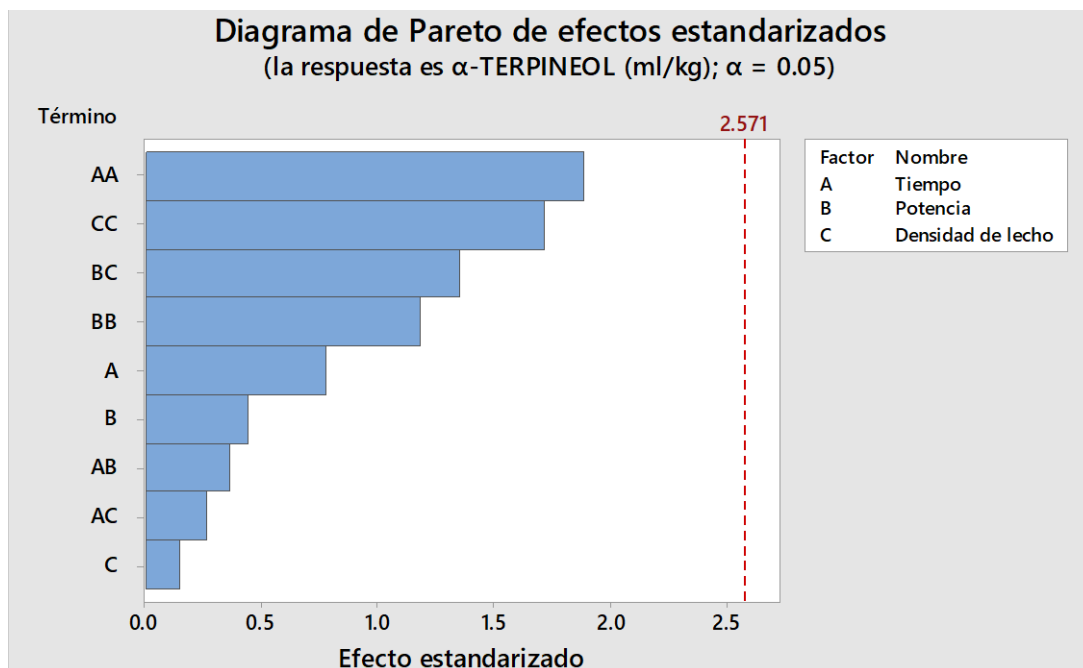
Término	Coeficiente	EE del coeficiente	Valor T	Valor p
Constante	1.941	0.379	5.12	0.004
Tiempo	0.180	0.232	0.78	0.473
Potencia	0.102	0.232	0.44	0.679
Densidad de lecho	-0.035	0.232	-0.15	0.885

Tiempo×Tiempo	-0.644	0.342	-1.88	0.118
Potencia×Potencia	-0.404	0.342	-1.18	0.290
Densidad de lecho×Densidad de lecho	-0.587	0.342	-1.72	0.146
Tiempo×Potencia	0.118	0.328	0.36	0.733
Tiempo×Densidad de lecho	-0.086	0.328	-0.26	0.804
Potencia×Densidad de lecho	0.443	0.328	1.35	0.235
Resumen del modelo	S	R ²	R ² ajustado	R ² predictivo
	0.656653	66.09%	5.06%	0.00%

En la figura 30, que se basa en el diagrama de Pareto que fue elaborado utilizando el software Minitab, se puede apreciar claramente que la densidad del lecho, el tiempo de extracción, así como la potencia del flujo de vapor, no presentan un impacto destacado o considerable en la extracción del componente principal que es el α – Terpineol.

Figura 30.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el rendimiento del α – Terpineol



VII. DISCUSIÓN

7.1. Influencia de los factores respecto al rendimiento de AE de palo santo

Para evaluar la repetibilidad de los tratamientos examinamos los resultados correspondientes a los tres puntos centrales, tiempo de 90 min, potencia del 80% y tamaño de partícula (densidad de lecho) de la viruta, que dan de rendimiento 3,6312 (5^{to} experimento), 4,5057 (10^{mo} experimento) y 4,7428% (11^{mo} experimento); estableciéndose que no se logró una buena repetibilidad, debido a eventos propios del proceso experimental y no de pérdida de aceite almacenado en el tiempo. Estos eventos se pudieron observar durante la ejecución de la corrida experimental con el equipo de destilación por arrastre de vapor, en la cual se observaron momentos en los que el condensador se calentaba significativamente y así originaba una disminución en el proceso de la condensación. Para contrarrestar este problema, se recurrió a aumentar el caudal para facilitar el enfriamiento del condensador. Momento en la cual se percibió un aroma penetrante a aceite esencial de palo santo; la cual respondería a un déficit de condensación, por lo que se produciría una menor cantidad de aceite esencial. Otro fenómeno que pudiera haber interferido en la extracción del AE fue el exceso de burbujas que se originaba dentro del generador de vapor por la ebullición intensa del agua.

7.1.1 Estadística descriptiva para evaluar el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído

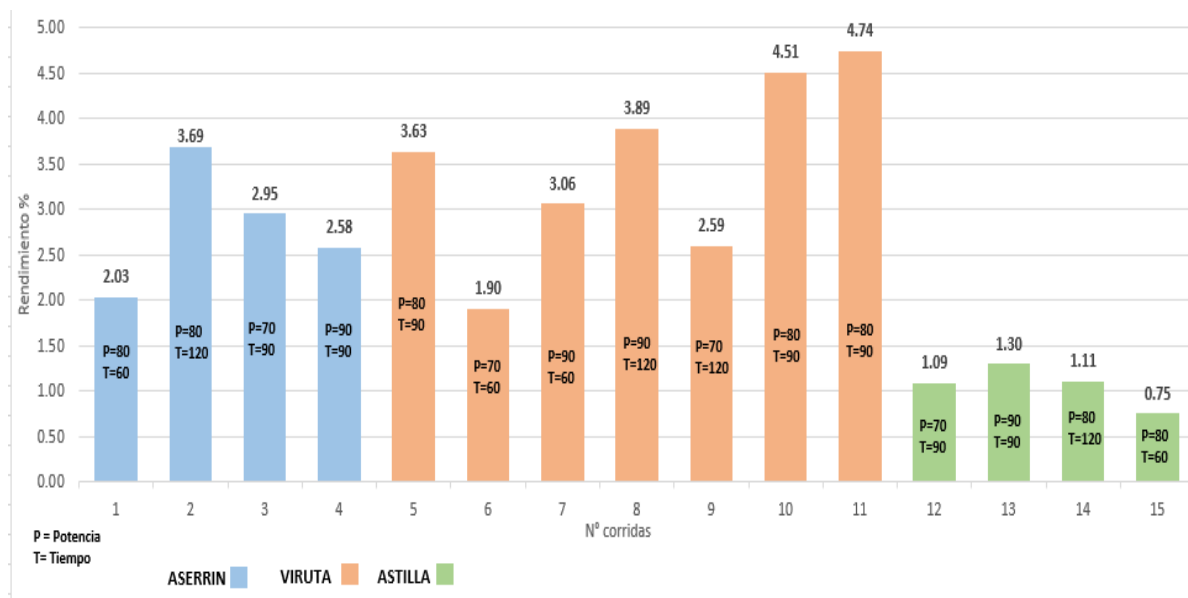
A. Efecto de la forma y tamaño (densidad de lecho) con respecto al rendimiento del aceite esencial del palo santo

En la figura 31, se puede observar las diferencias en el rendimiento obtenido para cada tipo de material y cómo influyen los parámetros de operación.

Se alcanzó un rendimiento superior en la extracción del aceite esencial a partir de la viruta, logrando los porcentajes más altos de 4,5057 % y 4,742 % al utilizar una potencia de flujo de vapor establecida en un 80 % y al prolongar el proceso durante un tiempo total de 90 minutos, lo que demuestra la eficacia de estos parámetros en la obtención del producto. De acuerdo con la investigación realizada por Peralto en el año 1988, se indica que es fundamental no moler el material en exceso, ya que un molido excesivo puede ocasionar el apelmazamiento de las partículas. Este fenómeno, a su vez, repercute de manera negativa en el rendimiento del proceso. Por otro lado, se observa que a medida que el tamaño de las partículas se incrementa, el rendimiento experimenta un aumento significativo. Esta mejora en el rendimiento probablemente se debe a que un mayor tamaño de partícula genera un espacio intersticial más amplio entre ellas, lo que facilita una interacción más eficiente del vapor de agua durante el proceso. De acuerdo con los autores Martínez y Ceballos en su estudio publicado en 2012, se establece que el tamaño de las partículas, que es una característica clave en la granulometría, tiene un impacto significativo en los procesos relacionados con la transferencia de calor y la transferencia de masa. Esto se debe a que, cuando se trata de partículas más pequeñas, se incrementa la superficie que está expuesta a un proceso específico, lo que, a su vez, conlleva a una mejora en el rendimiento de dichos procesos. Fundamentación: a) Superficie de contacto; la viruta, al tener una mayor área superficial en comparación con la astilla y el aserrín, permite una mayor interacción entre el disolvente y la materia prima. b) Permeabilidad: La estructura de la viruta puede ser más porosa y permeable, lo que facilita el flujo del disolvente a través del material y, por lo tanto, aumenta la eficiencia de extracción.

Figura 31.

Rendimiento del AE acorde a los tipos de tamaño y forma (densidad de lecho) del palo santo.



Nota. Elaboración propia

B. Efecto de la potencia del flujo de vapor en el rendimiento del aceite esencial

En la Figura 32, se ilustra la relación entre la potencia y el rendimiento del aceite esencial, destacando que, con un flujo de potencia de 80, se logran rendimientos más elevados, especialmente en el caso del tamaño de partícula en forma de viruta. Esta tendencia puede atribuirse a varios factores. Seguramente el tamaño de partícula en forma de viruta crea una mayor área superficial de contacto entre el material y el medio de extracción (agua o vapor), permitiendo una extracción más efectiva de los componentes esenciales del palo santo. La mayor área superficial facilita la transferencia de calor y la penetración del medio de extracción en las partículas, lo que conduce a una liberación más eficiente de los compuestos esenciales contenidos en el palo santo.

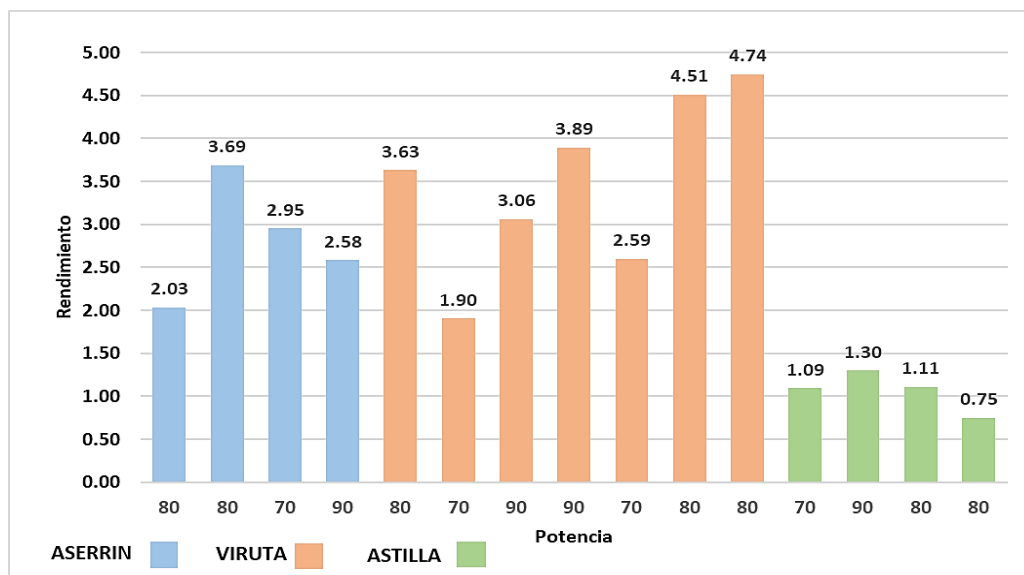
- Además, el aumento de potencia de flujo de vapor puede contribuir a una mayor eficiencia en la transmisión de calor al sistema, lo que favorece la liberación de los componentes volátiles del palo santo. Así, cuando se aplica una potencia de 80, es probable que se alcance la temperatura y presión adecuadas para maximizar la extracción del aceite esencial, especialmente con partículas

en forma de viruta que proporcionan una mayor área de contacto y permeabilidad. En resumen, la combinación de un tamaño de partícula en forma de viruta, que aumenta la superficie de contacto, junto con una potencia de flujo de vapor de 80, que mejora la eficiencia en la transmisión de calor, resulta en mayores rendimientos en la extracción del aceite esencial del palo santo. El aumento en la potencia de flujo de vapor de 70 a 80 resultó en un incremento en el rendimiento de la viruta (de 1.90% a 4.50%). Esto sugiere que una potencia más alta facilita una mejor extracción del D-limoneno en la viruta. Sin embargo, al aumentar la potencia a 90, el rendimiento disminuyó ligeramente (3.89%), lo que indica que existe un punto óptimo en el cual la potencia proporciona los mejores resultados.

Los bajos rendimientos observados al trabajar con potencias de 70, 80 y 90 al extraer el aceite esencial de palo santo en forma de astilla pueden ser atribuidos a varias razones específicas a esta forma de la muestra. La alta potencia de flujo de vapor puede provocar un aumento rápido de temperatura en las astillas, llevando a la descomposición y volatilización prematura de los compuestos esenciales sensibles al calor presentes en el palo santo. Asimismo, esta rápida elevación de temperatura causaría la vaporización excesiva del agua contenida en la muestra, diluyendo el aceite esencial extraído y reduciendo su rendimiento. La estructura y densidad de las astillas podrían no permitir una distribución uniforme del calor, lo que resulta en una extracción desigual y subóptima de los compuestos esenciales. En conjunto, estas interacciones complejas entre la forma de astilla y la potencia de flujo de vapor aplicada influyen en la eficacia de la extracción y, por ende, en los rendimientos observados.

Figura 32.

Efecto de la potencia vs rendimiento del aceite esencial de palo santo



Nota. Elaboración propia

C. Efecto del tiempo de extracción en el rendimiento del aceite esencial

En la figura 33, se puede apreciar de manera clara el impacto que tiene la duración del proceso de extracción en la cantidad de aceite esencial que se obtiene. La cantidad y calidad del aceite esencial obtenido son altamente dependientes del período de tiempo que se dedique al proceso de extracción. Durante un período breve de 60 minutos, es probable que la extracción sea incompleta, lo que resultaría en un rendimiento ligeramente menor debido a que algunos compuestos necesitan más tiempo para ser completamente extraídos.

En el caso de la viruta, un incremento en el tiempo de extracción de 60 a 90 minutos resultó en un aumento en el rendimiento (de 1.90% a 4.50%). Esto sugiere que un tiempo más prolongado permite una mayor transferencia de D-limoneno. Sin embargo, al extender el tiempo de extracción a 120 minutos, el rendimiento disminuyó ligeramente (3.89%). Esto indica que también hay un punto óptimo en el tiempo de extracción.

Los valores obtenidos para el aserrín indican que se obtuvo un rendimiento de aceite en el rango de 2.02% a 3.68%, dependiendo de la combinación de potencia y tiempo de extracción utilizados. Al comparar los rendimientos obtenidos en el aserrín con los de la viruta, se puede observar que los rendimientos en el aserrín son superiores a los de la astilla, pero inferiores a los de la viruta. Según los resultados, se obtuvieron rendimientos más bajos al trabajar con astilla (0.75 % - 1.29 %) en comparación con la viruta y el aserrín. Esto puede deberse a las siguientes razones: a) superficie de contacto limitada; la astilla, al tener un tamaño más grande y una menor área superficial en comparación con la viruta y el aserrín, ofrece una menor superficie de contacto para la transferencia del aceite esencial al disolvente. Esto dificulta la extracción eficiente del aceite y, por lo tanto, resulta en un rendimiento más bajo. b) densidad de lecho; es posible que la densidad de lecho utilizada para la astilla no haya sido óptima en términos de promover una transferencia eficiente del D-limoneno. Ajustar la densidad de lecho podría ayudar a mejorar los resultados.

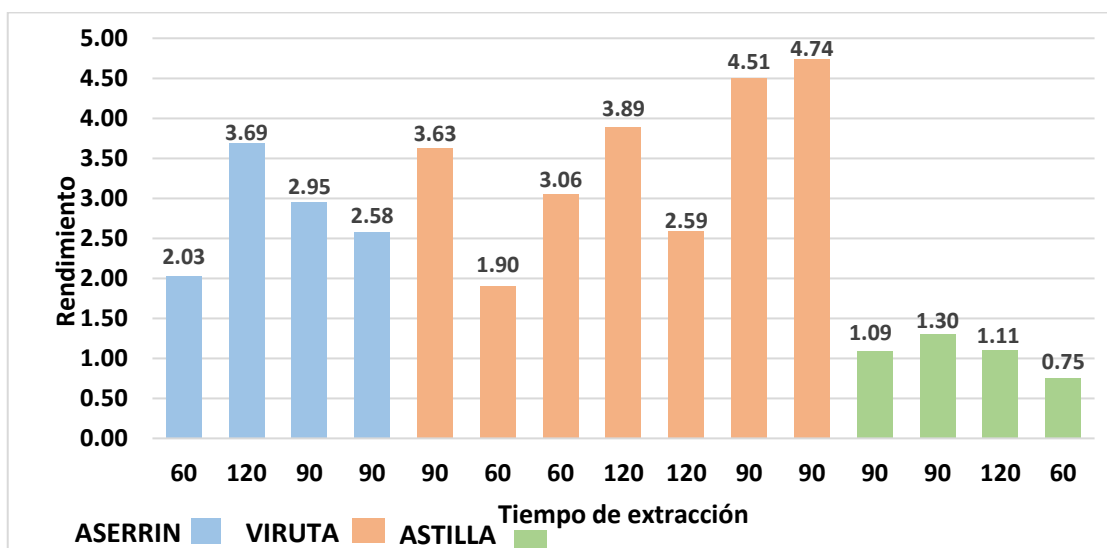
En contraste, a los 90 y 120 minutos, se observan mejores rendimientos, especialmente en lo que respecta al D-limoneno, un componente clave. Colina J., et al 2022, expresan que, al prolongar la duración del proceso de extracción durante la destilación mediante el uso de vapor arrastrado, se produce un aumento en la cantidad de tiempo que las cavidades que contienen aceites están expuestas a la corriente de vapor que se utiliza en dicho proceso. De esta manera, en el caso de las celdas que son de tamaños reducidos, estas celdas que están diseñadas para contener el aceite quedan expuestas durante un periodo de tiempo más prolongado a la acción de las corrientes de vapor. Este proceso facilita la ruptura de un número mayor de celdas, lo que, a su vez, provoca que los fenómenos difusivos se repitan con frecuencia. Esta repetición favorece el desgaste de las cavidades presentes en el material, lo que resulta en un desempeño más eficiente

y mejores rendimientos en general. En su investigación Sorensen, J et al (2000) nos indican que un periodo de destilación prolongado puede provocar el deterioro y considerables diferencias en la composición. Asimismo, Ceron et al., 2011 mencionan que el vapor resultante del proceso de destilación fue cuidadosamente llevado a una temperatura controlada de 90 °C, con el propósito de prevenir que el aceite esencial experimentara cualquier tipo de degradación térmica que pudiera afectar su calidad y propiedades. Damyeh et al., 2016 manifiestan que hay una variedad de tecnologías disponibles para la recolección de aceites esenciales. No obstante, se ha evidenciado que los métodos tradicionales presentan varios problemas significativos. Entre estos inconvenientes se encuentran la duración prolongada del proceso de extracción, la descomposición de aquellos componentes que son sensibles a las altas temperaturas, así como también el riesgo de que se pierdan aquellos componentes que son volátiles. Guenther et al., 2018 Sostienen que esta situación puede ser entendida y explicada por el hecho de que el calentamiento que se produce de manera directa, así como el contacto inmediato con el agua y con las celdas que contienen el aceite esencial, actúan para acelerar significativamente tanto los procesos de hidrólisis como la degradación térmica de los componentes involucrados. Esto, a su vez, impacta negativamente en el rendimiento de la extracción de estos aceites esenciales. En nuestra investigación al extender la extracción a 120 minutos, se percibe una disminución en los niveles de limoneno en astilla, viruta y aserrín, probablemente debido a procesos de degradación química que pueden ocurrir con exposiciones prolongadas. Este fenómeno de disminución en el rendimiento de limoneno a tiempos más largos puede deberse a la descomposición térmica del limoneno, así como a la interacción de limoneno con otros componentes o sustancias presentes en la muestra, lo que podría reducir su concentración en el aceite esencial extraído. Esta variación no es simplemente lineal y puede explicarse por las complejas interacciones químicas que suceden en el proceso de extracción. Para entender a fondo estos patrones y determinar el tiempo

óptimo de extracción, se requiere un análisis exhaustivo que considere la disponibilidad de compuestos, posibles degradaciones y la cinética de extracción.

Figura 33.

Efecto del tiempo de extracción vs Rendimiento del aceite esencial de palo santo



Nota. Elaboración propia

D. Influencia de las condiciones operaciones respecto al componente D-Limoneno

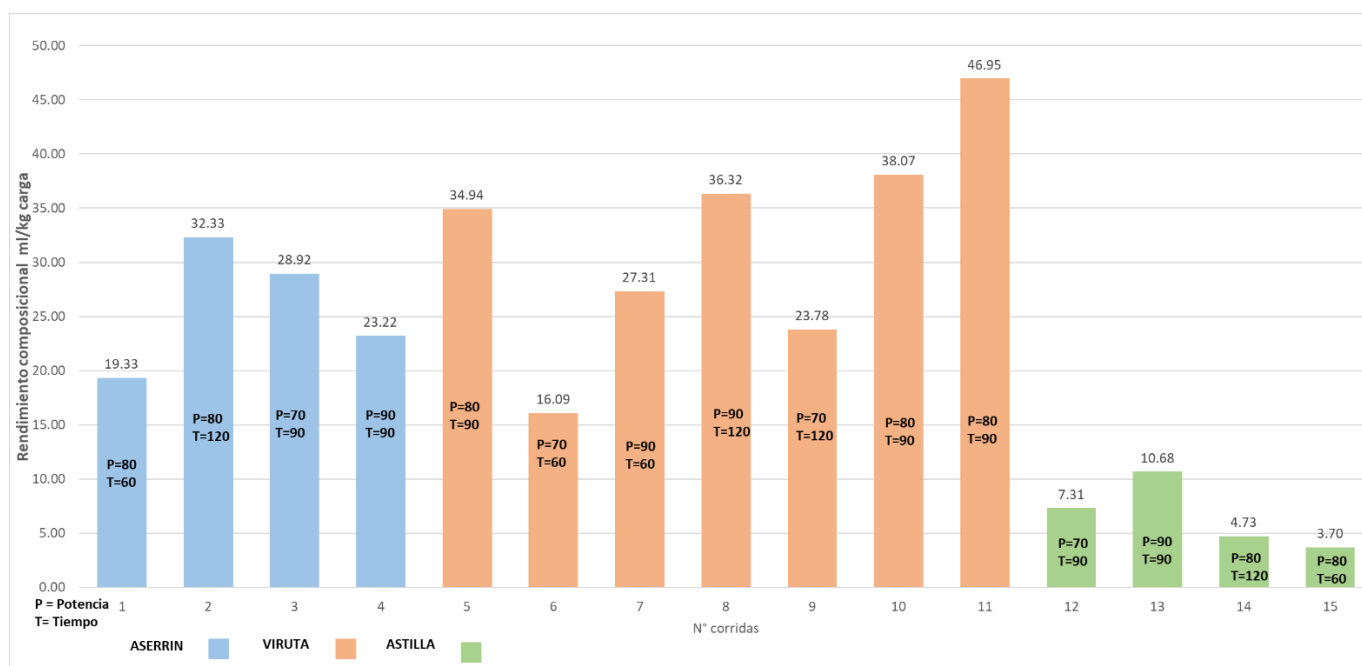
En la figura 34 y figura 36, podemos observar la diferencia en la cantidad de D-limoneno obtenido entre la viruta, la astilla y el aserrín que puede estar influenciada por varios factores.

Los hallazgos de nuestro estudio se alinean con investigaciones previas, como la realizada por Zabot et al. (2014) en su estudio de la influencia de la geometría del lecho y la dispersión axial del fluido en la extracción; de acuerdo con sus resultados, la relación entre la altura del lecho (HB) y el diámetro del lecho (DB) tiene un impacto significativo en la tasa de transferencia de masa y, en consecuencia, en el rendimiento del proceso. En nuestras corridas experimentales, hemos observado que la densidad del lecho, influenciada por la geometría del lecho, ha tenido un efecto directo en el rendimiento del aceite esencial de palo santo. Los lechos con diferentes

densidades han demostrado variaciones significativas en el rendimiento, respaldando así las conclusiones. Además, como se menciona en su estudio, la dispersión axial del fluido se intensifica con la altura del extractor y la velocidad intersticial del disolvente, lo cual ha influido directamente en la obtención de los componentes deseados en nuestras extracciones.

Figura 34.

Rendimiento composicional del D-limoneno (ml/kg carga) extraído del aserrín, viruta y astilla.



Nota. Elaboración propia

La estructura y la porosidad de la viruta, la astilla y el aserrín son diferentes, así la viruta puede tener una estructura más abierta y una mayor porosidad, lo que facilita el acceso del disolvente al D-limoneno presente en el material. Por otro lado, la astilla y el aserrín pueden tener estructuras más compactas y porosidad reducida, lo que dificulta la extracción eficiente del D-limoneno. También la viruta puede tener una mayor superficie de contacto en comparación con el aserrín, especialmente si el tamaño de la viruta es suficientemente pequeño. Una mayor superficie de contacto proporciona más puntos de interacción entre el material y el disolvente, lo que favorece la transferencia de D-limoneno al disolvente durante el proceso de extracción. El D-limoneno

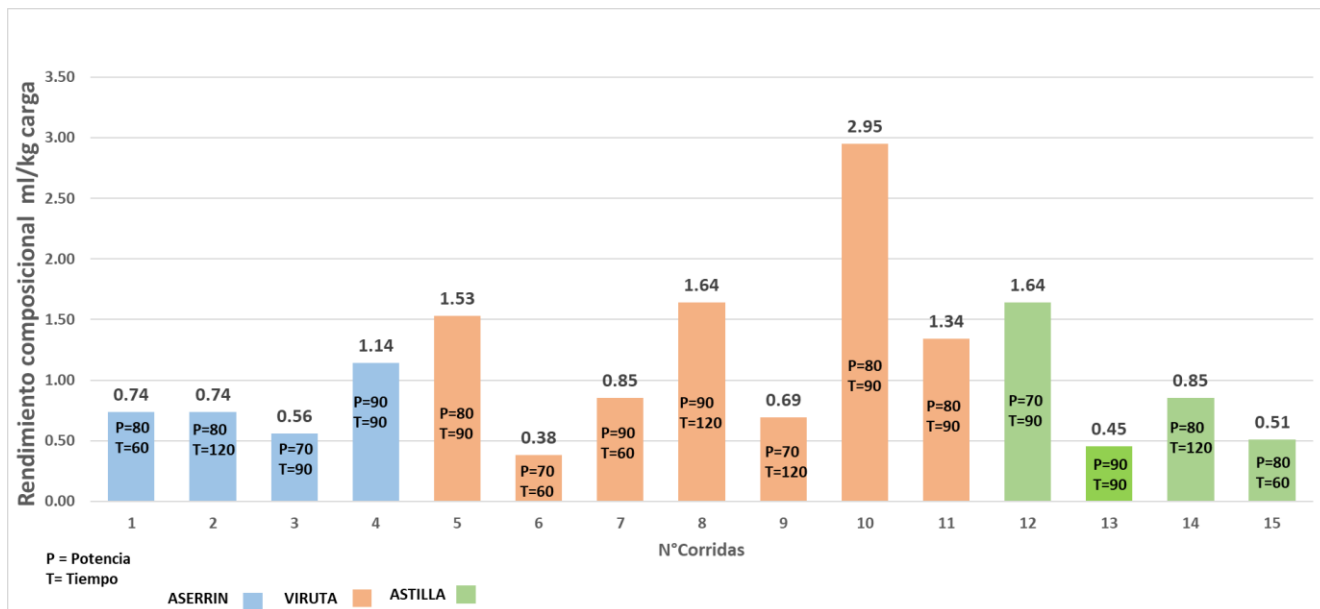
tiene una temperatura de ebullición de aproximadamente 176°C. En las corridas experimentales, cuando el tiempo de extracción y la potencia se incrementaron, las muestras mostraron un mayor contenido de D-limoneno, esto debido a que, por su punto de ebullición relativamente bajo, se vaporiza y se extrae más eficientemente bajo estas condiciones. El α -Terpineol, en cambio, tiene una temperatura de ebullición más alta, alrededor de 220°C, por esta razón se obtiene una mayor concentración de α -Terpineol para corridas con tiempos de extracción más largos y una mayor densidad de lecho.

E. Influencia de las condiciones operacionales respecto al componente α -terpineol

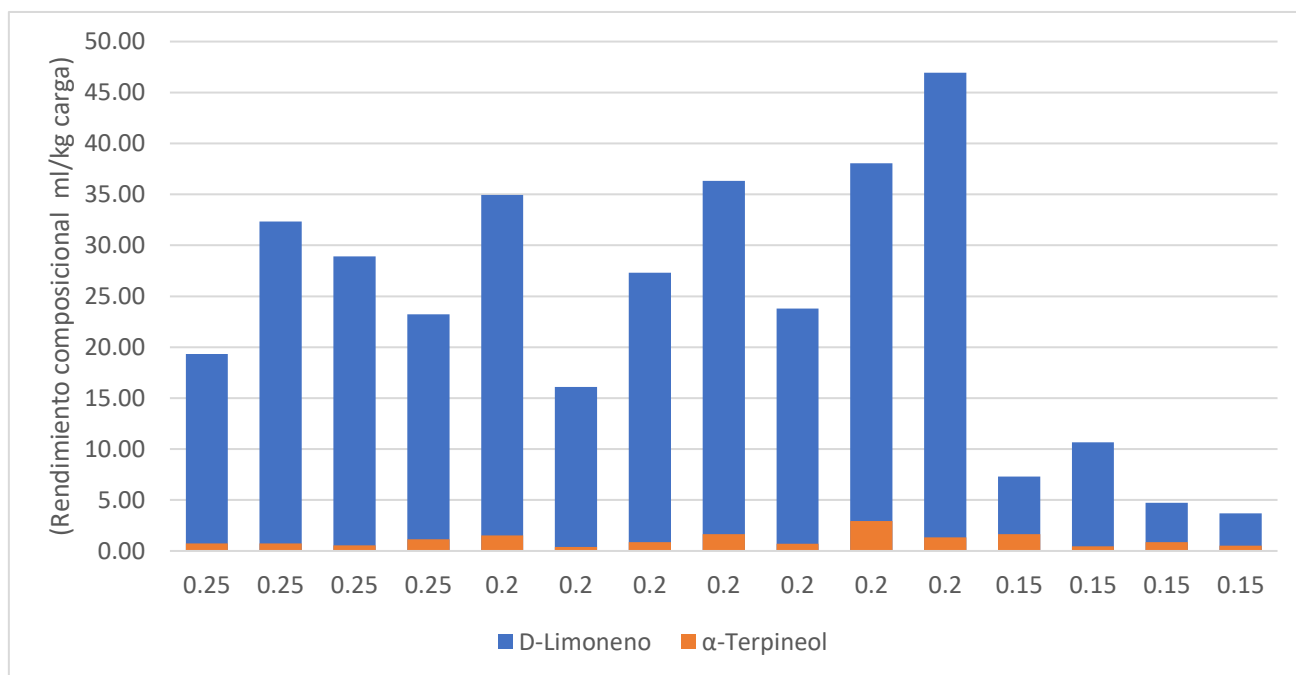
En la figura 35 y figura 36, se puede observar una baja cantidad de α – Terpineol en el aceite esencial respecto al D-Limoneno, podría haber otros factores no considerados en el estudio que podrían haber contribuido a las diferencias en las concentraciones de α -terpineol entre los diferentes tamaños de partícula. La viruta, en promedio y trabajado especialmente a $P = 80\%$ y $T = 90$ min, muestra mayor rendimiento en la extracción de α – Terpineol que la del aserrín y de la astilla. (Castellanos (2007)) Llevó a cabo una evaluación detallada sobre cómo la temperatura influye en la eficacia del proceso de extracción, llegando a la conclusión de que, a medida que la temperatura aumentaba, la extracción de α -Terpineol tendía a disminuir gradualmente. De igual manera, notó que la extracción de todos los compuestos analizados mejoraba notablemente conforme se extendía el tiempo de extracción, con un aumento especialmente significativo en la extracción del limoneno, que mostró una mayor afinidad por el proceso. Sin embargo, en lo que respecta a los compuestos β -Terpineol y carvona, se puede observar que la influencia del tiempo sobre ellos no presenta un impacto significativo o notable. En algunos casos, otros compuestos pueden ser dominantes en el aceite esencial de astilla, aserrín y viruta, desplazando la presencia, y concentración, del α -Terpineol.

Figura 35.

Rendimiento composicional del α – Terpineol (ml/kg carga) extraído del aserrín, viruta y astilla.

**Figura 36.**

Rendimiento composicional ente el D-limoneno y el α – Terpineol (ml/kg carga) extraído del aserrín, viruta y astilla.



7.1.2. Anova para evaluar la influencia de los factores en el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído

A) Evaluación del ANOVA respecto al rendimiento obtenido en el aceite esencial del palo santo

En la tabla 15, se identificaron diferentes factores y combinaciones que mostraron significancia estadística en relación con el rendimiento del aceite esencial de palo santo. A continuación, está la fundamentación para cada uno de los resultados.

- El factor tiempo ($p = 0.08$) es estadísticamente significativo, pero marginalmente; lo cual indica que los diferentes tiempos de extracción (60, 90 y 120) minutos tienen un efecto no tan efectivo sobre la cantidad de aceite esencial extraído. Arango et al (2009), observaron que al pasar de 60 a 180 minutos se logra un aumento significativo sobre la concentración del aceite. Asimismo, Bermudo (2019), en su estudio sobre la extracción de aceite esencial de eucalipto, señala que el tiempo óptimo del rendimiento de la extracción se sitúa en 60 minutos. En consecuencia, un menor tiempo de operación no asegura extraer todo el aceite esencial, mientras que tiempos muy mayores pueden limitar la extracción de los aceites esenciales por fomentar reacciones indeseables y cambios de propiedades de transporte dentro del palo santo, así como también la extracción de otros compuestos como la resina.
- Aunque la potencia correspondiente al efecto principal ($p = 0.216$) no es significativa en principio, lo es por jerarquía; puesto que el término potencia² tiene una significancia estadística marginal ($p = 0.073$), entonces la potencia como tal debe también ser significativa. La potencia del equipo utilizado para generar el vapor de extracción influye en la eficiencia y la intensidad de la extracción, lo que a su vez se refleja en el rendimiento del aceite esencial. Según la investigación de Bermudo G. (2019), se ha demostrado que a través de numerosos estudios que

un incremento en la potencia del flujo de vapor de los equipos destinados a la extracción resulta en una mayor eficiencia en la obtención de los aceites esenciales. Se ha establecido que cuando se inyecta un flujo de vapor de agua que alcanza el 80% de su capacidad máxima, se logra obtener un peso de extracción que asciende a 32,23 gramos. Esto indica claramente que una circulación adecuada del vapor de agua a través de los espacios entre las partículas del lecho es un factor crucial para mejorar el rendimiento del proceso. En otras palabras, se puede concluir que a mayor sea el flujo de vapor de agua, se incrementará la velocidad a la cual se lleva a cabo la extracción.

- La densidad de lecho ($p = 0.007$) es significativo; la densidad de lecho, que tiene que ver con el tamaño, forma y estructura, representados por la viruta, aserrín y astilla, muestra un efecto significativo en el rendimiento del aceite esencial. Verma et al (2016) sustentan que la trituración de los rizomas, ya sea en rodajas o en polvo, impacta significativamente en el rendimiento del aceite esencial. La destilación de rizomas no triturados durante 8 horas dio un rendimiento del 2,37%, mientras que los rizomas triturados mostraron variaciones del 2,27 al 6,60% en diferentes duraciones. La forma en polvo se destacó como la más eficiente, alcanzando un rendimiento óptimo del 6,60% en solo 4 horas de destilación. Estos resultados sugieren que la trituración adecuada es un parámetro crucial, influyendo positivamente en la obtención del aceite esencial de *Acorus calamus*. Asimismo, el estudio realizado por Mora en el año 2014 llegó a la conclusión de que el proceso de extracción de aceite esencial del palo santo, cuando se llevó a cabo utilizando la madera en forma de astillas, resultó en un rendimiento del 2,77%. En contraste, cuando la madera fue procesada en forma de viruta, el rendimiento logró alcanzar un promedio del 3,49%. Los resultados que se han obtenido sugieren de manera clara que la madera seca proveniente del palo santo, cuando es procesada y presentada en forma de viruta, exhibe

mecanismos de extracción que son notablemente más eficaces en comparación con los que se encuentran en la madera astillada.

- Las interacciones significativas, como tiempo×tiempo y densidad de lecho×densidad de lecho y potencia×potencia, indican que hay una influencia significativa al potencializarse estos factores en la forma de un término cuadrático. La influencia de determinados factores, analizados en base al DBB, puede expresarse de diferentes modos como una influencia lineal o cuadrática; que es una forma empírica de tratar de cuantificar el efecto de estas variables en el rendimiento de extracción del aceite esencial; por lo que en ciertos casos es necesario hacer una transformación matemática de la variable para que se pueda establecer la influencia de la misma fidedignamente.

B) Evaluación del ANOVA respecto al D-limoneno obtenido en el aceite esencial del palo santo

De la tabla 17 se fundamenta los resultados obtenidos con respecto a las variables de operación y su influencia con respecto al componente mayoritario D-limoneno

- Densidad de lecho ($p = 0.006$) es estadísticamente muy significativo; la densidad de lecho utilizado en el proceso de extracción tiene un impacto en la cantidad de D-limoneno obtenido. Un lecho con una densidad óptima facilita la transferencia eficiente de D-limoneno desde las glándulas o tricomas al interior de la materia prima al disolvente. Un aumento en la densidad de lecho aumenta el flujo del vapor a través de ella y también mejora el transporte de masa, facilitando la extracción del D-limoneno. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un aumento excesivo en la densidad de lecho puede causar una disminución en el área de contacto entre la materia prima y el disolvente, lo que podría afectar negativamente la extracción.
- Interacción tiempo×tiempo ($p=0.042$) es significativo, esto sugiere que el efecto del tiempo de extracción del D-limoneno es significativo por jerarquía, y de allí, basándonos en el punto de

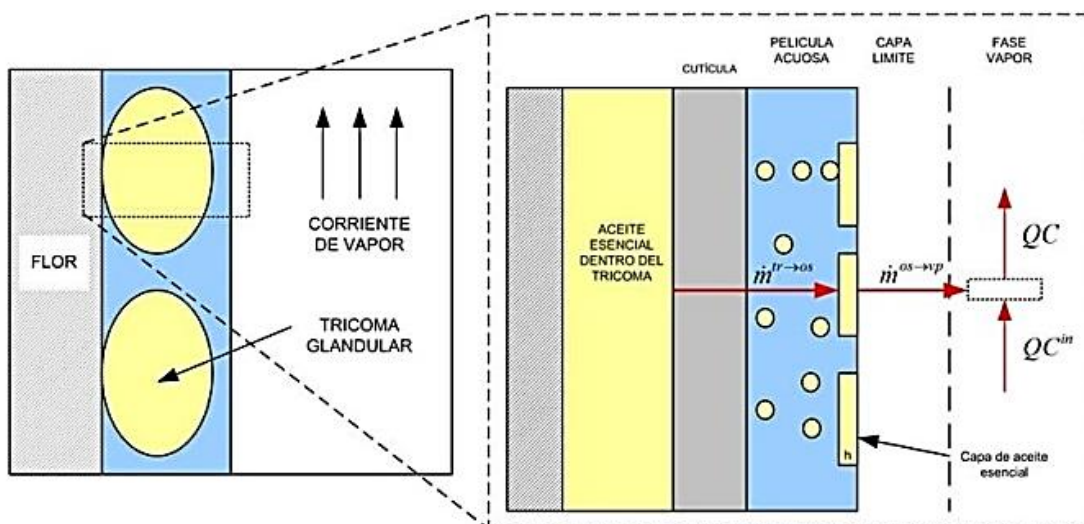
ebullición del d-limoneno, inferimos que este componente volátil se extrae más rápido. Por lo tanto, es importante identificar el tiempo de extracción óptimo para maximizar la cantidad extraída del D-limoneno.

- La Potencia ($p=0.117$) no es significativo en la extracción de D-limoneno; esto puede deberse a que, siendo este compuesto muy volátil, el transporte de masa desde la glándula hacia el vapor puede estar controlador por la etapa de difusión en la materia prima más no en el transporte superficial al vapor. En su trabajo de investigación (Cerpa (2007)) en el transporte de aceite esencial desde los tricomas hasta el vapor, hay cuatro fases, lo cual podemos observarlo en la figura 37.

La volatilidad del compuesto puede desempeñar un papel crucial, ya que, según se menciona, el transporte de masa desde la glándula (tricomas) hacia el vapor podría estar controlado por la etapa de difusión en la materia prima, esta etapa es crucial en la liberación de los AE, esta liberación sigue un patrón específico conocido como "velocidad de exudación de primer orden". Desde la película acuosa, las gotas de aceite atraviesan hacia el exterior, formando una capa inmiscible conocida como aceite libre, cuyo espesor permanece constante. Este procedimiento finaliza cuando conseguimos la mezcla perfecta de vapores, cerrando el ciclo.

Figura 37.

Esquema del transporte de masa del aceite esencial.



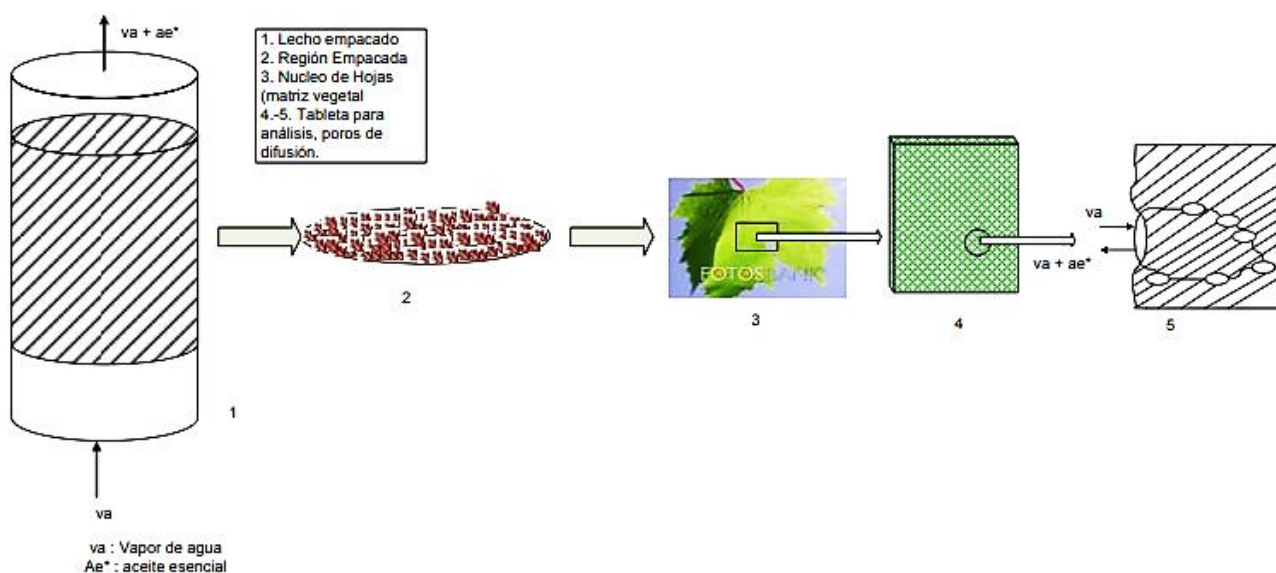
Nota. Cerpa (2007).

De manera similar, Palomino (2001) propone que el proceso mediante el cual se extraen los aceites esenciales debe ser entendido como el resultado de la interacción de varios factores. Este mecanismo implica el movimiento intrapartícula que ocurre gracias a la difusión molecular del vapor caliente. Además, se incluye el desgarramiento de las paredes celulares de los sacos que contienen estos aceites esenciales. Posteriormente, se produce la evaporación de dichos compuestos, lo que facilita su difusión junto al vapor caliente hacia la abertura del poro. Se propone la idea de que el proceso de evaporación de los aceites esenciales que se encuentran dentro de la estructura de las plantas, que incluye específicamente los tallos, raíces y hojas, está influenciado y determinado por diversos factores. Entre estos factores se encuentran la volatilidad relativa del propio aceite esencial, las variaciones de temperatura a las que se expone la planta, así como la calidad del vapor que se genera. También son importantes consideraciones como el tamaño de los poros existentes en la matriz vegetal, las tensiones locales que pueden presentarse dentro de dicha estructura, y el esfuerzo que resulta necesario para lograr la ruptura de los sacos capilares que contienen estos aceites., figura 38.

Entre todos los elementos que influyen en el proceso, el que se considera de mayor relevancia es, sin duda, la cantidad de energía que se necesita para llevar a cabo el cambio de fase. Es en este contexto donde se observa que la velocidad a la que los aceites esenciales se evaporan tiende a aumentar, y este fenómeno se produce como resultado de una disminución en la presión parcial, que es provocada por la presencia de vapor de agua en el entorno. Por ende, es fundamental tener en cuenta dos tipos de resistencias que se manifiestan durante este fenómeno específico: la resistencia a la difusión y la resistencia a la vaporización de los aceites esenciales. De esta manera, es posible concluir que la potencia, que se define como la rapidez con la que fluye el vapor, tendrá un impacto significativo en el proceso de ruptura y evaporación de las glándulas, que también son conocidas como tricomas o sacos, así como en la velocidad a la que se transportan los aceites esenciales desde las regiones distantes de la abertura del poro.

Figura 38.

Esquema del transporte del aceite esencial.



Nota. Limber (2005)

El hecho de que la densidad de lecho y el tiempo de extracción aparezcan en el diagrama de Pareto como factores influyentes destaca su importancia en el proceso de extracción de D-limoneno.

C) Evaluación del ANOVA con respecto al α -terpineol obtenido en el aceite esencial del palo santo

Según la tabla 19, los valores p de 0.473, 0.679 y 0.885, para el tiempo, la potencia de flujo de vapor y la densidad de lecho respectivamente, establecen que no son estadísticamente significativos en la concentración del componente α -terpineol. Es posible que el α -Terpineol sea menos sensible a las variaciones en estos parámetros específicos en el rango estudiado.

Aunque el valor p no alcanzó significancia estadística, puede haber otros factores que influyan en la relación entre la densidad de lecho y la concentración de α -terpineol. la densidad de lecho en sí misma puede no haber mostrado un impacto significativo, podría haber interacciones complejas entre la densidad de lecho y otros parámetros de operación que podrían haber contribuido a los resultados observados. Estas interacciones podrían incluir factores como la distribución del tamaño de las partículas, la permeabilidad del lecho, o la eficiencia de contacto entre el material de extracción y el vapor.

La variabilidad inherente en los datos experimentales puede haber contribuido a la falta de significancia estadística en el análisis de varianza. Aunque se observaron diferencias en las concentraciones de α -terpineol entre los diferentes materiales, la variabilidad dentro de cada grupo experimental puede haber sido lo suficientemente alta como para no detectar efectos significativos de los parámetros de operación.

7.1.3. Diagrama de cajas y bigotes para evaluar la influencia de los factores en el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído del palo santo

A. Efecto del tamaño y forma de partícula sobre el rendimiento del aceite esencial de palo santo utilizando el diagrama de cajas y bigotes

La finalidad de emplear el diagrama de cajas y bigotes radica en enriquecer y complementar el análisis correspondiente a la manera en que la forma y el tamaño de las partículas, que en conjunto determinan la densidad del lecho, influyen en la eficiencia y rendimiento del aceite esencial derivado de la madera del palo santo. Esta herramienta gráfica nos permitirá establecer la influencia de la potencia y tiempo en la variabilidad, para cada caso de densidad de lecho simplícadamente llamados viruta, aserrín y astilla; de modo que podamos inferir para que densidad de lecho, potencia y tiempo son los más apropiados para obtener un alto rendimiento del AE del palo santo. En la tabla 20 se presentan los valores obtenidos para construir el diagrama de cajas y bigotes.

Tabla 20.

Valores obtenidos para el diagrama de cajas y bigotes para el rendimiento

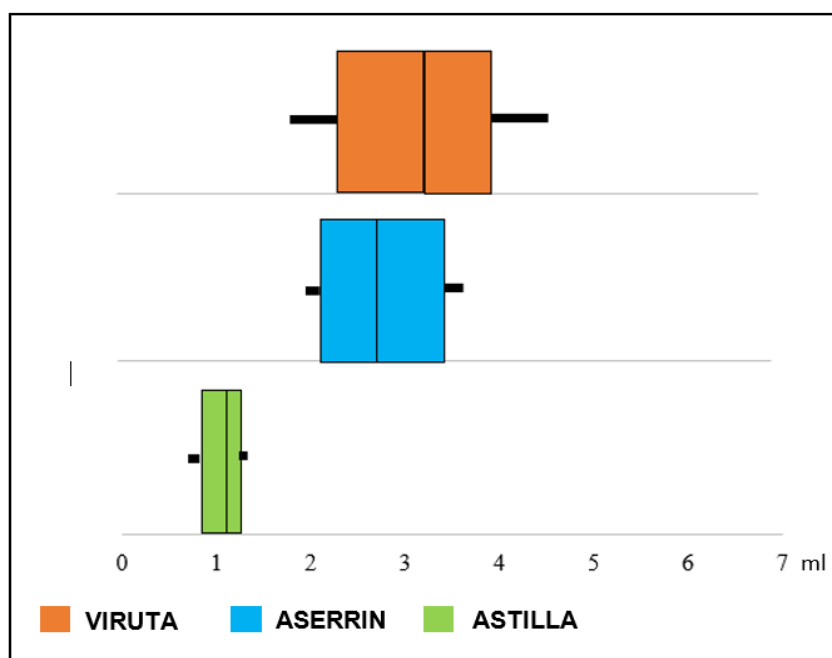
	Viruta	Astilla	Aserrín
Q ₁ (cuartil 1)	2.42134	0.83716	2.16722
Mediana	3.34457	1.09938	2.76667
Q ₃ (cuartil 3)	4.04439	1.24932	3.50444
Rango Inter cuartil (RI)	1.62305	0.41215	1.33722
Bigotes	-0.01324(inferior)	0.21893(inferior)	0.16138(inferior)
	6.47898(superior)	1.86755(superior)	5.51027(superior)
Observaciones (N)	7	4	4

En la figura 39 se puede observar la variabilidad en el rendimiento de extracción del aceite esencial de la viruta, aserrín y astilla; concluyéndose que hay diferencia significativa en la

extracción del AE del palo santo cuando se trabaja en forma de viruta y aserrín respecto al de astilla; no importando las condiciones experimentales que se hayan usado para este último. También se deduce que la viruta genera mayor rendimiento en la extracción del AE del palo santo; pero solo para determinadas condiciones operacionales, como por ejemplo trabajando a una potencia de flujo de vapor el 80% y tiempo de extracción de 90 min.

Figura 39.

Diagrama de cajas y bigotes del efecto del tamaño y forma de partícula en el rendimiento del AE de palo santo extraído para la viruta, aserrín y astilla



B. Análisis del D-Limoneno utilizando el diagrama de cajas y bigotes.

En la tabla 21 se presentan los valores estadísticos calculados para construir el diagrama de Cajas y Bigotes, a partir de los datos de la composición del D-limoneno (ml/kg carga) obtenidos de la extracción del aceite esencial de palo santo.

Tabla 21.

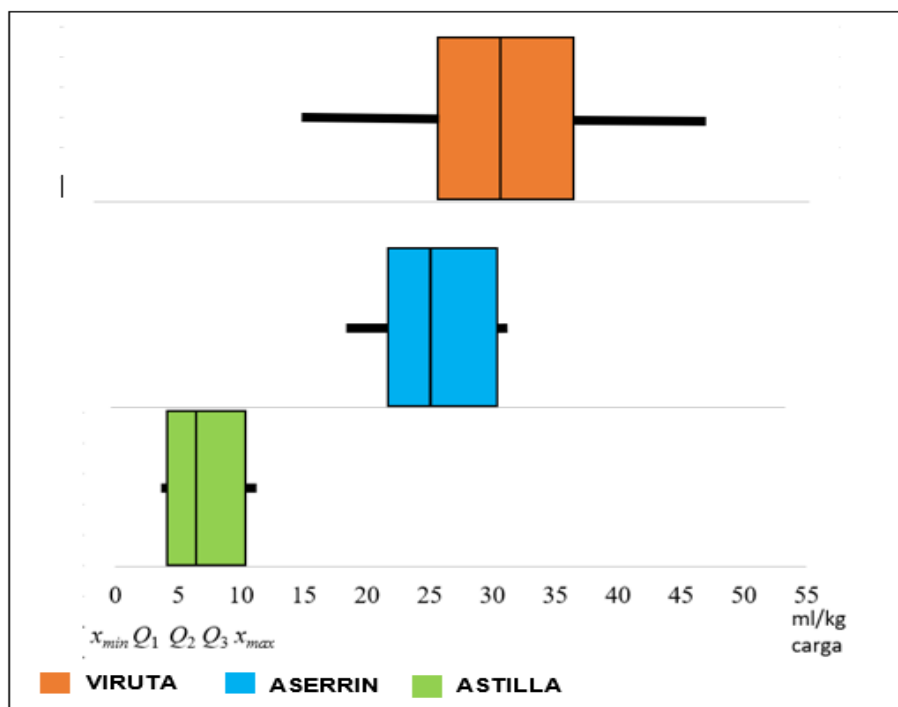
Valores obtenidos para el diagrama de cajas y bigotes del D-Limoneno

	Viruta	Astilla	Aserrín
Q ₁ (cuartil 1)	26.4286	3.9578	22.5783
Mediana	31.1249	6.0193	26.0713
Q ₃ (cuartil 3)	36.7588	9.8337	31.4778
Rango Intercuartil (RI)	10.3302	5.8759	8.8993
Bigotes	10.9332(inferior)	-4.8560(inferior)	9.2293(inferior)
	52.2542(superior)	18.6476 (superior)	44.8268(superior)
Observaciones (N)	7	4	4

En la figura 40, se aprecia al componente D-limoneno extraído para diferentes densidades de lecho, en la que se destaca la influencia de la potencia y tiempo en las características de la caja y bigotes respectivas a ellas; así, para el caso de la viruta existe una gran variabilidad y que trabajando a potencia de 80% y tiempo de 90 minutos se obtiene la más alta extracción del D-Limoneno. Se nota que la viruta y el aserrín tienen una concentración promedio más alta como también mayor variabilidad respecto a la astilla; por lo que se puede inferir que las diferentes condiciones de potencia y tiempo no influyen para la astilla. La viruta sería la forma, con su reducido tamaño, del material más beneficioso para obtener la mayor cantidad del D-limoneno.

Figura 40.

Diagrama de Cajas y Bigotes del proceso de extracción del D-Limoneno para la viruta, aserrín y astilla



C. Análisis del α -Terpineol obtenido utilizando el diagrama de cajas y bigotes.

En la tabla 22 se presentan los estadísticos para construir el diagrama de Cajas y Bigotes del α -Terpineol.

Tabla 22.

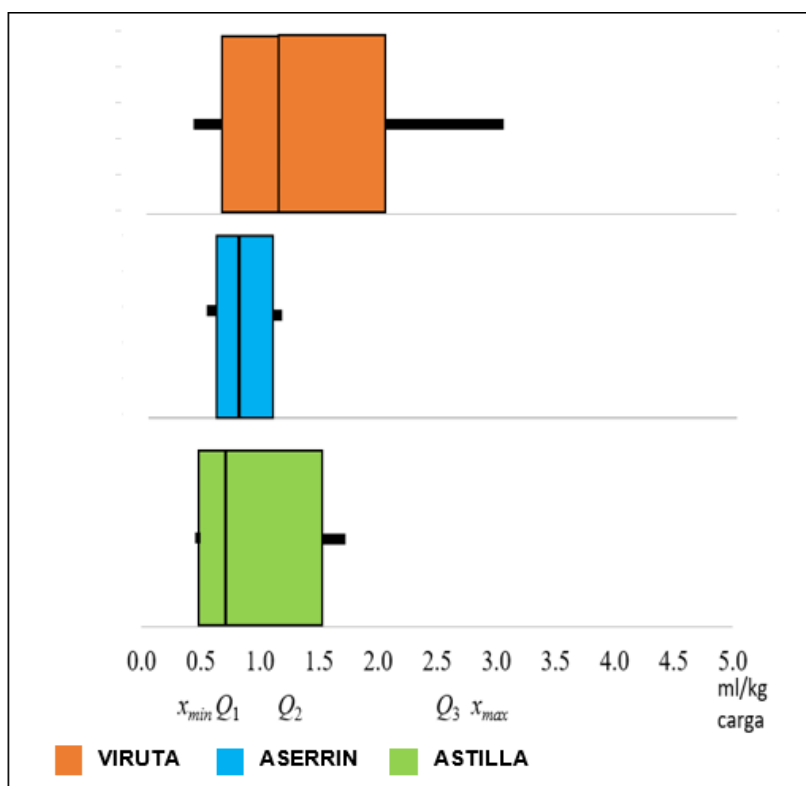
Valores obtenidos para el Diagrama de Cajas y Bigotes del α -Terpineol

	Viruta	Astilla	Aserrín
Q_1 (cuartil 1)	0.6155	0.4671	0.6031
Mediana	1.0987	0.6813	0.738
Q_3 (cuartil 3)	1.9673	1.4449	1.0408
Rango Intercuartil (RI)	1.3518	0.9777	0.4377
Bigotes	-1.4123(inferior)	-0.9994(inferior)	-0.0535(inferior)
	3.9952(superior)	2.9115(superior)	1.6975(superior)
Observaciones (N)	7	4	4

En la figura 41, se puede apreciar la distribución del componente α -Terpineol para diferentes formas de partículas utilizadas en el proceso de extracción. Los datos del diagrama de cajas y bigotes revelan que la viruta exhibe la concentración más alta de α -Terpineol en promedio, junto con una mayor variabilidad respecto a las otras formas, presentando la más alta extracción para este componente cuando se trabaja a una potencia de 80 % y tiempo de 90 min. La astilla muestra una concentración promedio moderadamente más baja que la viruta y una variabilidad también moderada. Por otro lado, el aserrín presenta la concentración más baja de α -Terpineol en promedio, con la menor variabilidad. Aunque el análisis de varianza y el diagrama de Pareto no mostraron diferencias significativas entre los grupos; El diagrama de cajas y bigotes sugieren que hay diferencias en la distribución y la variabilidad de las concentraciones de α -terpineol entre los grupos de viruta, aserrín y astilla. Esta discrepancia podría deberse a la presencia de variabilidad inherente en los datos que no fue capturada por el análisis de varianza, o a la influencia de otros factores no considerados en el estudio que podrían haber afectado las concentraciones de α -terpineol de manera diferente en cada grupo.

Figura 41.

Diagrama de Cajas y Bigotes del proceso de extracción del α -Terpineol para la viruta, aserrín y astilla.



Estas diferencias en la concentración de los componentes y resultados del análisis estadístico indican que la forma del material, junto con las condiciones de operación, tiene un impacto significativo tanto en el rendimiento como en la calidad del aceite extraído. Las condiciones que aumentan el rendimiento del aceite esencial y la separación del D-limoneno son aquellas que utilizan viruta como material con una densidad de lecho de 0.20 gr/ml, un tiempo de extracción de 90 minutos y una potencia de flujo de vapor al 80%

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Utilizando una adecuada matriz experimental del diseño Box-Behnken, se desarrolló el proceso de extracción del aceite esencial del palo santo “*Bursera graveolens*” por destilación por arrastre de vapor, lo cual se evaluó el análisis mediante ANOVA y reveló que las variables tiempo de extracción, flujo de vapor y tamaño de partícula (densidad de lecho) afectan significativamente el rendimiento del aceite esencial. En particular, la densidad de lecho mostró una alta significancia estadística con un valor $p = 0.007$, mientras que el tiempo de extracción ($p = 0.08$) y la potencia del flujo de vapor ($p = 0.216$) demostraron una significancia marginal. El término cuadrático de la potencia mostró un valor p de 0.073, indicando una influencia marginalmente significativa.

Del análisis matemático estadístico de los datos experimentales confirmó que la viruta del palo santo tiene un efecto significativamente mayor en el rendimiento del aceite esencial de palo santo “*Bursera graveolens*” en comparación con el aserrín y la astilla. En cuanto a la calidad para la viruta para tiempos de (90 – 120) min y potencia de flujo de vapor de (70 -80) % se obtienen los mayores componentes de D-Limoneno (46.94 ml/kg carga) y α -Terpineol (2.9477 ml/kg carga).

El análisis de Anova y el uso eficiente del diagrama de cajas y bigotes permitió identificar las condiciones de operación mejores para aumentar el rendimiento y la calidad del aceite esencial extraído. Se determinó que la viruta, con una densidad de lecho de 0.20 gr/ml, tiempo de extracción de 90 minutos y potencia de flujo de vapor al 80%, produce el mayor rendimiento de aceite esencial (4.74%) y la más alta concentración de D-limoneno (46.94 ml/kg carga). Para el α -terpineol, la viruta también mostró las concentraciones más altas (hasta 1.64 ml/kg carga). En comparación, el aserrín, bajo condiciones de 105 minutos, 70% de potencia y densidad de lecho

0.18 gr/ml, tuvo un rendimiento de 3.06% y una concentración de D-limoneno de 32.32 ml/kg carga. La astilla, con 120 minutos, 80% de potencia y densidad de lecho 0.15 gr/ml, presentó el menor rendimiento (1.11%) y una concentración de D-limoneno de 10.67 ml/kg carga. Estas diferencias en la concentración de componentes químicos indican que la forma y tamaño del material tiene un impacto significativo en la calidad del aceite extraído.

El análisis mediante diseño experimental de Box Behnken, el análisis de ANOVA y el diagrama de Cajas y Bigotes determinó e identificó las características y condiciones de las variables tiempo de extracción, potencia del flujo de vapor y que influyeron significativamente en el rendimiento y la calidad del proceso de extracción del aceite esencial de palo santo "*Bursera graveolens*". La viruta muestra los rendimientos más altos, oscilando entre 3.63% y 4.74%, mientras que el aserrín y la astilla tienen rendimientos más bajos, con valores de 1.90% a 3.06% y de 0.75% a 1.30% respectivamente. En cuanto a la calidad, el tiempo y la potencia del flujo de vapor también son importantes; por ejemplo, para un tiempo de 90 minutos y una potencia de 80% resultaron en los mejores rendimientos. La viruta no solo se destaca en generar mayor rendimiento, sino también en la mayor concentración de D-limoneno, con valores de hasta 46.94 ml/kg de carga, en comparación con el aserrín y la astilla. Esto resalta que la viruta es superior tanto en rendimiento como en la calidad del aceite esencial, expresado como una mayor separación del D-limoneno.

8.2. Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar el proceso de extracción del aceite esencial inmediatamente después de reducir el tamaño de las muestras de palo santo, esto implica tener todos los medios logísticos para procesar la madera del palo santo al lado o cercano al equipo de extracción. Aunque recoger y guardar en una bolsa de papel Kraft disminuye la pérdida del aceite esencial que se encuentra en la superficie de la corteza debido a la volatilización natural, esta pérdida podría influir significativamente en los resultados.
- Se recomienda investigar las implicancias de estas características en el proceso de transferencia de cantidad de movimiento y de masa que se desarrollan en el lecho. Este estudio podría proporcionar una comprensión más detallada de cómo la forma y el tamaño de las partículas afectan la eficiencia del proceso de extracción del aceite esencial.
- Se recomienda que se use agua a baja temperatura como refrigerante para reducir la pérdida de aceite esencial cuando el vapor no llega a condensarse en su totalidad, que, aunque poco, en una producción a mayor escala sería significativo.
- Se recomienda usar agua a baja temperatura como refrigerante para reducir la pérdida de aceite esencial: Esto es importante para asegurar un buen uso del refrigerante y evitar pérdidas significativas del aceite esencial cuando el vapor no llega a condensarse en su totalidad.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Abrile M. G., Fiasconaro M. L., Lovato M. E. (2020). Optimization of Reactive Blue 19 dye removal using ozone and ozone/UV employing response surface methodology. *SN Applied Sciences*, 2, 995. Doi:10.1007/s42452-020-2824-y
- Aquino E. (2012). Efecto de la Presión de Vapor y Tiempo de Extracción en el Rendimiento y Características Fisicoquímicas de Aceite esencial de Cedrón. Tesis de grado. Universidad Nacional de Trujillo.
- Arango O., Bolaños F., Villota O., Hurtado A., Toro I. (2012). Optimización del rendimiento y contenido de timol de aceite esencial de orégano silvestre obtenido por arrastre con vapor. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 217 - 226.
- Arango O., Hurtado A., Castillo P., Santa Cruz M. (2009). Estudio de las condiciones de extracción por arrastre con vapor del aceite esencial de laurel de cera (*Morella pubescens*), Facultad de Ciencias Agropecuarias, 7(2).
- Bandoni, A. (2000). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. 1ª Ed, Editorial U. Nacional de la Plata.
- Bermudo G. (2019). Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de extracción de aceites esenciales. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Ayacucho, Perú.
- Boutemak K., Bezzina M., Périno-Issartier S., Chemat F. (2009). Extraction by Steam Distillation of *Artemisia herba-albs* Essential Oil from Algeria: Kinetic Study and Optimization of the Operating Conditions. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 12 (6), 640-650, Doi: 10.1080/0972060X.2009.10643768.

- Cárdenas M. (2004). 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. Tesis de grado Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga – Ayacucho.
- Cerpa, M. G. (2007). Hidrodestilación de aceites esenciales. Tesis Doctoral Universidad de Valladolid, España.
- Colina Márquez, J., Contreras, E., Ruiz, J., Monroy, L. (2022). Comparación de dos métodos de extracción para el aceite esencial de la cáscara de pomelo (*Citrusmaxima*), 1(1) 85-98. doi:10.32997/rin-2022-3729
- Cruzado A. (2012). Efecto de la presión de vapor y tiempo de extracción en el rendimiento y características fisicoquímicas de aceite esencial de cedrón (*Aloysia triphylla*). Tesis Título. Profesional de ingeniero agroindustrial
- Del Valle S.; Zambrano J. (2015). Extracción de aceites esenciales de plantas autóctonas menta (*Mentha piperita* L.), palo santo (*Bursera graveolens*), hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) de la provincia de Manabí, con potenciales de industrialización. Tesis de grado. Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.
- Damyeh, MS., Niakousari, M., Saharkhis, MJ. (2016). Ultrasound pretreatment impact on *Prangos ferulacea* Lindl and *Satureja macrosiphonia* Bornm. essential oil extraction and comparing their physicochemical and biological properties. Industrial Crops and Products 87: 105–115. Doi: 10.1016/j.indcrop.2016.04.025
- Domínguez Aguilar, L. R. (2006). Prefactibilidad de la implementación de una planta extractora de aceites esenciales en EARTH. Guácimo, Costa Rica: Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad EARTH.

- Castellanos Molina, F.E. (2007). Biotransformación del Limoneno, α -pineno y aceites esenciales de naranja y mandarina empleando *Aspergillus niger*. Tesis para optar el título de Magister en Química. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Galadima M. S., Ahmed A. S., Olawale A. S., Bugaj I. M. (2012). Optimization of Steam Distillation of Essential Oil of *Eucalyptus tereticornis* by Response Surface Methodology. Nigerian Journal of Basic and Applied Science, Vol 20(4),368-372.
- García Naranjo, L. F. (2002). Características del aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens* (H.B.K.) Triana & Planchon) obtenido por dos métodos de destilación. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Guenther, E. (2018). "The Essential Oils Vol II," Creative Media Partners, LLC.
- Hernández, V. L. (2005). Comparación de la calidad del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winteriana jowitt*) en función de la concentración de geraniol obtenido por medio de extracción por arrastre con vapor y maceración. Guatemala, Republica de Guatemala.
- Khajeh (2010) "Optimization of process variables for essential oil components from *Satureja hortensis* by supercritical fluid extraction using Box-Behnken experimental design" The Journal of Supercritical Fluids, 55(3), 944-948. Doi: 10.1016/j.supflu.2010.10.017.
- Lamarque, A., Maestri, D., Zygadlo, J., Labuckas, D., López, L., & Torres, M. (2008). Fundamentos Teórico-Prácticos de Química Orgánica. Editorial Brujas. Córdoba - Argentina.
- León Quiroz, M., & Robles Benavides, A. (2009). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta extractora de aceites esenciales. Tesis de grado. Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

- Manzano S., P., Miranda M., Gutierrez, Y., García, G., Orellana, T., & Orellana (2009). A. Efecto antiinflamatorio y composición química del aceite de ramas de *Bursera graveolens* Triana & Planch. (Palo santo) de Ecuador. Revista Cubana de Plantas Medicinales, Vol 14 (3), 45-53.
- Martinez C., Ceballos C. (2012). Determinación de actividad antioxidante en aceite de semillas de uva isabella (*Vitis labrusca*) extraído con CO₂ supercrítico. Tesis Pregrado. Universidad del Valle, Colombia.
- Méndez Alzamora, J. y Olaya Flores, J. (2003). Guía de Plantas y Productos Medicinales. Bogotá, Colombia: Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello, 116(7).
- Mitali M., Proshanta G., Ahindra N. (2019) Extraction of *betel leaves* (*Piper betle* L.) essential oil and its bio-actives identification: Process optimization, GC-MS analysis and anti-microbial activity. Industrial Crops & Products, 138(5), 111578. Doi:10.1016/j.indcrop.2019.111578.
- Mora, G. (2014). Diseño de una planta para la extracción del aceite esencial de Palo Santo (*Bursera graveolens*) mediante destilación por arrastre de vapor. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Olaya Flórez, J. M., & Méndez Alzamora, J. (2005). Guía de Plantas y Productos Medicinales.
- Palacios O. F., Zúñiga L. E. (2022). Extracción de aceite esencial de lavanda (*Lavándula angustifolia*) mediante la metodología de arrastre de vapor. Tesis de Grado. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Palomino, A. (2001). Nuevo Modelo para la Extracción de Aceites Esenciales. Revista Peruana de Ingeniería Química, 3(1), 36-41.
- Peng T. Y., Don M. M., Tahrel M. A. (2012). Optimization and Kinetics Studies on the Extraction of Essential Oil from *Zingiber Cassumunar*. Journal of Physical Science, 23(1), 65– 82.

Peralta, V. (1988). Aceites esenciales: Extracción, análisis y su potencialidad en la industria.

Tesis para optar el título de licenciado en química. Facultad de Ciencias e Ingeniería – Pontificia Universidad Católica del Perú.

Puecas M., Herrera E., Moscol J., Solís J (2022). Rendimiento de aceite esencial a partir de madera de *Bursera graveolens*: Aprovechamiento de astillas, viruta y aserrín, 19(2): 131-136

Rodríguez Álvarez, M., Alcaraz Meléndez, L., & Manuel Real Cosío, S. (2012). Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas. Proyecto Sagarpa – Conacyt 126183.

Verma, R. S., Padalia, R. C., Chauhan, A., Upadhyay, R. K., & Singh, V. R. (2016). Optimization of distillation conditions for better recovery of *Acorus calamus* L. essential oil. Journal of Essential Oil Research, 29(3), 271–275. Doi: 10.1080/10412905.2016.1222973.

Zheljazkov V. D., Cantrell C. L., Astatkie T, Jeliaskova E. (2013). Distillation time effect on lavender essential oil yield and composition. J Oleo Sci. 62(4):195-9. Doi: 10.5650/jos.62.195. PMID: 23535305.

X. ANEXOS

Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis
General	¿Cómo determinar y/o identificar las características de las variables que influyan en el rendimiento y calidad del proceso de extracción del aceite esencial de palo santo " <i>Bursera graveolens</i> " por destilación por arrastre de vapor?	Determinar y/o identificar las características y condiciones de las variables que tengan influencia significativa en el rendimiento y calidad del aceite esencial del palo santo " <i>Bursera graveolens</i> " extraído por destilación por arrastre de vapor.	Mediante la aplicación del diseño experimental Box-Behnken, el análisis de ANOVA y el diagrama de Cajas y Bigotes, se determinará y/o identificará que las variables: tiempo de extracción y flujo de vapor tienen influencia significativa en el rendimiento y calidad del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo " <i>Bursera graveolens</i> " extraído por destilación por arrastre de vapor.
Específicos	¿Cómo desarrollar el proceso experimental de extracción del aceite esencial del palo santo " <i>Bursera graveolens</i> " por destilación por arrastre de vapor mediante la aplicación de diseño Box Behnken siguiendo una adecuada matriz experimental?	Desarrollar el proceso de extracción de aceite esencial del palo santo " <i>Bursera graveolens</i> " por destilación por arrastre de vapor mediante la aplicación del diseño de Box-Behnken mediante una adecuada matriz experimental.	A través de una adecuada matriz experimental del diseño de Box-Behnken se desarrollará el proceso de extracción del aceite esencial del palo santo " <i>Bursera graveolens</i> " por destilación por arrastre de vapor de la siguiente manera.

	¿Cuál es el efecto de la forma y tamaño del palo santo “<i>Bursera graveolens</i>” en el rendimiento y la calidad del aceite esencial extraído mediante destilación por arrastre de vapor?	Analizar el efecto de la forma y tamaño del palo santo “<i>Bursera graveolens</i>” en el rendimiento y la calidad del aceite esencial extraído mediante destilación por arrastre de vapor.	La viruta del palo santo tienen un efecto mayor que el aserrín y la astilla en el rendimiento y calidad del aceite esencial de palo santo “<i>Bursera graveolens</i>” extraído mediante destilación por arrastre de vapor
	¿Cuáles son las condiciones operacionales del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo “<i>Bursera graveolens</i>” que aumenten el rendimiento y la calidad del aceite esencial del palo santo mediante destilación por arrastre de vapor?	Determinar las mejores condiciones operacionales del proceso de extracción del aceite esencial del palo santo “<i>Bursera graveolens</i>” que aumenten tanto el rendimiento como la calidad del aceite esencial del palo santo extraído por destilación por arrastre de vapor.	Mediante el análisis de los resultados por ANOVA y del uso eficiente de la técnica estadística-matemática de las Cajas y Bigotes se determinarán las mejores condiciones de operación, que aumenten el rendimiento del aceite esencial del palo santo extraído por destilación por arrastre de vapor.

Cromatografía de gases de aceite esencial del palo santo (*Bursera graveolens*)

Se llevaron a cabo investigaciones exhaustivas y minuciosas que analizan las particularidades y las cualidades del aceite esencial que se obtiene del palo santo en la reconocida y prestigiosa universidad peruana Cayetano Heredia, específicamente en el establecimiento que se dedica a la investigación y análisis de productos naturales.

La composición química detallada y específica de los aceites que fueron objeto de análisis se determinó mediante la utilización de un avanzado y sofisticado cromatógrafo de gases, concretamente el modelo 7890 Plus, que fue fabricado por la empresa Hewlett-Packard, la cual tiene su sede en Palo Alto, en el estado de California, en los Estados Unidos de América. Este dispositivo específico tiene la particularidad de estar integrado con un sofisticado detector selectivo de masas, el cual es denominado comúnmente como MSD. Este innovador equipo es también un producto desarrollado por la reconocida empresa Agilent Technologies y se identifica especialmente con el modelo 5975 C.

Los índices de Kovàts fueron calculados utilizando una columna capilar específica, la J&W 122-1545.67659 DB-5ms, que operó a una temperatura de 325 grados Celsius. Este equipo tiene unas dimensiones de 60 metros de longitud, 250 micrómetros de diámetro interno y un grosor de fase estacionaria de 0.25 micrómetros.

La temperatura del horno fue cuidadosamente configurada inicialmente a 40°C y, a partir de ese momento, comenzó a aumentar a una tasa de 5°C por minuto hasta alcanzar los 180°C. Luego, la temperatura continuó incrementándose a una velocidad de 2.5°C por minuto hasta llegar a los 200°C, donde se mantuvo durante un período de 5 minutos. Finalmente, el horno elevó su temperatura a una impresionante velocidad de 20°C por minuto, logrando alcanzar los 300°C, un

nivel que se mantuvo durante 3 minutos antes de finalizar el proceso. En total, la duración del ciclo de funcionamiento del horno fue de 49 minutos.

El gas utilizado para el arrastre en este experimento fue helio, y su flujo fue de un mililitro por minuto. Se realizó la toma de una pequeña cantidad de la muestra, específicamente 20 micro litros, que posteriormente fue diluida en un mililitro de diclorometano. Se introdujo una cantidad de 1 microlitro de la solución en el equipo correspondiente.

Los estudios llevados a cabo mediante la técnica de cromatografía de gases en el aceite esencial que ha sido obtenido del palo santo, a partir de un total de 15 pruebas diferentes que se realizaron, facilitaron la identificación de cerca de 50 compuestos químicos distintos. Estos compuestos identificados representan aproximadamente el 90,14% de la composición total del aceite esencial analizado.

En los anexos identificados con las letras A-FF, se tiene la oportunidad de observar con claridad que los compuestos que han sido clasificados como los más relevantes en este estudio corresponden a una categoría específica de compuestos químicos conocidos como compuestos terpénicos. Estos compuestos terpénicos pueden a su vez clasificarse en varias subcategorías, que incluyen monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, así como también algunos compuestos que poseen átomos de oxígeno en su estructura química.

Entre los principales compuestos que se identificaron como constituyentes mayoritarios en la muestra se incluyen el Mentofurano, el α -Terpineol, la Carvona, el β -Bisaboleno, el β -Cimeno, el cis-Carveol y el γ -Muuroleno. El D-Limoneno, que es un compuesto clasificado dentro de los monoterpenos, se encuentra presente en una proporción significativa, alcanzando más del 70% del total de los componentes.

Investigaciones científicas que se enfocan en analizar la composición química del aceite esencial proveniente de la planta identificada como B. Los estudios realizados sobre la especie

graveolens, usando el mismo método de análisis previamente mencionado, indican que los principales componentes identificados en su composición son los monoterpenos conocidos como limoneno y mentofurano, según lo reportado por Leyva y colaboradores en 2007, así como Lujan y su grupo en 2012, y también Cruz y sus coautores en 2013. Los resultados que se han obtenido están en total conformidad con los que fueron previamente reportados en el contexto de Colombia por el estudio realizado por Leyva et al., en el año 2007. En este estudio, los autores identificaron la presencia de compuestos como el limoneno, que se reportó en una concentración del 42,1%, y el mentofurano, que se encontró en una proporción del 14,1%. Por otro lado, lo que fue llevado a cabo por Cruz et al., en el año 2013 en Perú también coincide, ya que estos investigadores encontraron el limoneno en una cantidad significativa del 60,98%, así como el mentofurano, aunque en una cantidad mucho menor, de tan solo el 1,9%. De la misma forma, Lujan y sus colegas, en un estudio que llevaron a cabo en México en el año 2012, informan que los compuestos que se encontraron en mayores concentraciones fueron el limoneno, representando un 42,90%, y el mentofurano, que alcanzó un 6,79%. En contraste con los hallazgos de nuestra investigación, el estudio realizado por Méndez y sus colaboradores en el año 2012 identificó al terpineno como un compuesto de considerable relevancia, el cual representaba un 31,57% de la composición total. Sin embargo, es importante señalar que este mismo componente no estuvo presente en la muestra de aceite que fue analizada en el presente trabajo. Los compuestos que se han identificado en el aceite esencial de palo santo, específicamente de la especie *Bursera graveolens*, incluyen una serie de sustancias químicas tales como el óxido de cariofileno, trans-cariofileno, Z- β -ocimeno, sabineno, β -pineno, así como el ()-2-careno, canforo, mentona, criptona, piperitona, copaeno, junto con los compuestos γ -selineno, β -selineno, ()- δ -cadineno, α -bisabolol, β -cariofileno y viridiflorol. También se encuentran otros compuestos importantes como el γ -elemeno, 1-felandreno, β -pineno, α -terpinene, trans-ocimeno, acetato de octilo, 3-

octano (que es conocido como amiletilcrabinol), 2R-trans-mentona, 2R-cismentona, linalool, isocariofileno, α -cariofileno, 1-tetradeceno, 6-allyl-o-cresol y timol muy posiblemente junto con durenol. La identificación de estos compuestos se realizó mediante la técnica de cromatografía de gases, tal como fue reportado por varios investigadores en sus estudios, incluyendo Leyva et al., (2007); Luján et al., (2012); Cruz et al., (2013); y Méndez et al. (2012); sin embargo, no se abordar este tema en el presente estudio. Este fenómeno puede ser comprendido a través de diversas condiciones ecológicas que afectan a las plantas, así como a los factores estacionales que pueden tener un impacto significativo en las características tanto cualitativas como cuantitativas del aceite esencial que producen.

Composición Química del Aceite Esencial por Cromatografía de Gases Acoplada a
Espectrometría de Masas de las 15 Pruebas Experimentales



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES

Informe de resultados

Solicitante: Ing. Eder Vicuña, Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Muestra: 15 muestras de aceite esencial de Palo Santo
Análisis: Composición química de aceite esencial por Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.
Fecha de entrega de Resultados: 22 febrero 2022

RESULTADOS

En las páginas 2 a 45 del presente informe.

Atentamente,

Dra. Rosario Rojas Durán

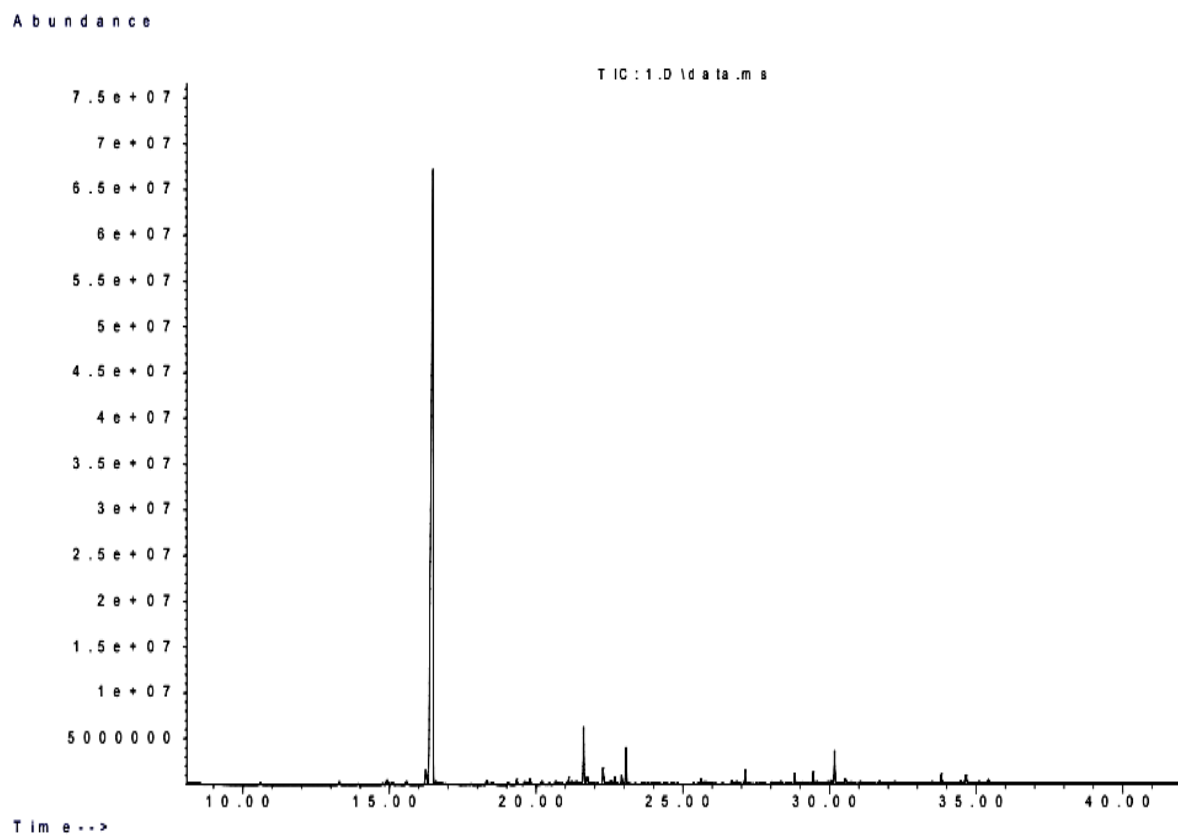
Unidad de Investigación en Productos Naturales
LID-Laboratorio 209
e-mail: rosario.rojas@upch.pe
<https://investigacion.cayetano.edu.pe/catalogo/productosnaturales/uijn>
Teléfono: 51-1-3190000 Anexo 233227

Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°1

Muestra N°1 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
VIRUTA	80	90	14	3.7078125
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)		t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	D-Limoneno		16.49	79.86 ± 0.02
2	α-Terpineol		21.62	3.50 ± 0.00
3	Carvona		23.07	2.18 ± 0.00
4	β-Bisaboleno		30.18	2.17 ± 0.01
5	β-Cimeno		16.24	1.29 ± 0.01
6	cis-Carveol		22.28	1.14 ± 0.00
7	Guaíol		34.65	0.93 ± 0.01
8	epi-γ-Eudesmol		33.82	0.85 ± 0.00
9	β-Elemeno		27.13	0.79 ± 0.00
10	γ-Muroleno		29.45	0.74 ± 0.00
11	α-Gurjuneno		28.82	0.62 ± 0.00
12	Pulegona		22.92	0.55 ± 0.00
13	Carveol		22.68	0.46 ± 0.00
14	cis-Dihidrocarvona		21.71	0.38 ± 0.00
15	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		21.77	0.38 ± 0.00
16	γ-Cadineno		30.52	0.35 ± 0.00
17	α-Bisabolol		35.42	0.32 ± 0.00
18	cis-p-Menta-2,8-dien-1-ol		19.79	0.31 ± 0.00
19	trans-p-Menta-2,8-dienol		19.34	0.30 ± 0.00
20	δ-Elemeno		25.62	0.28 ± 0.00
21	α-Muroleno		30.06	0.26 ± 0.00
22	p-Cimeno		18.31	0.22 ± 0.00
23	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)		22.53	0.20 ± 0.00
24	Ylangeno		26.67	0.20 ± 0.00
25	Selinol		34.46	0.20 ± 0.00
26	Eucaliptol		16.58	0.19 ± 0.00
27	β-Cadineno		30.57	0.19 ± 0.00
28	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)		29.95	0.18 ± 0.00
29	α-Amorfenol		29.57	0.16 ± 0.00
30	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)		35.08	0.15 ± 0.00
31	β-Terpineol		20.19	0.14 ± 0.00
32	Mentofurano		20.67	0.13 ± 0.00
33	α-Copaeno		26.84	0.13 ± 0.00
34	β-Copaeno		28.33	0.13 ± 0.00
35	E,E-2,6-Dimetil-1,3,5,7-octatetraeno		15.57	0.12 ± 0.00

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 1

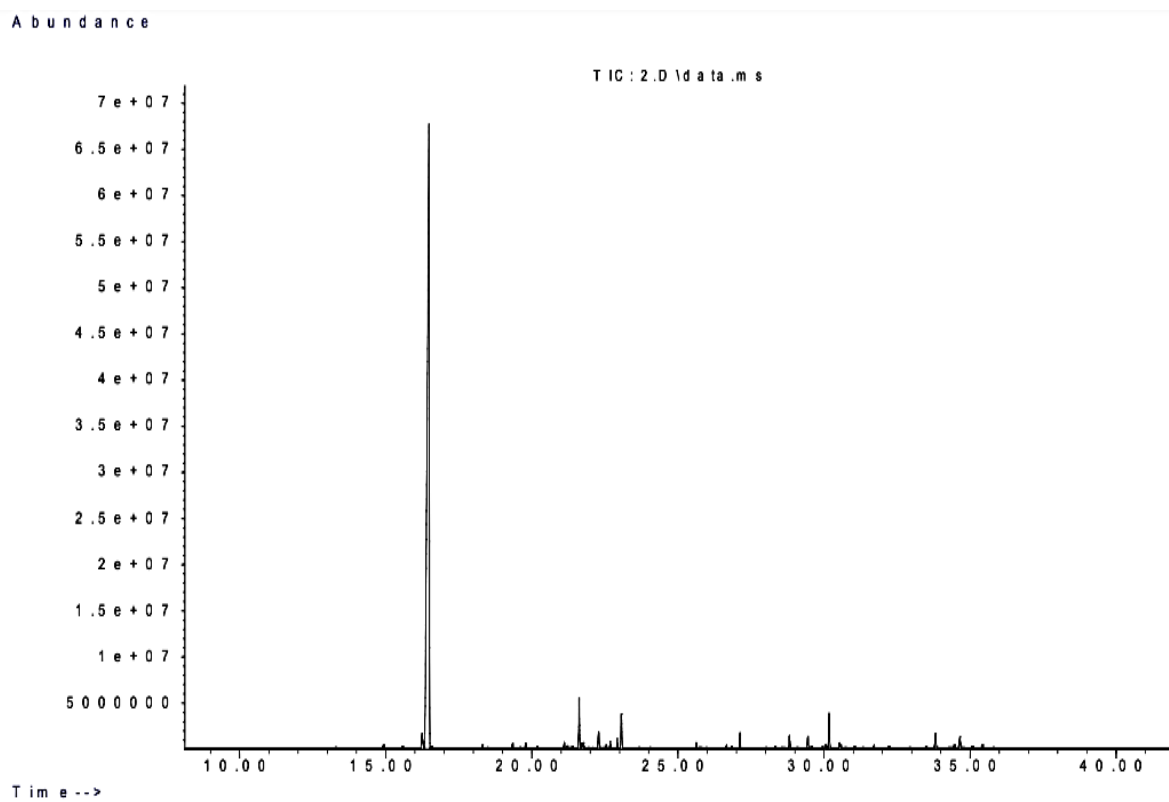


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°2

Muestra N°2 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASERRIN	80	60	11	2.071666667
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.48	79.07 ± 0.12	
2	α-Terpineol	21.62	3.02 ± 0.00	
3	β-Bisaboleno	30.18	2.30 ± 0.01	
4	Carvona	23.07	2.00 ± 0.00	
5	β-Cimeno	16.25	1.32 ± 0.00	
6	cis-Carveol	22.29	1.21 ± 0.00	
7	epi-γ-Eudesmol	33.82	1.11 ± 0.00	
8	Guaiol	34.65	1.06 ± 0.13	
9	β-Elemeno	27.13	0.91 ± 0.00	
10	γ-Muroleno	29.45	0.78 ± 0.00	
11	α-Gurjuneno	28.82	0.77 ± 0.00	
12	Pulegona	22.92	0.57 ± 0.00	
13	trans-Carveol	22.68	0.52 ± 0.00	
14	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.76	0.39 ± 0.00	
15	γ-Cadinene	30.53	0.37 ± 0.00	
16	cis-Dihidrocarvona	21.71	0.35 ± 0.00	
17	δ-Elemeno	25.62	0.33 ± 0.01	
18	α-Bisabolol	35.42	0.33 ± 0.00	
19	cis-p-Menta-2,8-dien-1-ol	19.79	0.31 ± 0.00	
20	trans-p-Menta-2,8-dienol	19.34	0.30 ± 0.00	
21	α-Muroleno	30.06	0.28 ± 0.00	
22	Selinenol	34.46	0.27 ± 0.00	
23	p-Cimeneno	18.32	0.25 ± 0.00	
24	α-Ylangeno	26.66	0.23 ± 0.00	
25	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)	22.54	0.20 ± 0.00	
26	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.94	0.20 ± 0.00	
27	E,E-2,6-Dimetil-1,3,5,7-octatetraeno	15.57	0.19 ± 0.00	
28	β-Cadineno	30.57	0.19 ± 0.00	
29	Eucaliptol	16.58	0.18 ± 0.01	
30	α-Amorfenol	29.57	0.18 ± 0.00	
31	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)	35.08	0.18 ± 0.00	
32	β-Terpineol	20.19	0.16 ± 0.00	
33	α-Copaeno	26.84	0.14 ± 0.00	
34	β-Copaeno	28.34	0.14 ± 0.00	
35	4-Acetil-1-metilciclohexeno	19.61	0.11 ± 0.00	
36	Desconocido (C ₁₂ H ₂₀ O ₃)	25.74	0.09 ± 0.00	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 2

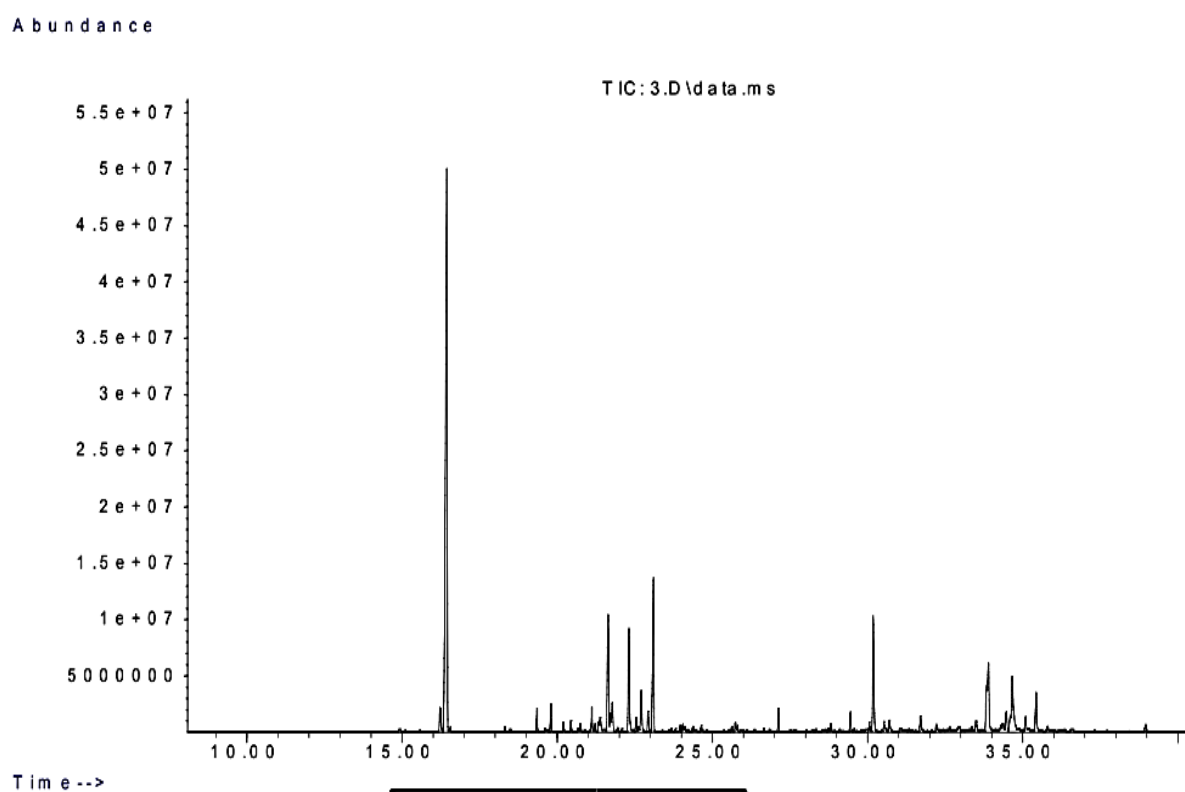


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°3

Muestra N°3 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASTILLA	80	60	2.9	0.768046875
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.45	40.82 ± 0.06	
2	Carvona	23.10	7.84 ± 0.00	
3	β-Bisaboleno	30.19	5.77 ± 0.00	
4	α-Terpineol	21.64	5.62 ± 0.03	
5	cis-Carveol	22.31	5.47 ± 0.00	
6	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	34.67	4.17 ± 0.00	
7	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	33.89	3.98 ± 0.00	
8	epi-γ-Eudesmol	33.84	2.34 ± 0.04	
9	α-Bisabolol	35.43	2.22 ± 0.00	
10	trans-Carveol	22.70	1.80 ± 0.00	
11	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.77	1.34 ± 0.00	
12	β-Cimeno	16.23	1.29 ± 0.00	
13	cis-p-Menta-2,8-dien-1-ol	19.80	1.25 ± 0.00	
14	trans-p-Menta-2,8-dienol	19.35	0.97 ± 0.00	
15	β-Elemeno	27.13	0.96 ± 0.00	
16	Selinenol	34.47	0.96 ± 0.00	
17	γ-Muuroleno	29.45	0.90 ± 0.00	
18	Pulegona	22.93	0.86 ± 0.00	
19	cis-Dihidrocarvona	21.72	0.81 ± 0.02	
20	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)	35.09	0.77 ± 0.00	
21	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.39	0.72 ± 0.08	
22	Bisabolol óxido II	34.60	0.65 ± 0.00	
23	γ-Cadineno	30.53	0.58 ± 0.00	
24	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄ O)	34.35	0.46 ± 0.00	
25	α-Muuroleno	30.06	0.45 ± 0.00	
26	β-Terpineol	20.20	0.44 ± 0.00	
27	p-Mentan-3-ona	20.44	0.44 ± 0.00	
28	3-Metilacetofenona	21.33	0.42 ± 0.02	
29	Isomentona	20.73	0.38 ± 0.00	
30	Desconocido (C ₁₀ H ₁₈ O ₂)	25.74	0.38 ± 0.00	
31	p-Menta-1,8-dien-7-ol	24.64	0.36 ± 0.00	
32	α-Gurjuneno	28.82	0.35 ± 0.00	
33	4-(1-metiletetil)-(S)-1-Ciclohexeno-1-carboxaldehído	24.04	0.32 ± 0.00	
34	Óxido de cis-Carvona	23.96	0.28 ± 0.00	
35	Piperitenona	25.81	0.27 ± 0.00	
36	p-Menta-1(7),8(10)-dien-9-ol	24.37	0.26 ± 0.00	
37	p-Cimeno	18.32	0.24 ± 0.00	
38	α-Cadinol	34.29	0.24 ± 0.00	
39	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.94	0.22 ± 0.01	
40	4-Hidroxi-3-metilacetofenona	24.11	0.22 ± 0.00	
41	δ-Elemeno	25.63	0.21 ± 0.00	
42	Eucaliptol	16.55	0.19 ± 0.01	
43	4-Acetil-1-metilciclohexeno	19.61	0.19 ± 0.00	
44	β-Linalool	18.48	0.17 ± 0.00	
45	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)	23.82	0.17 ± 0.00	
46	Acetato de p-Ment-8-en-3-ol	23.67	0.16 ± 0.00	
47	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆)	28.74	0.16 ± 0.00	
48	Mentofurano	20.67	0.15 ± 0.00	
49	α-Ylangeno	26.66	0.15 ± 0.00	
50	β-Copaeno	28.34	0.15 ± 0.00	
51	5-Isopropenil-2-metilciclopent-1-enecarboxaldehído	22.09	0.14 ± 0.00	
52	α-Amorfenol	29.57	0.14 ± 0.00	
53	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.95	0.12 ± 0.00	
54	α-Copaeno	26.84	0.09 ± 0.00	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 3

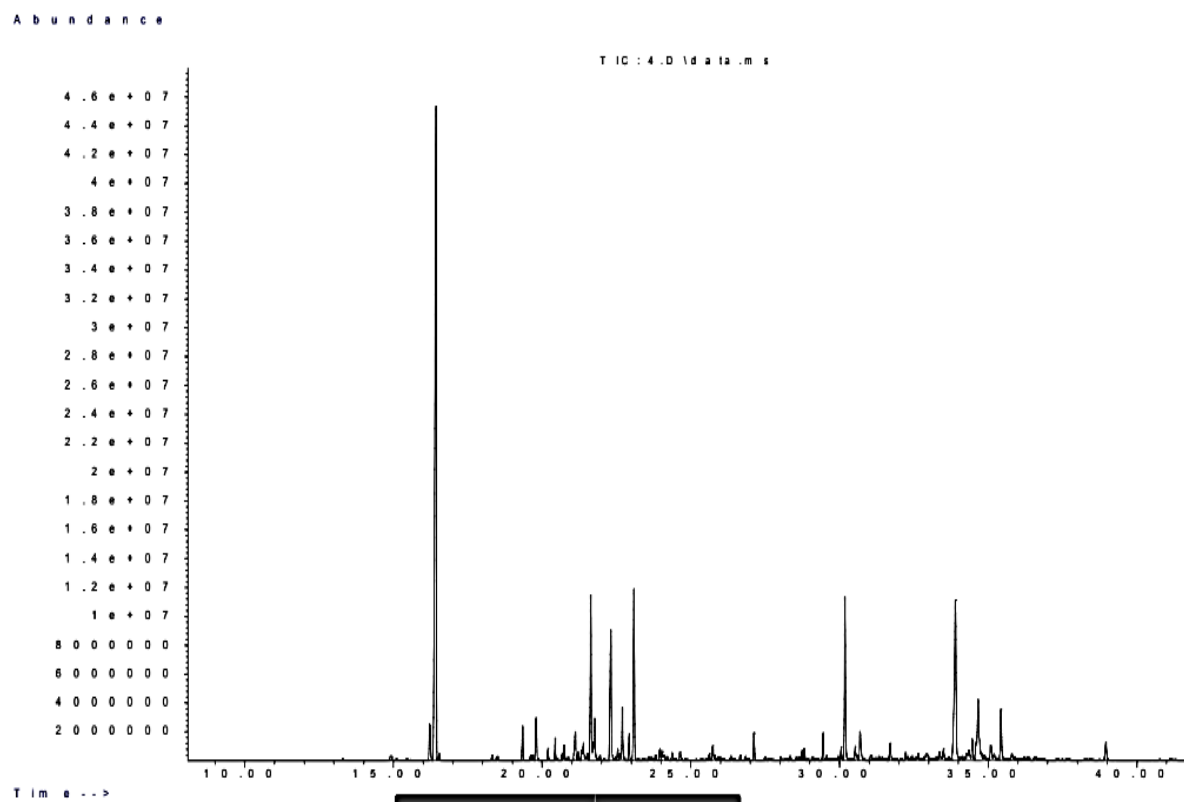


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°4

Muestra N°4 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASTILLA	80	120	6	1.13
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.43	35.5 ± 0.04	
2	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	33.90	9.64 ± 0.01	
3	L-Carvona	23.09	6.78 ± 0.01	
4	β-Bisaboleno	30.19	6.56 ± 0.00	
5	α-Terpineol	21.64	6.40 ± 0.03	
6	cis -Carveol	22.30	5.48 ± 0.02	
7	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	34.66	3.69 ± 0.03	
8	α-Bisabolol	35.43	2.35 ± 0.02	
9	trans -Carveol	22.70	1.85 ± 0.01	
10	cis -p-Menta-2,8-dien-1-ol	19.80	1.53 ± 0.05	
11	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.77	1.53 ± 0.02	
12	β-Cimeno	16.22	1.46 ± 0.00	
13	trans -p-Menta-2,8-dienol	19.34	1.13 ± 0.00	
14	γ-Muroleno	29.45	0.97 ± 0.00	
15	Pulegona	22.92	0.90 ± 0.00	
16	β-Elemeno	27.13	0.90 ± 0.00	
17	γ-Eudesmol	34.47	0.84 ± 0.00	
18	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.38	0.72 ± 0.01	
19	p-Mentan-3-ona	20.44	0.71 ± 0.00	
20	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)	35.09	0.67 ± 0.01	
21	γ-Cadineno	30.53	0.63 ± 0.00	
22	Bisabolol óxido II	34.59	0.61 ± 0.01	
23	cis -Dihidrocarvona	21.72	0.60 ± 0.01	
24	Isomentona	20.73	0.53 ± 0.00	
25	α-Muroleno	30.06	0.51 ± 0.00	
26	Desconocido (C ₁₂ H ₂₀ O ₃)	25.74	0.50 ± 0.00	
27	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)	34.35	0.49 ± 0.00	
28	β-Terpineol	20.20	0.46 ± 0.00	
29	α-Gurjuneno	28.82	0.40 ± 0.00	
30	Óxido de cis -Carvona	23.96	0.36 ± 0.00	
31	p-Menta-1,8-dien-7-ol	24.63	0.34 ± 0.00	
32	Desconocido (C ₁₄ H ₂₂ O)	28.74	0.33 ± 0.00	
33	Levomentol	21.51	0.32 ± 0.02	
34	3'-Metilacetofenona	21.33	0.31 ± 0.01	
35	Desconocido (C ₁₃ H ₂₀ O ₃)	35.19	0.31 ± 0.01	
36	4-(1-metiletenil)-1-Ciclohexen-1-carboxaldehído	24.04	0.30 ± 0.00	
37	p-Menta-1(7),8(10)-dien-9-ol	24.37	0.28 ± 0.00	
38	Eucaliptol	16.54	0.23 ± 0.00	
39	α-Cadinol	34.28	0.23 ± 0.01	
40	δ-Elemeno	25.62	0.22 ± 0.00	
41	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.94	0.20 ± 0.00	
42	p-Cimeneno	18.31	0.19 ± 0.00	
43	Óxido de cis -Limoneno	19.68	0.19 ± 0.00	
44	Mentofurano	20.67	0.19 ± 0.01	
45	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.94	0.18 ± 0.03	
46	β-Copaeno	28.34	0.18 ± 0.00	
47	4-Acetil-1-metilciclohexeno	19.61	0.17 ± 0.00	
48	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)	23.81	0.17 ± 0.00	
49	4-Hidroxi-3-metilacetofenona	24.10	0.17 ± 0.00	
50	Piperitenona	25.80	0.16 ± 0.00	
51	Desconocido (C ₅ H ₂₆ O)	26.34	0.15 ± 0.00	
52	α-Ylangeno	26.66	0.15 ± 0.00	
53	α-Amorfeno	29.57	0.15 ± 0.00	
54	β-Linalool	18.48	0.10 ± 0.13	
55	α-Copaeno	26.84	0.10 ± 0.01	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 4

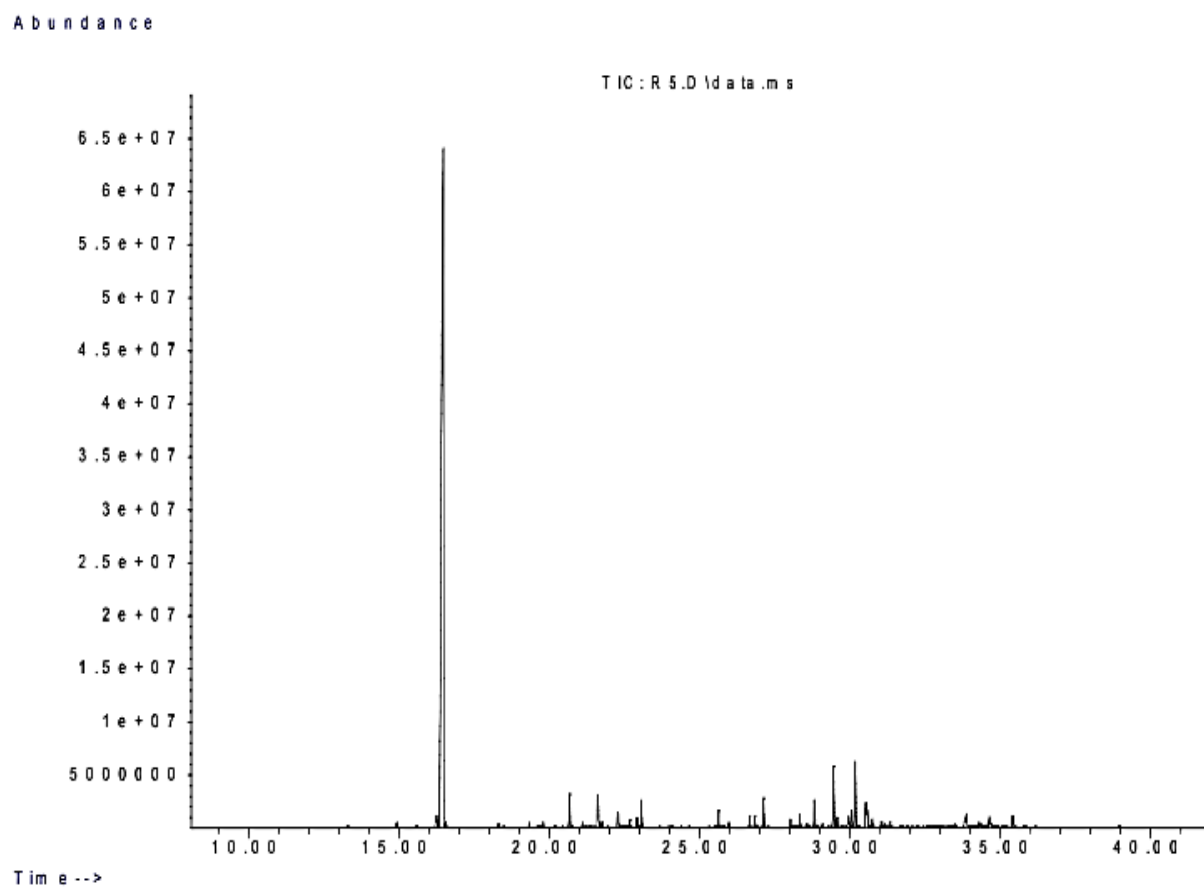


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°5

Muestra N°5 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
VIRUTA	70	60	7.8	1.944264706
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)		t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	D-Limoneno		16.47	70.15 ± 0.05
2	β-Bisaboleno		30.18	3.51 ± 0.01
3	γ-Muroleno		29.45	3.18 ± 0.01
4	Mentofurano		20.67	1.72 ± 0.01
5	α-Terpineol		21.61	1.66 ± 0.01
6	β-Elemeno		27.13	1.43 ± 0.01
7	γ-Cadineno		30.53	1.42 ± 0.02
8	α-Gurjuneno		28.82	1.37 ± 0.01
9	L-Carvona		23.06	1.36 ± 0.01
10	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)		33.87	1.26 ± 0.01
11	tau-Muurolol		34.64	1.06 ± 0.01
12	cis -Carveol		22.28	0.95 ± 0.01
13	α-Muroleno		30.06	0.91 ± 0.01
14	β-Cimeno		16.24	0.88 ± 0.01
15	δ-Elemeno		25.62	0.80 ± 0.01
16	β-Cadineno		30.58	0.79 ± 0.02
17	α-Bisabolol		35.42	0.76 ± 0.01
18	β-Copaeno		28.33	0.63 ± 0.01
19	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄ O)		29.94	0.62 ± 0.01
20	α-Copaeno		26.84	0.57 ± 0.01
21	α-Ylangeno		26.66	0.56 ± 0.01
22	α-Amorfeno		29.57	0.52 ± 0.03
23	Pulegona		22.92	0.49 ± 0.01
24	β-Ylangeno		28.02	0.37 ± 0.01
25	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		21.76	0.31 ± 0.01
26	Eucaliptol		16.56	0.29 ± 0.01
27	cis -p -Menta-2,8-dien-1-ol		19.79	0.27 ± 0.01
28	cis -Dihidrocarvona		21.71	0.25 ± 0.01
29	trans -p -Menta-2,8-dienol		19.34	0.24 ± 0.01
30	cis -Thujopseno		28.55	0.24 ± 0.01
31	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)		29.08	0.24 ± 0.01
32	α-Cubebeno		25.96	0.23 ± 0.01
33	α-Cadinol		34.28	0.22 ± 0.10
34	p -Cimeneno		18.31	0.20 ± 0.01
35	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)		25.54	0.16 ± 0.01
36	trans -Carveol		22.67	0.12 ± 0.07
37	α-Pineno		13.28	0.11 ± 0.01
38	β-Terpineol		20.19	0.11 ± 0.01

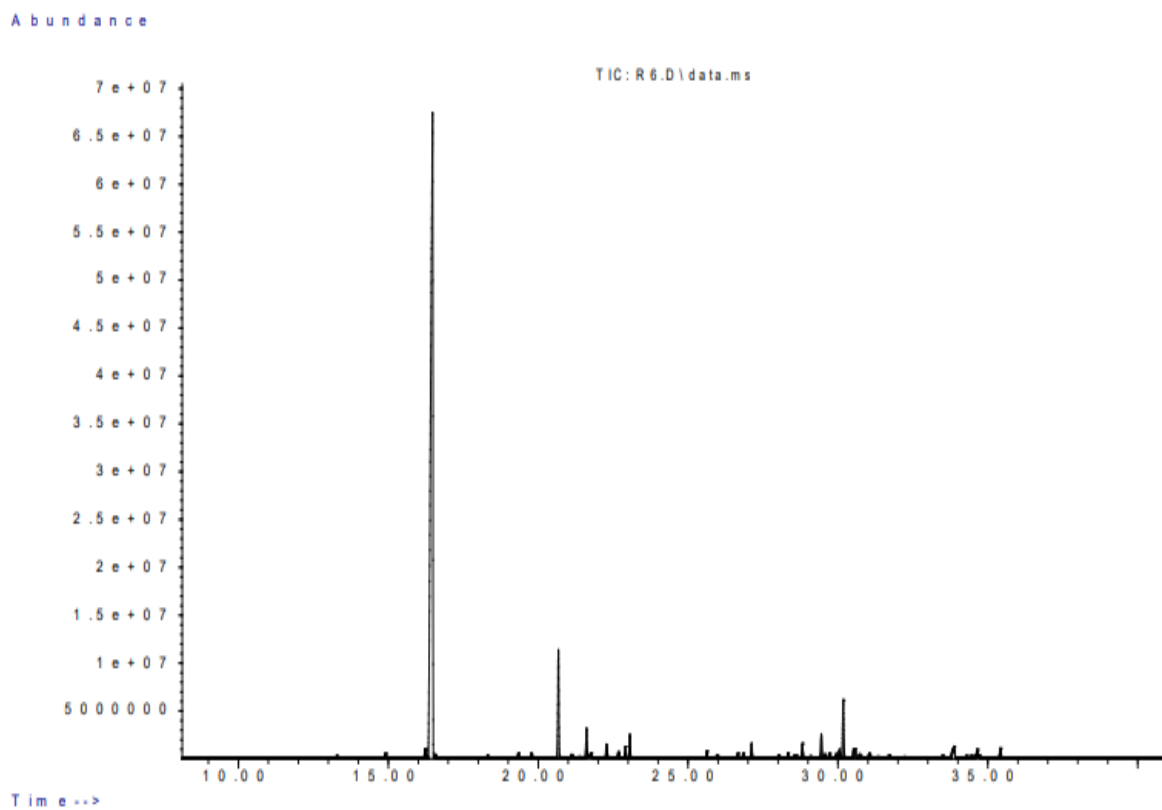
Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 5



Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases – Muestra N°6

Muestra N°6 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASERRIN	80	120	20	3.766666667
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.48	72.74 ± 0.11	
2	Mentofurano	20.68	5.83 ± 0.02	
3	β-Bisaboleno	30.18	3.44 ± 0.01	
4	α-Terpineol	21.61	1.66 ± 0.00	
5	γ-Muuroleno	29.45	1.31 ± 0.00	
6	L-Carvona	23.06	1.25 ± 0.00	
7	cis -Carveol	22.28	0.94 ± 0.00	
8	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	33.87	0.88 ± 0.01	
9	tau-Muurolol	34.64	0.87 ± 0.00	
10	α-Gurjuneno	28.82	0.79 ± 0.00	
11	β-Elemeneno	27.12	0.75 ± 0.00	
12	β-Cimeno	16.23	0.72 ± 0.00	
13	α-Bisabolol	35.42	0.69 ± 0.00	
14	Pulegona	22.92	0.62 ± 0.00	
15	γ-Cadineno	30.52	0.55 ± 0.00	
16	β-Cadineno	30.57	0.53 ± 0.00	
17	α-Muuroleno	30.05	0.51 ± 0.00	
18	γ-Eudesmol	33.82	0.50 ± 0.00	
19	trans -Carveol	22.67	0.40 ± 0.00	
20	cis -p-Menta-2,8-dien-1-ol	19.79	0.34 ± 0.00	
21	δ-Elemeneno	25.62	0.34 ± 0.00	
22	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.76	0.31 ± 0.00	
23	Calameneno	30.73	0.31 ± 0.00	
24	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	31.04	0.30 ± 0.00	
25	β-Copaeno	28.33	0.28 ± 0.00	
26	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.94	0.27 ± 0.00	
27	trans -p-Menta-2,8-dienol	19.34	0.26 ± 0.00	
28	α-Ylangeno	26.66	0.26 ± 0.00	
29	α-Copaeno	26.84	0.26 ± 0.00	
30	D-Germacreno	29.72	0.25 ± 0.01	
31	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.11	0.21 ± 0.00	
32	α-Amorfeno	29.56	0.21 ± 0.00	
33	Eucaliptol	16.57	0.20 ± 0.05	
34	cis -Dihidrocarvona	21.70	0.20 ± 0.00	
35	α-Cubebeno	25.96	0.19 ± 0.00	
36	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄ O)	31.70	0.19 ± 0.00	
37	cis -Thujopseno	28.55	0.18 ± 0.00	
38	β-Ylangeno	28.02	0.17 ± 0.01	
39	p-Cimeneno	18.31	0.16 ± 0.00	
40	α-Pineno	13.28	0.12 ± 0.00	

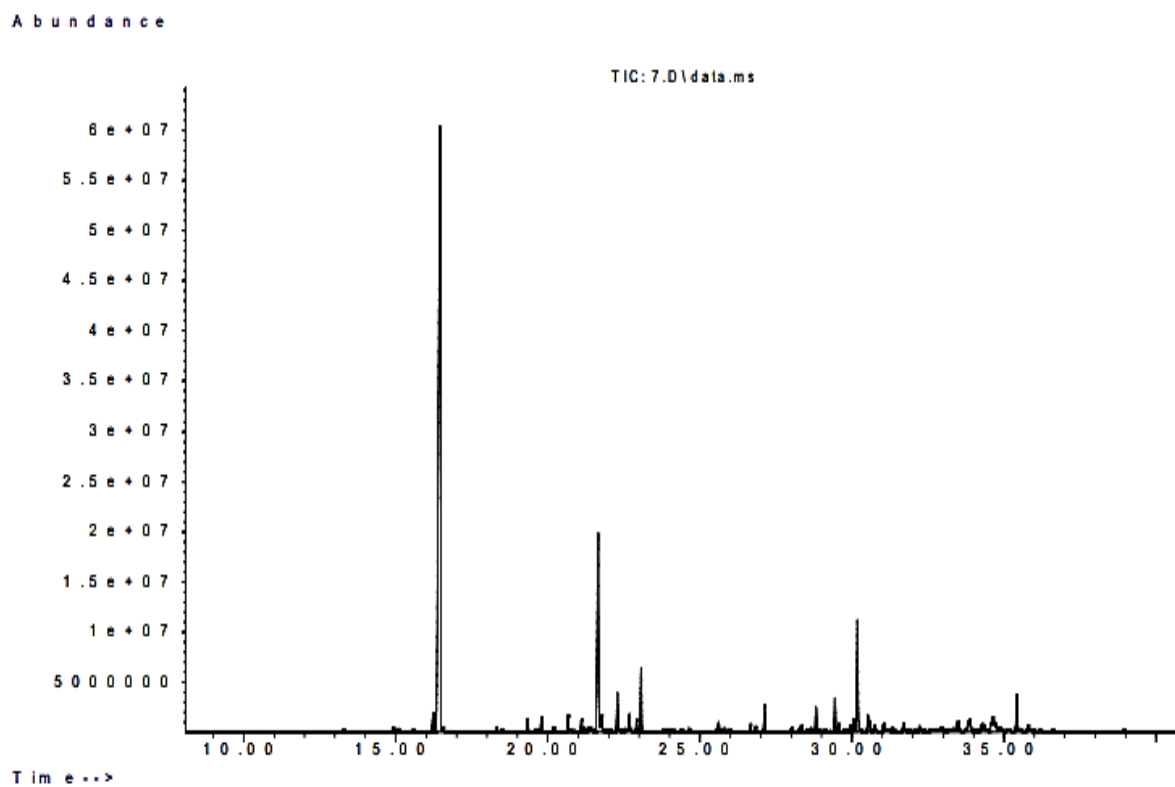
Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 6



Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –
Muestra N°7

Muestra N°7 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASTILLA	70	90	5	1.115131579
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)		t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	D-Limoneno		16.46	55.52 ± 0.00
2	α-Terpineol		21.65	12.48 ± 0.00
3	β-Bisaboleno		30.18	5.95 ± 0.05
4	L-Carvona		23.07	3.05 ± 0.00
5	α-Bisabolol		35.42	2.19 ± 0.01
6	cis-Carveol		22.29	2.11 ± 0.00
7	γ-Muroleno		29.45	1.64 ± 0.00
8	β-Elemeno		27.12	1.22 ± 0.00
9	β-Cimeno		16.23	1.19 ± 0.00
10	α-Gurjuneno		28.82	1.14 ± 0.00
11	trans-Carveol		22.68	0.96 ± 0.00
12	γ-Cadineno		30.52	0.84 ± 0.00
13	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		21.77	0.79 ± 0.01
14	Mentofurano		20.66	0.71 ± 0.00
15	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		19.79	0.69 ± 0.00
16	α-Muroleno		30.05	0.65 ± 0.01
17	trans-p-Menta-2,8-dienol		19.33	0.60 ± 0.00
18	Pulegona		22.92	0.54 ± 0.00
19	tau-Murolol		34.64	0.53 ± 0.01
20	β-Cadineno		30.57	0.51 ± 0.00
21	cis-Dihidrocarvona		21.72	0.48 ± 0.00
22	Óxido de Alloaromadendreno		34.34	0.45 ± 0.03
23	δ-Elemeno		25.62	0.41 ± 0.00
24	Calameneno		30.73	0.41 ± 0.00
25	α-Cadinol		34.27	0.40 ± 0.02
26	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)		29.94	0.38 ± 0.00
27	α-Ylangeno		26.66	0.33 ± 0.00
28	α-Amorfenol		29.56	0.33 ± 0.00
29	β-Copaeno		28.33	0.31 ± 0.00
30	α-Bisabolol óxido B		34.58	0.26 ± 0.01
31	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		21.38	0.25 ± 0.00
32	α-Copaeno		26.84	0.23 ± 0.00
33	p-Cimeneno		18.31	0.22 ± 0.00
34	p-Menta-1,8-dien-7-ol		24.63	0.21 ± 0.00
35	2-Metilacetofenona		21.33	0.20 ± 0.00
36	Eucaliptol		16.56	0.19 ± 0.00
37	β-Terpineol		20.19	0.18 ± 0.00
38	cis-Thujopseno		28.54	0.18 ± 0.00
39	β-Ylangeno		28.01	0.17 ± 0.00
40	Piperitenona		25.80	0.15 ± 0.00
41	α-Cubebeno		25.96	0.15 ± 0.00
42	1-Isopropil-4,7-dimetil-1,2-dihidronaftaleno		31.32	0.15 ± 0.00
43	Desconocido(C ₁₀ H ₁₄ O)		22.53	0.13 ± 0.00
44	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)		33.34	0.13 ± 0.00
45	Desconocido (C ₁₀ H ₁₈ O ₂)		25.73	0.12 ± 0.00
46	tau-Cadinol		34.21	0.11 ± 0.02
47	4-Acetil-1-metilciclohexeno		19.60	0.10 ± 0.00
48	4-(1-metiletenil)-(S)-1-Ciclohexen-1-carboxaldehído		24.04	0.08 ± 0.00

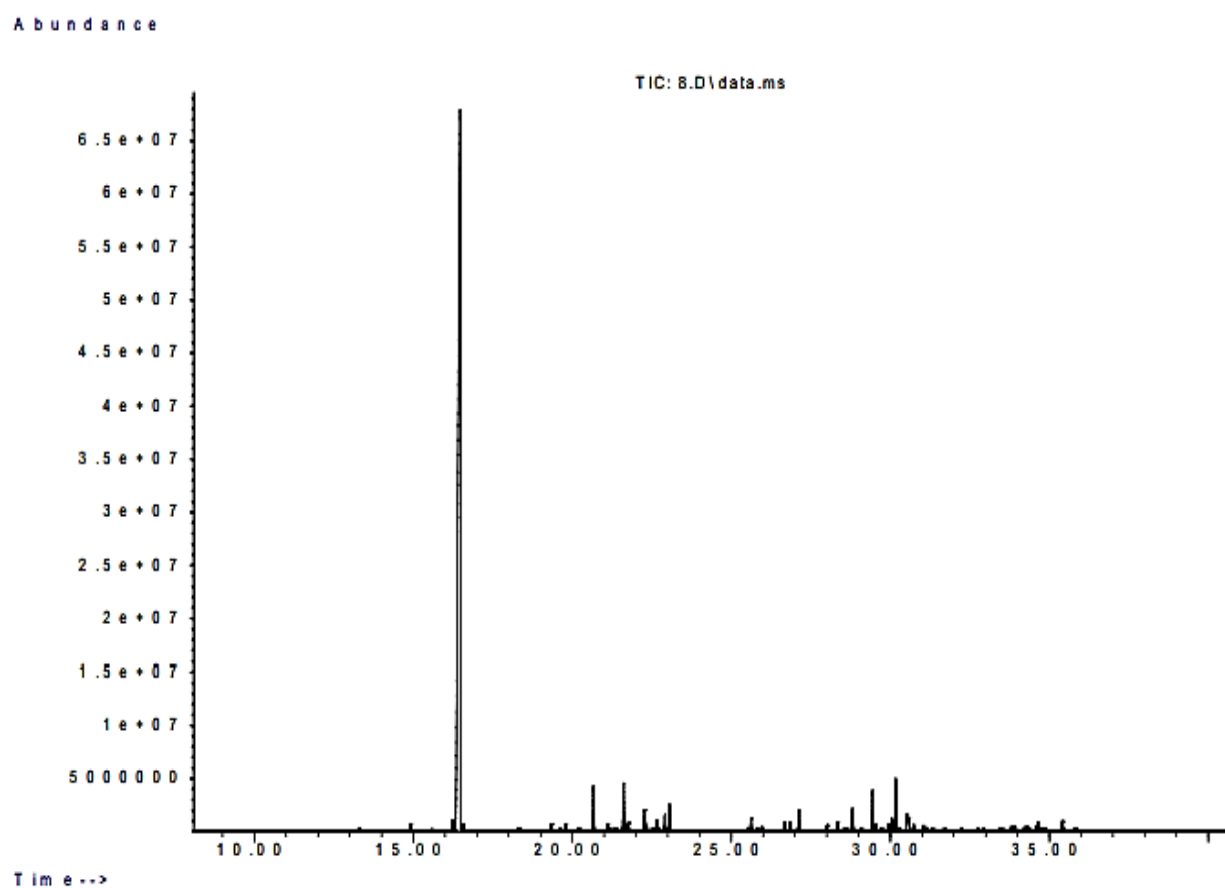
Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 7



Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –
Muestra N°8

Muestra N°8 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
VIRUTA	90	60	14	3.122368421
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.48	74.13 ± 0.03	
2	β-Bisaboleno	30.17	2.80 ± 0.00	
3	α-Terpineol	21.61	2.32 ± 0.00	
4	Mentofurano	20.67	2.04 ± 0.01	
5	γ-Muuroleno	29.44	1.96 ± 0.00	
6	cis -Carveol	22.27	1.24 ± 0.00	
7	L-Carvona	23.06	1.23 ± 0.00	
8	α-Gurjuneno	28.82	1.07 ± 0.00	
9	β-Elemeno	27.12	0.96 ± 0.00	
10	γ-Cadineno	30.52	0.84 ± 0.01	
11	Pulegona	22.92	0.79 ± 0.00	
12	β-Cimeno	16.23	0.78 ± 0.00	
13	α-Muuroleno	30.05	0.61 ± 0.00	
14	β-Cadineno	30.57	0.61 ± 0.01	
15	trans -Carveol	22.67	0.60 ± 0.00	
16	α-Bisabolol	35.41	0.58 ± 0.00	
17	δ-Elemeno	25.62	0.57 ± 0.00	
18	tau-Muurolol	34.63	0.44 ± 0.01	
19	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.76	0.43 ± 0.00	
20	β-Copaeno	28.33	0.40 ± 0.00	
21	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.94	0.40 ± 0.00	
22	α-Ylangeno	26.66	0.39 ± 0.00	
23	α-Copaeno	26.83	0.38 ± 0.00	
24	cis-p-Menta-2,8-dien-1-ol	19.78	0.34 ± 0.00	
25	trans-p-Menta-2,8-dienol	19.33	0.33 ± 0.00	
26	α-Amorfeno	29.56	0.32 ± 0.00	
27	Eucaliptol	16.57	0.31 ± 0.01	
28	Calameneno	30.73	0.31 ± 0.00	
29	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	33.86	0.30 ± 0.01	
30	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.10	0.29 ± 0.00	
31	cis -Dihidrocarvona	21.70	0.28 ± 0.00	
32	β-Ylangeno	28.01	0.24 ± 0.00	
33	epi-γ-Eudesmol	33.82	0.23 ± 0.00	
34	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄ O)	33.48	0.20 ± 0.00	
35	α-Cubebeno	25.96	0.18 ± 0.00	
36	p-Cimeneno	18.31	0.17 ± 0.00	
37	cis -Thujopseno	28.55	0.17 ± 0.00	
38	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.08	0.17 ± 0.00	
39	β-Terpineol	20.19	0.15 ± 0.00	
40	α-Pineno	13.28	0.14 ± 0.00	
41	1-Isopropil-4,7-dimetil-1,2-dihidronaftaleno	31.32	0.14 ± 0.00	
42	α-Cadinol	34.27	0.12 ± 0.00	
43	4-Acetil-1-metilciclohexeno	19.60	0.09 ± 0.00	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 8

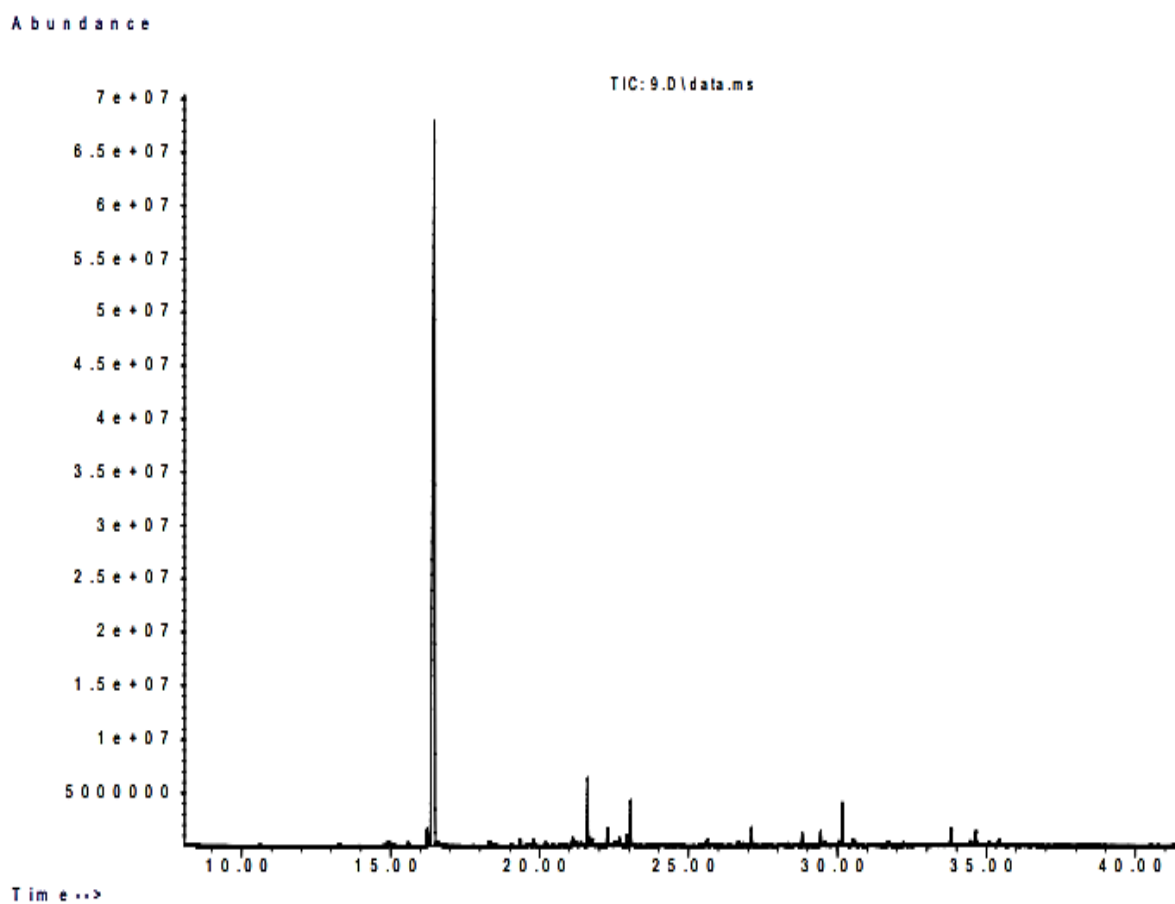


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°9

Muestra N°9 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
VIRUTA	90	120	15	3.97265625
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)		t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	D-Limoneno		16.48	77.49 ± 0.14
2	α-Terpineol		21.61	3.50 ± 0.02
3	β-Bisaboleno		30.17	2.40 ± 0.00
4	L-Carvona		23.06	2.29 ± 0.00
5	β-Cimeno		16.23	1.31 ± 0.01
6	tau-Muurolol		34.64	1.20 ± 0.01
7	cis -Carveol		22.27	1.14 ± 0.00
8	epi-γ-Eudesmol		33.81	1.09 ± 0.00
9	β-Elemeno		27.12	0.88 ± 0.00
10	γ-Muuroleno		29.44	0.73 ± 0.00
11	α-Gurjuneno		28.81	0.66 ± 0.00
12	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄ O)		31.70	0.59 ± 0.00
13	Pulegona		22.91	0.56 ± 0.00
14	α-Bisabolol		35.41	0.55 ± 0.01
15	trans -Carveol		22.67	0.46 ± 0.00
16	cis -Dihidrocarvona		21.70	0.39 ± 0.00
17	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		21.10	0.38 ± 0.00
18	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		21.75	0.37 ± 0.00
19	γ-Cadineno		30.52	0.37 ± 0.01
20	Desconocido (C ₁₀ H ₁₈ O)		21.22	0.34 ± 0.00
21	cis-p-Mentha-2,8-dien-1-ol		19.78	0.30 ± 0.01
22	δ-Elemeno		25.62	0.30 ± 0.01
23	trans-p-Mentha-2,8-dienol		19.33	0.27 ± 0.00
24	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)		34.45	0.27 ± 0.00
25	α-Muuroleno		30.05	0.26 ± 0.00
26	p-Cimeneno		18.31	0.24 ± 0.00
27	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)		22.53	0.21 ± 0.01
28	α-Ylangeno		26.66	0.21 ± 0.00
29	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)		29.94	0.19 ± 0.00
30	Eucaliptol		16.56	0.18 ± 0.00
31	β-Cadineno		30.57	0.18 ± 0.02
32	α-Amorfenol		29.56	0.16 ± 0.01
33	E,E-2,6-Dimetil-1,3,5,7-octatetraeno		15.57	0.15 ± 0.00
34	β-Terpineol		20.19	0.14 ± 0.01
35	α-Copaeno		26.83	0.12 ± 0.00
36	β-Copaeno		28.33	0.12 ± 0.001

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 9

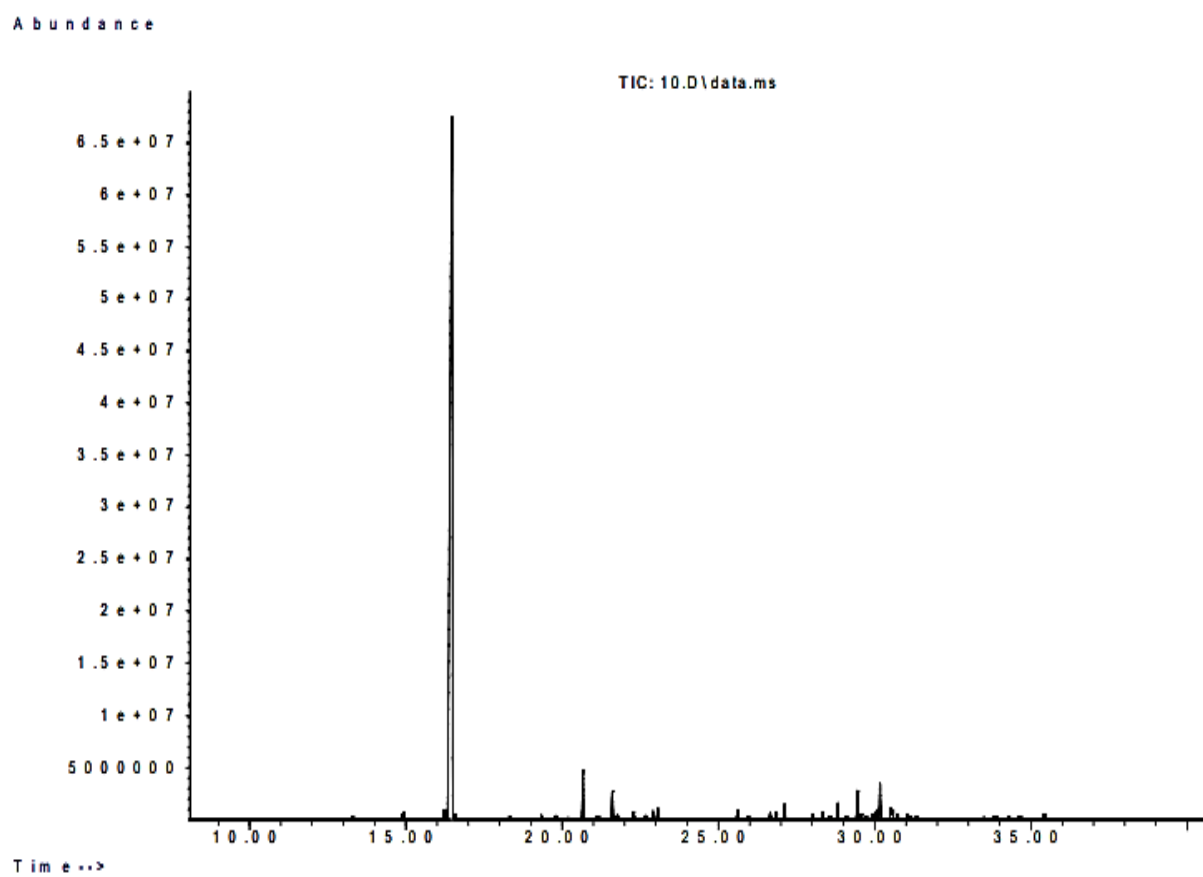


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°10

Muestra N°10 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASERRIN	70	90	16	3.013333333
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.48	81.35 ± 0.05	
2	Mentofurano	20.67	2.60 ± 0.01	
3	β-Bisaboleno	30.17	2.05 ± 0.01	
4	γ-Muuroleno	29.44	1.60 ± 0.00	
5	α-Terpineol	21.61	1.57 ± 0.00	
6	α-Gurjuneno	28.82	0.86 ± 0.00	
7	β-Elemeneno	27.12	0.77 ± 0.00	
8	β-Cimeneno	16.23	0.72 ± 0.00	
9	γ-Cadineno	30.52	0.67 ± 0.00	
10	L-Carvona	23.05	0.55 ± 0.00	
11	cis -Carveol	22.27	0.52 ± 0.00	
12	β-Cadineno	30.57	0.46 ± 0.01	
13	δ-Elemeneno	25.62	0.45 ± 0.00	
14	α-Muuroleno	30.05	0.44 ± 0.00	
15	Pulegona	22.91	0.42 ± 0.00	
16	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	33.86	0.36 ± 0.00	
17	α-Ylangeno	26.66	0.33 ± 0.00	
18	β-Copaeno	28.33	0.33 ± 0.00	
19	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.94	0.32 ± 0.00	
20	α-Copaeno	26.83	0.31 ± 0.00	
21	α-Bisabolol	35.41	0.30 ± 0.00	
22	tau-Muurolol	34.63	0.29 ± 0.00	
23	Eucaliptol	16.57	0.27 ± 0.00	
24	α-Amorfeno	29.56	0.25 ± 0.00	
25	Calameneno	30.73	0.24 ± 0.00	
26	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.75	0.22 ± 0.00	
27	trans -Carveol	22.67	0.22 ± 0.01	
28	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	31.04	0.22 ± 0.00	
29	cis-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	19.78	0.20 ± 0.00	
30	trans-p-Mentha-2,8-dienol	19.33	0.19 ± 0.00	
31	β-Ylangeno	28.01	0.19 ± 0.00	
32	α-Pineno	13.28	0.17 ± 0.00	
33	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	25.96	0.15 ± 0.00	
34	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.10	0.14 ± 0.02	
35	p-Cimeneno	18.31	0.13 ± 0.00	
36	β-Cubebeno	29.71	0.13 ± 0.00	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 10

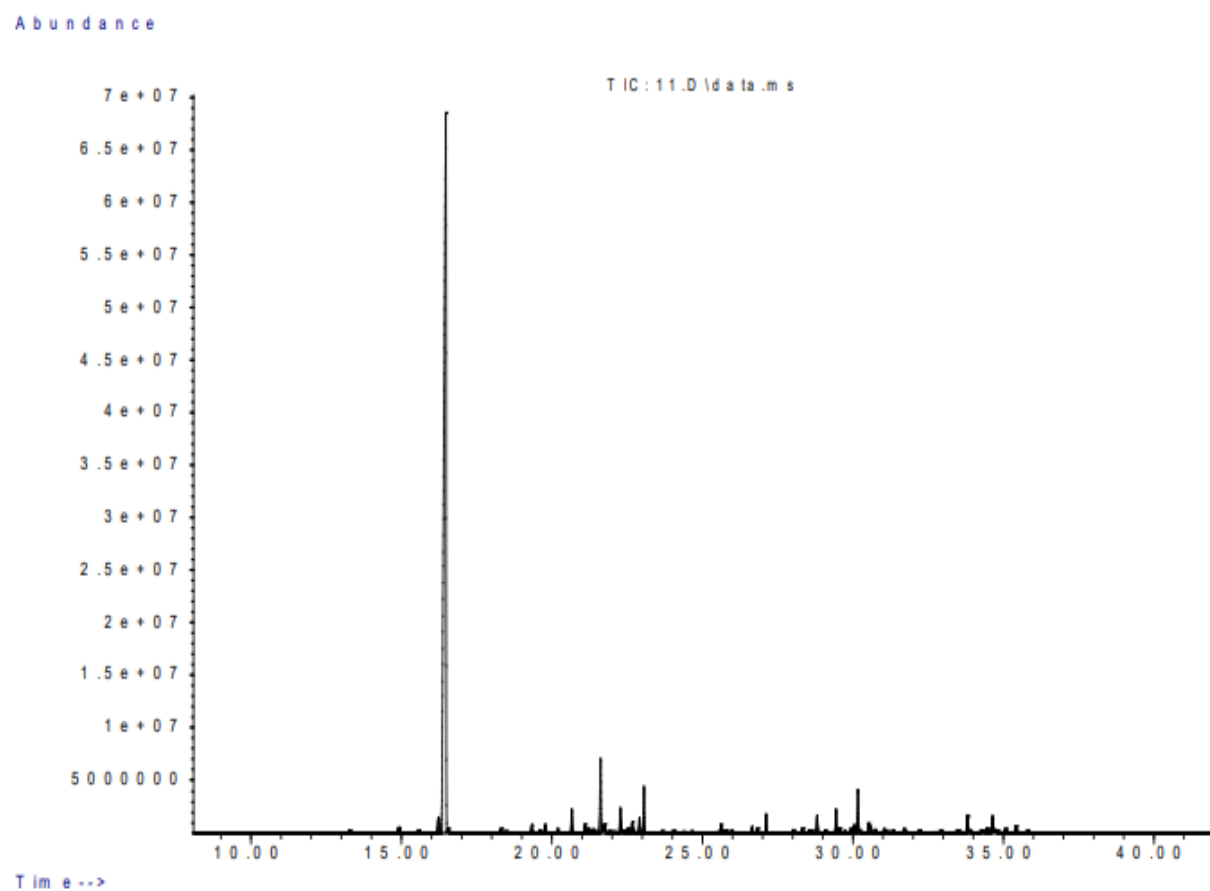


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°11

Muestra N°11 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASERRIN	90	90	14	2.636666667
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)		t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	D-Limoneno		16.48	74.63 ± 0.06
2	α-Terpineol		21.62	3.67 ± 0.00
3	β-Bisaboleno		30.17	2.34 ± 0.01
4	L-Carvona		23.06	2.17 ± 0.00
5	cis -Carveol		22.28	1.48 ± 0.02
6	tau-Muurolol		34.64	1.34 ± 0.00
7	epi-γ-Eudesmol		33.81	1.19 ± 0.00
8	γ-Muuroleno		29.44	1.15 ± 0.00
9	β-Cimeno		16.23	1.10 ± 0.00
10	Mentofurano		20.66	1.06 ± 0.00
11	β-Elemeno		27.12	0.86 ± 0.00
12	α-Gurjuneno		28.81	0.81 ± 0.00
13	Pulegona		22.91	0.71 ± 0.00
14	trans -Carveol		22.67	0.66 ± 0.00
15	γ-Cadineno		30.52	0.53 ± 0.00
16	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)		21.76	0.47 ± 0.01
17	cis-p-Menta-2,8-dien-1-ol		19.79	0.44 ± 0.00
18	α-Bisabolol		35.41	0.42 ± 0.01
19	α-Muuroleno		30.05	0.40 ± 0.00
20	δ-Elemeno		25.62	0.38 ± 0.00
21	trans-p-Mentha-2,8-dienol		19.33	0.37 ± 0.00
22	cis -Dihidrocarvona		21.70	0.37 ± 0.00
23	β-Cadineno		30.56	0.30 ± 0.01
24	α-Ylangeno		26.66	0.27 ± 0.00
25	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)		34.45	0.27 ± 0.00
26	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)		29.94	0.26 ± 0.00
27	β-Copaeno		28.33	0.22 ± 0.00
28	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)		35.07	0.22 ± 0.00
29	Eucaliptol		16.57	0.21 ± 0.00
30	p-Cimeneno		18.31	0.21 ± 0.00
31	α-Copaeno		26.83	0.21 ± 0.00
32	α-Amorfenol		29.56	0.21 ± 0.00
33	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)		22.53	0.20 ± 0.01
34	β-Terpineol		20.19	0.18 ± 0.00
35	Calameneno		30.73	0.18 ± 0.00
36	E,E-2,6-Dimetil-1,3,5,7-octatetraeno		15.57	0.15 ± 0.00
37	β-Ylangeno		28.01	0.13 ± 0.00
38	α-Pineno		13.28	0.11 ± 0.00
39	4-Acetil-1-metilciclohexeno		19.60	0.10 ± 0.00

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 11

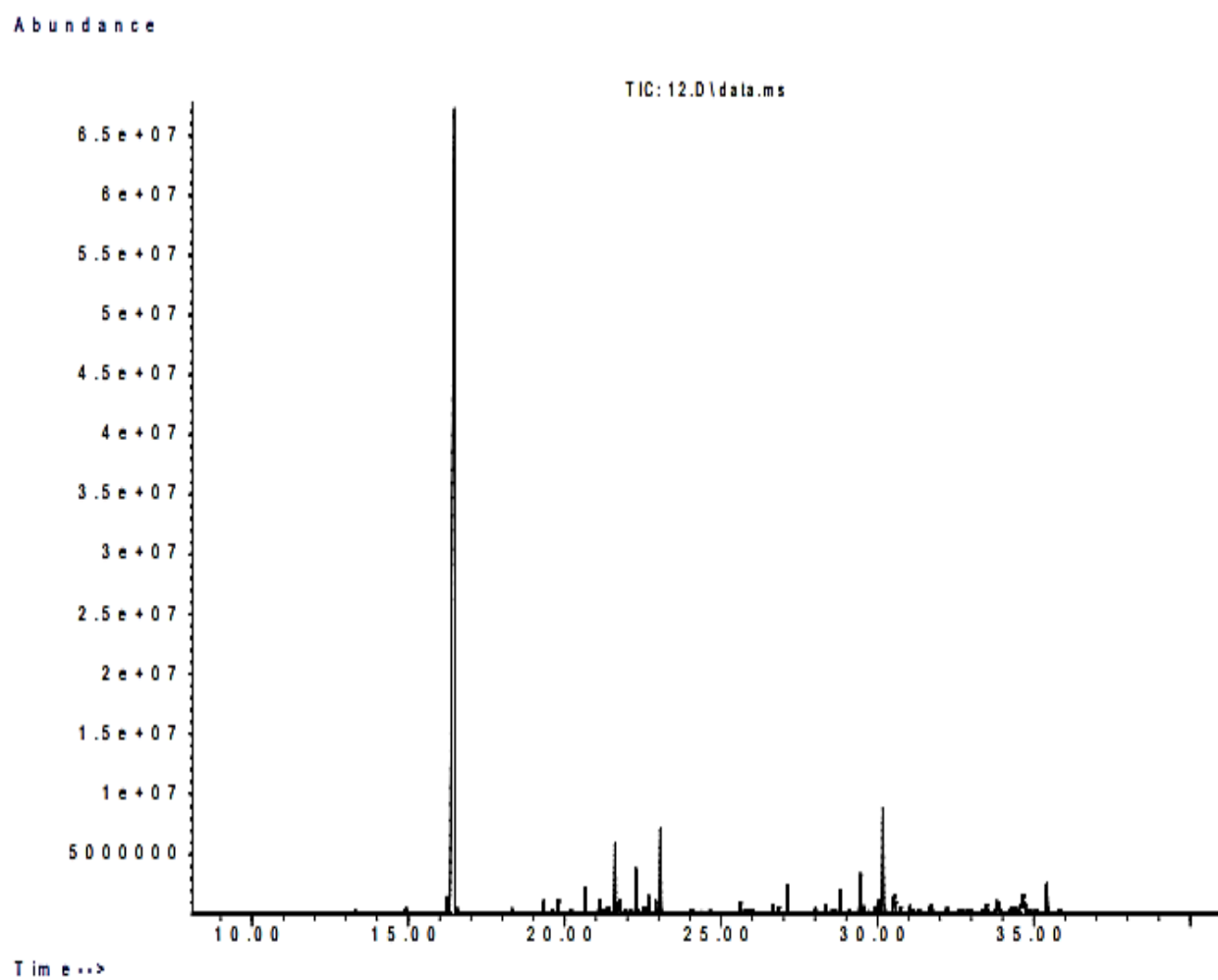


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°12

Muestra N°12 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
ASTILLA	90	90	5	1.32421875
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)		t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	D-Limoneno		16.47	68.33 ± 0.04
2	β-Bisaboleno		30.18	4.67 ± 0.00
3	L-Carvona		23.07	3.55 ± 0.00
4	α-Terpineol		21.61	2.90 ± 0.00
5	cis -Carveol		22.28	2.14 ± 0.01
6	γ-Muuroleno		29.44	1.63 ± 0.00
7	α-Bisabolol		35.41	1.59 ± 0.00
8	β-Elemenol		27.12	1.12 ± 0.00
9	epi-γ-Eudesmol		33.81	1.09 ± 0.00
10	β-Cimeno		16.23	1.01 ± 0.00
11	Mentofurano		20.66	1.01 ± 0.00
12	α-Gurjuneno		28.81	0.93 ± 0.00
13	trans -Carveol		22.67	0.85 ± 0.01
14	γ-Cadineno		30.52	0.82 ± 0.00
15	cis-p -Mentha-2,8-dien-1-ol		19.78	0.57 ± 0.00
16	α-Muuroleno		30.05	0.56 ± 0.00
17	Pulegona		22.91	0.52 ± 0.00
18	trans-p -Menta-2,8-dienol		19.33	0.50 ± 0.00
19	β-Cadineno		30.57	0.48 ± 0.00
20	cis -Dihidrocarvona		21.70	0.43 ± 0.00
21	tau-Muurolol		34.64	0.42 ± 0.02
22	δ-Elemenol		25.62	0.40 ± 0.00
23	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)		29.94	0.36 ± 0.00
24	α-Ylangeno		26.66	0.32 ± 0.00
25	β-Copaeno		28.33	0.30 ± 0.00
26	Calameneno		30.73	0.30 ± 0.00
27	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)		34.34	0.29 ± 0.00
28	α-Amorfenol		29.56	0.28 ± 0.00
29	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)		22.53	0.27 ± 0.00
30	α-Cadinol		34.27	0.27 ± 0.00
31	α-Copaeno		26.83	0.24 ± 0.00
32	Eucaliptol		16.56	0.21 ± 0.01
33	Selinenol		34.45	0.21 ± 0.00
34	p-Cimeneno		18.31	0.19 ± 0.00
35	trans-p-menta-1(7),8-dien-2-ol		21.37	0.18 ± 0.00
36	cis -Thujopseno		28.54	0.18 ± 0.00
37	α-Gurjuneno		28.01	0.17 ± 0.00
38	β-Terpineol		20.19	0.14 ± 0.00
39	α-Amorfenol		25.96	0.14 ± 0.00
40	Piperitenona		25.80	0.13 ± 0.00
41	4-Acetil-1-metilciclohexeno		19.60	0.11 ± 0.02
42	5-Isopropenil-2-metilciclopent-1-enecarboxaldehído		22.07	0.10 ± 0.00
43	4-(1-metilethil)-1-Ciclohexen-1-carboxaldehído		24.03	0.10 ± 0.00

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 12

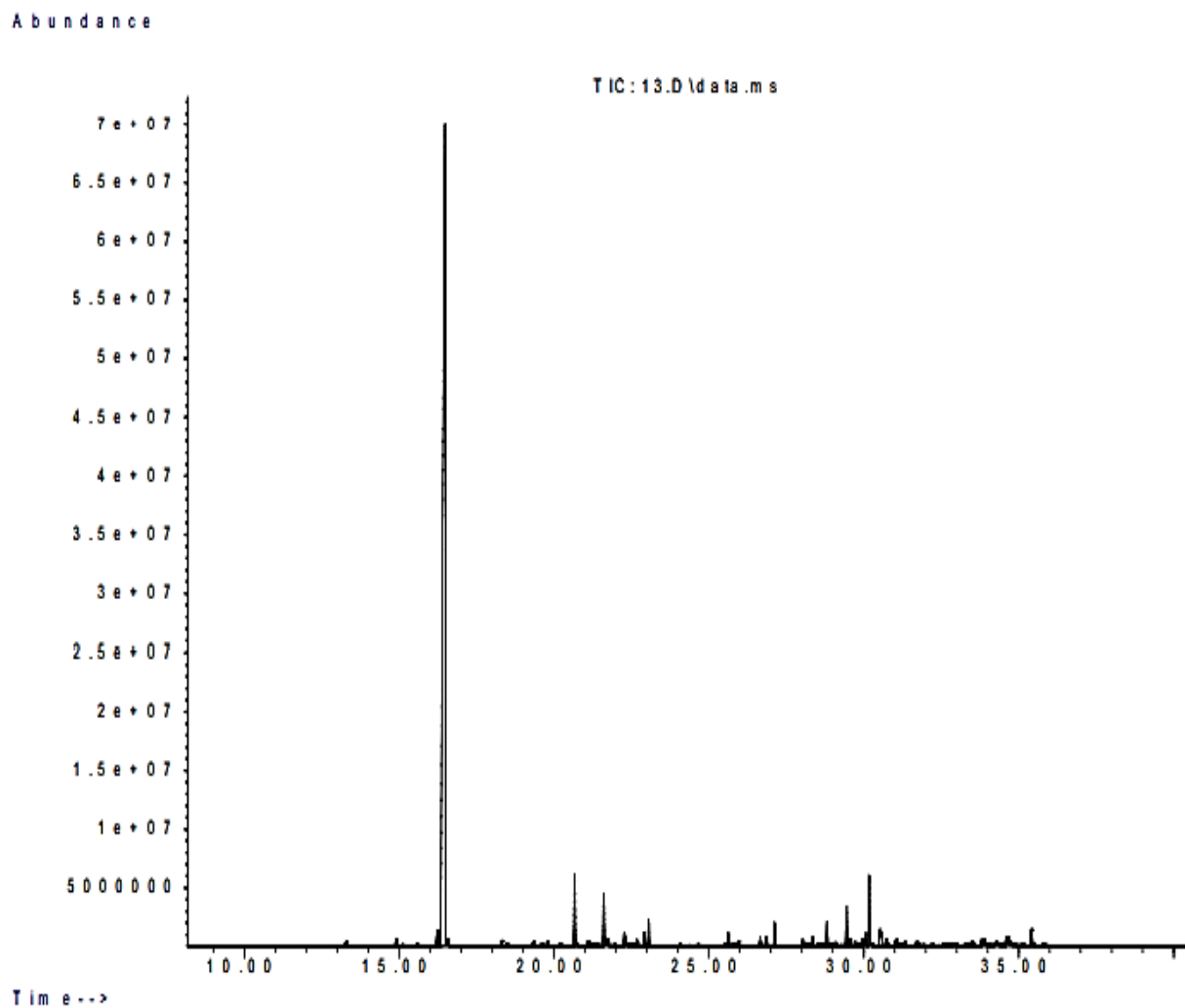


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°13

Muestra N°13 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
VIRUTA	70	120	10	2.6484375
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.48	76.1 ± 0.04	
2	β-Bisaboleno	30.17	3.08 ± 0.00	
3	Mentofurano	20.66	2.93 ± 0.01	
4	α-Terpineol	21.61	2.22 ± 0.00	
5	γ-Muuroleno	29.44	1.70 ± 0.00	
6	L-Carvona	23.05	1.05 ± 0.00	
7	α-Gurjuneno	28.81	0.99 ± 0.01	
8	β-Cimeno	16.23	0.93 ± 0.00	
9	β-Elemeneno	27.12	0.91 ± 0.00	
10	α-Bisabolol	35.41	0.84 ± 0.00	
11	cis-Carveol	22.27	0.77 ± 0.01	
12	γ-Cadineno	30.52	0.73 ± 0.01	
13	β-Cadineno	30.56	0.58 ± 0.01	
14	Pulegona	22.91	0.55 ± 0.00	
15	α-Muuroleno	30.05	0.52 ± 0.00	
16	δ-Elemeneno	25.62	0.47 ± 0.00	
17	Desconocido (C ₁₅ H ₂₆ O)	33.86	0.45 ± 0.01	
18	trans-Carveol	22.67	0.35 ± 0.00	
19	β-Copaeno	28.33	0.35 ± 0.00	
20	Desconocido(C ₁₅ H ₂₄)	29.93	0.35 ± 0.00	
21	α-Ylangeno	26.66	0.33 ± 0.00	
22	α-Copaeno	26.83	0.32 ± 0.00	
23	Calameneno	30.72	0.31 ± 0.00	
24	Eucaliptol	16.57	0.28 ± 0.00	
25	α-Amorfeno	29.56	0.28 ± 0.00	
26	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.75	0.27 ± 0.00	
27	epi-γ-Eudesmol	33.81	0.27 ± 0.02	
28	cis-Dihidrocarvona	21.70	0.26 ± 0.00	
29	p-Cimeneno	18.31	0.22 ± 0.00	
30	cis-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	19.78	0.22 ± 0.00	
31	trans-p-Mentha-2,8-dienol	19.33	0.20 ± 0.00	
32	α-Gurjuneno	28.01	0.20 ± 0.00	
33	α-Amorfeno	25.96	0.16 ± 0.00	
34	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.07	0.16 ± 0.00	
35	cis-Thujopseno	28.55	0.15 ± 0.00	
36	α-Pineno	13.28	0.14 ± 0.00	
37	D-Germacreno	29.71	0.13 ± 0.00	
38	1-Isopropil-4,7-dimetil-1,2-dihidronaftaleno	31.32	0.13 ± 0.00	
39	α-Cadinol	34.26	0.09 ± 0.00	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 13

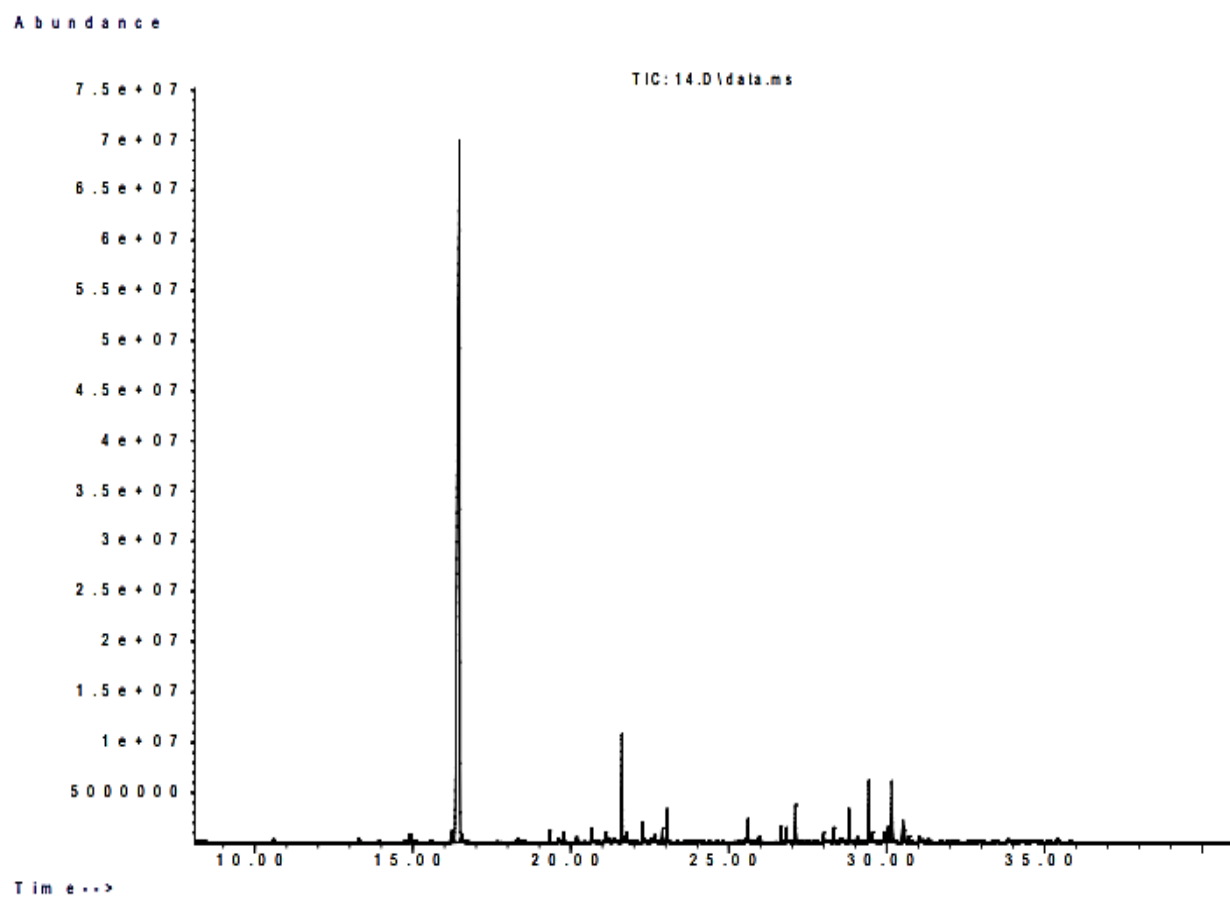


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°14

Muestra N°14 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
VIRUTA	80	90	19	4.600714286
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.48	70.12 ± 0.00	
2	α-Terpineol	21.62	5.43 ± 0.01	
3	γ-Muuroleno	29.44	2.91 ± 0.00	
4	β-Bisaboleno	30.17	2.87 ± 0.00	
5	β-Elemeno	27.12	1.65 ± 0.00	
6	L-Carvona	23.05	1.52 ± 0.00	
7	α-Gurjuneno	28.81	1.51 ± 0.00	
8	cis -Carveol	22.27	1.16 ± 0.00	
9	γ-Cadineno	30.52	1.13 ± 0.01	
10	δ-Elemeno	25.62	0.99 ± 0.00	
11	β-Cimeno	16.23	0.76 ± 0.00	
12	α-Muuroleno	30.05	0.69 ± 0.00	
13	α-Ylangeno	26.66	0.68 ± 0.00	
14	β-Copaeno	28.33	0.65 ± 0.00	
15	Pulegona	22.91	0.64 ± 0.00	
16	α-Copaeno	26.83	0.63 ± 0.00	
17	β-Cadineneo	30.56	0.63 ± 0.01	
18	Mentofurano	20.66	0.59 ± 0.00	
19	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.93	0.55 ± 0.00	
20	trans-p-Menta-2,8-dienol	19.33	0.51 ± 0.00	
21	cis-p-Menta-2,8-dien-1-ol	19.78	0.47 ± 0.00	
22	α-Amorfenol	29.56	0.44 ± 0.00	
23	β-Ylangeno	28.01	0.43 ± 0.00	
24	trans -Carveol	22.67	0.41 ± 0.00	
25	Eucaliptol	16.56	0.33 ± 0.00	
26	Calameneno	30.72	0.32 ± 0.00	
27	cis -Dihidrocarvona	21.70	0.26 ± 0.00	
28	β-Terpineol	20.18	0.24 ± 0.00	
29	α-Amorfenol	25.95	0.24 ± 0.01	
30	cis -Thujopseno	28.55	0.22 ± 0.01	
31	4-Acetil-1-metilciclohexeno	19.60	0.18 ± 0.00	
32	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	25.53	0.17 ± 0.00	
33	p-Cimeneno	18.30	0.16 ± 0.00	
34	Desconocido (C ₁₀ H ₁₄ O)	22.52	0.15 ± 0.00	
35	α-Bisabolol	35.41	0.15 ± 0.00	
36	3-Metilciclopentanona	10.58	0.12 ± 0.00	
37	α-Pineno	13.28	0.11 ± 0.00	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 14

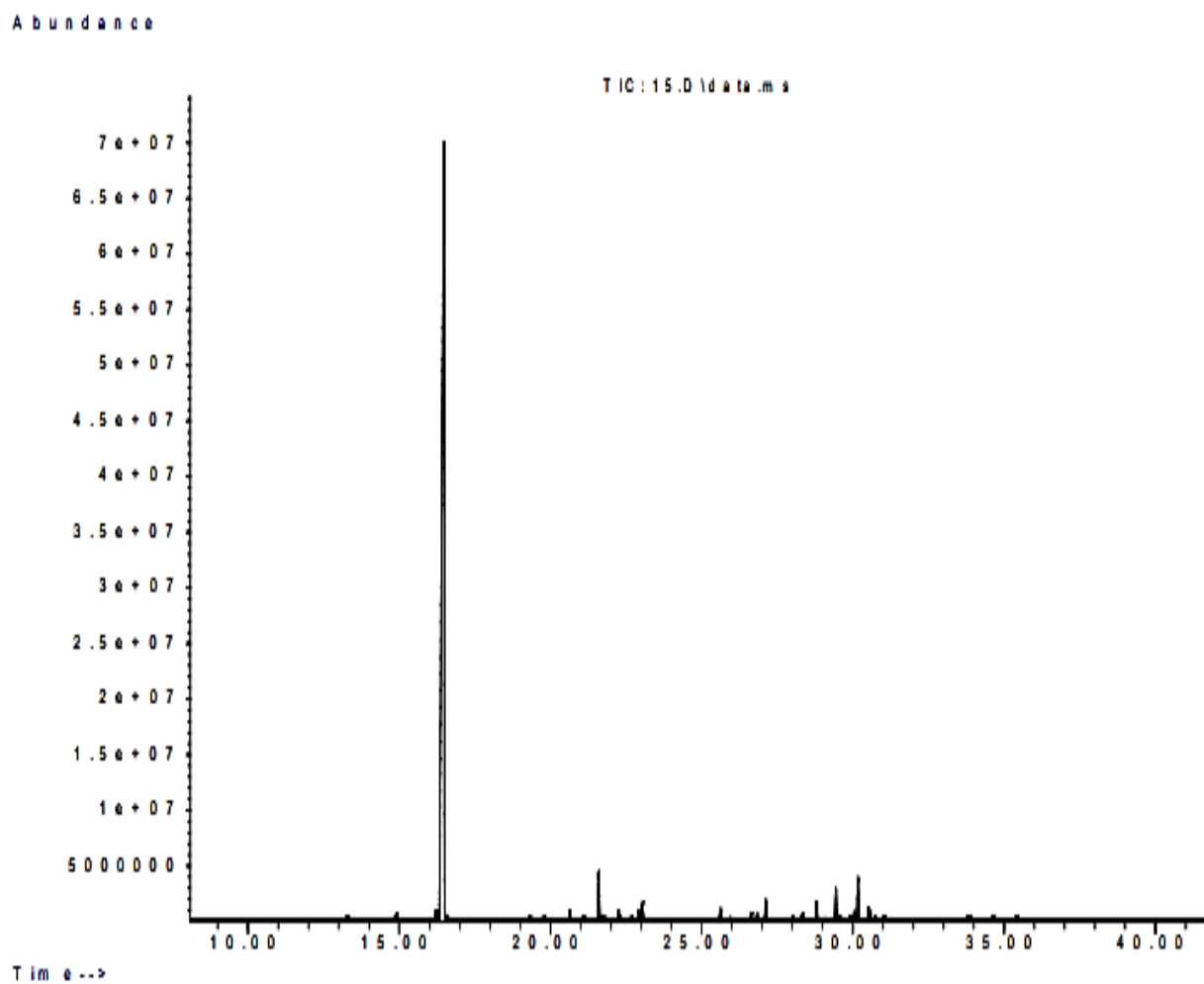


Composición química del aceite esencial de *Bursera graveolens* por cromatografía de gases –

Muestra N°15

Muestra N°15 Aceite esencial de Palo Santo				
Densidad De Lecho	Potencia	Tiempo De Extracción (min)	Volumen (ml)	Rendimiento (%)
VIRUTA	80	90	20	4.842857143
Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)	
1	D-Limoneno	16.48	82.16 ± 0.05	
2	α-Terpineol	21.60	2.35 ± 0.09	
3	β-Bisaboleno	30.16	2.13 ± 0.00	
4	γ-Muuroleno	29.44	1.57 ± 0.00	
5	α-Gurjuneno	28.81	0.94 ± 0.00	
6	β-Elemeno	27.12	0.92 ± 0.00	
7	L-Carvona	23.05	0.88 ± 0.00	
8	β-Cimeno	16.23	0.78 ± 0.00	
9	γ-Cadineno	30.51	0.66 ± 0.00	
10	cis -Carveol	22.27	0.65 ± 0.00	
11	δ-Elemeno	25.61	0.52 ± 0.00	
12	Mentofurano	20.66	0.49 ± 0.00	
13	tau-Muurolol	34.63	0.48 ± 0.00	
14	Pulegona	22.91	0.47 ± 0.00	
15	β-Cadineneo	30.56	0.44 ± 0.00	
16	α-Muuroleno	30.05	0.42 ± 0.00	
17	α-Ylangeno	26.65	0.35 ± 0.00	
18	β-Copaeno	28.32	0.32 ± 0.00	
19	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	29.93	0.32 ± 0.00	
20	α-Copaeno	26.83	0.30 ± 0.00	
21	Eucaliptol	16.56	0.28 ± 0.00	
22	α-Amorfeno	29.56	0.26 ± 0.00	
23	α-Bisabolol	35.41	0.26 ± 0.00	
24	trans -Carveol	22.66	0.24 ± 0.00	
25	trans-p -Menta-2,8-dienol	19.32	0.21 ± 0.00	
26	cis-p -Menta-2,8-dien-1-ol	19.78	0.21 ± 0.00	
27	Calameneno	30.72	0.21 ± 0.00	
28	Desconocido (C ₁₅ H ₂₄)	31.03	0.21 ± 0.00	
29	α-Pineno	13.28	0.20 ± 0.00	
30	β-Ylangeno	28.01	0.19 ± 0.00	
31	Desconocido (C ₁₀ H ₁₆ O)	21.09	0.17 ± 0.00	
32	epi-γ-Eudesmol	33.80	0.15 ± 0.03	
33	α-Amorfeno	25.95	0.14 ± 0.00	
34	p-Cimeneno	18.31	0.12 ± 0.00	

Cromatograma GC-MS del aceite esencial de Palo santo Muestra No. 15



Panel Fotográfico

Equipos utilizados para el desarrollo de la investigación.

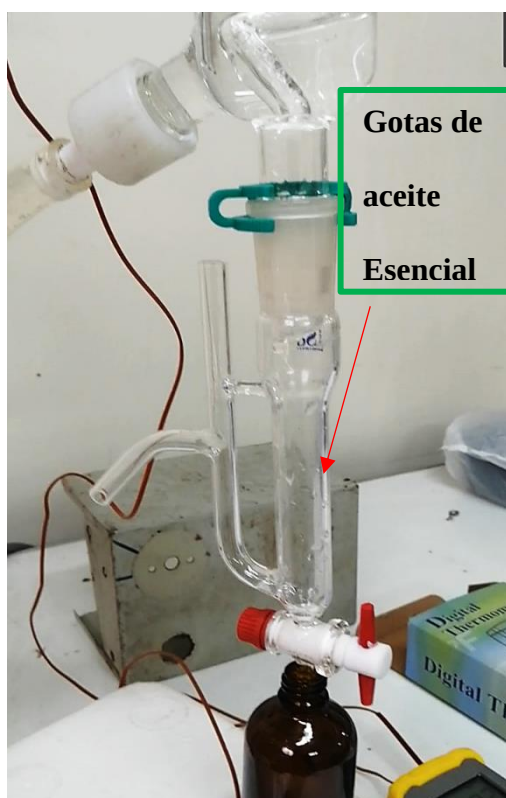
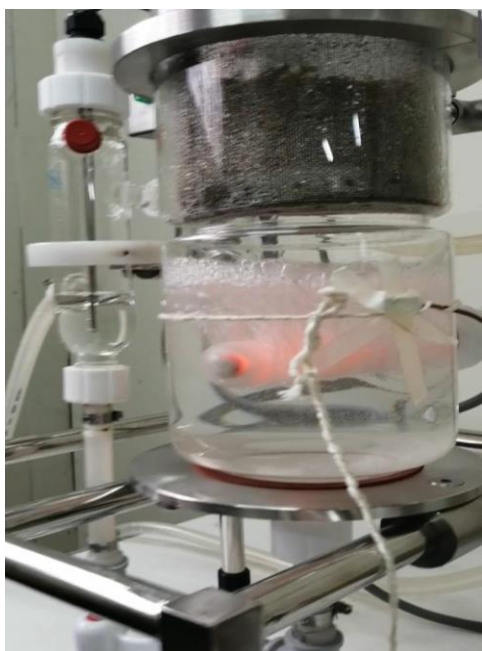
a) Equipo de extracción de aceite esencial mediante destilación por arrastre de vapor.



b) Equipos industriales utilizados para la reducción de tamaño del palo santo



c) Proceso de extracción del aceite esencial de palo santo



d) Envasado del A.E de palo santo en pequeños vidrios ámbar, para ser derivados al laboratorio de la UPCH, para analizar sus componentes por HPLC.

