

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

“Efecto del método de secado en las Características Físicoquímicas, rendimiento y composición volátil del aceite esencial de hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*)”

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autores:

**Bach. Aguilar Tello, Juan David
Bach. Torres Pérez, Luis Gerardo**

Asesora:

**Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta
DNI. N°. 19096335
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874**

**Nuevo Chimbote - Perú
2023**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

Yo, **Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis: **“EFECTO DEL MÉTODO DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN VOLÁTIL DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBALUISA (Cymbopogon citratus)”**, elaborado por los **Bachilleres Aguilar Tello, Juan David y Torres Pérez, Luis Gerardo**, para obtener el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial** en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa.

.....
Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta

Asesor

DNI N°: 19096335

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

“EFECTO DEL MÉTODO DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN VOLÁTIL DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBALUISA (*Cymbopogon citratus*)”

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

M.Sc. Eusebio Lara, Saúl Marco
Presidente
ORCID: 0000-0001-6875-240X
DNI N°: 32854604

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta
Integrante
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874
DNI N°: 19096335

Ms. Córdova Chang, Any Berenice
Secretario
Código ORCID: 0000-0002-2179-0641
DNI N°: 43775869

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 horas del día quince de agosto del dos mil veintitres, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 259-2023-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara** (Presidente)
- **Ms. Any Berenice Córdova Chang** (Secretario)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Integrante)
- **Ing. Máximo Carranza Varas** (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis:

“EFECTO DEL MÉTODO DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN VOLÁTIL DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBALUISA (*Cymbopogon citratus*)” elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **AGUILAR TELLO JUAN DAVID**
- **TORRES PÉREZ LUIS GERARDO**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**


Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

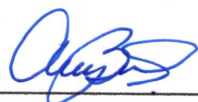
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
AGUILAR TELLO JUAN DAVID	19	EXCELENTE

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 15 de agosto del 2023.


M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara
Presidente


Ms. Any Berenice Córdova Chang
Secretario


Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 horas del día quince de agosto del dos mil veintitres, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 259-2023-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara** (Presidente)
- **Ms. Any Berenice Córdova Chang** (Secretario)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Integrante)
- **Ing. Máximo Carranza Varas** (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis:

“EFECTO DEL MÉTODO DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN VOLÁTIL DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBALUISA (*Cymbopogon citratus*)” elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **AGUILAR TELLO JUAN DAVID**
- **TORRES PÉREZ LUIS GERARDO**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
TORRES PÉREZ LUIS GERARDO	19	EXCELENTE

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 15 de agosto del 2023.


M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara
Presidente


Ms. Any Berenice Córdova Chang
Secretario


Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante

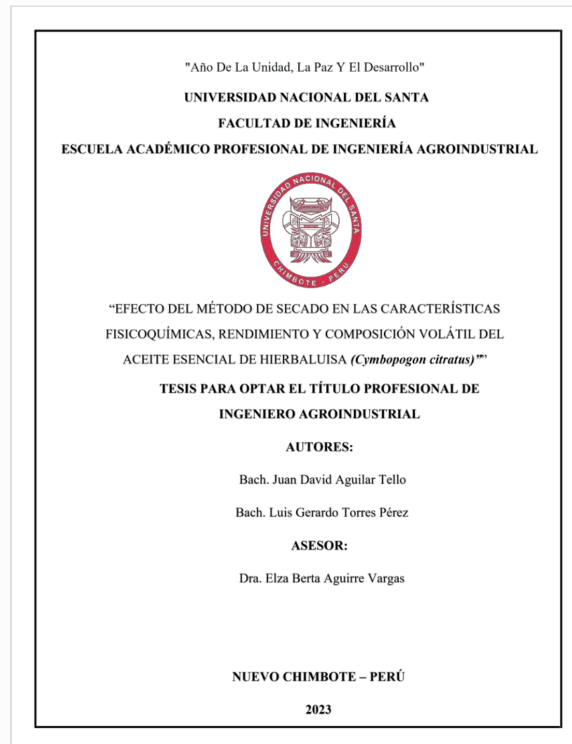


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Torres Pérez Luis Gerardo Y Aguilar Tello Juan David
Título del ejercicio: INFORME FINAL DE TESIS
Título de la entrega: Efecto del método de secado en las características fisicoquí...
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS_TORRES_AGUILAR.pdf
Tamaño del archivo: 2.06M
Total páginas: 122
Total de palabras: 13,633
Total de caracteres: 82,205
Fecha de entrega: 19-ago.-2023 12:24p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2148000878



Efecto del método de secado en las características fisicoquímicas, rendimiento y composición volátil del aceite esencial de hierbaluisa (*Cymbopon citratus*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Maria Auxiliadora SAC Trabajo del estudiante	1%
8	dokumen.pub Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

A DIOS, por darme fortaleza, salud y su bendición, que me ayudan día a día a seguir adelante.

A MIS PADRES, Juan Carlos y Karina, quienes son mi motor y mi mayor inspiración, a través de su incondicional amor, paciencia y buenos valores.

A MIS HERMANOS, por ser mi soporte emocional.

A MI ABUELA, Mami Keka, siempre estarás en mi corazón, sé lo mucho que anhelabas verme alcanzar este objetivo y desde el cielo lo recibirás con una gran sonrisa. ESTE LOGRO ES PARA TI.

Juan David Aguilar Tello

DEDICATORIA

A DIOS, que es mi fuerza y paz espiritual, sin él nada de esto puede ser posible.

A MIS PADRES Martha y Jorge, por sus sacrificios, su amor, su comprensión, por su cariño y sus consejos siempre. Ellos son el pilar y la fuerza para hacer real mis metas.

A MI HERMANA, Giovanna por su paciencia y su amor que hicieron que realice mis metas y ser ejemplo para ella.

A MIS ABUELOS, Emma y Severino mi más grande y preciado tesoro. A mi abuela por su ternura y su infinito amor, es lo mejor que puedo tener. A mi abuelo que desde donde esté sé que está feliz y orgulloso de lo que estoy consiguiendo, el más grande amor que he tenido, tengo y siempre tendré.

A MI COMPAÑERA Lucía, por su amor, comprensión y paciencia, ella es parte de este camino desde el comienzo. Por tu apoyo y por hacerme mejor cada día.

Luis Gerardo Torres Pérez

AGRADECIMIENTO

A mis profesores por sus diferentes formas de enseñar, a quiénes desde el primer momento me incentivaron a seguir adelante, sin su apoyo esto no sería posible.

A mi familia por su comprensión y apoyo a lo largo de toda mi carrera, por sus consejos que hicieron de mí mejor persona y profesional.

Agradezco también a mi universidad que me acogió y por todas las oportunidades que me ha brindado a lo largo de todos estos años, por todas las enseñanzas y aprendizajes, muchas gracias.

Y a todas esas personas que siempre estuvieron a mi lado apoyándome en las buenas y en las malas.

Finalmente, a mi amigo y hermano Jhean Vásquez Cunya, “mi Maíz” por siempre estar para nosotros, cada día de todos estos años sigo aprendiendo de ti, gracias por acompañarme en este largo y hermoso proceso, mi logro también es tuyo.

Juan David Aguilar Tello

AGRADECIMIENTO

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, que gracias a su apoyo y a su capacidad de enseñar podemos ser los profesionales que este país necesita.

A mis compañeros, por todos estos años de aprendizaje y amistad pura, sin ellos la vida universitaria no hubiera sido tan fácil. Gracias por cada experiencia y momento vivido.

Agradezco también a mi asesora de Tesis la Dra. Elza Aguirre Vargas por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico en esta investigación, por su paciencia y las ganas de seguir contribuyendo con la ciencia.

Por último y no menos importante, a mi amigo y hermano Jhean Vásquez Cunya, por todos estos años de amistad sincera y por haber estado en este proceso de titulación junto con nosotros, este paso también es tuyo.

Luis Gerardo Torres Pérez

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE ASESOR.....	ii
CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II.MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. La hierbaluisa	4
2.1.1. Aspectos generales.....	4
2.1.2. Taxonomía.	5
2.1.3. Análisis proximal.....	6
2.1.4. Uso y aplicación.....	8
2.2. Aceite esencial.....	10
2.2.1. Aspectos generales.....	10
2.2.2. Áreas de aplicación.....	12
2.2.3. Estructura.	13
2.3. Aceite esencial de hierbaluisa	16
2.3.1. Usos y aplicaciones.....	18
2.4. Extracción de aceite esencial por arrastre de vapor	18
2.4.1. Aspectos Generales.....	18
2.4.2. Obtención por arrastre con vapor.....	19
2.5. Método de secado por deshidratador solar.....	20

2.6.	Método de secado a la sombra	21
2.7.	Método de secado por refrigeración.....	22
2.8.	Compuestos volátiles.....	23
2.8.1.	Aspectos generales.....	23
2.8.2.	Compuestos volátiles en la hierbaluisa	24
2.9.	Cromatografía de gases	29
2.9.1.	Descripción de la metodología.....	30
III.MATERIALES Y MÉTODOS		33
3.1.	Lugar de ejecución	33
3.2.	Materiales	33
3.2.1.	Materia prima.....	33
3.2.2.	Reactivos.....	33
3.2.3.	Materiales de vidrio	34
3.2.4.	Equipos	34
3.3.	Métodos.....	35
3.3.1.	Primera Etapa.....	35
3.3.2.	Segunda Etapa.....	36
3.4.	Diseño y Características de la Muestra	37
3.4.1.	Extracción de aceite esencial de hierba luisa por arrastre de vapor.....	37
3.5.	Metodología	38
3.5.1.	Técnicas de Laboratorio.....	38
3.5.2.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	40
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		43
4.1.	Rendimiento	43
4.2.	pH.....	45

4.3. Densidad Relativa	48
4.4. Índice de Refracción.....	50
4.5. Índice de Acidez.....	52
4.6. Índice de Saponificación	54
4.7. Índice de Éster.....	56
4.8. α -Citral (Geranial).....	58
4.9. β -Citral (Neral).....	60
4.10. β - Mirceno	62
V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
VI.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	69
VII.ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Taxonomía de la hierba luisa</i>	6
Tabla 2.	<i>Análisis proximal (%materia seca) de Cymbopogon citratus</i>	7
Tabla 3.	<i>Composición mineral (ppm) de Cymbopogon citratus</i>	8
Tabla 4.	<i>Localización de aceite esencial en plantas</i>	11
Tabla 5.	<i>Terpenos según su grupo funcional</i>	14
Tabla 6.	<i>Composición química del aceite esencial de hierba luisa</i>	17
Tabla 7.	<i>Codificación de Diseño Experimental Completamente Aleatorizado</i>	41
Tabla 8.	<i>Valores del Diseño Experimental Completamente Aleatorizado</i>	41
Tabla 9.	<i>Valores de rendimiento (%)</i>	43
Tabla 10.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: Rendimiento</i>	44
Tabla 11.	<i>ANOVA en Variable: Rendimiento</i>	44
Tabla 12.	<i>Valores de pH</i>	45
Tabla 13.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: pH</i>	46
Tabla 14.	<i>ANOVA en Variable: pH</i>	47
Tabla 15.	<i>Valores de Densidad Relativa</i>	48
Tabla 16.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: Densidad Relativa</i>	49
Tabla 17.	<i>ANOVA en Variable: Densidad Relativa</i>	49
Tabla 18.	<i>Valores de Índice de Refracción</i>	50
Tabla 19.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: Índice de Refracción</i>	51
Tabla 20.	<i>ANOVA en Variable</i>	52
Tabla 21.	<i>Valores de Índice de Acidez (mgKOH/g)</i>	52
Tabla 22.	<i>Análisis Descriptivos en Variables: Índice de Acidez</i>	53
Tabla 23.	<i>ANOVA en Variable: Índice de Acidez</i>	53
Tabla 24.	<i>Valores de Índice de Saponificación (mgKOH/g)</i>	54

Tabla 25.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: Índice de Saponificación</i>	55
Tabla 26.	<i>ANOVA en Variable: Índice de Saponificación</i>	55
Tabla 27.	<i>Valores de Índice de Ester (mgKOH/g)</i>	56
Tabla 28.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: Índice de Ester</i>	57
Tabla 29.	<i>ANOVA en Variable: Índice de Ester</i>	57
Tabla 30.	<i>Valores de Índice de α-Citral (Geranial) (%)</i>	58
Tabla 31.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: α-Citral (Geranial)</i>	59
Tabla 32.	<i>ANOVA en Variable: α-Citral (Geranial) (%)</i>	59
Tabla 33.	<i>Valores de β-Citral (Neral) (%)</i>	60
Tabla 34.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: β-Citral (Neral)</i>	61
Tabla 35.	<i>ANOVA en Variable: β-Citral (Neral)</i>	61
Tabla 36.	<i>Valores de β- Mirceno (%)</i>	62
Tabla 37.	<i>Análisis Descriptivos en Variable: β- Mirceno</i>	63
Tabla 38.	<i>ANOVA en Variable: β- Mirceno</i>	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Hierba luisa</i>	5
Figura 2.	<i>Ejemplos de monoterpenos</i>	15
Figura 3.	<i>Ejemplos de sesquiterpenos</i>	15
Figura 4.	<i>Deshidratador tipo “Colector y cámara de secado”</i>	21
Figura 5.	<i>Estructura del isopropeno</i>	24
Figura 6.	<i>Estructura del Aldehído</i>	27
Figura 7.	<i>Estructura de Cetonas</i>	28

ÍNDICE DE ANEXOS – TABLAS

Tabla 1.	<i>Rendimiento en T1</i>	73
Tabla 2.	<i>Características Fisicoquímicas en T1</i>	74
Tabla 3.	<i>Compuestos volátiles en T1</i>	74
Tabla 4.	<i>Rendimiento en T2</i>	75
Tabla 5.	<i>Características Fisicoquímicas en T2</i>	76
Tabla 6.	<i>Compuestos volátiles en T2</i>	76
Tabla 7.	<i>Rendimiento en T3</i>	77
Tabla 8.	<i>Características Fisicoquímicas en T3</i>	78
Tabla 9.	<i>Compuestos volátiles en T3</i>	78
Tabla 10.	<i>Prueba de Tukey en Rendimiento</i>	79
Tabla 11.	<i>Prueba de Tukey en pH</i>	80
Tabla 12.	<i>Prueba de Tukey en Densidad Relativa</i>	81
Tabla 13.	<i>Prueba de Tukey en Índice de Refracción</i>	82
Tabla 14.	<i>Prueba de Tukey en Índice de Acidez</i>	83
Tabla 15.	<i>Prueba de Tukey en Índice de Saponificación</i>	84
Tabla 16.	<i>Prueba de Tukey en Índice de Ester</i>	85
Tabla 17.	<i>Prueba de Tukey en α-Citral</i>	86
Tabla 18.	<i>Prueba de Tukey en β-Citral</i>	87
Tabla 19.	<i>Prueba de Tukey en β-Mirceno</i>	88

ÍNDICE DE ANEXOS - FIGURAS

Figura 1.	<i>Curva de destilación de A11</i>	89
Figura 2.	<i>Curva de destilación de A12</i>	89
Figura 3.	<i>Curva de destilación de A13</i>	90
Figura 4.	<i>Curva de destilación de A21</i>	90
Figura 5.	<i>Curva de destilación de A22</i>	91
Figura 6.	<i>Curva de destilación de A23</i>	91
Figura 7.	<i>Curva de destilación de A32</i>	92
Figura 8.	<i>Media de Rendimientos</i>	92
Figura 9.	<i>Media de pH</i>	93
Figura 10.	<i>Media de Densidad Relativa</i>	93
Figura 11.	<i>Media de Densidad Relativa</i>	94
Figura 12.	<i>Media de Índice de Refracción</i>	94
Figura 13.	<i>-Media de Índice de Acidez</i>	95
Figura 14.	<i>Media de Índice de Saponificación</i>	95
Figura 15.	<i>Media de Índice de Éster</i>	96
Figura 16.	<i>Media de Índice de α-Citral</i>	96
Figura 17.	<i>Media de Índice de β-Citral</i>	97
Figura 18.	<i>Media de Índice de β-Mirceno</i>	97
Figura 19.	<i>Resultados de compuestos volátiles</i>	98
Figura 20.	<i>Pesado de materia prima</i>	99
Figura 21.	<i>Secado solar</i>	100
Figura 22.	<i>Secado en sombra</i>	100
Figura 23.	<i>Refrigeración</i>	101
Figura 24.	<i>Equipo destilador de arrastre con vapor de agua</i>	101

Figura 25. <i>Corte de hierbaluisa</i>	102
Figura 26. <i>Evaporador con materia prima</i>	102
Figura 27. <i>Salida de condensador</i>	103
Figura 28. <i>Pera de decantación con aceite esencial</i>	103
Figura 29. <i>Decantación de aceite y agua</i>	104
Figura 30. <i>Pesado de Muestras</i>	105

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo utilizando un diseño experimental completamente aleatorizado, con el objetivo de evaluar tres tratamientos diferentes para el secado del aceite esencial de hierba luisa: secado solar, secado en sombra y refrigeración. Cada uno de estos tratamientos se repitió por triplicado para obtener resultados confiables y representativos. Se determinaron diversas características fisicoquímicas, rendimiento y composición volátil del aceite esencial, y posteriormente se analizó estadísticamente la varianza de los parámetros estudiados.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica del aceite esencial obtenido revelaron valores de pH en el rango de 5 a 6, densidad relativa de 0.882 a 0.889, índice de refracción de 1.481 a 1.488, índice de acidez de 2.198 mg KOH/g a 2.246 mg KOH/g, índice de saponificación de 6.739 mg KOH/g a 6.760 mg KOH/g e índice de éster de 4.493 mg KOH/g a 4.550 mg KOH/g. Además, se encontró un rendimiento entre 0.15% y 0.25% y un contenido de compuesto volátil citral que osciló entre el 70% y el 80% del aceite.

En conclusión, esta investigación proporciona información valiosa sobre el efecto del método de secado en las propiedades fisicoquímicas, rendimiento y composición volátil del aceite esencial de hierba luisa. Al analizar estadísticamente los resultados obtenidos, se ofrece una base sólida para tomar decisiones en la producción y procesamiento del aceite esencial, fomentando su comercialización y contribuyendo al desarrollo de la industria agrícola.

Palabras clave: características fisicoquímicas, rendimiento, composición volátil, aceite esencial.

ABSTRACT

The research was carried out using a completely randomized experimental design, with the aim of evaluating three different treatments for the drying of lemongrass essential oil: solar drying, shade drying, and refrigeration. Each of these treatments was replicated three times to obtain reliable and representative results. Various physicochemical characteristics, yield, and volatile composition of the essential oil were determined, and subsequently, the variance of the studied parameters was statistically analyzed.

The results of the physicochemical characterization of the obtained essential oil revealed pH values in the range of 5 to 6, relative density from 0.882 to 0.889, refractive index from 1.481 to 1.488, acidity index from 2.198 mg KOH/g to 2.246 mg KOH/g, saponification index from 6.739 mg KOH/g to 6.760 mg KOH/g, and ester index from 4.493 mg KOH/g to 4.550 mg KOH/g. Additionally, a yield between 0.15% and 0.25% and a volatile compound content of citral ranging from 70% to 80% of the oil were found.

In conclusion, this research provides valuable information about the effect of the drying method on the physicochemical properties, yield, and volatile composition of lemongrass essential oil. By statistically analyzing the obtained results, a solid foundation is provided for making decisions in production and processing of the essential oil, promoting its commercialization, and contributing to the development of the agricultural industry.

Key words: physicochemical properties, yield, volatile composition, essential oil.

I. INTRODUCCIÓN

A través de los años el ser humano se ha percatado de que no basta con darle un uso a la materia prima o transformarla a beneficio propio y de los consumidores, sino que es indispensable el estudio del proceso, el cual nos permite controlar variables múltiples como la calidad del producto, los recursos utilizados, la mano de obra necesaria, el impacto ambiental generado, etc., es por ello que se aplican procesos de Ingeniería.

El Aceite Esencial de Hierba Luisa (*Cymbopogon citratus*) ha demostrado ser altamente valioso por sus múltiples aplicaciones tanto a nivel nacional como internacional. Sin embargo, muchos productores aún no aprovechan todo su potencial debido a la falta de conocimiento sobre la importancia de los aceites esenciales en la industria. A pesar de que la hierba luisa es abundante en todo el territorio nacional, la mayoría de los agricultores solo la cosechan para uso personal y no para la producción y exportación de aceite esencial.

Ante esta situación, el presente estudio se enfoca en evaluar y optimizar el método de secado más eficiente para la extracción del Aceite Esencial de Hierba Luisa mediante el proceso de arrastre de vapor. El objetivo general de esta investigación es evaluar el efecto de distintos métodos de secado en la caracterización fisicoquímica, el rendimiento y la composición volátil del Aceite Esencial de

Hierba Luisa. Para alcanzar este propósito, se analizarán variables clave, como el rendimiento en gramos obtenidos por método de secado, las características fisicoquímicas (pH, densidad relativa, índice de refracción, índice de acidez, índice de saponificación e índice de éster) y la composición volátil en porcentaje de sus componentes. En búsqueda de respuestas a la problemática planteada, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es el método de secado que optimiza las características fisicoquímicas, el rendimiento y el contenido de compuestos volátiles en el proceso de extracción de aceite esencial de hierba luisa?

La importancia de este estudio radica en su potencial para promover la producción y exportación de aceite esencial de hierba luisa, beneficiando tanto a los agricultores como a los agentes de la cadena de procesamiento. Al optimizar el proceso de extracción, se incrementará el rendimiento del aceite esencial y se logrará una concentración más adecuada de sus componentes, aumentando así su atractivo para los consumidores tanto a nivel nacional como en países extranjeros como EE.UU. y Canadá.

A través de este informe, se espera contribuir al conocimiento científico sobre el Aceite Esencial de Hierba Luisa, proporcionando evidencia fundamentada para mejorar los procesos de extracción y secado y, en última instancia, optimizar su aplicación en diversas industrias y beneficiar a la comunidad

agrícola y a los consumidores de productos naturales con el propósito de fomentar su producción y exportación, generando mayores ganancias y beneficios para los actores involucrados en esta cadena productiva.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. La hierbaluisa

2.1.1. Aspectos generales.

La hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) es una especie de planta herbácea de la familia Gramineae que alcanza hasta los 2 metros de altura; que cuenta con una gran variedad de nombres al encontrarse presente en muchos países latinoamericanos, conocida también como limoncillo, zacate, hierba limón, paja cedrón o simplemente yerba luisa. La cual crece en macollos formados por múltiples tallos cortos provenientes de rizomas pequeños, cuyas hojas crecen de 30 cm a 1 m de largo y de 1 a 1.5 cm de ancho, que al verse expuestas a la luz solar constante presentan pigmentaciones violetas, lo que denota la presencia de antocianinos; hojas las cuales tienen los bordes duros y filosos porque a lo largo de los nervios hay unas cerdas que le comunican cierta aspereza. (Rodas C., 2012)

Es originaria del sureste de India, aunque también se le encuentra con facilidad en climas cálidos, semi cálidos y templados desarrollándose bien en zonas con temperaturas entre 22 y 28°C y de alta humedad, cultivada como planta medicinal y para controlar la erosión del suelo. (Jiménez y Fonnegra, 2007)

Aunque puede arraigar en regiones cálidas, apenas crece de forma silvestre, excepto en América del Sur. En Perú es algo

infravalorada y en muchas zonas a lo largo del territorio se cultiva para consumo propio, dándole prioridad a otro tipo de cultivo por lo que no es muy comercial; sin embargo, en Brasil, Madagascar, China, Cuba, Argentina, entre otros, al día de hoy sí se cultiva con fines comerciales. (Arapa y Aquino, 2016)

Figura 1.

Hierba luisa



Nota. Adaptado de *Inkaplus* por Rodas C., 2012.

2.1.2. Taxonomía.

Se analizaron y categorizaron muestras de plantas suministradas por el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, siguiendo las posiciones taxonómicas que establece el sistema de clasificación de Cronquist:

Tabla 1.

Taxonomía de la hierba luisa

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Andropogoneae
Género	<i>Cymbopogon</i>
Especie	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf

2.1.3. Análisis proximal.

Según los estudios, el análisis proximal revela que el contenido de humedad es 5.76%, proteína 4.56%, cenizas 20.30%, lípidos 5.10%, carbohidratos 55.00% y fibra 9,28. La energía alimenticia es de 360.55 cal/100 g. (Asaolu M., Oyeyemi O. & Olanlokun J., 2009).

Tabla 2.*Análisis proximal (%materia seca) de Cymbopogon citratus*

Contenido	Porcentaje de materia seca (%)
Contenido de humedad	5.76
Proteína bruta	4.56
Cenizas totales	20.30
Fibra bruta	9.28
Lípidos	5.10
Carbohidratos	55.00
Valor energético	360.55 cal/100 g

Tabla 3.

Composición mineral (ppm) de Cymbopogon citratus

Minerales	(ppm)
Na	323
K	298
Ca	242
Fe	43
Zn	16
Mg	226
Mn	25
P	1245
Se	2

Cymbopogon citratus posee un contenido de aceite esencial que oscila entre el 0.20% y el 0.25%. Los componentes dominantes son limoneno, citral, geraniol, aproximadamente un 40% al 45% de sesquiterpenos, verbonona, aldehídos y cetonas. (Muñoz).

2.1.4. Uso y aplicación

Alimenticio. Las hojas de *Cymbopogon citratus* son usadas para preparar refrescos, dulces y aguas aromáticas. (De la Torre et al, 2008)

Suplemento para alimentos. Las hojas se emplean como condimento en la preparación de la chicha de maíz y la colada morada (De la Torre et al, 2008)

Recursos. En diversas comunidades de las zonas costeras, internadinas y tropicales, las hojas son aplicadas como dentífrico al frotarlas sobre los dientes, contribuyendo a mantener su color blanco.

También se usa para fabricar jabón al extraer el aceite de esta planta, hacer perfumes, aromatizar piensos y como fuente de citral que es útil para la síntesis de vitamina A. (Rodas C., 2012)

Social. La infusión de las hojas tiene como finalidad complacer o disipar miedos y antojos, estimula el sistema nervioso y es un baño de energía.

Medicinal. La infusión de esta hierba con limón se usa como tratamiento para el escalofrío, ayuda a mantener una buena digestión y se usa para combatir malestares de cabeza, estómago, pecho, diarreas, gastritis, presión baja, úlceras, afecciones nerviosas, corazón, cáncer, reumatismo, es diurética y regula el ciclo menstrual. (De la Torre et al, 2008)

Muchos efectos farmacológicos se han probado como analgésicos, sedante/hipnótico y anticonvulsionante (Viena et al.; Blanco et al., 2009).

2.2. Aceite esencial

2.2.1. Aspectos generales.

Los aceites esenciales son compuestos naturales que se presentan en estado líquido a temperatura ambiente y se pueden obtener a través de destilación debido a su propiedad volátil al evaporarse. Estos se originan a partir de materia prima vegetal y se generan y almacenan en conductos secretorios que, debido a su volatilidad, pueden ser extraídos mediante la destilación, ya que se evaporan fácilmente. Estos componentes provienen de materiales vegetales, se producen y almacenan en conductos secretorios, cavidades e incluso en pelos glandulares. Son los responsables de los aromas presentes en las plantas, y contribuyen a las características olfativas de flores, frutos, semillas, corteza, entre otros. La gama comprende más de 3000 variedades, cada una con su aroma distintivo y propiedades curativas únicas, como se observa en ejemplos como el perejil y las delicadas flores del jazmín (Mayanquer & Salazar, 2009)

Tabla 4.

Localización de aceite esencial en plantas

Parte de la planta	Ejemplos
Flores	Manzanilla, rosas, jazmín
Frutos	Naranja, toronja, fresa
Hojas	Eucalipto, hierba luisa, lúpulo, orégano
Raíces	Jengibre, espárrago de Argelia
Semillas	Comino, hinojo, anís
Tallo	Canela

Los aceites esenciales presentan una estructura química compleja, que generalmente consiste en una combinación variada de sustancias orgánicas como hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, entre otros. Estos componentes tienen un peso molecular inferior a 400 Da y una presión de vapor lo suficientemente alta como para evaporarse a temperatura ambiente. (Vargas & Bottia, 2008)

Los elementos que componen los aceites esenciales forman parte del metabolismo secundario de las plantas, desempeñando roles que incluyen autodefensa, atracción de polinizadores y regulación de procesos de evaporación de agua. (Rosillo, 2012)

Se consideran aceites esenciales igualmente a las sustancias de origen sintético derivadas del alquitrán de hulla, así como a las

variantes semisintéticas que se basan en otros aceites o esencias naturales (Auccapiña E., Champi C. & Lino D., 2017)

Una de las particularidades de los aceites esenciales es su comportamiento de solubilidad, dado que son insolubles en agua, poseen una menor solubilidad en vinagre y presentan solubilidad en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales. También exhiben un proceso de oxidación cuando entran en contacto con el aire, si bien no se vuelven rancios debido a su falta de contenido graso. (Lipa F., 2014)

Por lo general, estos aceites son usados en la elaboración de cosméticos, aromaterapia, masajes, saborizante en alimentos o fármacos, repelentes, productos de limpieza y en el tratamiento de un variado abanico de afecciones. (Auccapiña E., Champi C. & Lino D., 2017)

Otra perspectiva sobre los aceites esenciales es que presentan propiedades notables en la lucha contra microorganismos in vitro, especialmente dirigidos hacia gérmenes y otros microorganismos relacionados con la contaminación alimentaria. (Martins et al, 2013)

2.2.2. Áreas de aplicación.

Farmacéutica. Los aceites esenciales se emplean como agentes antibacterianos, antifúngicos, analgésicos, descongestionantes, así como en la aromaterapia y en la producción de fármacos para animales.

Productos industriales. Los aceites esenciales se utilizan en la fabricación de crayones, tinta, etiquetas, papel, caucho, plásticos, tapicería y también en la creación de bioinsecticidas.

Industrias de aromas y sabores. Se encuentran utilidad en los aceites esenciales como fijadores, saborizantes, conservantes, para la elaboración de productos de confitería, salsas, condimentos y bebidas.

Cuidado personal y Limpieza. Perfumes, colonias, cremas, jabones, desodorantes, shampoos, pasta dental, enjuague bucal, antisépticos, detergentes, limpiadores y ambientadores.

2.2.3. Estructura.

Los aceites esenciales consisten en mezclas naturales sumamente complejas que pueden contener hasta 100 componentes diferentes. Estos componentes abarcan sustancias orgánicas volátiles, como alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos, alcanos y ácidos, así como monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos.

Los aceites esenciales se componen en su mayoría de compuestos volátiles que pueden ser tanto terpenoides como no terpenoides. Los terpenoides son formados por unidades de isopreno y se dividen en dos categorías según el número de carbonos en su estructura: monoterpenoides (con 10 carbonos) y sesquiterpenoides (con 15 carbonos).

Terpenoides. En esta clasificación contamos con sustancias de amplia capacidad de uso y aplicación, formadas por unidades de isopreno unidas en cadena, las cuales se pueden encontrar en aceites esenciales, sustancias aromáticas de plantas, árboles, cítricos y resinas.

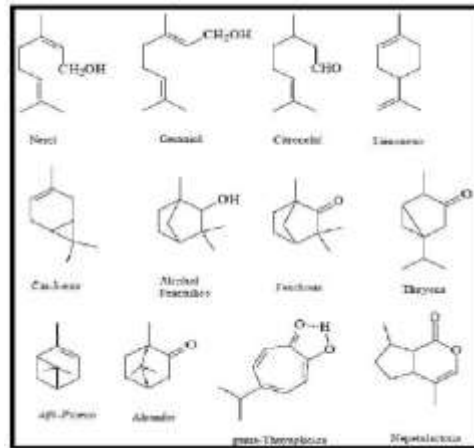
Tabla 5.

Terpenos según su grupo funcional

Grupo funcional	Ejemplos
Alcoholes	mentol, bisabolol, geraniol
Aldehídos	citral, citronelal, geranial
Cetonas	alcanfor, thuyona
Éter fenólicos	safrol, anetol, miristicina
Éteres	1,8-cineol
Ésteres	acetato de bornilo, acetato de linalilo, salicilato de metilo
Fenoles	timol, carvacrol
Hidrocarburos	limoneno, α -pineno y β -pineno
Peróxidos	ascaridol

Figura 2.

Ejemplos de monoterpenos



Nota. Adaptado de Universidad de Antioquia. Facultad Química Farmaceutica, Medellín. Martinez A., 2003.

Figura 3.

Ejemplos de sesquiterpenos



Nota. Adaptado de Universidad de Antioquia. Facultad Química Farmaceutica, Medellín. Martinez A., 2003.

No terpenoides. En esta clasificación encontramos sustancias de cadena abierta, constituidos por carbono e hidrógeno cuyo carácter no es aromático, conocidas como alifáticas, así como sustancias aromáticas, sustancias azufradas y sustancias nitrogenadas. Cuyo uso cuenta con muchas más limitaciones que los terpenoides.

2.3. Aceite esencial de hierbaluisa

El aceite esencial destilado de hojas de *Cymbopogon citratus*, se encuentra en proporción de 0.25% a 0.35% y tiene un aroma parecido al del limón pero no tan marcado como el toronjil. (Meza L. & Vargas, G., 2013)

El aceite esencial de hierba luisa contiene compuestos como monoterpenos, carbohidratos, cetonas, ésteres y aldehídos. El citral es el principal constituyente químico, seguido por otros 13 componentes. (Blanco et al, 2009; Guimarães et al, 2008)

Tabla 6.*Composición química del aceite esencial de hierba luisa*

Compuesto	Porcentaje (%)
α -Citral (Geranial)	40.80
β -Citral (Neral)	32.00
Nerol	4.18
Geraniol	3.04
Citronelal	2.10
Terpenoleno	1.23
Acetato de geraniol	0.83
Mirceno	0.72
Terpineol	0.45
Metilheptona	0.20
Borneol	0.10-0.40
Acetato de linalilo	0.10
α -Pino	0.07
β -Pino	0.04
Limoneno	Rastros
Linalool	Rastros

Nota. Gahan Shah (2011)

El citral, compuesto por los isómeros citral A (trans) y citral B (cis), es un líquido de tonalidad amarilla clara que emana un aroma

fuerte a limón (Lewis, 2007). Tanto el α -citral como el β -citral poseen propiedades antibacterianas que afectan a los organismos Gramnegativos y Grampositivos. (Gagan Shah, 2011)

2.3.1. Usos y aplicaciones

- Saborizante de citral en industria alimenticia.
- Componente para producir shampoos para cabellos grasos.
- Componente para producir cremas contra el acné.
- Componente para cremas para piel con celulitis.
- Aromaterapia.
- Relajante muscular.

2.4. Extracción de aceite esencial por arrastre de vapor

2.4.1. Aspectos Generales

Los AE se pueden ser obtener mediante una serie de métodos oficiales; tales como métodos mecánicos, destilación por arrastre de vapor y algunos otros métodos no oficiales como la extracción con disolventes orgánicos o la extracción con gases licuados. (Bruneton, 2001)

El método a elegir depende del órgano de la planta de la que será extraído, para obtener el mayor rendimiento posible, en la menor

cantidad de tiempo y evitar la pérdida de características sensoriales que los hace tan únicos. (Auccapiña E., Champi C. & Lino D., 2017)

2.4.2. Obtención por arrastre con vapor

Es el método oficial que se usa con más frecuencia en la investigación y la industria, debido a la alta eficiencia, pureza del aceite esencial obtenido y la simplicidad de la tecnología de la que hace uso. (Martínez, 2003)

Se lleva a cabo con vapor de agua seco sobrecalentado usando una caldera, este vapor penetra en la materia vegetal, colocada en una cámara inerte, a presión mayor a la atmosférica, quebrando las células y canales donde se almacenan los aceites esenciales y los arrastra junto con el vapor a un condensador. Al condensar se obtiene vapor de agua y aceite esencial, estos últimos al tener menor densidad pueden separarse por decantación. (Stashenko, 2009)

Este método se utiliza para extraer aceites de rizomas, raíces, hojas secas o fermentadas y semillas, pero no se recomienda cuando la materia prima vegetal cuenta con aceites cuyas propiedades organolépticas son sensibles a altas temperaturas. (Stashenko, 2009)

La combinación concentrada se recoge y aísla de la parte acuosa utilizando sulfato de sodio anhidro, luego se guarda en un recipiente de vidrio tintado en tono ámbar y se mantiene refrigerada a una temperatura de 4°C. (Segovia et al, 2010)

2.5. Método de secado por deshidratador solar.

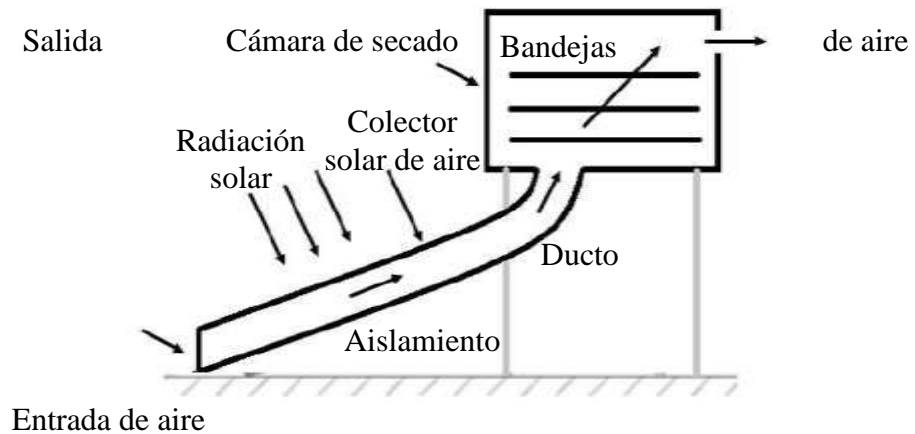
El calor se transfiere mediante el desplazamiento de aire caliente en esta configuración. En este tipo de sistema, la energía solar es captada por un calentador de aire, el cual luego pasa a través del producto, elevando su temperatura y propiciando la evaporación del agua presente en su superficie. Esta corriente de aire también arrastra la humedad del producto, dando lugar a un secado indirecto que se traduce en una mayor uniformidad del proceso. Además, se beneficia la calidad del producto, ya que no se ve directamente expuesto a la radiación solar directa. La capacidad de la cámara de secado puede ser considerable debido a la posibilidad de volumen ajustado. Asimismo, el manejo del producto tiende a ser más sencillo debido a su mayor concentración. La regulación de los parámetros de secado se simplifica, ya que se puede ajustar a través del control del flujo de aire.

En cuanto al principio de funcionamiento de este deshidratador, se basa en la entrada de aire del entorno a través de la parte inferior del colector, cubierta por una malla. A medida que el aire dentro del colector se calienta, se eleva y se desplaza hacia la torre de secado, donde atraviesa las bandejas que contienen frutas o verduras, eliminando la humedad que estas contienen. Como

resultado, el aire cargado de humedad se dirige hacia la parte superior de la torre y se libera al exterior. (Moreno).

Figura 4.

Deshidratador tipo “Colector y cámara de secado”



Nota. Adaptado de *García et al. (2012)*

2.6. Método de secado a la sombra.

Esta técnica es ampliamente empleada después del secado al sol y se basa en la temperatura ambiente. Los materiales pueden ser dispuestos directamente en el suelo sobre superficies como papeles, tejidos o mallas metálicas, o en bandejas y soportes colgantes. Entre las ventajas, es importante resaltar su bajo costo, lo que la hace idónea para zonas con climas de humedad relativa reducida y para secar volúmenes pequeños de vegetación. No obstante, presenta ciertas limitaciones. Para culminar el proceso de secado, se necesitará una

climatología húmeda durante varios días, lo que puede propiciar el crecimiento de microorganismos. No es aconsejable en situaciones donde el clima sea frío y lluvioso al momento de la cosecha, debido a que permite la entrada de contaminantes y facilita la presencia de roedores e insectos, lo cual conlleva a una posible contaminación. Asimismo, existe la probabilidad de un deterioro enzimático. La disposición de las hierbas debe realizarse en capas delgadas, siendo crucial mover el material con regularidad para prevenir problemas.

Se debe tener el cuidado de remover el material con frecuencia.

2.7. Método de secado por refrigeración

El proceso de secado se logra mediante sublimación, que consiste en la evaporación directa del agua desde un sólido sin pasar por la fase líquida. Para llevar a cabo este proceso, se requiere una humedad ambiental excepcionalmente baja y una temperatura que mantenga el producto en estado congelado. Este método de deshidratación tiene la ventaja de preservar las características moleculares y conserva el volumen original del producto, ya que gran parte del peso se pierde debido a la eliminación del contenido de agua. Como consecuencia, la densidad disminuye y el producto puede rehidratarse al entrar en contacto con líquido.

2.8. Compuestos volátiles

2.8.1. Aspectos generales

Se trata de moléculas reconocidas por receptores sensoriales, y su presencia o ausencia puede determinarse mediante parámetros químicos muy precisos obteniendo el perfil de los aromas presentes en el aceite, demostrando así su autenticidad.

El análisis de compuestos volátiles es muy útil porque puede identificar cientos de moléculas responsables de las propiedades organolépticas de los aceites. A pesar de que sigue siendo necesaria la prueba del panel, pero con este análisis se logra mayor eficacia y precisión en el control de la calidad de los aceites, lo cual sería de gran ayuda para las industrias que son considerados expertos en la combinación de aceites de diferentes variedades y procedencias.

El análisis de estos también permite obtener más información sobre la vida útil de los aceites, que es la capacidad que estos tienen para mantener sus características sensoriales a lo largo del tiempo.

En la hierbaluisa podemos encontrar componentes volátiles tales como limoneno, linalool, neral, geranial, geraniol y acetato de geranilo.

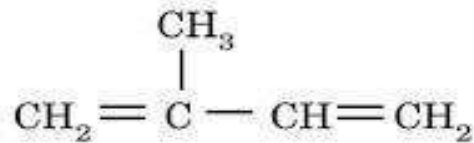
2.8.2. Compuestos volátiles en la hierbaluisa

2.8.2.1. Terpenos

También conocidos como “terpenoides”, forman un grupo de metabolitos secundarios formados por unidades de 5 átomos de carbono o unidades de isopreno, por lo que también se le conoce como isoprenoides. (Pérez I., 2013)

Figura 5.

Estructura del isopropeno



2.8.2.2. α -Pino

Este compuesto pertenece al grupo de los terpenos y es un isómero del pino. Clasificado como alqueno, su estructura incluye un anillo reactivo de cuatro miembros.

Este componente es el miembro más destacado de la serie del pino. Presente en sus formas positiva (+) y negativa (-) en todas las esencias de trementina, constituye parte de los aceites esenciales derivados de varias especies

vegetales. Por tanto, es posiblemente el terpeno más ampliamente distribuido en la naturaleza y además, es un elemento de gran importancia en la industria debido a su fácil acceso y bajo coste. Sirve como base para muchos derivados en la familia de los terpenoides. (Grzona, 2015)

Estudios realizados por "Schimmel & Co." y "Burgess y Child" concluyen que los aceites de limón raramente contienen trazas o pequeñas cantidades de α -pineno. Se trata de un líquido móvil e incoloro que, al igual que otros terpenos, tiende a absorber oxígeno del aire y oxidarse con el tiempo.

Gutiérrez Alvarado, en su investigación de 2011, enumera algunas propiedades fisicoquímicas:

- **Fórmula Molecular:** $C_{10}H_{16}$
- **Masa Molecular:** 136.24 g/mol
- **Apariencia:** Líquido transparente de naturaleza desconocida
- **Densidad:** 0.858 g/mL, a 20°C líquido
- **Solubilidad:** Presenta una solubilidad limitada en agua. Es soluble en ácido acético, etanol y acetona.
- **Punto de Fusión:** -64°C.
- **Punto de Ebullición:** 155°C.

2.8.2.3. β -Pineno

Este compuesto de naturaleza orgánica se encuentra presente en organismos vegetales. Es uno de los dos isómeros del pineno, siendo el otro el α -pineno. Se trata de un líquido sin coloración, soluble en alcohol, pero no en agua. Su aroma se caracteriza por tener matices de madera y pino verde.

Algunas de sus características fisicoquímicas son:

- **Formula Molecular:** $C_{10}H_{16}$
- **Masa Molecular:** 136.24 g/mol.
- **Apariencia:** Líquido transparente de naturaleza desconocida.
- **Densidad:** 0.872 g/mL, a 20°C líquido.
- **Punto de Ebullición:** 155°C.

2.8.2.4. Limoneno

El limoneno dextrógiro (+) es una sustancia aceitosa que otorga el aroma a los limones y también a las naranjas, la cual se forma naturalmente y puede ser extraída de la cubierta o cáscara de estos mismos cítricos. Algunas de sus propiedades fisicoquímicas son:

- **Fórmula Molecular:** $C_{10}H_{16}$
- **Masa Molecular:** 136.23 g/mol
- **Densidad:** 0.841g/mL, líquido a 20°C

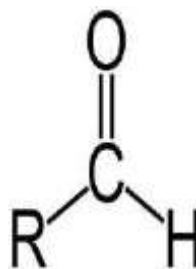
- **Punto de Ebullición:** 176°C

2.8.2.5. Aldehídos

Son compuestos de fácil oxidación, altamente reactivos a las adiciones nucleofílicas; cuya fórmula general es RCHO, donde el grupo carbonilo se enlaza al carbono e hidrógeno. (Bolívar, 2021).

Figura 6.

Estructura del Aldehído



2.8.2.6. Citral

Es el componente característico de muchos aceites esenciales, tales como el limón. Es una sustancia de un color ligeramente amarillento, con olor penetrante y sabor fuerte a citrón, ópticamente inactivo. Algunas de sus propiedades fisicoquímicas son:

- **Fórmula Molecular:** $C_{10}H_{16}O$
- **Masa Molecular:** 152.23 g/mol
- **Densidad:** 0.842 g/ml.

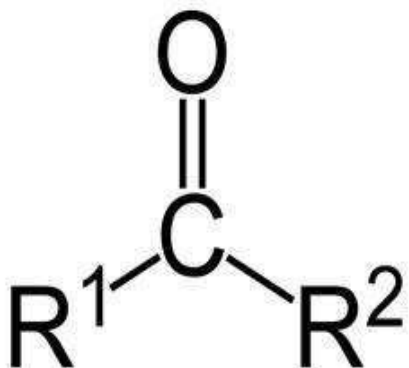
- **Punto de Ebullición:** 229°C.

2.8.2.7. Cetonas

Las cetonas generalmente no son tan reactivas como los aldehídos debido a que los grupos alquílicos brindan electrones por efecto intuitivo. Este compuesto orgánico es formado en el momento que cadenas hidrocarbonadas se unen a dos enlaces libres del C del grupo carbonilo. Y precisamente se caracteriza por esto, poseer un grupo funcional carbonilo unido a dos átomos de carbono. (Pereira & Walton, 2013)

Figura 7.

Estructura de Cetonas



Nota. Hernández Hernández, 2013

2.9. Cromatografía de gases

La técnica de cromatografía de gases se utiliza para separar los componentes de una muestra en estado gaseoso. Esto ocurre debido a que los elementos de la muestra se encuentran entre una fase móvil gaseosa y una fase estacionaria, que puede ser líquida o sólida, alojada en una columna. La muestra se transforma en estado gaseoso y se introduce en uno de los extremos de la columna cromatográfica. La separación de los componentes se lleva a cabo mediante el flujo de una fase gaseosa móvil que no reacciona con los elementos y solo los transporta a lo largo de la columna. Existen dos variantes: cromatografía de gas-líquido y cromatografía de gas-sólido. La primera tiene más aplicaciones y es comúnmente conocida como cromatografía de gases. La cromatografía de gas-sólido se utiliza menos debido a que los tiempos de retención son extensos y las colas de los picos de elución no son aceptables debido a la reactividad o polaridad de muchas moléculas. (Skoog et al., 2001).

La cromatografía de gases es una técnica de análisis de alta resolución, que ofrece sensibilidad desde miligramos hasta picogramos. Los resultados son rápidos y cuantitativos. Las muestras deben ser volátiles y sus componentes deben ser estables a la temperatura de funcionamiento. La fase estacionaria en las paredes de la columna o el soporte sólido debe estar recubierta con un líquido de baja volatilidad.

La separación se produce a través de la partición de las moléculas entre la fase estacionaria y la fase móvil. Esta técnica a menudo se emplea, y podría decirse que en más del 95% de las aplicaciones de la cromatografía líquida se requiere solubilizar selectivamente las sustancias de la muestra. Estas deben ser térmicamente estables, tener baja volatilidad a la temperatura de análisis y ser químicamente inertes en relación con los componentes. (Sharapin N. 2000)

2.9.1. Descripción de la metodología.

2.9.1.1. Fase móvil

La fase gaseosa que se desplaza tiene un papel esencial en establecer un equilibrio rápido entre las diferentes fases, lo cual optimiza la eficacia de la obtención de los resultados analíticos. Los gases más ampliamente utilizados son nitrógeno, helio, hidrógeno y argón. Es importante que esta fase móvil no interactúe ni con la fase estacionaria ni con la muestra. Además, debe ser asequible, altamente pura y compatible con el detector empleado en el proceso. Mantener una saturación constante y regulada del gas es esencial, y esto se logra mediante el uso de válvulas de aguja, lo que facilita la reproducibilidad del análisis. (Sharapin N.,2000)

2.9.1.2. Sistemas de inyección

La inserción de las muestras se ejecuta mediante una micro jeringa, empleando un volumen que no exceda la

capacidad de la columna. Cuanto menor sea este volumen de muestra utilizado, mayor será la eficiencia y la posibilidad de reproducir el análisis. La temperatura debe ser adecuada para volatilizar la muestra. (Sharapin N., 2000)

Columnas. Estas consisten en tubos largos que contienen la fase estacionaria. Los materiales más comunes para su construcción son cobre, acero, aluminio, vidrio y teflón. Estos materiales se seleccionan para evitar cualquier interacción con la fase estacionaria o con la muestra en análisis, con el objetivo de mantener la integridad de los resultados. (Sharapin N., 2000)

Sistema de detectores. Los componentes de la muestra atraviesan la columna, donde se separan antes de alcanzar el sistema de detección. Los detectores se pueden categorizar en términos de su selectividad en dos tipos: selectivos o específicos, y universales. Los detectores selectivos miden una propiedad única de ciertos tipos de sustancias, mientras que los detectores universales evalúan variaciones en una propiedad del gas transportador al salir de la columna. Además, los detectores pueden clasificarse en términos de su sensibilidad, siendo sensibles a la masa o a la concentración. En los detectores sensibles a la masa, la respuesta apenas varía con cambios en el flujo de la fase

móvil, y su sensibilidad se calcula relacionando el área del pico con la masa inyectada. En contraste, en los detectores sensibles a la concentración, la respuesta varía significativamente según el flujo de la fase móvil, y su sensibilidad se determina multiplicando el área del pico por el flujo de la fase móvil y dividiendo el resultado por la masa inyectada. (Sharapin N., 2000)

En un amplio rango de concentraciones, la respuesta del detector debe mantenerse lineal. Este intervalo, conocido como intervalo lineal dinámico, abarca desde la concentración mínima detectable en medio del ruido del detector o señal de fondo, hasta la concentración máxima. La cuantificación es posible al relacionar la respuesta del detector con la concentración de la muestra, siempre y cuando la respuesta se encuentre dentro de este intervalo. (Sharapin N., 2000)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Esta investigación se llevó a cabo en los espacios de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa:

- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima.

La hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*) fue adquirida en el Mercado 2 de mayo de Chimbote, provincia del Santa; para luego ser pesada, y expuesta a diferentes métodos de secado, posteriormente cortar y pesar la materia seca restante, extraer aceite esencial haciendo uso del equipo de arrastre con vapor, proceso que se llevará a cabo en 9 repeticiones totales.

3.2.2. Reactivos

- KOH 0.1N
- HCl 0.5N
- Fenolftaleína

3.2.3. Materiales de vidrio

- Vasos precipitados 50 ml, 100 ml, 250 ml (Marca: Pyrex)
- Pipetas 1ml, 10 ml (Marca: Pyrex)
- Buretas 50 ml (Marca: Pyrex)
- Picnómetro 5ml
- Matraces
- Pera de decantación
- Probetas 50 ml, 100 ml (Marca: Pyrex)
- Frascos herméticos ámbar 50 ml

3.2.4. Equipos

- Secador solar:
 - ✓ Contenedor (Alto 2.30 m / Ancho: 0.9 m / Largo: 0.9 m)
 - ✓ Calentador de aire (Alto: 0.2 m / Ancho: 0.9 m / Largo: 2.0 m)
- Cámara frigorífica (Marca: Mipal / Modelo: MI026E / N° Serie: 114.848.05.2)
- Equipo destilador de arrastre con vapor:
 - ✓ Evaporador (Volumen: 0.5 m³)
 - ✓ Condensador (Volumen: 0.04 m³)

- Cromatógrafo de gases (Marca: Shimatzu / Modelo: GC2010)
- Balanza analítica (Marca: Henkel / Precisión: 0.001 g)
- Balanza semianalítica (Marca: Precisa / Modelo: LX4200C)
- pH metro digital (Marca: Thermo Scientific / Modelo: Orion Versastar)
- Refractómetro (Marca: PCE / Modelo: PCE-018)

3.3. Métodos

3.3.1. Primera Etapa

3.3.1.1. Secado de hierba luisa

- Recepción.** Se recepciona la hierba luisa.
- Pesado.** Se pesa 15 kg de materia prima fresca por muestra.
- Secado.** Por triplicado haciendo uso de 3 métodos diferentes (secador solar, secado en sombra y secado por frío a 5°C) por 48 horas.

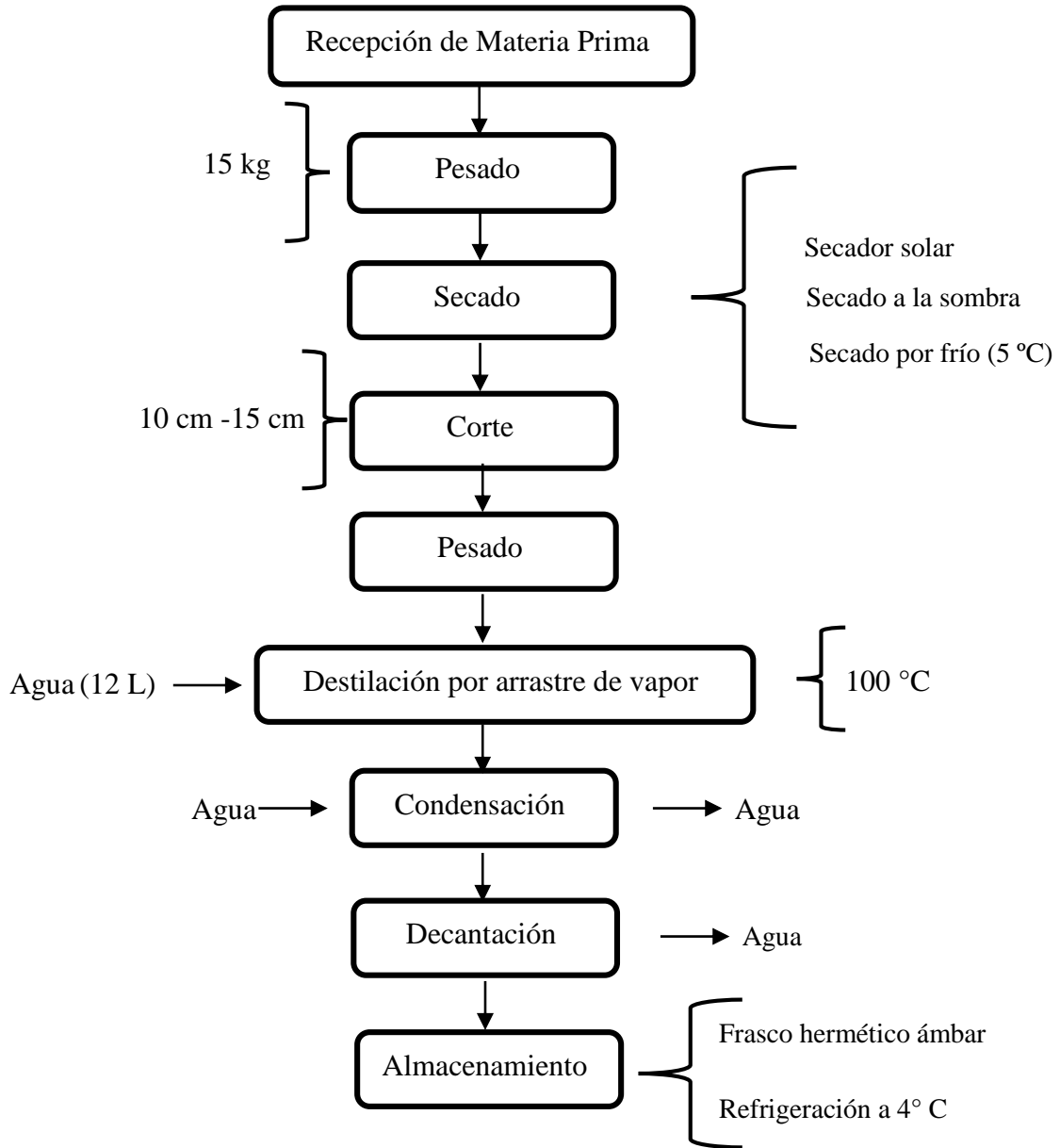
3.3.2. Segunda Etapa

3.3.2.1. Extracción de aceite por arrastre de vapor

- i. **Corte.** Se cortan las hojas secas de hierba luisa de 10 a 15 cm.
- ii. **Pesado.** Se pesa las hojas secas de hierba luisa.
- iii. **Destilado por arrastre de vapor.** Se coloca la materia seca en el destilador y se agregan 12 L de agua, la cual se hierve para extraer los aceites esenciales.
- iv. **Condensado.** El vapor de agua arrastra los aceites esenciales y se dirigen al condensador, donde usando agua como refrigerante se condensan.
- v. **Decantación.** Se separa el aceite esencial del agua por diferencia de densidades.
- vi. **Almacenamiento.** Se almacena el aceite esencial en frascos ámbar en refrigeración 4°C

3.4. Diseño y Características de la Muestra

3.4.1. Extracción de aceite esencial de hierba luisa por arrastre de vapor



Nota. Elaboración propia

3.5. Metodología

3.5.1. Técnicas de Laboratorio.

3.5.1.1. Determinación de pH.

3.5.1.2. Determinación de Densidad relativa. Según la NTP-ISO
279:2011

$$\rho_{20^{\circ}C} = 0.99718 \frac{(P_2 - P)}{(P_1 - P)}$$

Dónde: P es el peso (en g) picnómetro
vacío; P₁ el peso (en g) del picnómetro lleno con agua
destilada a 20 °C; P₂ es el peso (en g) del
picnómetro lleno con aceite esencial a 20 °C

3.5.1.3. Determinación de Índice de acidez. Según la NTP
319.085:1974

$$\text{Índice de acidez} = 5.61 \frac{(V)}{(P)}$$

Dónde: V es el volumen en ml de KOH 0.1N
y P es el peso de la muestra de aceite esencial.

3.5.1.4. Determinación de Índice de saponificación.

$$\text{Índice de saponificación} = 5.61 \frac{(V - V')}{g} \times N$$

Dónde: V es el gasto de KOH 0.1 N; V' es el gasto de KOH en el ensayo en blanco; N es la concentración molar de la solución de HCl 0.5 N y g es la cantidad de aceite esencial empleado (en gramos).

3.5.1.5. Determinación de Índice de refracción. Según la NTP-ISO 280:2011

Usando un refractómetro con baño de agua a 20 °C, se coloca una gota en el prisma inferior. Se ajusta la perilla colocando al centro de haces la línea de sombra y se realiza la lectura.

3.5.1.6. Determinación de Índice de éster. Según la NTP 319.088:1974

$$\text{Índice de éster} = IS - IA$$

3.5.1.7. Rendimiento

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{W_f}{W_i} \times 100$$

Donde:

W_f = peso del aceite esencial obtenido en gramos

W_i = peso de la materia prima en gramos

3.5.1.8. Determinación de compuestos volátiles.

Se empleó la técnica por Cromatografía de Gases.

3.5.2. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se hace uso de hojas de cálculo para analizar gráficos y para procesar los resultados del diseño experimental completamente aleatorizado se usará el software STATISTICA.

3.5.2.1. Diseño Experimental Completamente Aleatorizado (DCA).

La metodología del Diseño Experimental Completamente Aleatorizado (DCA) fue concebida por Fisher en 1925 y se emplea en investigaciones que involucran un solo factor con distintos tratamientos. Esta técnica se basa en el análisis de la varianza, considerando dos fuentes: los tratamientos aplicados y el error aleatorio. El DCA se utiliza en situaciones en las que se evalúan dos o más tratamientos, bajo ciertas condiciones:

- Cuando los lugares y las unidades experimentales presentan una uniformidad significativa.
- En situaciones donde existe la posibilidad de que se pierda una porción del experimento.
- En casos donde el experimento es de pequeña escala y la mayor precisión ofrecida por otras

distribuciones no compensa la pérdida de grados de libertad en el término de error.

El objetivo de este diseño es determinar la existencia de una diferencia significativa entre los tratamientos, comparando la varianza del error contra la varianza del tratamiento, según la distribución F.

Tabla 7.

Codificación de Diseño Experimental Completamente Aleatorizado

Tratamientos		
T1	T2	T3
A11	A21	A31
A12	A22	A32
A13	A23	A33

Nota. Elaboración propia

Tabla 8.

Valores del Diseño Experimental Completamente Aleatorizado

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
A11	A21	A31
A12	A22	A32
A13	A23	A33

3.5.2.2. Adecuación del modelo propuesto (Análisis de varianza)

Según Seguro, la técnica de análisis de varianza (ANOVA) se empleó para determinar si el modelo se ajusta adecuadamente a la superficie real de respuesta, y para evaluar la significancia de la ecuación polinómica sugerida. En otras palabras, se investigó si existían diferencias en los valores promedio de los tratamientos o si los factores tenían efectos notables en las respuestas. Mediante este análisis, se dividió la variabilidad total de los resultados en dos fuentes de variación: la variabilidad del modelo y la variabilidad residual. Esta división permite determinar si la variación del modelo es estadísticamente significativa en comparación con la variabilidad causada por los residuos.

La magnitud de la variación del modelo se coteja con la variación residual utilizando el estadístico de prueba F. Esta prueba determina si la varianza puede considerarse significativamente diferente de la varianza de los errores aleatorios. La evaluación de la significación de esta relación se realiza mediante la distribución F. Paralelamente, la discrepancia generada por el error remanente corresponde a la discrepancia entre la observación real y el valor de predicción basado en el modelo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento

Tabla 9.

Valores de rendimiento (%)

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
0.17453	0.12335	0.21113
0.24895	0.19573	0.16555
0.10781	0.23858	0.12606

El rendimiento obtenido de aceite esencial extraído de *Cymbopogon citratus* en las muestras se encuentra en promedio en un rango de 0.15% a 0.25%. Según los estudios realizados por Meza L. & Vargas, G. en 2013, el rendimiento del aceite esencial de hierbaluisa no excede el 0.35%.

Tabla 10.*Análisis Descriptivos en Variable: Rendimiento*

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de		Mínimo	Máximo	
				confianza para la media				
				Límite inferior	Límite superior			
1	3	,1771000	,07060500	,04076381	,0017075	,3524925	,10781	,24895
2	3	,1858889	,05824072	,03362529	,0412109	,3305668	,12335	,23858
3	3	,1675778	,04256969	,02457762	,0618288	,2733268	,12606	,21113
Total	9	,1768556	,05109020	,01703007	,1375842	,2161270	,10781	,24895

Tabla 11.*ANOVA en Variable: Rendimiento*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,001	2	,000	,074	,929
Dentro de grupos	,020	6	,003		
Total	,021	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.929, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de rendimiento de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.2. pH

Tabla 12.

Valores de pH

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
5.8	5.2	5.6
5.4	5.1	5.5
5.7	5.4	5.5

La lectura de pH de aceite esencial extraído de *Cymbopogon citratus* en las muestras se encuentra en promedio en un rango de 5 a 6, lo que indica que se trata de un ácido.

Según estudios específicos que han investigado la composición química del aceite esencial de *Cymbopogon citratus*, se ha confirmado que el citral es uno de los principales compuestos presentes en este aceite, llegando a representar hasta el 85-90% de su composición total (Bilia AR, 2014). El alto contenido de citral en el aceite esencial de

hierba luisa es lo que contribuye a su acidez y su pH en el rango de 5 a 6.

Tabla 13.

Análisis Descriptivos en Variable: pH

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
1	3	5,6333333	,20816660	,12018504	5,1162188	6,1504478	5,40000	5,80000
2	3	5,2333333	,15275252	,08819171	4,8538750	5,6127916	5,10000	5,40000
3	3	5,5333333	,05773503	,03333333	5,3899116	5,6767551	5,50000	5,60000
Total	9	5,4666667	,22360680	,07453560	5,2947873	5,6385461	5,10000	5,80000

Tabla 14.*ANOVA en Variable: pH*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,260	2	,130	5,571	,043
Dentro de grupos	,140	6	,023		
Total	,400	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.043, por lo que al ser menor a 0.05, estadísticamente hay diferencia significativa entre la media de pH de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.3. Densidad Relativa

Tabla 15.

Valores de Densidad Relativa

Secado solar	Secado en sombra	Refrigeración
0.889	0.883	0.888
0.882	0.885	0.885
0.887	0.883	0.883

Los resultados obtenidos en la densidad relativa del aceite esencial extraído de *Cymbopogon citratus*, que se encuentra en promedio de 0.88, son consistentes con el rango de densidad relativa reportado en la norma NOM-F-366-S-1980 para el aceite esencial de hierba luisa, que es de 0.869 a 0.894.

La coincidencia entre los resultados obtenidos en este estudio y los valores establecidos en la norma NOM-F-366-S-1980 brinda mayor validez y confiabilidad a los hallazgos. Esta concordancia sugiere que el proceso de extracción y las condiciones experimentales aplicadas en este estudio son apropiadas y consistentes con las prácticas establecidas en la industria.

Tabla 16.*Análisis Descriptivos en Variable: Densidad Relativa*

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
				1	3			,8860000
2	3	,8836667	,00115470	,00066667	,8807982	,8865351	,88300	,88500
3	3	,8853333	,00251661	,00145297	,8790817	,8915849	,88300	,88800
Total	9	,8850000	,00250000	,00083333	,8830783	,8869217	,88200	,88900

Tabla 17.*ANOVA en Variable: Densidad Relativa*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	2	,000	,629	,565
Dentro de grupos	,000	6	,000		
Total	,000	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.565, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de densidad relativa de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.4. Índice de Refracción

Tabla 18.

Valores de Índice de Refracción

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
1.487	1.485	1.481
1.483	1.484	1.486
1.484	1.488	1.485

Los resultados obtenidos en el índice de refracción del aceite esencial extraído de *Cymbopogon citratus*, que se encuentra en promedio de 1.484, son muy cercanos al rango promedio reportado en la norma NOM-F-366-S-1980 para el aceite esencial de hierba luisa, que es de 1.483 a 1.489. Esta similitud en los valores del índice de refracción sugiere que el aceite esencial obtenido en este estudio es consistente con los estándares establecidos para el aceite esencial de hierba luisa en términos de su composición y propiedades físicas.

Es importante destacar que el índice de refracción del aceite esencial de hierba luisa es una propiedad que puede tener implicaciones en su uso y aplicaciones. Por ejemplo, el índice de refracción puede influir en la dispersión de la luz y afectar la transparencia y apariencia del aceite esencial en productos cosméticos o farmacéuticos. Además, el índice de refracción puede ser útil para identificar y autenticar el aceite esencial de hierba luisa, ya que puede servir como una característica distintiva para diferenciarlo de otros aceites esenciales.

Tabla 19.

Análisis Descriptivos en Variable: Índice de Refracción

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
1	3	1,4846667	,00208167	,00120185	1,4794955	1,4898378	1,48300	1,48700
2	3	1,4856667	,00208167	,00120185	1,4804955	1,4908378	1,48400	1,48800
3	3	1,4840000	,00264575	,00152753	1,4774276	1,4905724	1,48100	1,48600
Total	9	1,4847778	,00210819	,00070273	1,4831573	1,4863983	1,48100	1,48800

Tabla 20.*ANOVA en Variable*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	2	,000	,404	,684
Dentro de grupos	,000	6	,000		
Total	,000	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.684, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de índice de refracción de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.5. Índice de Acidez**Tabla 21.***Valores de Índice de Acidez (mgKOH/g)*

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
2.217	2.246	2.235
2.221	2.219	2.216
2.198	2.223	2.219

Tabla 22.*Análisis Descriptivos en Variables: Índice de Acidez*

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
				1	3			2,2120000
2	3	2,2293333	,01457166	,00841295	2,1931353	2,2655313	2,21900	2,24600
3	3	2,2233333	,01021437	,00589727	2,1979594	2,2487072	2,21600	2,23500
Total	9	2,2215556	,01322981	,00440994	2,2113862	2,2317249	2,19800	2,24600

Tabla 23.*ANOVA en Variable: Índice de Acidez*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	2	,000	1,491	,298
Dentro de grupos	,001	6	,000		
Total	,001	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.298, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de índice de acidez de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.6. Índice de Saponificación

Tabla 24.

Valores de Índice de Saponificación (mgKOH/g)

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
6.754	6.739	6.752
6.756	6.750	6.760
6.748	6.752	6.758

Tabla 25.*Análisis Descriptivos en Variable: Índice de Saponificación*

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
				1	3			6,7526667
2	3	6,7470000	,00700000	,00404145	6,7296110	6,7643890	6,73900	6,75200
3	3	6,7566667	,00416333	,00240370	6,7463244	6,7670090	6,75200	6,76000
Total	9	6,7521111	,00621378	,00207126	6,7473348	6,7568874	6,73900	6,76000

Tabla 26.*ANOVA en Variable: Índice de Saponificación*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	2	,000	2,538	,159
Dentro de grupos	,000	6	,000		
Total	,000	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.159, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de índice de saponificación de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.7. Índice de Éster

Tabla 27.

Valores de Índice de Ester (mgKOH/g)

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
4.537	4.493	4.517
4.535	4.531	4.544
4.550	4.529	4.539

Tabla 28.*Análisis Descriptivos en Variable: Índice de Ester*

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
				1	3			4,5406667
2	3	4,5176667	,02138535	,01234684	4,4645425	4,5707908	4,49300	4,53100
3	3	4,5333333	,01436431	,00829324	4,4976504	4,5690163	4,51700	4,54400
Total	9	4,5305556	,01691236	,00563745	4,5175556	4,5435555	4,49300	4,55000

Tabla 29.*ANOVA en Variable: Índice de Ester*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,001	2	,000	1,702	,260
Dentro de grupos	,001	6	,000		
Total	,002	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.260, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de índice de éster de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.8. α -Citral (Geranial)

Tabla 30.

Valores de Índice de α -Citral (Geranial) (%)

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
45.54	48.64	35.43
41.5	37.88	43.68
39.5	40.80	46.23

Tabla 31.*Análisis Descriptivos en Variable: α -Citral (Geranial)*

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
				1	3			42,1800000
2	3	42,4400000	5,56431487	3,21255869	28,6174756	56,2625244	37,88000	48,64000
3	3	41,7800000	5,64513065	3,25921770	27,7567181	55,8032819	35,43000	46,23000
Total	9	42,1333333	4,26110021	1,42036674	38,8579618	45,4087049	35,43000	48,64000

Tabla 32.*ANOVA en Variable: α -Citral (Geranial) (%)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,663	2	,332	,014	,986
Dentro de grupos	144,593	6	24,099		
Total	145,256	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.986, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de α Citral (*Geranial*) de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.9. β -Citral (Neral)

Tabla 33.

Valores de β -Citral (Neral) (%)

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
33.78	38.79	35.84
37.34	29.61	32.45
27.40	32.00	30.15

Nuestros resultados en cuanto al contenido de citral nos dio un aproximado del 70% al 80%. Un estudio realizado por Carrasco et al. en 2002 evaluó la composición química del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* y encontró que el contenido de citral representaba aproximadamente el 75% de la composición total del aceite. Este hallazgo destaca la relevancia del citral como un componente mayoritario en el aceite esencial de hierba luisa. Otro estudio realizado por Jantan et al. en 2008 también respalda estos resultados, reportando que el citral era el

componente más abundante en el aceite esencial de hierba luisa, alcanzando porcentajes que oscilaban entre el 70% y el 80%

Tabla 34.

Análisis Descriptivos en Variable: β -Citral (Neral)

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
				1	3			32,8400000
2	3	33,4666667	4,76250284	2,74963230	21,6359538	45,2973796	29,61000	38,79000
3	3	32,8133333	2,86234752	1,65257711	25,7028679	39,9237988	30,15000	35,84000
Total	9	33,0400000	3,76324993	1,25441664	30,1473100	35,9326900	27,40000	38,79000

Tabla 35.

ANOVA en Variable: β -Citral (Neral)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,820	2	,410	,022	,978
Dentro de grupos	112,476	6	18,746		
Total	113,296	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.978, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de β -Citral (*Neral*) de los tratamientos al cambiar el método de secado.

4.10. β - Mirceno

Tabla 36.

Valores de β - Mirceno (%)

Secador solar	Secado en sombra	Refrigeración
10.84	2.57	5.63
8.45	14.23	4.54
8.66	9.45	8.23

Tabla 37.*Análisis Descriptivos en Variable: β - Mirceno*

N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
				Límite inferior	Límite superior			
1	3	9,3166667	1,32341729	,76407533	6,0291159	12,6042175	8,45000	10,84000
2	3	8,7500000	5,86143327	3,38410008	-5,8106074	23,3106074	2,57000	14,23000
3	3	6,1333333	1,89579359	1,09453694	1,4239210	10,8427457	4,54000	8,23000
Total	9	8,0666667	3,47680529	1,15893510	5,3941575	10,7391758	2,57000	14,23000

Tabla 38.*ANOVA en Variable: β - Mirceno*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	17,302	2	8,651	,654	,554
Dentro de grupos	79,404	6	13,234		
Total	96,705	8			

La significancia al 5% del rendimiento obtenido de las muestras es de 0.554, por lo que al ser mayor a 0.05, estadísticamente no hay diferencia significativa entre la media de β - Mirceno de los tratamientos al cambiar el método de secado.

Según Camus E. & De la Cruz N en 2019, los compuestos volátiles predominantes en el aceite esencial de hierba luisa son 3: β - Mirceno, α -Citral (Geranial) y β -Citral (Neral) respectivamente; mientras que otros autores como Auccapiña, E. et al y Meza, K. et al argumentan que el aceite esencial de *Cymbopogon citratus* está compuesto en su mayoría por geranial y neral; quedando como tercer componente β -Mirceno y β -Pino en lo que respecta a cada una de sus investigaciones. Otros autores como Gagan Shah, concuerdan en que el citral conforma aproximadamente el 70% del aceite esencial de hierbaluisa.

En el contexto de los resultados presentados, la significancia al 5% del rendimiento obtenido es mayor que 0.05. Esto significa que se utilizó un nivel de significancia del 5% para evaluar si hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los valores de las características fisicoquímicas en los diferentes tratamientos (métodos de secado). Cuando el valor de significancia es mayor que el nivel establecido (en este caso, 0.05), no se rechaza la hipótesis nula.

La interpretación de este resultado indica que no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en las características

fisicoquímicas entre los distintos tratamientos de secado utilizados en el proceso de extracción del aceite esencial de hierba luisa. En otras palabras, el método de secado no parece tener un impacto estadísticamente significativo en las características fisicoquímicas del aceite esencial obtenido.

Es importante destacar que la falta de diferencia estadísticamente significativa no implica necesariamente que los diferentes métodos de secado sean igualmente efectivos en todos los aspectos. Puede haber otras variables o factores que influyen en el rendimiento y las características fisicoquímicas del aceite esencial que no fueron consideradas en este análisis estadístico.

Además, es relevante mencionar que los resultados de un análisis de significancia dependen del tamaño de la muestra y la variabilidad de los datos. Si el tamaño de la muestra es pequeño o si la variabilidad es alta, es posible que la significancia estadística no se alcance, aunque existan diferencias prácticamente importantes entre los tratamientos.

En resumen, los resultados sugieren que, con el tamaño de muestra y la variabilidad de los datos analizados, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en las características fisicoquímicas entre los distintos métodos de secado. Sin embargo, es importante interpretar estos resultados con cautela y considerar otros

factores que puedan afectar el rendimiento y las propiedades del aceite esencial de hierba luisa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basándonos en los resultados derivados de este estudio de investigación, se puede concluir que:

- El rendimiento promedio del aceite esencial de hierbaluisa extraído por arrastre de vapor de agua se encuentra entre 0.15% a 0.25% y no varía si se opta por realizar un método de secado diferente.
- El pH del aceite esencial de hierbaluisa secada en sombra es más bajo que en los otros 2 tratamientos; sin embargo, se sigue encontrando en el rango de ácidos, esto se debe a que al tratarse de un lípido y estos estar compuestos de ácidos grasos, el pH ácido es una característica intrínseca. Por otro lado, el resto de las características fisicoquímicas no se ven afectadas por el método de secado aplicado.
- Las características fisicoquímicas para pH, densidad relativa e índice de refracción son de 5.5; 0.885 y 1.485 respectivamente, encontrándose entre los rangos establecidos para la NMX-F366-S-1980 y la ISO 3217:1974. Mientras que, los valores para los índices de acidez, saponificación y ésteres son de: 2.22 mgKOH/g; 6.75 mgKOH/g y 4.53 mgKOH/g.
- Los compuestos volátiles más abundantes en el aceite esencial de hierbaluisa, tales como: α -Citral, β -Citral y β - Mirceno no se ven afectados por el método de secado, pese a que esta etapa de la extracción por arrastre de vapor de agua se encarga de la pérdida de

agua de la materia prima con el fin de debilitar las fibras internas y favorecer a la extracción del aceite esencial.

- Se recomienda asegurarse de utilizar hojas frescas de hierba luisa de alta calidad para la extracción del aceite esencial. La selección adecuada de la materia prima influirá en la calidad y cantidad del aceite
- Utilizar la destilación por arrastre de vapor como método principal de extracción del aceite esencial, ya que es el método que mejor preserva las propiedades del aceite. Si deseamos comparar diferentes métodos de extracción, asegurarse de utilizar técnicas bien establecidas y ampliamente reconocidas en la literatura científica.
- Controlar todas las variables que puedan influir en los resultados, como el tiempo de extracción, el tamaño de partícula, entre otros.
- En respuesta a la creciente preocupación por el impacto ambiental en la última década, es crucial abordar el manejo de las hojas secas de hierba luisa resultantes del proceso de extracción de su aceite esencial. La concepción de productos a partir del procedimiento empleado en esta investigación emerge como una alternativa ingeniosa y sustentable para el entorno. Algunas propuestas de potenciales artículos elaborados a partir de los residuos de esta planta podrían ser: bandejas biodegradables, papel o cartón aromático, tejidos y textiles, creación de macetas ecológicas, composta y productos para mascota.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

Arapa, J. & Aquino, J. (2016). *Efecto Hipotensor e Inhibidor de la Vasoconstricción por Bloqueo de Canales de Calcio del Extracto Metanólico de Hojas Hierba Luisa (Cymbopogon citratus) en Ratas Normotensas y Anillos Vasculares Aórticos de Rata*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Auccapiña, E.; Champi, J. & Lino, D. (2017). *Caracterización y Evaluación de la Actividad Antibacteriana del Aceite Esencial de Hierba Luisa (Cymbopogon citratus (DC.) Stapf.) Obtenido por el Método de Arrastre con Vapor*. Tesis. Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.

Bautista, A. (2020). *Obtención de Aceite Esencial de Molle (Schinus molle L.) y su Evaluación Antifúngica sobre Collettrichum spp. In vitro*. Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.

Bilia AR, Guccione C, Isacchi B, Righeschi C, Firenzuoli F, Bergonzi MC. *Essential oils loaded in nanosystems: a developing strategy for a successful therapeutic approach. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2014; 2014:651593.

Bolívar, G. (2021). Lifeder.com. *Aldehídos: Estructuras, propiedades, usos y ejemplos*.

- Bruneton, J. (2001). *Aceites esenciales. Factores de variabilidad de los aceites esenciales. En: Farmacognosia. Zaragoza, España, Acribia, SA. p. 488-491.*
- Carrasco, A., Martínez-Gutiérrez, R., & Tomás-Barberán, F. A. (2002). *Comparative study of the essential oils of two chemotypes of Cymbopogon citratus (DC.) Stapf. Journal of agricultural and food chemistry, 50(9), 2619-2627.*
- García, L.E.; Mejía, M.F.; Mejía, D.J.; Valencia, C.A. (2012). Design and building of solar dryer equipment for tropical fruits. *AVANCES Investigación en Ingeniería Vol.9 n2. 9-19 pp.*
- Grzona, L. M. (2015). *Isomerización de α -pineno sobre heteropolícompuestos. Tesis. Grado Doctor. Universidad Nacional de La Plata.*
- Jantan, I., Yalvema, M. F., Ahmad, A. S., Ali, N. A. M., & Fujiwara, H. (2008). Development of new syntheses of citral-related compounds and their biological activities. *Molecules, 13(8), 1749-1769.*
- Lipa, F. (2014). *Estudio Comparativo en el Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Eucalipto (Eucalipto Glóbulus Labill) mediante el Método de Destilación por Arrastre de Vapor y el Método de Hidrodestilación Asistido por Radiación Microondas.*

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Meza, K. & Vargas, G. (2013). *Evaluación de la Actividad Antibacteriana in vitro del Aceite Esencial de Hierba Luisa (Cymbopogon citratus (DC) Stapf), Poaceae en una Formulación Cosmética con Finalidad Antiacnéica*. Tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Montejo-Sierra, Iván Lenin, Lamela-López, Luis, & López-Vigoa, Onel. (2018). *Deshidratación del follaje, al sol y a la sombra, de tres plantas forrajeras proteicas*. *Pastos y Forrajes*, 41(1), 21-29. Recuperado en 05 de enero de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403942018000100003&lng=es&tlng=es.

Pereira, L. & Walton, G. (2013). *Cetonas: Definición, estructura, propiedades y obtención*.

Pérez, N. M. (2013). *Farmacognosia y Medicamentos Herbarios: Terpenos*. Apuntes de clase. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Farmacia.

Rosillo, M. (2012). *Determinación Físicoquímica y evaluación de la actividad biológica del aceite esencial Baccharis Latifolia (Asteraceae) de la Provincia de Loja*. (Tesis de pregrado), Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.

- Torres, A. (2018). *Extracción de Aceite a partir de Semilla de Granadilla (Passiflora ligularis) por Prensado en Frío y Solvente Orgánico*. Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
- Sharapin, N.(2000).*Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 1era. Edición. Colombia. 179-189, 198-204, 247 P.*
- Vargas, A., Bottia, E.(2008). *Estudio de la composición química de los aceites esenciales de seis especies vegetales cultivadas en los municipios de bolívar y el peñón – Santander, Colombia*. Universidad Industrial de Santander.
- Vicente, R.; Marrero, D.; Rodríguez, E.; Gonzáles, V.; Sierra, R. & Tirado, S. (2017). Determinación de compuestos volátiles en el aceite de *Roystonea regia* sometido a degradación forzada. *Revista CENIEC Ciencias Químicas*, V (48), pp 83-89, 2017.
- Zambrano, A. (2015). *Estudio Farmacognóstico y Composición Proximal de Cymbopogon citratus (Hierba Luisa), Melissa officinalis (Toronjil) y Lippia citriodora (Cedrón) Proveniente de las Provincias del Oro y Azuay, Ecuador*. Universidad Técnica de Machala, Machala, El Oro, Ecuador.

VII. ANEXOS

7.1. Secado al sol

Tabla 1.

Rendimiento en T1

Tratamiento	A11	A12	A13
Elemento	Peso	Peso	Peso
Materia prima	15 kg	15 kg	15 kg
Materia seca	6.925 kg	3.79 kg	5.15 kg
Peso de frasco vacío	62.999 g	62.093 g	62.222 g
Peso de frasco lleno	88.879 g	99.436 g	78.394 g
Peso de aceite	26.18 g	37.343 g	16.172 g
Rendimiento	0.1745	0.2489	0.1078

Tabla 2.*Características Fisicoquímicas en T1*

Tratamiento	A11	A12	A13
Características Fisicoquímicas	Valor	Valor	Valor
Ph	5.8	5.4	5.7
Densidad relative	0.889	0.882	0.887
Índice de refracción	1.487	1.483	1.484
Índice de acidez	2.217	2.221	2.198
Índice de saponificación	6.754	6.756	6.748
Índice de éster	4.537	4.535	4.550

Tabla 3.*Compuestos volátiles en T1*

Tratamiento	A11	A12	A13
Compuestos volátiles	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
α -citral (Geranial)	45.54	41.5	39.50
β -citral (Neral)	33.78	37.34	27.40
β -mirceno	10.84	8.45	8.66

7.2. Secado a la sombra

Tabla 4.

Rendimiento en T2

Tratamiento	A21	A22	A23
Elemento	Peso	Peso	Peso
Materia prima	15 kg	15 kg	15 kg
Materia seca	3.84 kg	5.89 kg	6.51 kg
Peso de frasco vacío	62.206 g	61.87 g	62.827 g
Peso de frasco lleno	80.709 g	91.23 g	98.614 g
Peso de aceite	18.503 g	29.36 g	35.787 g
Rendimiento	0.1234	0.1957	0.2386

Tabla 5.*Características Fisicoquímicas en T2*

Tratamiento	A21	A22	A23
Características Fisicoquímicas	Valor	Valor	Valor
Ph	5.2	5.1	5.4
Densidad relative	0.883	0.885	0.883
Índice de refracción	1.485	1.484	1.488
Índice de acidez	2.246	2.219	2.223
Índice de saponificación	6.739	6.750	6.752
Índice de éster	4.493	4.531	4.529

Tabla 6.*Compuestos volátiles en T2*

Tratamiento	A21	A22	A23
Compuestos volátiles	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
α -citral (Geranial)	48.64	37.88	40.8
β -citral (Neral)	38.79	29.61	32.00
β -mirceno	2.57	14.23	9.45

7.3. Refrigeración

Tabla 7.

Rendimiento en T3

Tratamiento	A31	A32	A33
Elemento	Peso	Peso	Peso
Materia prima	15 kg	15 kg	15 kg
Materia seca	4.235 kg	5.31 kg	5.98 kg
Peso de frasco vacío	61.197 g	60.594 g	62.128 g
Peso de frasco lleno	92.866 g	85.426 g	81.037 g
Peso de aceite	31.669 g	24.832 g	18.909 g
Rendimiento	0.2111	0.1655	0.1261

Tabla 8.*Características Fisicoquímicas en T3*

Tratamiento	A31	A32	A33
Características Fisicoquímicas	Valor	Valor	Valor
Ph	5.6	5.5	5.5
Densidad relative	0.888	0.885	0.885
Índice de refracción	1.481	1.486	1.485
Índice de acidez	2.235	2.216	2.219
Índice de saponificación	6.752	6.760	6.758
Índice de éster	4.517	4.544	4.539

Tabla 9.**Compuestos volátiles en T3**

Tratamiento	A31	A32	A33
Compuestos volátiles	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
α -citral (Geranial)	35.43	43.68	46.23
β -citral (Neral)	35.84	32.45	30.15
β -mirceno	5.63	4.54	6.23

Tabla 10.

Prueba de Tukey en Rendimiento

(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-,00878889	,04758437	,981	-,1547908	,1372130
	3	,00952222	,04758437	,978	-,1364797	,1555241
2	1	,00878889	,04758437	,981	-,1372130	,1547908
	3	,01831111	,04758437	,923	-,1276908	,1643130
3	1	-,00952222	,04758437	,978	-,1555241	,1364797
	2	-,01831111	,04758437	,923	-,1643130	,1276908

Tabla 11.

Prueba de Tukey en pH

(I) TRATAMIENT OS	(J) TRATAMIENT OS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	,40000000*	,12472191	,042	,0173189	,7826811
	3	,10000000	,12472191	,716	-,2826811	,4826811
2	1	-,40000000*	,12472191	,042	-,7826811	-,0173189
	3	-,30000000	,12472191	,115	-,6826811	,0826811
3	1	-,10000000	,12472191	,716	-,4826811	,2826811
	2	,30000000	,12472191	,115	-,0826811	,6826811

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 12.

Prueba de Tukey en Densidad Relativa

(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	,00233333	,00214303	,554	-,0042421	,0089087
	3	,00066667	,00214303	,949	-,0059087	,0072421
2	1	-,00233333	,00214303	,554	-,0089087	,0042421
	3	-,00166667	,00214303	,729	-,0082421	,0049087
3	1	-,00066667	,00214303	,949	-,0072421	,0059087
	2	,00166667	,00214303	,729	-,0049087	,0082421

Tabla 13.*Prueba de Tukey en Índice de Refracción*

(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-,00100000	,00186587	,857	-,0067250	,0047250
	3	,00066667	,00186587	,933	-,0050583	,0063917
2	1	,00100000	,00186587	,857	-,0047250	,0067250
	3	,00166667	,00186587	,664	-,0040583	,0073917
3	1	-,00066667	,00186587	,933	-,0063917	,0050583
	2	-,00166667	,00186587	,664	-,0073917	,0040583

Tabla 14.*Prueba de Tukey en Índice de Ácidez*

(I)	(J)	Diferencia		Sig.	Intervalo de confianza al	
					95%	
TRATAMIENTOS	TRATAMIENTOS	de medias (I-J)	Desv. Error		Límite inferior	Límite superior
1	2	-,01733333	,01019441	,280	-,0486126	,0139459
	3	-,01133333	,01019441	,542	-,0426126	,0199459
2	1	,01733333	,01019441	,280	-,0139459	,0486126
	3	,00600000	,01019441	,831	-,0252792	,0372792
3	1	,01133333	,01019441	,542	-,0199459	,0426126
	2	-,00600000	,01019441	,831	-,0372792	,0252792

Tabla 15.

Prueba de Tukey en Índice de Saponificación

(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
					1	2
	3	-,00400000	,00431191	,644	-,0172301	,0092301
2	1	-,00566667	,00431191	,439	-,0188968	,0075635
	3	-,00966667	,00431191	,142	-,0228968	,0035635
3	1	,00400000	,00431191	,644	-,0092301	,0172301
	2	,00966667	,00431191	,142	-,0035635	,0228968

Tabla 16.

Prueba de Tukey en Índice de Ester

(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-,26000000	4,00822211	,998	-12,5583261	12,0383261
	3	,40000000	4,00822211	,995	-11,8983261	12,6983261
2	1	,26000000	4,00822211	,998	-12,0383261	12,5583261
	3	,66000000	4,00822211	,985	-11,6383261	12,9583261
3	1	-,40000000	4,00822211	,995	-12,6983261	11,8983261
	2	-,66000000	4,00822211	,985	-12,9583261	11,6383261

Tabla 17.

Prueba de Tukey en α -Citral

(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-,26000000	4,00822211	,998	-12,5583261	12,0383261
	3	,40000000	4,00822211	,995	-11,8983261	12,6983261
2	1	,26000000	4,00822211	,998	-12,0383261	12,5583261
	3	,66000000	4,00822211	,985	-11,6383261	12,9583261
3	1	-,40000000	4,00822211	,995	-12,6983261	11,8983261
	2	-,66000000	4,00822211	,985	-12,9583261	11,6383261

Tabla 18.

Prueba de Tukey en β -Citral

(I) TRATAMIEN TOS	(J) TRATAMIEN TOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-,62666667	3,5351588	,983	-11,4735048	10,2201715
	3	,02666667	3,5351588	1,000	-10,8201715	10,8735048
2	1	,62666667	3,5351588	,983	-10,2201715	11,4735048
	3	,65333333	3,5351588	,981	-10,1935048	11,5001715
3	1	-,02666667	3,5351588	1,000	-10,8735048	10,8201715
	2	-,65333333	3,5351588	,981	-11,5001715	10,1935048

Tabla 19.

Prueba de Tukey en β -Mirceno

(I) TRATAMIEN TOS	(J) TRATAMIEN TOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	,56666667	2,9702924	,980	-8,5470061	9,6803395
	3	3,18333333	2,9702924	,564	-5,9303395	12,2970061
2	1	-,56666667	2,9702924	,980	-9,6803395	8,5470061
	3	2,61666667	2,9702924	,671	-6,4970061	11,7303395
3	1	-3,18333333	2,9702924	,564	-12,2970061	5,9303395
	2	-2,61666667	2,9702924	,671	-11,7303395	6,4970061

Figura 1.

Curva de destilación de A11

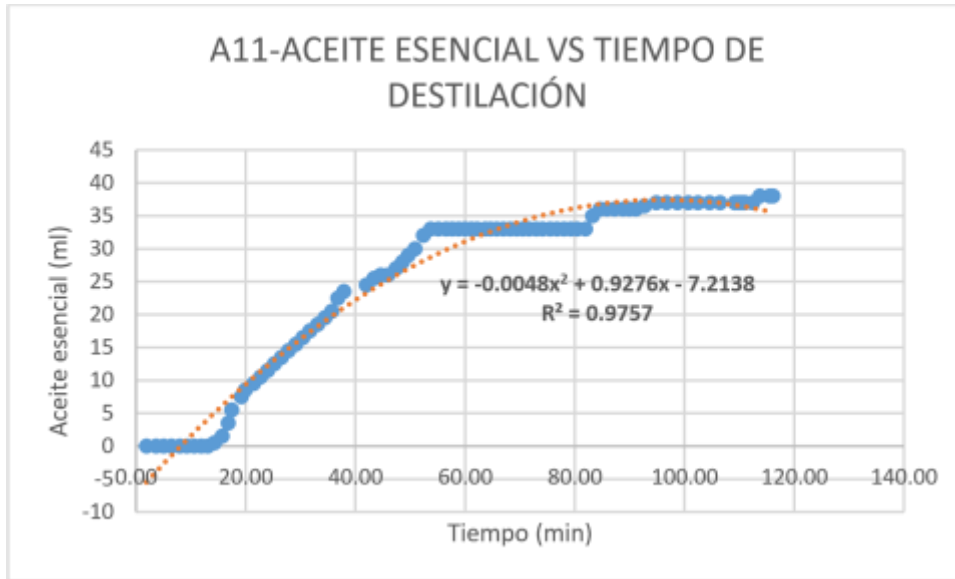


Figura 2.

Curva de destilación de A12



Figura 3.

Curva de destilación de A13

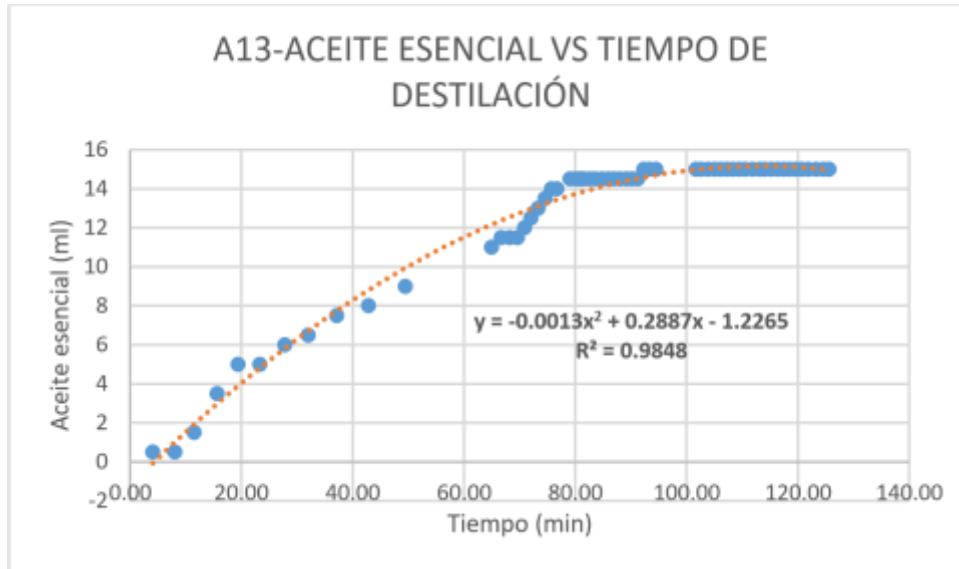


Figura 4.

Curva de destilación de A21

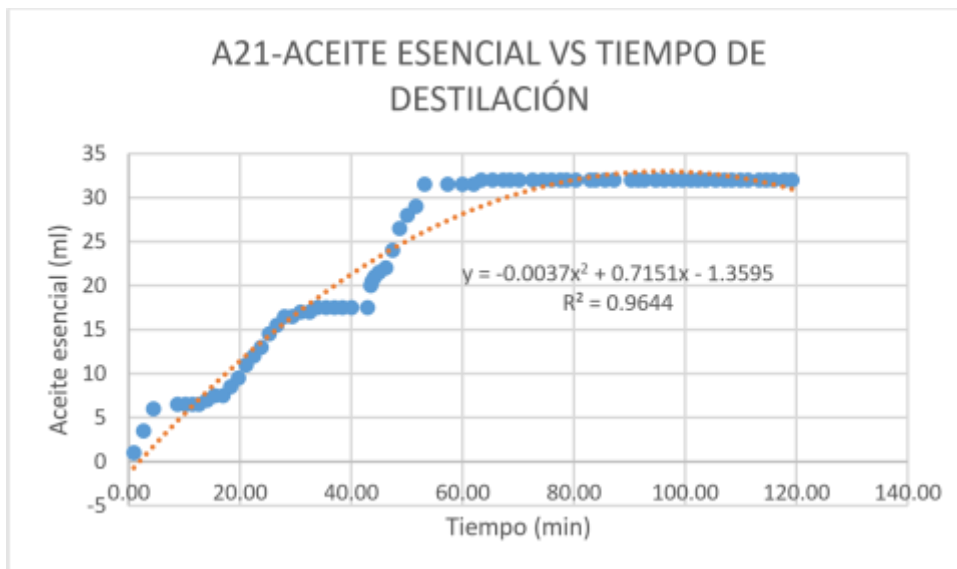


Figura 5.

Curva de destilación de A22

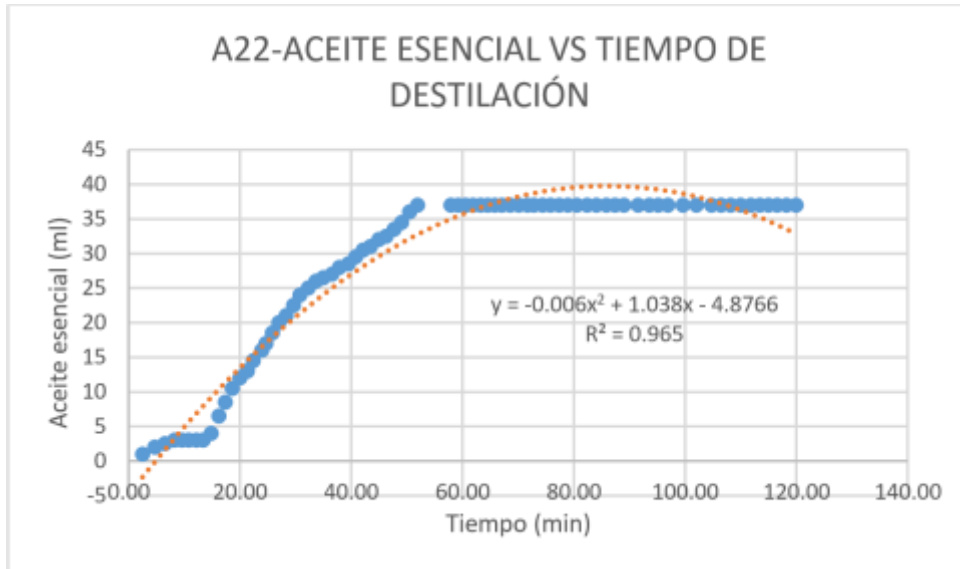


Figura 6.

Curva de destilación de A23

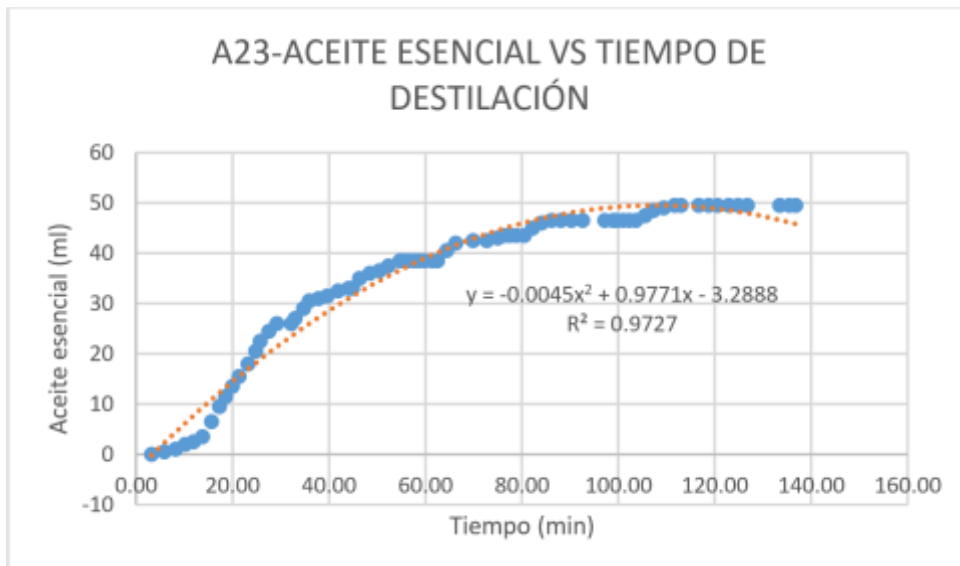


Figura 7.

Curva de destilación de A32

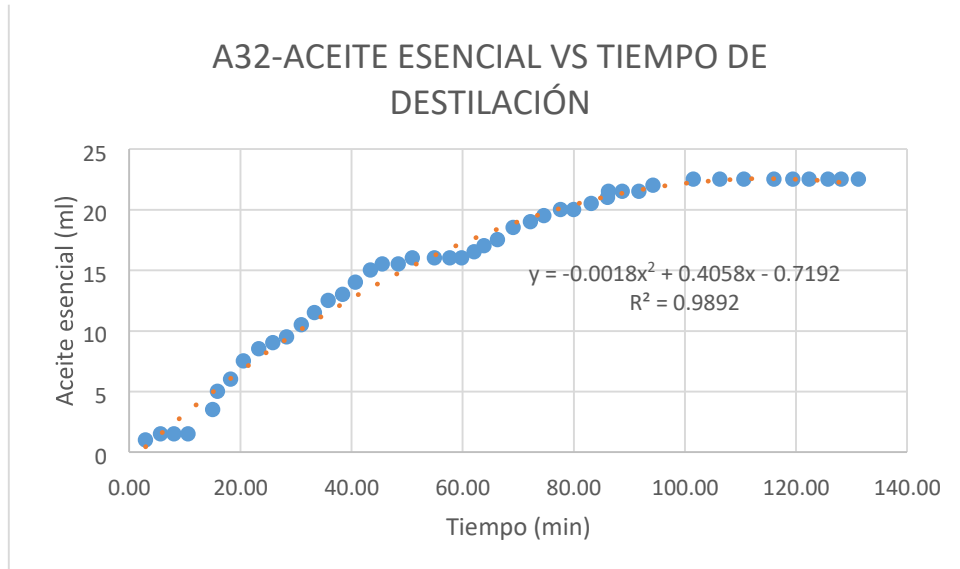


Figura 8.

Media de Rendimientos

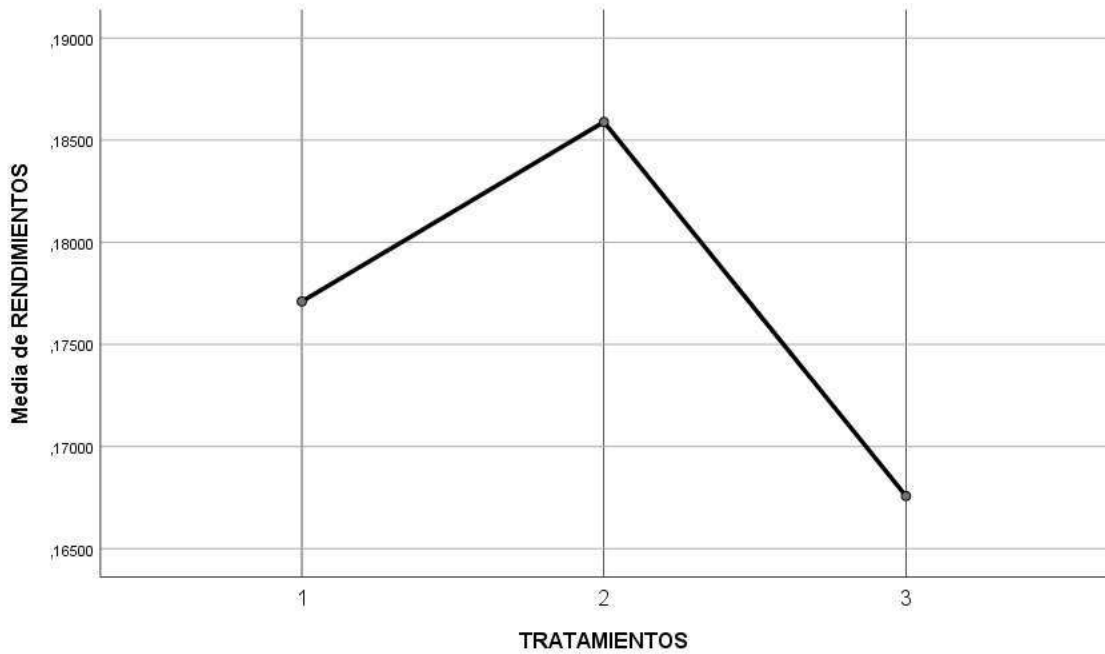


Figura 9.

Media de pH

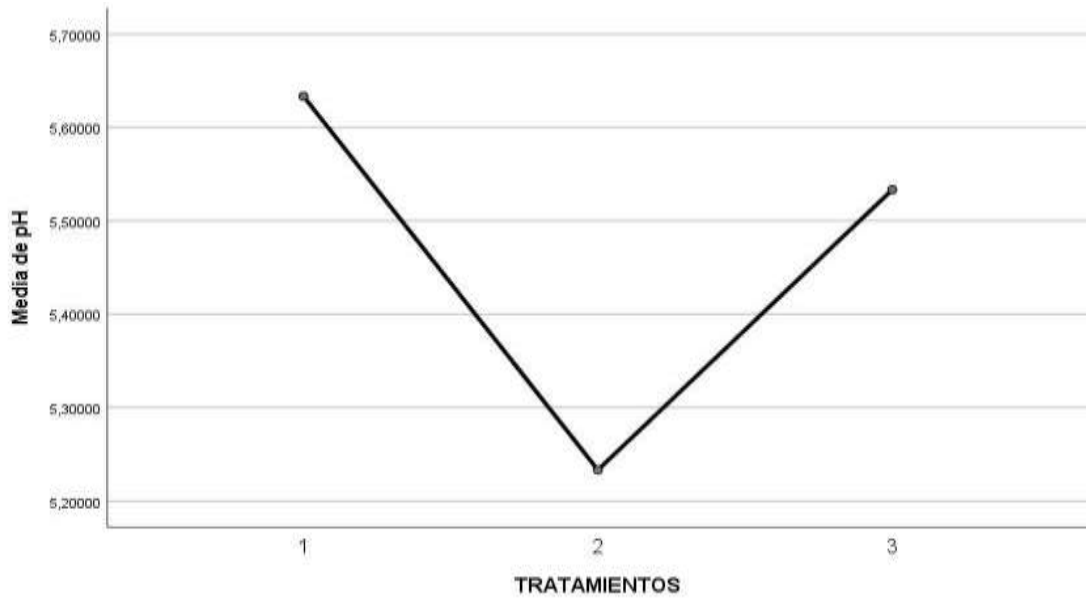


Figura 10.

Media de Densidad Relativa

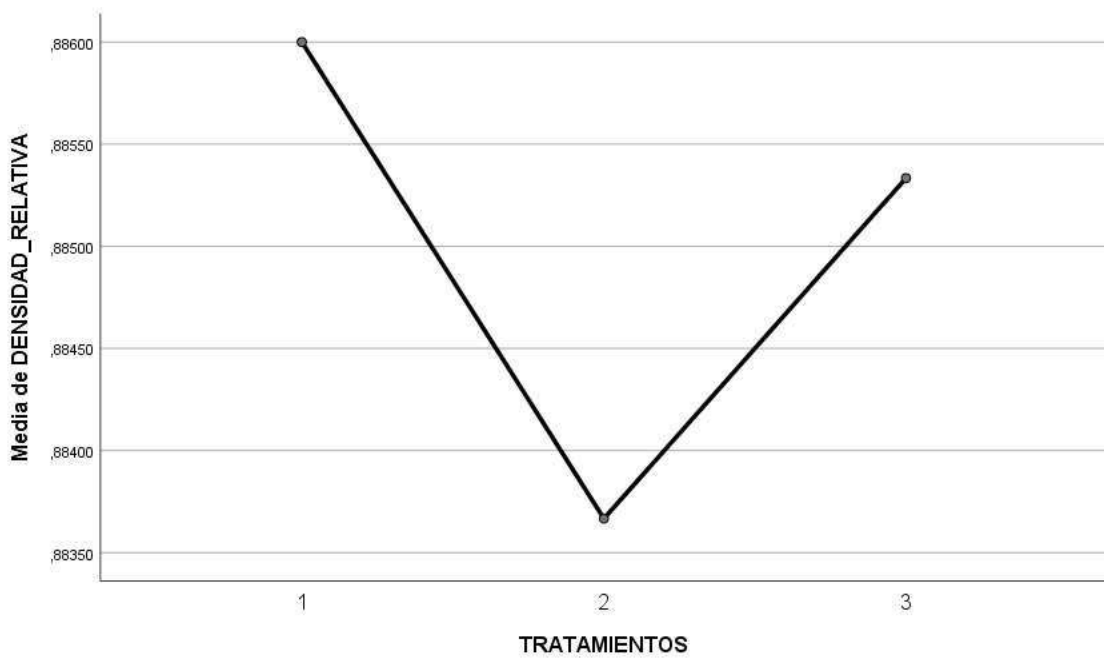


Figura 11.

Media de Densidad Relativa

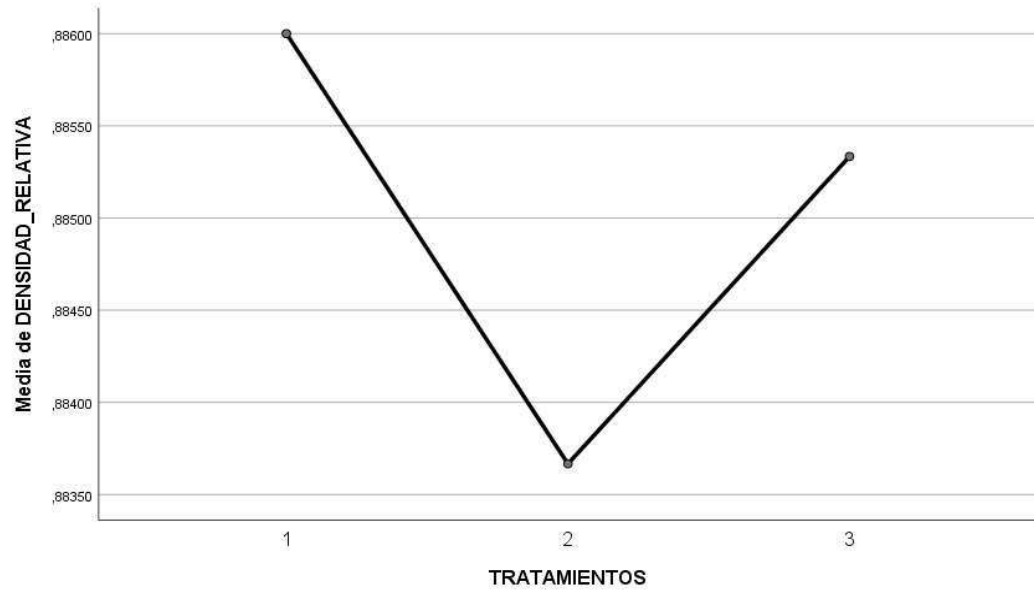


Figura 12.

Media de Índice de Refracción

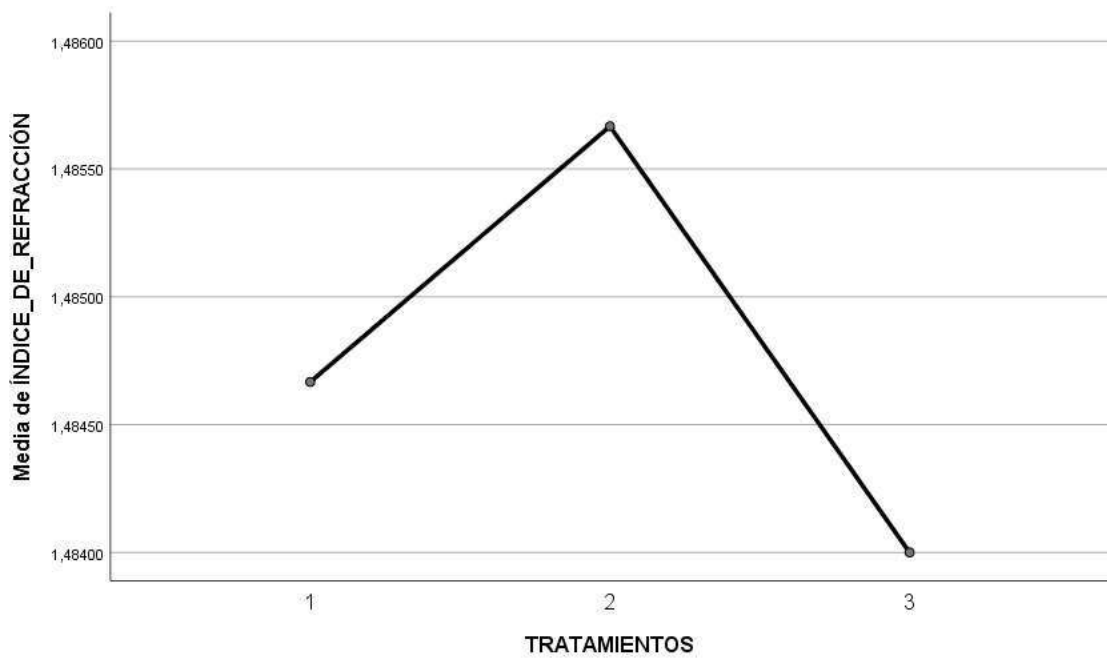


Figura 13.

-Media de Índice de Acidez

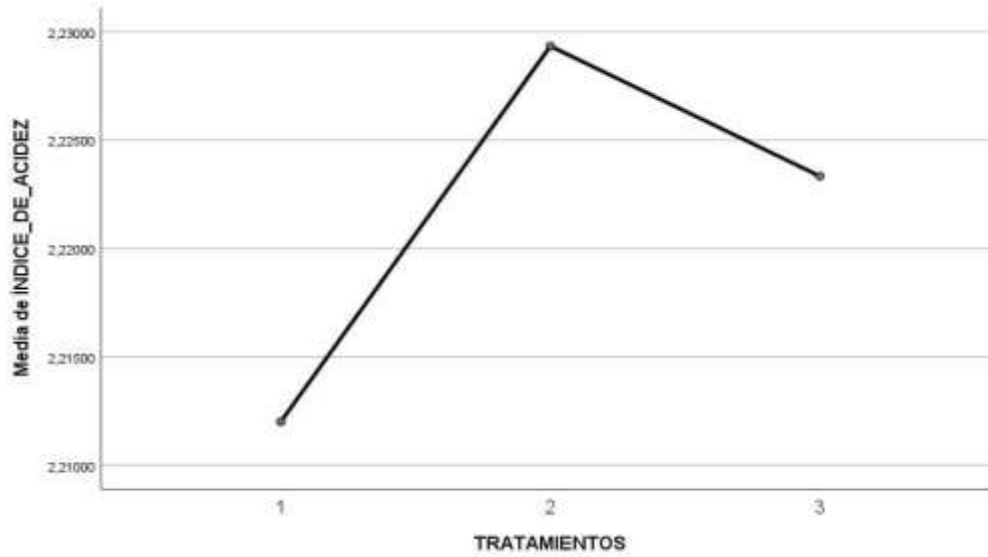


Figura 14.

Media de Índice de Saponificación

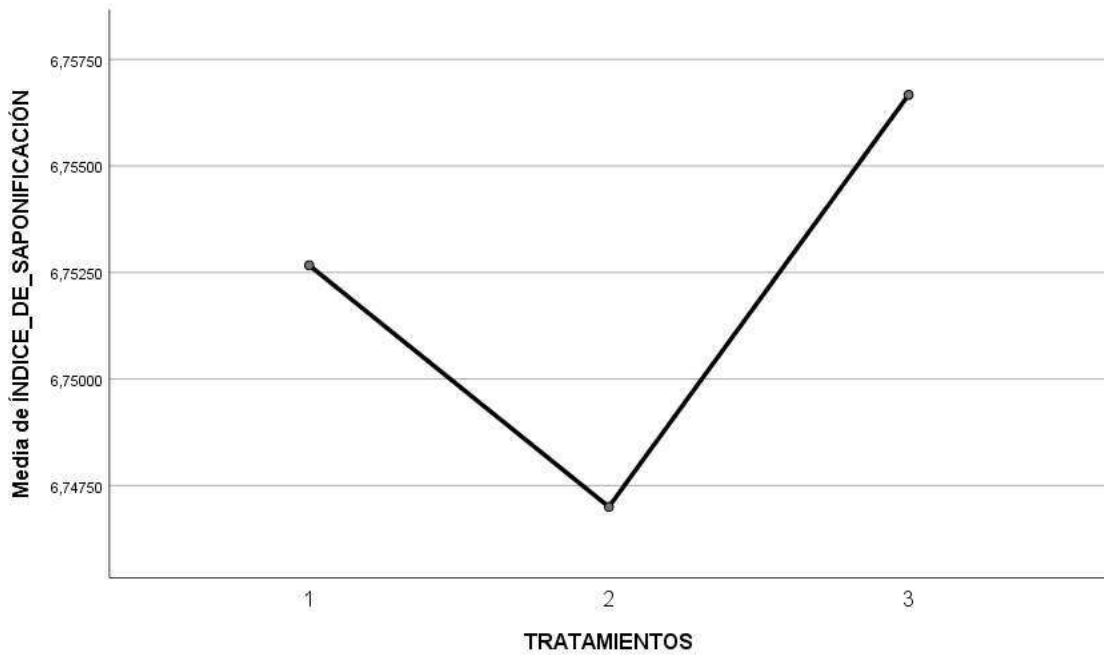


Figura 15.

Media de Índice de Éster

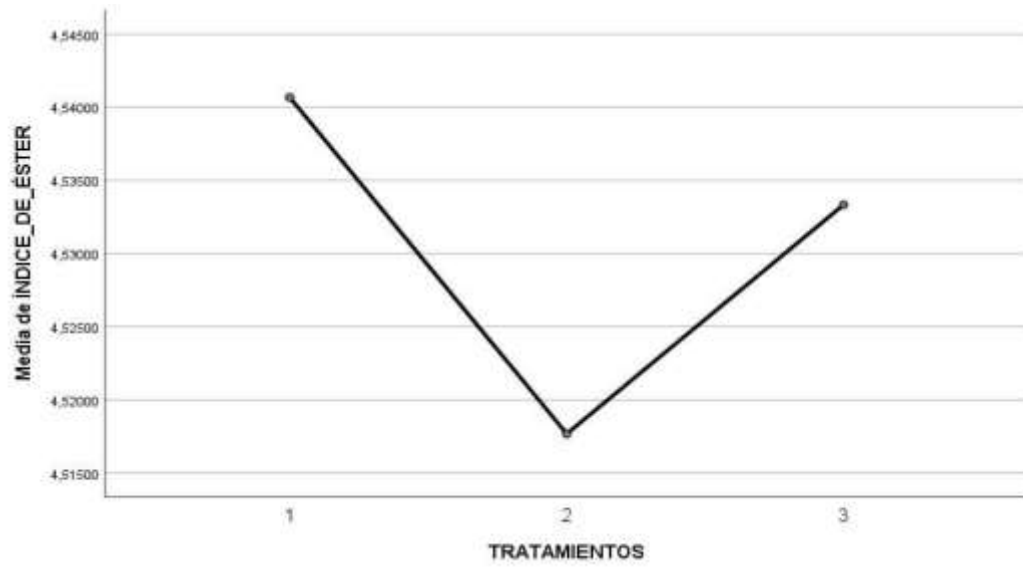


Figura 16.

Media de Índice de α -Citral

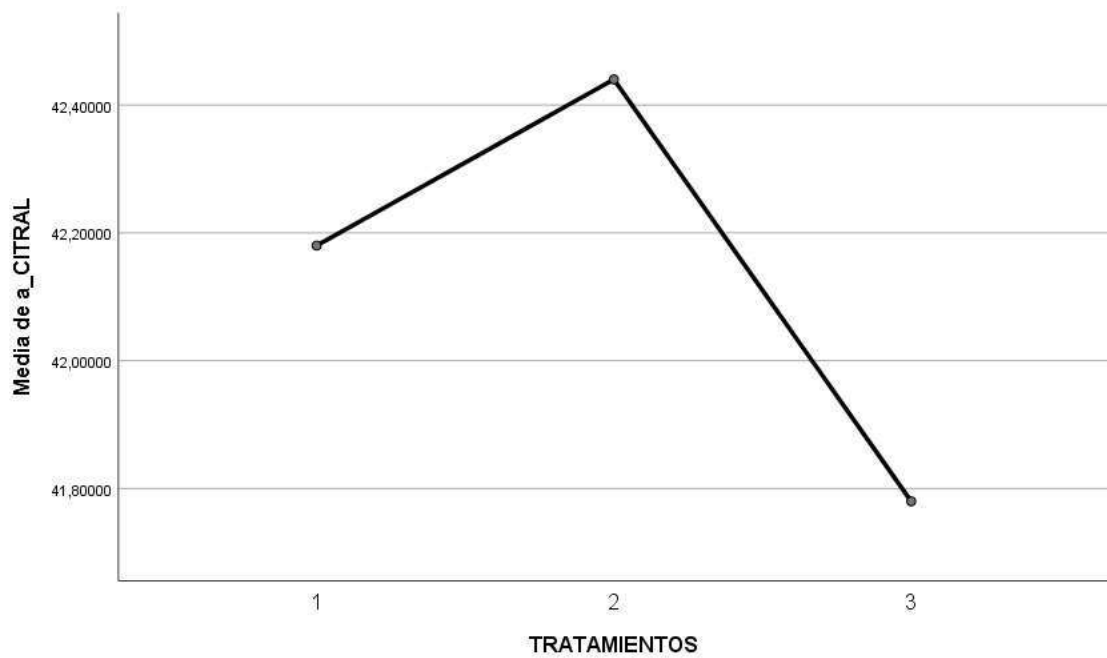


Figura 17.

Media de Índice de β -Citral

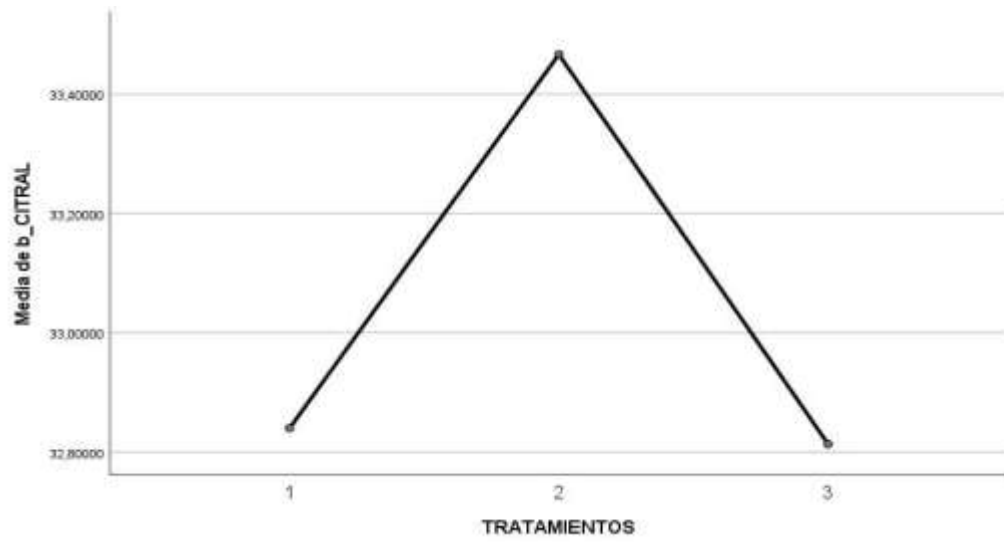


Figura 18.

Media de Índice de β -Mirceno

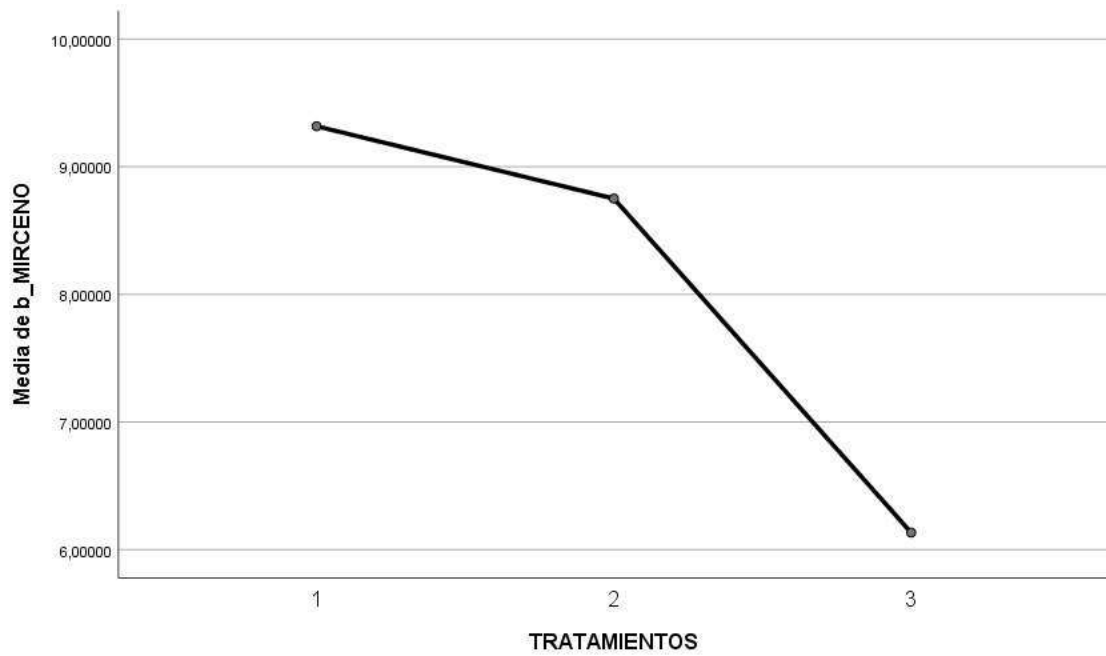


Figura 19.

Resultados de compuestos volátiles

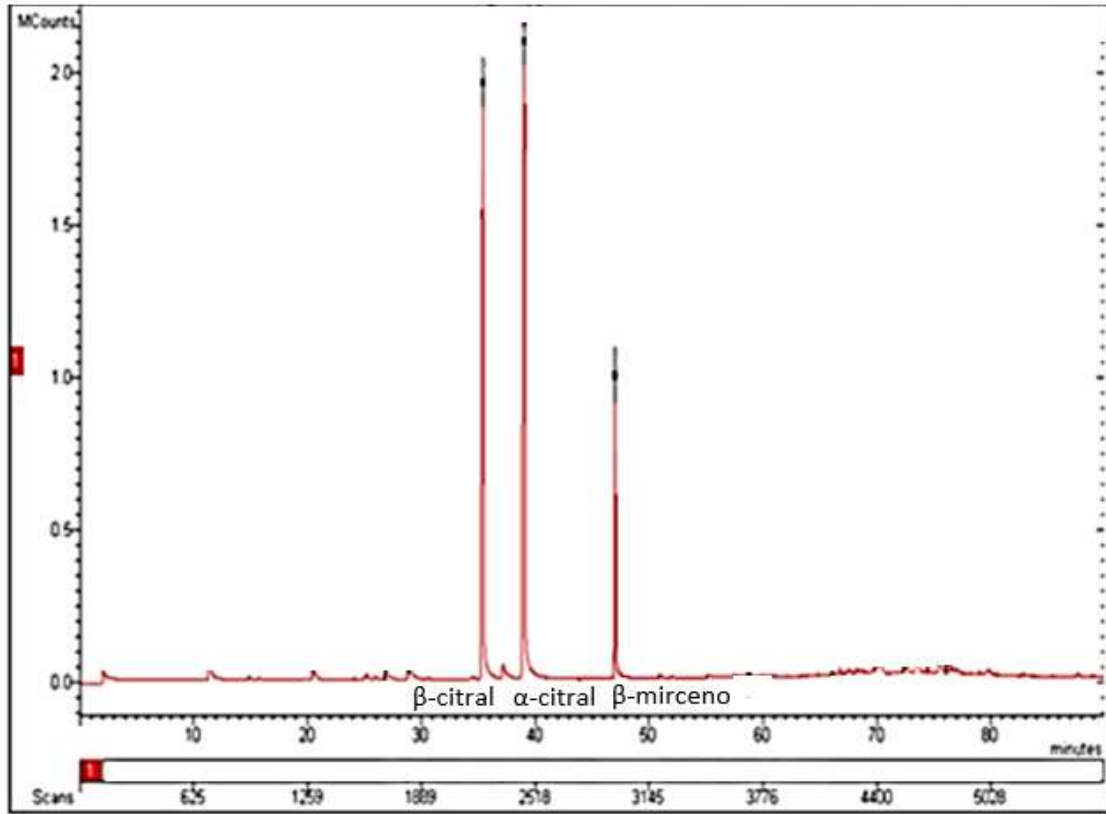


Figura 20.

Pesado de materia prima



Figura 21.

Secado solar



Figura 22.

Secado en sombra



Figura 23.

Refrigeración



Figura 24.

Equipo destilador de arrastre con vapor de agua



Figura 25.

Corte de hierbaluisa



Figura 26.

Evaporador con materia prima



Figura 27.

Salida de condensador



Figura 28.

Pera de decantación con aceite esencial

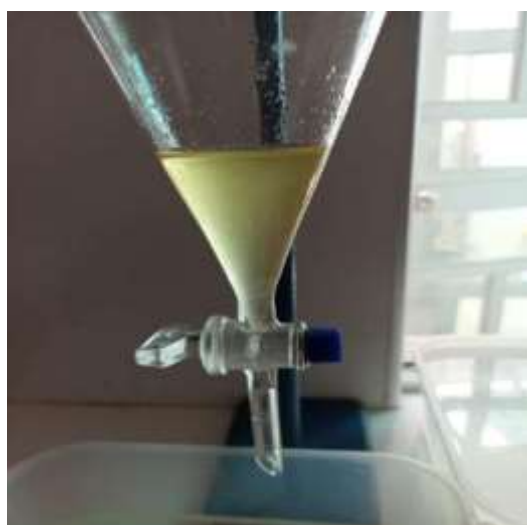


Figura 29.

Decantación de aceite y agua



Figura 30.

Pesado de Muestras



Efecto del método de secado en las características fisicoquímicas, rendimiento y composición volátil del aceite esencial de hierbaluisa (*Cymbopon citratus*)

por Torres Pérez Luis Gerardo Y Aguilar Tello Juan David

Fecha de entrega: 19-ago-2023 12:24p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2148000878

Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS_TORRES_AGUILAR.pdf (2.06M)

Total de palabras: 13633

Total de caracteres: 82205

9	idoc.pub Fuente de Internet	1 %
10	biblioteca.usac.edu.gt Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
12	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
13	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	1library.co Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
17	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
19	inta.gob.ar Fuente de Internet	<1 %

20	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	cwww.intechopen.com Fuente de Internet	<1 %
24	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
25	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Bocconi University Trabajo del estudiante	<1 %
27	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
29	read.bookcreator.com Fuente de Internet	<1 %
30	www.wto.org Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

32	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
33	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
34	mriuc.bc.uc.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
37	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
38	MARCELA FERRÁNDIZ GARCÍA. "Encapsulación de aceites esenciales funcionales para su aplicación en agricultura", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	<1 %
39	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo