

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

JUNIOR JHASIRO AGUILAR SERNA

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICAS Y QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE HINOJO (*Foeniculum vulgare Miller*) POR LOS MÉTODOS DE ARRASTRE DE VAPOR Y SOXHLET.

ASESOR:

Ing. TAIPE PARDO, Fredy

Co-ASESOR:

Mg. HUARACA APARCO, Rosa

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

ANDAHUAYLAS - APURIMAC - PERÚ

2019



APROBACIÓN DEL ASESOR

Quién suscribe:

Magíster, Ingeniero en Industrias Alimentarias, Fredy Taipe Pardo. Por lo presente:

CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, Junior Jhasiro Aguilar Serna ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICAS Y QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE HINOJO (*Foeniculum vulgare Miller*) POR LOS MÉTODOS DE ARRASTRE DE VAPOR Y SOXHLET." para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 04 de diciembre del 2019.

Mg. Ing. Fredy Taipe Pardo
Asesor

Br. Junior Jhasiro Aguilar Serna
Tesista



APROBACIÓN DEL CO-ASESOR

Quién suscribe:

Magíster, Ingeniería Agroindustria, Rosa Huaraca Aparco. Por lo presente:

CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, Junior Jhasiro Aguilar Serna ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICAS Y QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE HINOJO (*Foeniculum vulgare Miller*) POR LOS MÉTODOS DE ARRASTRE DE VAPOR Y SOXHLET." para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 04 de diciembre del 2019.


Mg. Ing. Rosa Huaraca Aparco

Co-Asesor


Br. Junior Jhasiro Aguilar Serna

Tesista



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Junior Jhasiro Aguilar Serna, identificado con DNI N° 71490784 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Declaro bajo juramento que el informe final Titulado: tesis "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICAS Y QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE HINOJO (*Foeniculum vulgare Miller*) POR LOS MÉTODOS DE ARRASTRE DE VAPOR Y SOXHLET." Es auténtico y no vulnera los derechos de autor. Además, su contenido es de entera responsabilidad del autor del proyecto, quedando la UNAJMA exenta de toda responsabilidad en caso de atentar contra la Ley de propiedad intelectual y derechos de autor.

Andahuaylas, 04 de diciembre del 2019.


.....
Firma: Junior Jhasiro Aguilar Serna
N° DNI: 71490784
E-mail: jhasiro-16-94@hotmail.com
N° Celular: 977858623



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACION
DE TESIS

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 14:00 horas del día jueves 28 de noviembre del año 2019, se reunieron los docentes: MSc. Fidelia Tapia Tadeo, MSc. David Choque Quispe, Mg. Celia Rocio Yauris Silvera, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE HINOJO (*FOENICULUM VULGARE MILLER*) POR LOS MÉTODOS DE ARRASTRE DE VAPOR Y SOXHLET", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial JUNIOR JHASIRO AGUILAR SERNA, el asesor Ing. Fredy Taipe Pardo y la Co-asesora Mg. Rosa Huaraca Aparco con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ: APROBAR** por **UNANIMIDAD** al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial JUNIOR JHASIRO AGUILAR SERNA, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
17	DIEZ SISIETE	MUY BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Presidente del Jurado Evaluador

MSc. David Choque Quispe
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Mg. Celia Rocio Yauris Silvera
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

LA TESIS: "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICAS Y QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE HINOJO (*Foeniculum vulgare Miller*) POR LOS MÉTODOS DE ARRASTRE DE VAPOR Y SOXHLET." para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: MSc. Ing. Fidelia Tapia Tadeo

PRIMER MIEMBRO: MSc. Ing. David Choque Quispe

SEGUNDO MIEMBRO: Mg. Ing. Celia Roció Yauris Silvera

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD/MAYORIA, en la ciudad de Andahuaylas el día 28 del mes de noviembre de 2019

Andahuaylas, 04 de diciembre del 2019.

Ing. MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Presidente del Jurado Evaluador

Ing. MSc. David Choque Quispe
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Ing. Mg. Celia Roció Yauris Silvera
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Con mucho amor y gratitud a mis queridos padres Elías y Cirila, por darme una carrera profesional para mi futuro y por creer en mí, por su comprensión, cariño, apoyo moral y económico durante mi formación profesional.

A los hermanos comuneros de Andarapa por brindarme la facilidad para obtener la muestra e información necesaria del hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller).

AGRADECIMIENTO

A Dios gracias por cada detalle y momento durante la ejecución de mi trabajo de investigación, por cada día de darme salud, fuerzas y empeño, por cada avance por cada experiencia nueva en mi vida.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), de la Universidad Nacional José María Arguedas por haberme compartido sus conocimientos y ser parte de mi formación académica, de manera especial, al Ing. Fredy Taípe Pardo y a la Mg. Rosa Huaraca Aparco Asesores del presente trabajo de investigación quienes con su paciencia, orientación y sugerencias han guiado el presente trabajo.

A mis padres por brindarme el apoyo incondicional, gracias por darme fuerzas y moral en esta etapa de mi vida.

Gracias a mis amigos y amigas, Ing. Herson Danny Arone Palomino, Ing. Evelyn Aguilar Chocquetay, Br. Jilber Mesco Cruz, Br. Abelardo Yanahuilca Vargas. Que siempre confiaron en mí en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL ASESOR	I
APROBACIÓN DEL CO-ASESOR	II
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD	III
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	IV
APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
ABREVIATURAS Y SIMBOLOS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRAC	XV
CHUMASQA	XVI
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes de la investigación	2
1.2 Justificación de la investigación	4
1.3 Problemas de la investigación	5
1.4 Hipótesis de la investigación	5
1.5 Variables de la investigación	6
1.6 Objetivos de la investigación	6
CAPITULO 2. MARCOEÓRICO	7
2.1 Bases teóricas	7
2.1.1 Hinojo (<i>Foeniculum vulgare Miller</i>).....	7
2.1.2 Características entomológicas.....	9
2.1.3 Aceites esenciales.....	9
2.2 Características y composición físicas, químicas del aceite esencial	11
2.2.1 Características físicas más comunes a evaluar	11
2.2.2 Características y composición química de los aceites esenciales.....	15
2.2.3 Método de extracción de aceites esenciales.....	17
2.2.4 Clasificación de los aceites esenciales	19
2.2.5 Rendimiento de los aceites esenciales	20
2.2.6 Factores que afectan la calidad de los aceites esenciales	21
2.3 Marco conceptual	21
2.3.1 Aceites esenciales.....	21
2.3.2 Extracción por arrastre de vapor.....	21
2.3.3 Extracción por método soxhlet.....	22
2.3.4 Características de los aceites esenciales	22
2.3.5 Características físicas de los aceites esenciales	22
2.3.6 Características químicas de los aceites esenciales	22

CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOLOGIA.....	23
3.1 Lugar de ejecución	23
3.2 Poblacion y muestra	23
3.2.1 Población.....	23
3.2.2 Muestra	23
3.3 Materiales, instrumentos y equipos.....	24
3.4 Tipo de investigación	26
3.5 Métodos de análisis	26
3.5.1 Obtención del aceite esencial	26
3.5.2 Descripción de la extracción de aceite esencial del hinojo por el método de arrastre de vapor	26
3.5.3 Procesos de operación del equipo de arrastre de vapor	29
3.5.4 Descripción de la extracción de aceite esencial del hinojo por el método de soxhlet.....	30
3.5.5 Procesos de operación del equipo soxhlet.....	33
3.5.6 Determinación del rendimiento	34
3.5.7 Determinación de las características físicas del aceite esencial	34
3.5.8 Análisis químico del aceite esencial.....	34
3.6 Diseño experimental	35
3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	35
CAPITULO 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 Rendimiento de extracción del aceite esencial.	37
4.2 Resultados de las características físicas	38
4.2.1 Densidad del aceite esencial de hinojo	38
4.2.2 Viscosidad del aceite esencial de hinojo.....	40
4.2.3 Índice de refracción del aceite esencial de hinojo	42
4.2.4 Solubilidad en etanol del aceite esencial de hinojo.....	44
4.3 Resultados de las características químicas del aceite esencial de hinojo.....	46
4.3.1 Índice de saponificación del aceite esencial de hinojo	46
4.3.2 Índice de ester	47
4.3.3 Índice de acidez.....	49
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Propiedades físicas de algunos aceites esenciales.....	15
TABLA 2. Propiedades químicas del aceite esencial de las plantas.....	16
TABLA 3. Rendimiento del aceite esencial extraídos de las hojas de algunas especies por el método de arrastre de vapor.	20
TABLA 4. Materiales equipos para el desarrollo de la investigación.....	24
TABLA 5. Diseño experimental de la investigación.....	35
TABLA 6. Tabla de anova bifactorial.....	36
TABLA 7. Rendimiento de la extracción del aceite esencial de hinojo.....	37
TABLA 8. Resultados de la densidad.	39
TABLA 9. Resultados de la viscosidad.....	41
TABLA 10. Resultados del índice de refracción.....	42
TABLA 11. Resultados de la solubilidad en etanol.....	44
TABLA 12. Resultados del índice de saponificación.....	46
TABLA 13. Resultados del índice de ester.	48
TABLA 14. Resultados del índice de acidez.....	49
TABLA 15. Cuadro comparativo de resultados.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Viscosímetro de tubo en U.....	13
FIGURA 2. Método de extracción de aceites esenciales.....	17
FIGURA 3. Diagrama del flujo de obtención del aceite esencial por el método de arrastre de vapor.....	28
FIGURA 4. Equipo de extracción por arrastre de vapor.	29
FIGURA 5. Diagrama del flujo de obtención del aceite esencial por el método soxhlet.	32
FIGURA 6. Extractor soxhlet.....	33
FIGURA 7. Medias para el rendimiento de extracción del aceite esencial.....	37
FIGURA 10. Diagnóstico de medias de la densidad del aceite esencial	39
FIGURA 11. Diagnóstico de medias de la viscosidad del aceite esencial	41
FIGURA 12. Diagnóstico de medias del índice de refracción del aceite esencial.	43
FIGURA 13. Diagnóstico de medias de la solubilidad en etanol del aceite esencial.....	44
FIGURA 14. Diagnóstico de medias del índice de saponificación del aceite esencial.....	47
FIGURA 15. Diagnóstico de medias del índice de ester del aceite esencial....	48
FIGURA 16. Diagnóstico de medias del índice de acidez del aceite esencial .	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS 1. Densidad.....	60
ANEXOS 2. Viscosidad.....	60
ANEXOS 3. Índice de refracción	61
ANEXOS 4. Solubilidad en etanol	61
ANEXOS 5. Índice de saponificación	62
ANEXOS 6. Índice de éster.....	63
ANEXOS 7. Índice de acidez	63
ANEXOS 8. Determinación del volumen y tiempo de extracción del aceite esencial de hinojo por el método de arrastre de vapor.....	64
ANEXOS 9. Determinación del rendimiento del aceite esencial de hinojo por el método de arrastre de vapor.....	65
ANEXOS 10. Determinación del rendimiento del aceite esencial de hinojo por el método de soxhlet.....	66
ANEXOS 11. Determinación de la humedad de la muestra de hinojo	66
ANEXOS 12. Determinación de la densidad del aceite esencial de hinojo.....	66
ANEXOS 13. Determinación de la viscosidad del aceite esencial de hinojo....	67
ANEXOS 14. Determinación del índice de refracción.....	67
ANEXOS 15. Determinación del índice de solubilidad en etanol.....	68
ANEXOS 16. Determinación del índice de saponificación (I.S).....	68
ANEXOS 17. Determinación del índice de ester	69
ANEXOS 18. Determinación del índice acidez (I.A)	69
ANEXOS 19. Datos estadísticos del rendimiento de aceite esencial.....	70
ANEXOS 20. Datos estadísticos de la densidad de aceite esencial.....	71
ANEXOS 21. Datos estadísticos de la viscosidad de aceite esencial.....	73
ANEXOS 22. Datos estadísticos del índice de refracción de aceite esencial. .	74
ANEXOS 23. Datos estadísticos de la solubilidad en etanol de aceite esencial.	76
ANEXOS 24. Datos estadísticos del índice de saponificación del aceite esencial.	77
ANEXOS 25. Datos estadísticos del índice de ester de aceite esencial.....	79
ANEXOS 26. Datos estadísticos del índice de acidez de aceite esencial.....	80
ANEXOS 27. Anexos fotográficos.....	82

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

‰: Por ciento

P: Porcentaje de rendimiento de la extracción

°C: Grados Celsius

Kg: kilo gramos

g: gramos

L: litros

ml: mililitros

ρ : Densidad

η : Viscosidad

I.E.: índice de éster

I.A: índice de acidez

I.S: índice de saponificación

S.E: solubilidad en etanol

I.R: índice de refracción

NTP: Norma Técnica Peruana

DBCA: diseño en bloques completos al azar

ISO: internacional estándar Organization

AFNOR: Association Francaise de Normalisation

RESUMEN

El hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) es una planta aromática que contiene aceite esencial conocido también como la esencia de la planta, siendo usado tanto como condimentos y fines medicinales. La presente investigación tuvo como objetivo determinar el rendimiento, características físicas y químicas del aceite esencial de hinojo por los métodos de arrastre de vapor y soxhlet, para lo cual el hinojo fue sometido a operaciones de clasificación, lavado, desojado y pesado, realizado en los laboratorios de química y de procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad José María Arguedas. La extracción del aceite esencial fue realizada por las metodologías de arrastre de vapor y soxhlet, las características físicas y químicas fue determinadas mediante las Normas técnicas peruanas evaluándose la densidad (ρ), viscosidad (η), índice de refracción (IR), solubilidad en etanol (S.E), índice de saponificación (I.S), índice de ester (I.E) y índice de acidez (I.A). por otra parte, los datos reportados fueron evaluados a través del análisis de varianza de ANOVA, tes de LSD de Fisher con un nivel de confianza del 95 %. A su vez el porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de hinojo por arrastre de vapor fue 0.25% (v/m), 5.92% (v/m) por soxhlet. Asimismo, la densidad, viscosidad, índice de refracción, solubilidad en etanol, índice de saponificación índice de ester y índice de acidez del aceite esencial extraído por arrastre de vapor fueron de 0.93g/ml, 1.39 cP, 1.51, 4.17 ml, 6.58 mg de KOH/g, 6.00 mg de KOH/g, 0.59 mg de NaOH/g. mientras que por el extraído por el método de soxhlet fueron de 0.95 g/ml, 2.17 cP, 1.5, 27.17 ml, 6.53 mg de KOH/g, 6.09 mg de KOH/g, 0.51 mg de NaOH/g.

Palabras claves. Extracción, arrastre de vapor, soxhlet, solventes, físicas, químicas, rendimiento.

ABSTRAC

Fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) is an aromatic plant that contains essential oil also known as the essence of the plant, being used both as condiments and medicinal purposes. The purpose of this research was to determine the performance, physical and chemical characteristics of fennel essential oil by steam and soxhlet dragging methods, for which the fennel was subjected to sorting, washing, dulling and weighing operations, carried out in the laboratories of chemistry and agroindustrial processes of the Professional School of Agroindustrial Engineering of the José María Arguedas University. The extraction of the essential oil was carried out by the steam and soxhlet drag methodologies, the physical and chemical characteristics were determined by the Peruvian Technical Standards evaluating the density (ρ), viscosity (η), refractive index (IR), solubility in ethanol (SE), saponification index (IS), ester index (IE) and acidity index (IA). on the other hand, the reported data were evaluated through the analysis of variance of ANOVA, Fisher's LSD tes with a 95% confidence level. In turn, the percentage of extraction performance of fennel essential oil by steam entrainment was 0.25% (v / m), 5.92% (v / m) per soxhlet. Likewise, the density, viscosity, refractive index, ethanol solubility, saponification index ester index and acidity index of the essential oil extracted by steam entrainment were 0.93g / ml, 1.39 cP, 1.51, 4.17 ml, 6.58 mg of KOH / g, 6.00 mg of KOH / g, 0.59 mg of NaOH / g. while for the one extracted by the soxhlet method they were 0.95 g / ml, 2.17 cP, 1.5, 27.17 ml, 6.53 mg of KOH / g, 6.09 mg of KOH / g, 0.51 mg of NaOH / g.

Keywords. Extraction, steam entrainment, soxhlet, solvents, physical, chemical, performance.

CHUMASQA

Kay miski sachá hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) o paqa kan sumaq wiswin, kikin sachamanta, tupachinapaq ima qispin, ampipaqima. Kay maskaypa tariyninwan yachasunchik imaynan físicas y químicas qawayninkuna tarikun hinojupa. Inallataq urqkun kay vapor y soxhlet nisqawan. Kay hinojo churakun rakisqaman, taksasqaman, rakisqaman inallataq llasaynin ruwakun hatun Yachaywasi Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad José María Arguedas laboratorio ukupi. Kay wiswi urqkun churapakuy qachisqa vapor y soxhlet nisqawan qawaynin kuna física, química kamachikun normas técnicas peruanas chaninchay densidad (ρ), viscosidad (η), índice de refracción (IR), solubilidad en etanol (S.E), índice de saponificación (I.S), índice de ester (I.E) y índice de acidez (I.A). kay kuna chaninchakun análisis de varianza de ANOVA, tes de LSD de Fisher con un nivel de confianza del 95 %. kay wiswiynin hinojupa tarikun taytaynin achkan kay arrastre de vapor 0.25% (v/m), 5.92% (v/m) por soxhlet. Inallatay chuyaynin, achkan, índice de refracción, solubilidad en etanol, índice de saponificación índice de ester y índice de acidez del aceite esencial extraído por arrastre de vapor chaynan 0.93g/ml, 1.39 cP, 1.51, 4.17 ml, 6.58 mg de KOH/g, 6.00 mg de KOH/g, 0.59 mg de NOH/g. urqusqan kay método de soxhlet chaynan de 0.95 g/ml, 2.17 cP, 1.5, 27.17 ml, 6.53 mg de NaOH/g, 6.09 mg de KOH/g, 0.51 mg de NaOH/g nisqawan.

Chaninchasqa rimaykuna: urqusqa, arrastre de vapor, soxhlet, solventes, físicas, químicas, kallpachakuq nisqamanta.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

En Apurímac existen diversas plantas aromáticas nativas silvestres, que han sido utilizados en la medicina andina. Estas plantas aromáticas contienen aceites esenciales, que son sustancias odoríferas de naturaleza oleosa, son muy numerosos y están ampliamente distribuidos en distintas partes del vegetal: en las raíces, tallos, hojas, flores y frutos.

El hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) ha sido cultivado desde tiempos inmemoriales, siendo usado tanto como condimentos como fines medicinales por los chinos, los indios y los egipcios. Se emplea como aperitivo, estomacal, diurético, digestivo carminativo, oxigénico, expectorante suave, vulnerario, estimulante de la circulación anti flatulento y para aliviar cólicos en los niños. (Ryman, 1995).

Se realizó la extracción del aceite esencial de hinojo por el método de arrastre de vapor, a diferentes presiones (5,10,15) psi y por el método de soxhlet utilizando como solvente éter de petróleo y el etanol, así mismo determinando el % de rendimiento. Finalmente, se hizo la caracterización por medio de pruebas físicas (densidad, viscosidad, índice de refracción y solubilidad en etanol). Así mismo las características químicas: (índice de saponificación, índice de ester e índice de acidez).

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el rendimiento, características físicas y químicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y Soxhlet.

Dentro de los objetivos específicos que busca el presente trabajo de investigación se encuentran determinar el rendimiento de aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y Soxhlet. Así mismo analizar las características físicas (densidad, índice de refracción, viscosidad, solubilidad en etanol) de aceite esencial del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*). A su vez analizar las características químicas (índice de saponificación, índice de ester e índice de acidez) de aceite esencial del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*).

1.1 Antecedentes de la investigación

Marlon *et al.* (2003), evaluaron el rendimiento de aceite esencial de hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) procedente de dos niveles altitudinales de Guatemala. Utilizaron dos métodos de extracción, a nivel planta piloto por medio de arrastre con vapor y a nivel de laboratorio por medio de un Neoclevenger, los porcentajes de aceite esencial obtenidos de los distintos niveles altitudinales del departamento de Huehuetenango a una altitud de 2000msnm obtuvo el rendimiento en un promedio de 1.514 %, mientras que a la altitud de 2400 msnm obtuvo el rendimiento en un promedio de 1.518 %

García *et al.* (2017), evaluaron la extracción del aceite esencial de cedrón (*Aloysia triphylla*) por el método de fluidos supercríticos y arrastre con vapor en la región Arequipa. Determino el rendimiento por los métodos de fluidos supercríticos (CO_2) donde determino el mayor rendimiento en las hojas del cedrón de 37.9 % y por el método de arrastre de vapor obtuvo un mayor rendimiento de 25.6% de hojas grandes de cedrón, seguido de las hojas medianas de 12.4 %, en un menor rendimiento el cedrón en inflorescencia alcanzando un 10.6%. En tercer lugar, se realizó el análisis fisicoquímico al aceite esencial de cedrón, presentando una densidad relativa 0.92 g/mL, solubilidad 96 %, índice de refracción 1.490.

Valverde *et al.* (2011), evaluaron la extracción y caracterización del aceite esencial del romero (*Rosmarinus officinalis*) por el método de arrastre de vapor obtenida en estado fresco y secado convencional. Determinó el rendimiento de aceite esencial del romero secado al medio ambiente de 0.981% y de la muestra en fresco de 0.6114%. Con respecto a la caracterización fisicoquímica del aceite esencial del romero determino en el estado fresco lo siguiente: acidez de 0,060, pH 6,7 y el índice de saponificación es de 0,304, para el secado a medio ambiente del romero fue lo siguiente: acidez de 0,075, pH 6,43 y el índice de saponificación es de 0,305 el índice de peróxidos es de 0.166 para ambos casos.

Stanciuc *et al.* (2013), evaluaron la extracción y caracterización de aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinalis*). Determino dentro de las características de los rizomas del jengibre de humedad de 79% y 1,7% de cenizas. Para una buena extracción del aceite esencial, ha sido necesario un secado previo de los rizomas a la temperatura de 30 °C de 4 a 5 días, así como una molienda adecuada para obtener un mejor rendimiento. El rendimiento de aceite esencial se obtuvo de 0,5%. Las características físicas de aceite son: Densidad 0,876 g/cm³, índice de refracción 1,4588, soluble en alcohol. El análisis del aceite por espectroscopia de IR y UV indica la presencia de sesquiterpenos, siendo zingibereno el principal componente.

Valencia *et al.* (2018), evaluó el método de extracción de aceite esencial de la semilla de moringa (*Moringa oleífera*). Utilizaron tres métodos para la obtención del aceite esencial; extracción por Soxhlet, arrastre de vapor y prensa manual. El método más efectivo para la extracción de aceite esencial de la semilla de *Moringa oleífera Lam* es por el método Soxhlet con un alto rendimiento del 55.1%. en seguido por el método de extracción de arrastre de vapor con un rendimiento de 37.5% y el método de extracción de prensa con un rendimiento de 17.5%. densidad de las muestras obtenidas en promedio de 0.9 g/ml.

Camacho *et al.* (2011), evaluaron las caracterización fisicoquímica del aceite esencial de la muña (*Minthostachys setosa*) y su estudio antibacteriano la extracción del aceite esencial lo llevó a cabo empleando el método por arrastre de vapor con un rendimiento promedio de 1.062%, una densidad relativa de promedio 0.9398g/ml, índice de refracción en promedio de 1.4757, Solubilidad del aceite esencial de muña en etanol 13ml, Residuo por evaporación promedio del aceite esencial de muña 83.5 %, Determinación del índice de ester promedio aceite esencial de muña 3.6 ml, Determinación del índice de acidez promedio aceite esencial de muña 0.4 ml,

1.2 Justificación de la investigación

En las comunidades campesinas de nuestro país las plantas medicinales vienen siendo utilizadas de manera tradicional. En especial la hierba aromática de hinojo la cual se consume en mate, ensaladas y en alimentos, por sus propiedades entre ellas digestivas, diuréticas, bronquiales, antiinflamatorios y antioxidantes (Bruneton, 1993, p.510). y no teniendo en cuenta que las hierbas aromáticas constituyen la principal fuente de aceite esencial, los cuales tienen gran importancia al ser insumos de numerosas industrias como la industria alimentaria, farmacéutica, la industria de productos de limpieza, en perfumería, etc.; si bien existen algunos aceites esenciales que no pueden ser usados a escala industrial,

La extracción de aceite esencial de hinojo mediante los métodos por arrastre a vapor y soxhlet, en su caracterización física y química permiten el conocimiento de cómo afectan cada uno de los métodos sobre las características como: el rendimiento, densidad, viscosidad, índice de refracción, solubilidad en etanol índice de saponificación, índice de ester e índice de acidez, teniendo en cuenta que los aceites esenciales poseen una composición compleja y con una alta probabilidad de sufrir modificaciones fisicoquímicas por reacciones entre sus propios constituyentes o mediante los medios que se utilizan para su obtención del aceite esencial. (Montoya, 2010, p.29).

La presente investigación en la extracción y caracterización física, química del aceite esencial del hinojo, nos permite contribuir con la industria de aceites esenciales y tener como materia prima para los diversos productos en la industria del Perú.

1.3 Problemas de la investigación

Problema general

- ¿Cómo influye los métodos de extracción de arrastre de vapor y soxhlet en el rendimiento, características físicas y químicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*)?

Problemas específicos

- ¿Cuál es el rendimiento de aceite esencial del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y soxhlet?
- ¿Cómo es la influencia de los métodos de extracción por arrastre de vapor y Soxhlet en las características físicas del aceite esencial del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*)?
- ¿En qué medida varían las características químicas del aceite esencial del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y soxhlet?

1.4 Hipótesis de la investigación

Hipótesis general

- Los métodos de extracción de arrastre de vapor y soxhlet muestran un incremento en el rendimiento, características físicas y químicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*).

Hipótesis específicas

- Los métodos de extracción de arrastre de vapor y soxhlet presentan incremento en el rendimiento de extracción del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*).
- El método de extracción de arrastre de vapor presenta mejores características físicas frente al método de extracción por soxhlet del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*).
- El método de extracción de arrastre de vapor presenta mejores características químicas frente al método de extracción por soxhlet del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*).

1.5 Variables de la investigación

Varíales independientes

M1: extracción por arrastre de vapor a presiones de 5, 10 y 15 psi.

M2: extracción por soxhlet con solventes de éter de petróleo y etanol.

Variable dependiente

Rendimiento

Características: Físicas (densidad, viscosidad, índice de refracción y solubilidad en etanol).

Características Químicas: (índice de saponificación, índice de ester y índice de acides).

1.6 Objetivos de la investigación

Objetivo general

- Evaluar el rendimiento, características físicas y químicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y soxhlet.

Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y soxhlet.
- Determinar las características físicas (densidad, índice de refracción, viscosidad, solubilidad en etanol) del aceite esencial del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y soxhlet.
- Determinar las características químicas (índice de saponificación, índice de ester e índice de acidez) del aceite esencial del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante los métodos de arrastre de vapor y Soxhlet.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*)

Como el resto de las umbelíferas, el hinojo procede del sur de Europa, en especial alrededor del Mediterráneo. Ha sido climatizado en muchas otras regiones no tropicales del globo – Japón, Persia, la india y los EE.UU. prefiriendo los lugares costeros, fue introducido en el norte de Europa por los romanos, y en los EE.UU. por los primeros colonos europeos (en california se ha convertido en una mala hierba). Es planta perenne, resistente, con un plumero de hojas verdeazuladas y umbelas de flores amarillas, que dan lugar a las semillas. Uno de sus parientes, de procedencia italiana, es el hinojo de Florencia o *finoccbio*, (*f.v. dulce*). Que es anual, y del que se obtienen los gruesos tallos bulbosos adecuados para consumir con las ensaladas, además de las consabidas hojas plumosas y las semillas (Ryman, 1995).

Según Marlon (2003). Indica que en su composición del hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) se encuentran esencia, metilchavicol, aldehído anísico y algunos hidrocarburos terpénicos. El fruto de hinojo contiene, además, aceite graso, proteínas, ácidos orgánicos y flavonoides. Por lo que se refiere a la presencia de dianetol y dianisoína, con acción estrogénica.

Por otro lado, Marlon (2003). Menciona el uso de la planta de hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) siendo usado como medicina en: Galactogogo, emoliente, infarto, obstrucción de glándulas mamarias, dolores de espalda. Carminativo, antiespasmódico, aperitivo, mucolítico. Elimina gases, desarreglos digestivos, afecciones respiratorias, principalmente casos de obstrucción de las mucosas bronquiales. Antiflatulento, diuréticos, depurativo. Se recomienda para limpiar la sangre, aumentar la secreción láctea y reminalizar el organismo. Afecciones renales, mala digestión y afecciones del aparato respiratorio. Para expulsar lombrices y gusanos. Principalmente dolores de oídos. Digestiones difíciles, mejora la menstruación y lactancia y elimina los gases del estómago.

- **Tallo:** El tallo es estriado, brillante, que desarrolla un pequeño hueco cuando envejece.
- **Hojas:** Las hojas son mayores de 10mm, alternas, tres o cuatro veces pinnadas, de contorno conto más o menos triangular, lóbulos generalmente de 5-50 milímetros, filiformes acuminados, cartilagosos en el ápice, generalmente muy espaciados y no todos en el mismo plano. Peciolos de las hojas superiores generalmente de 3-6 cm.
- **Flor:** Las flores son pequeñas y agrupadas en inflorescencias. Estructura de la flor: Sépalos ausentes; 5 pétalos amarillos, generalmente más o menos tribulados, el lóbulo del medio es inflexo.
- **Fruto:** El fruto del hinojo dulce es un diesquizocarpo, de olor a anís muy marcado, con sabor penetrante y dulce. Número de frutos: de 4 a 10 y de 5 mm. Oblongo ovoideo, crestas laterales apenas más prominentes que la dorsal, de sabor dulce. Crece en la mayor parte de Europa, excepto en el Norte, pero probablemente solo nativa del sur y sudoeste (García, 2014, p.29).

Otros nombres comunes: Eneldo, Cilantrillo (Durango Mexico), Hierba Santa, Becho-gueza-rotextilla, xagueza-rote-castilla, Fennel (Ingles), Anni (Haiti).

Taxonomía del hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller)

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

ORDEN: Apiales

FAMILIA: Apiaceae

SUBFAMILIA: Apioideae

TRIBU: Apieae

GÉNERO: Foeniculum

ESPECIE: F. vulgare

Fuente: (Miller, 1768).

2.1.2 Características entomológicas

Paracelso (2009), médico y alquimista suizo, en el siglo XVI, dijo que el hinojo poseía unas propiedades parecidas a las del anís. Sus frutos exhalaban un olor agradable, siendo carminativos y útiles en la atonía digestiva, y estaban indicados en los cólicos nerviosos de los niños. Era considerado un buen medicamento para aumentar la secreción de leche en las mamas. La raíz se usaba como diurética y su corteza como aperitiva.

Font quer (1979), les atribuyó a los frutos machacados en infusión propiedades carminativas, aperitivas y a la raíz fresca o en infusión, propiedades diuréticas.

El hinojo es un sustituyente del fruto del anís (*Pimpinella anisum L.*) y con acción más duradera que la de éste. Los frutos entran a formar parte en diversos licores, destilados con alcohol dan un aguardiente (fenouillete) parecido al anisete.

Duke (1985), indica que las semillas se usan para dar sabor a vinagres, pan, pastas, caramelos y conservas en vinagre. Las hojas y tallos a veces se emplean para preparar ensaladas y guisos. El hinojo es un importante condimento para cocinar pescado fuerte. El aceite esencial se usa en artículos culinarios y artículos de baño. Se dice que con hinojo espolvoreado se sacaba las pulgas de perreras y establos. El aceite puede usarse para proteger las frutas y verduras contra la infección por hongos patógenos.

2.1.3 Aceites esenciales

Las plantas contienen sustancias complejas y poderosas conocidas como aceites esenciales. Son líquidos aromáticos obtenidos de los arbustos, de las flores, de los árboles, de las raíces y las semillas. Estos componentes distintivos defienden las plantas de los insectos, de las condiciones medioambientales duras y de las enfermedades. Son también vitales para que una planta crezca, viva, evolucione y se adapte a su entorno. Conocidos como la esencia de la planta, los aceites esenciales puros no solo protegen la planta, sino que también determinan su aroma.

Los aceites esenciales se han utilizado a lo largo del tiempo desde 4.500 años antes de Cristo. A través de los perfumes y los aromas agradables para embalsamar y con fines medicinales, los aceites esenciales se han utilizado en la vida diaria durante siglos. En los tiempos modernos la investigación muestra

que los aceites esenciales puros pueden aportar beneficios similares a los que aportan a las plantas a los humanos y a los animales (Busto, 2008, p.7).

Domínguez (1973), indica que en un aceite esencial es posible encontrar hidrocarburos alicíclicos y aromáticos, así como sus derivados oxigenados: alcoholes, aldehídos, cetonas, etc. Dentro de estos, podemos citar como ejemplo: el citral ($C_{10}H_{16}O$) el cual es un importante constituyente de muchos aceites esenciales, especialmente del de limón; el citronelal, que es el componente principal del aceite obtenido de la especie *Eucalyptus citriodora* o como el eudesmol, el cual, según Guenther (1948), es el principal sesquiterpeno encontrado en algunos aceites provenientes del género *Eucalyptus*, y que es empleado como fijador para ciertos perfumes.

- **Terpenos:** desde el siglo XIX se ha investigado química de aceites esenciales encontró que muchos de los compuestos responsables de los olores placenteros contenían exactamente 10 átomos de carbono, a los cuales se llamó terpenos si son hidrocarburos, terpenoides si contiene oxígeno y son alcoholes, cetonas o aldehídos (Ocampos, Ríos y Betancur, 2008, p.36).

Arteaga (1980), menciona que el olor específico de los aceites esenciales es aportado por la presencia de los compuestos oxigenados, dentro de estos es importante mencionar a los aldehídos, ya que, a pesar de encontrarse en cantidades muy pequeñas, son los que poseen un olor y aroma característico.

- **Fenilpropanoides:** otra característica de aceites esenciales son los compuestos de la naturaleza química aromática (o sea que contienen un anillo de benceno). Algunos de estos compuestos como el p-cimeno, son terpenos cíclicos aromatizados, pero la mayoría de ellos no son terpenicos. Muchos compuestos aromáticos son fenilpropanoides, es decir que están formados por el esquema del fenilpropano. Los fenilpropanoides están relacionados estructuralmente con los aminoácidos fenilalanina y tirosina, pero muchos de ellos se derivan de la ruta bioquímica del ácido shikímico. El ácido cafeico y otros compuestos son ejemplos de fenilpropanoides típicos derivados de la ruta del ácido shikímico” (Ocampos *et al.*, 2008).

Bruneton (2001), aclara que los aceites esenciales son complejas mezclas de constituyentes pertenecientes principalmente a dos grupos: terpenoides y

compuestos arénicos derivados del fenilpropano (aunque estos últimos menos frecuentes). Continúa el mismo autor diciendo que los terpenos que se encuentran en los aceites esenciales son aquellos de bajo peso molecular y, por lo tanto, más volátiles, como son los monoterpenos y sesquiterpenos. Al respecto, Valencia (1995), agrega que los monoterpenos son los compuestos cuyo punto de ebullición se encuentra entre los 140° y los 180° C mientras que en los sesquiterpenos se encuentra arriba de los 200° C. Además, menciona que los olores y aromas de las plantas se deben a dichos compuestos. Continúa el mismo autor anotando que los terpenos son la unión de dos o más unidades de isopreno, cuya forma saturada es el isopentano.

2.2 Características y composición físicas, químicas del aceite esencial

Existen características físicas como: la densidad relativa, el índice de refracción, el poder rotatorio, la miscibilidad en etanol al 70%, el punto de congelación, etc. Los estándares de calidad utilizados por los organismos nacionales e internacionales son: el ISO (internacional estándar Organization), el AFNOR (Association Francaise de Normalisation). Dichos organismos son los referentes autorizados para normalizar los productos y su derivado (Romero, 2004, p. 65).

2.2.1 Características físicas más comunes a evaluar

a. Densidad de los aceites esenciales

La densidad de una sustancia es una característica que nos indica cuánta materia hay de esa sustancia en cierto espacio. Para averiguar la densidad de una sustancia o de un objeto se divide la masa entre el volumen o espacio que ocupa esa sustancia u objeto. Usualmente se usan las unidades de g/cm^3 (Paredes, 2010, p.49).

Las densidades de los líquidos se miden por reglas generales, la relación entre la masa y el volumen determinado de líquido en un frasco de densidades o picnómetro, o bien determinado el empuje que ejerce sobre un determinado objeto sumergible introducido en el líquido (principio de Arquímedes). Pequeñas variaciones de densidad se determinan, a veces mediante la media de velocidad de ascenso o descenso de “boyas” de cuarzo de pequeño tamaño sumergidas en el líquido, que se preparan de una densidad de amplio campo de aplicación cuando se dispone de cantidad

suficiente de líquido la densidad se puede determinar en forma aproximada, por medio de los hidrómetros (Levitt, 2009, p.81).

b. Viscosidad

La facilidad con que un líquido se derrama es una indicación de su viscosidad. El aceite frío tiene una alta viscosidad y se derrama muy lentamente, mientras que el agua tiene una viscosidad relativamente baja y se derrama con bastante facilidad. Definimos la viscosidad como la propiedad de un fluido que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. La pérdida de energía debida a la fricción en un fluido que fluye se debe a su viscosidad, uno de los instrumentos de medición de la viscosidad es el viscosímetro de Ostwald (Robert, 2006, p.23).

Viscosímetro capilar. Los viscosímetros capilares de vidrio de Cannon Frenske, Ubbelohde y Ostwald son los instrumentos más populares basados en el primero de los métodos mecánicos. El conducto es un capilar cilíndrico y la fuerza que hace que el líquido fluya a través de él es su peso.

Viscosímetro de tubo Ostwald. Estos instrumentos se describen en las farmacopeas y son tema de una especificación de la International Standards Organization. Existe una gran variedad de capilares de distintos calibres y se debe seleccionar uno apropiado para conseguir un tiempo de fluido de 200s, aproximadamente; por consiguiente, para los fluidos más viscosos se emplean los viscosímetros de mayor calibre. Para los fluidos que tienen una especificación de la viscosidad en la BP, se establece el tamaño que debe usarse para determinar su viscosidad. (Michael, 2004, p.45).

En la Figura 1 se puede visualizar el instrumento; el flujo a través del capilar se produce por efecto de la gravedad. La velocidad máxima de deslizamiento, Y_m , viene dada por: Donde ρ es la densidad del fluido g es la aceleración debida a la gravedad r_c es el radio del capilar y η la viscosidad absoluta. Por consiguiente, para un fluido de 1 mPa/s de viscosidad la velocidad máxima de deslizamiento es aproximadamente $2 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ (Ecuación 1) para un fluido con una viscosidad de 1.490 mPa/s si el capilar tiene un diámetro. De 0,64 mm, pero será del orden de 10^2 s^{-1} (Ecuación 2) para un fluido con

una viscosidad de 1.490 mPa/s si el capilar tiene diámetro de 2,74 mm. (Michael, 2004, p.45).

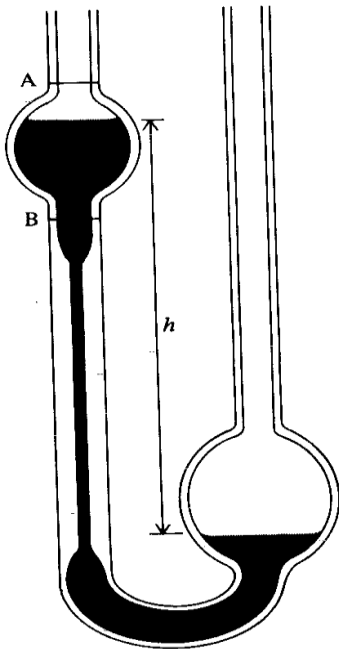


Figura 1. Viscosímetro de tubo en U

Fuente: Michael, (2004, p.46).

c. Índice de refracción

Cuando un rayo de luz pasa a través de una sustancia cambia su dirección de forma proporcional al índice de refracción de esta, de acuerdo con la ley de Snell. Este efecto se comprueba fácilmente introduciendo un lápiz en un vaso de agua observando a través del vaso vemos que el lápiz aparentemente está “partido”. Se puede determinar el índice de refracción de un aceite esencial que también es una magnitud exclusiva de cada aceite esencial y que cambia si este se diluye o mezcla con otra sustancia (Ortuño, 2006, p.100.).

El índice de refracción nos permite evaluar la pureza de los aceites esenciales lo cual es muy importante para detectar posibles adulteraciones. Generalmente oscila entre 1,43 y 1,62 a temperaturas alrededor de 20°C siendo además este un parámetro que permite revelar la presencia de sustancias extrañas (Arriola, 2003, p.14.).

Ley de la refracción

- **Primera ley** el rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano.
- **Segunda ley.** El índice de refracción a partir de dos medios es una constante independiente del ángulo de incidencia.
- **Tercera ley.** Cuando un rayo de luz pasa oblicuamente de un medio a otro de mayor densidad óptica, se desvía hacia la normal, asimismo, si un rayo de luz pasa oblicuamente de un medio a otro de menor densidad óptica, se desvía alejando de la normal (Gonzales, 2004, p.40.).

d. Solubilidad de los aceites esenciales

En cuanto a la solubilidad, básicamente son liposolubles (como su nombre lo indica son “aceites”), por lo que se disuelven bien en hexano, benceno, éter, tolueno y en aceites fijos y lípidos en general. Sin embargo, tiene una particularidad que se aprovecha profundamente en la industria de los perfumes (Graciela, Virginia, Armando y Jalena, 2015).

- **La solubilidad en etanol:** está regulada por dos factores: el porcentaje de monoterpenos presentes en el aceite esencial por un lado y la graduación alcohólica por el otro. La solubilidad en alcohol de un aceite esencial es inversamente proporcional a su contenido de monoterpenos (la esencia de trementina está compuesta casi exclusivamente por monoterpenos, por lo que es muy poco soluble o insoluble en alcoholes diluidos), y al contenido de agua en el alcohol (una misma esencia puede ser soluble en etanol 90°, pero ser poco soluble en etanol 75° e insoluble en etanol 40°). Es importante considerar además que algunos aceites esenciales contienen constituyentes que son algo aromáticas”, como el agua de rosas o el agua de lavanda (Graciela *et al.*, 2015).

Para el análisis de un aceite esencial se determina tres parámetros que son característicos y determinantes de su calidad o pureza: la densidad relativa el poder rotatorio y el índice de refracción en la siguiente tabla se muestra algunas propiedades físicas de aceites esenciales (Graciela *et al.*, 2015).

Tabla 1. Propiedades físicas de algunos aceites esenciales extraídos mediante arrastre de vapor.

Aceite esencial	Densidad (g/ml)	Índice de refracción
Naranja	0,85	1,47
Coca	0,91	1,48
Romero(seco)	0,89 / 0,93	1,48
Romero(fresco)	0,89 / 0,93	1,48
Eucalipto	1,01	1,47
Hierba luisa	0,88 / 0,9	1,48 / 1,48
Limón	0,86	1,47
Hinojo	0.99	1,55 /1,6

Fuente: Costa, (2003).

2.2.2 Características y composición química de los aceites esenciales

La composición química de los aceites esenciales es muy variada, difieren de una familia a otra, los aceites esenciales están formados principalmente por compuestos orgánicos líquidos más o menos volátiles, se encuentran compuestos de cadena abierta, cíclicos, bicíclicos, tricíclicos, así como también sus derivados oxigenados y en algunas ocasiones compuestos sulfurados (Pauli, 2001).

La tecnología de aceites y grasas nos contribuye a identificar los tipos de análisis que se requiere, para identificar la calidad de un aceite o grasa. Entre ellos tenemos:

a. El índice de saponificación

Es una medida del porcentaje de la grasa capaz de ser transformado en jabón mediante una reacción de saponificación con hidróxido potásico. El resultado se ofrece en miligramos de hidróxido potásico necesarios para saponificar 1g de grasa o aceite (Ortuño, 2006, p.101).

Es el peso en mg de KOH necesario para saponificar un gramo de grasa, este índice es menor cuanto más largo son los ácidos grasos componentes de los glicéridos de la grasa. Índice de peróxido es el primer paso hacia el enranciamiento de una grasa en su oxidación y que los primeros productos de

esta oxidación son los llamados peróxidos e hidroperóxidos. Es una forma de medir la cantidad de oxígeno asociado a esta transformación y se expresa como la cantidad de meq de O₂ por Kg de grasa (Primo, 2007, p.932).

b. Índice de ester

Índice de ester de un aceite esencial: es el número de mg de hidróxido de potasio para neutralizar los ácidos liberados por hidrolisis de los esteres contenidos en 1g de aceite esencial (Lochr, 1994, p.42).

c. El índice de acidez

El índice de acidez de un aceite o de una grasa se define como el número de miligramos de hidróxido de sodio requeridos para neutralizar la acides libere por gramo de muestra. A menudo, el resultado se expresa como el porcentaje de ácido oleico presente en la muestra.

El índice de acidez es una medida del grado de descomposición del aceite o de la grasa, por acción de las lipasas o por alguna otra causa. La descomposición se acelera por la luz y el calor: como la rancidez se acompaña, usualmente, por la formación de ácidos grasos libres, la determinación es usada con frecuencia como una indicación general de la condición y comestibilidad de los aceites y las grasas. A continuación, se muestra algunas propiedades químicas del aceite esencial (Herrera, 2003, p.28).

Tabla 2. Propiedades químicas del aceite esencial de las plantas Aromáticas.

Análisis	Cantidad (Min. -Max.)
Índice de acidez, mg KOH/g	1,0 - 4.0
Índice de peróxidos meq o ₂ /Kg	10 – 15
Índice de saponificación, mg KOH/g	0,2 – 0.3

Fuente: (García, 2002)

2.2.3 Método de extracción de aceites esenciales

Los diferentes tipos de procesos extractivos que pueden ser utilizados de acuerdo con las características de los constituyentes a extraer se presentan en el siguiente esquema. En la Figura 2 se muestra los métodos de extracción de aceites esenciales (Graciela, Virginia, Armando y Jalena, 2015).

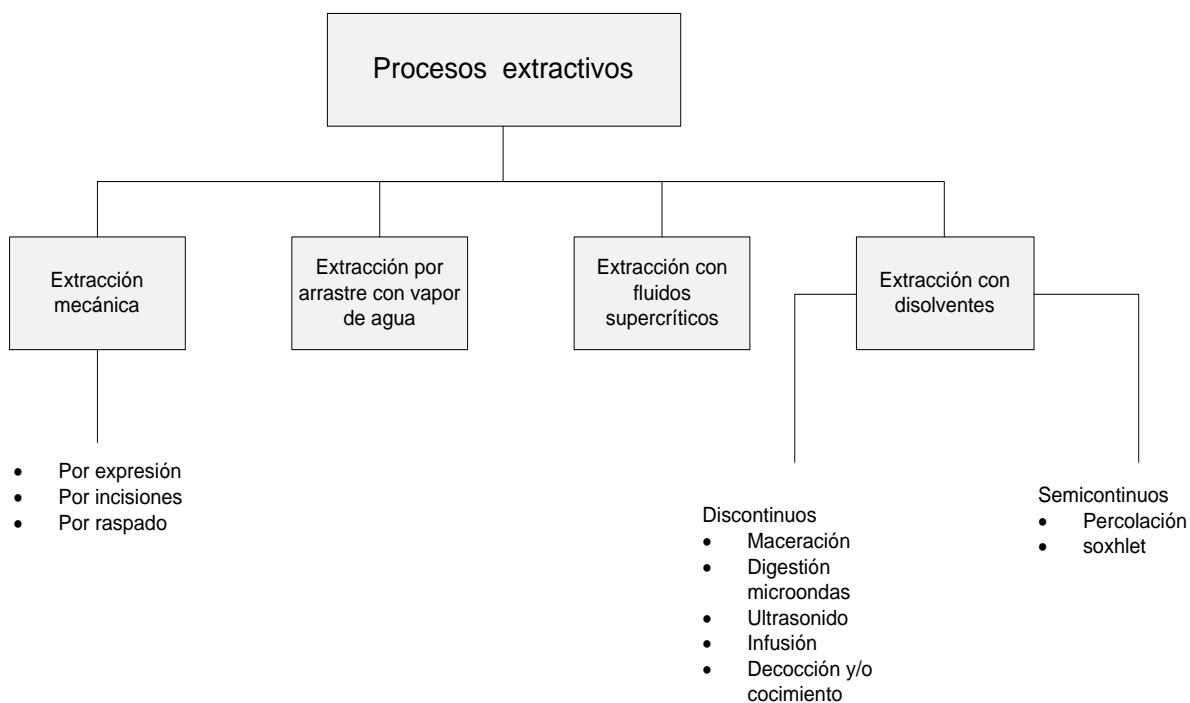


Figura 2. Método de extracción de aceites esenciales

Fuente: (Graciela *et al.*, 2015)

2.2.3.1 Extracción por arrastre con vapor de agua

El más antiguo y sencillo método para obtener aceites esenciales es la destilación por arrastre con vapor, a partir del material vegetal, lo más fresco posible. Si un líquido orgánico es insoluble en agua y tiene una presión de vapor apreciable a la temperatura de ebullición de aquella, puede destilarse arrastrándolo con vapor de agua. Este método permite la máxima difusión del vapor a través del material vegetal, reduciendo los daños que pudiesen sufrir los componentes de las esencias extraídas por otros métodos. Los aceites esenciales o simplemente esencias son sustancias volátiles e insolubles en agua por lo que pueden ser arrastrados por una corriente de vapor de agua. El equipo para realizar esta operación consta de un recipiente con agua, una cámara de

extracción y un brazo lateral colector, unido por un lado a un refrigerante y por otro al destilador propiamente dicho. El material vegetal se corta en trozos pequeños y se coloca en la cámara de extracción. Se calienta el agua hasta ebullición y se mantiene el hervor durante una hora, observándose la condensación de dos fases líquidas que posteriormente son retiradas y separadas. En las destilaciones por arrastre con vapor más comunes, la fase acuosa lleva disueltas de los principales componentes de la esencia. Para recuperarlas, se coloca esta fase acuosa en una ampolla de decantación y se extrae con hexano u otro disolvente orgánico de bajo punto de ebullición (éter etílico, dicloro metano, etc.), (Alicia, julio, Diana, Liza & Mariela y Damiana, 2008, p.50).

➤ **Factores críticos de la extracción por arrastre de vapor:**

- **Tiempo de extracción.** Pasado un tiempo ya no sale más aceite y el vapor posterior causa el arrastre por solubilidad ó emulsión del aceite, presentando una disminución en el rendimiento (arrastre desde el florentino).
- **Material del tanque.** Preferiblemente debe de ser en acero inoxidable tipo 304 Condensación interior. Se evita realizando una purga previa a los 30 minutos de iniciado el proceso y además, manteniendo el tanque bien aislado
- **Distribución interior del vapor.** Se logra colocando en el fondo del tanque, una flauta de distribución en cruz, para el vapor.
- **Eficiencia del condensador.** Puede presentarse pérdidas si sale tibio (10 %). Tiempo de residencia en el florentino sobre todo si el diámetro es muy pequeño se produce arrastre del aceite. (Della, 2010, p.42).

2.2.3.2 Extracción mediante aparato de soxhlet

Es un método de extracción continuo que se utiliza para materiales sólidos, consiste en colocar el material a extraer, previamente molido y pesado, en un cartucho de celulosa que se introduce en la cámara de extracción conectado por debajo al balón de destilación y por encima al refrigerante. El disolvente contenido en el balón se calienta a ebullición el vapor asciende por el tubo lateral y se condensa en el refrigerante descendiendo sobre el cartucho. Cuando

alcanza el nivel de sifón, el solvente regresa a el balón. El proceso se repite hasta conseguir el agotamiento deseado del material (Alicia *et al.*, 2008, p.51).

- **Solventes para la extracción de aceite esencial:** Los solventes para la extracción de aceites esenciales deben estar conforme a la legislación nacional sobre aromas y alimentos. En la mayoría de los países se permite el uso de etanol, acetona hexano y alcohol isopropílico. Con relación a su uso, los solventes colorados tienen una serie de restricciones (Montoya, 2010, p.26).

2.2.4 Clasificación de los aceites esenciales

Según Arteaga (1980), los aceites pueden clasificarse:

a) Por su composición elemental:

- ✓ Aceites pobres en oxígeno (ricos en terpenos): como el limón, eucalipto, laurel.
- ✓ Aceites ricos en oxígeno: como el de anís, menta, manzanilla, rosas.
- ✓ Aceites nitrogenados: aceite esencial de berro.
- ✓ Aceites sulfonados: como los del ajo, el de la cebolla.

b) Por su punto de ebullición:

- ✓ Fijos: llamados fijadores; tienen un punto de ebullición muy elevado. Como ejemplo tenemos el aceite esencial que se obtiene del clavo de olor.
- ✓ Persistentes: Son más volátiles que los anteriores, su acción dura e imprime un carácter especial a los perfumes. Ejemplo: aceite esencial de rosas.
- ✓ Fugaces: También llamados volátiles. Su acción dura sólo algunas horas; su peso molecular es relativamente bajo. Ejemplo: mentol, anís.

c) Por su origen:

- ✓ Naturales: se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores; debido a su rendimiento bajo son muy costosos.

- ✓ Sintéticos: Son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son, la mayoría de las veces, producidos por procesos de síntesis química.
- ✓ Artificiales: Se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno ó varios de sus componentes.

2.2.5 Rendimiento de los aceites esenciales

La producción de esencias tiene un rendimiento muy bajo, de hecho, para obtener unos gramos de esencia se necesita gran cantidad de vegetal.

Cuando se hace uso de un aceite esencial se debe tener en cuenta que se trata de un producto extractivo (obtenido por extracción directa de la planta) cuya concentración rara vez supera el 1% del peso de la planta seca. Ello significa que, si se va a emplear 1g de aceite esencial, en realidad se está empleando cerca de 100g de planta seca, lo cual represente una dosis muy considerable. La mayoría de plantas contiene de 0.01 a 10% de contenido de aceite esencial. La cantidad media que se encuentra en la mayoría de las plantas aromáticas es alrededor de 0.1 a 2% (Monotoyo, 2010, p.18).

Tabla 3. Rendimiento del aceite esencial extraídos de las hojas de algunas especies por el método de arrastre de vapor.

Especie	Rendimiento	Estado de la planta
Poleo	1,5 %	Oreada
Orégano	0,2 %	Fresca
Romero	0,6 %	Fresca
Romero	0,88 %	Seca
Albahaca	0,6 %	Fresca
Albahaca	1,11 %	Seca
Cedrón	1 %	Seca
Manzanilla	0,4 %	Flores secas

Fuente: (Bernardini, 1999).

2.2.6 Factores que afectan la calidad de los aceites esenciales

Guenther (1948), menciona que el grado de madurez de la especie utilizada es uno de los factores más influyentes en la composición del aceite esencial ya que, por ejemplo, los tejidos jóvenes, debido a su intensa síntesis, son los que mejor reflejan los efectos del ambiente. Asimismo, agrega que la localización geográfica podría afectar la composición y la cantidad del aceite y que esto se debería a la influencia de factores tales como tipo de suelo, altitud, intensidad de luz solar, precipitación y temperatura. Anota además que experimentos realizados con plantas bajo sombra y sin sombra indicaron que la luz favorece la formación de aceite.

Crop y Food Research (2001), resume los factores que pueden contribuir en las diferencias en el contenido, composición y características del aceite esencial obtenido de plantas de unas mismas especies:

- ✓ Origen geográfico de la planta.
- ✓ Factores climáticos: horas de luz solar, fotoperíodo, temperatura.
- ✓ Factores edafológicos: estructura del suelo, pH.
- ✓ Variaciones diurnas relacionadas a la actividad fotosintética.
- ✓ La parte de la planta de la cual se ha obtenido el aceite.
- ✓ Estado de madurez de la planta.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Aceites esenciales

Son mezclas complejas de sustancias que contiene los vegetales, se caracterizan por presentar un olor aromático intenso, por lo general son líquidos volátiles. Muchas son las especies que contienen y puede estar presente en todos los órganos de la planta, sus flores, corteza, semillas, raíces, hojas, tallos, etc. (Bruneto Jean,1993).

2.3.2 Extracción por arrastre de vapor

Este método permite la máxima difusión del vapor a través del material vegetal, reduciendo los daños que pudiesen sufrir los componentes del aceite esencial (Alicia *et al.*, 2008, p.50).

2.3.3 Extracción por método soxhlet

El disolvente contenido en el balón se calienta a ebullición el vapor asciende por el tubo lateral y se condensa en el refrigerante descendiendo sobre el cartucho. Cuando alcanza el nivel de sifón, el solvente regresa a el balón. El proceso se repite hasta conseguir el agotamiento deseado del material (Alicia *et al.*, 2008, p.51).

2.3.4 Características de los aceites esenciales

Cada planta posee un aroma y características propias; por tanto, cada uno de los aceites que de ella se extrae aporta actos terapéuticos diversos en el organismo. Los portadores son aceites vegetales puros y sin refinar que se utilizan para diluir los aceites esenciales utilizados en masajes o que a través de algunos compuestos entran en contacto con la piel (María y Enriqueta, 2014).

Los aceites esenciales poseen muchas características beneficios debidamente a su estructura molecular compleja y se han utilizado para tratar enfermedades físicas y psicológicas, así como para elaborar productos cosméticos (María et al, 2014).

2.3.5 Características físicas de los aceites esenciales

Las características principales que determinan el comportamiento físico del aceite esencial son: la densidad (ρ), viscosidad (η), índice de refracción (nD), solubilidad en etanol (S.E).

2.3.6 Características químicas de los aceites esenciales

Las características principales que determinan el comportamiento químico del aceite esencial son: el índice de saponificación (I.S), índice de ester (I.E) y índice de acidez (I.A).

CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOLOGIA

3.1 Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales de extracción y caracterización físicas y química del aceite esencial de hinojo (*foeniculum vulgare Miller*). Se desarrollaron en los laboratorios de Química y de Procesos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas, ubicado en el barrio de Santa Rosa del Distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas de la Región Apurímac.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población de estudio se refiere a la hierba aromática de hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*), la cuales obtuvimos de la zona alto andina del distrito de Andarapa a una altitud media de 2935 msnm de la provincia de Andahuaylas - Región Apurímac. Que se encuentran en las coordenadas de 13°42'S.73°24'O.

3.2.2 Muestra

La cantidad de muestra de hinojo para la extracción fue de 39.5 Kg, asimismo el tipo de muestreo que se realizó fue el muestreo no probabilístico, por conveniencia: donde la muestra se selecciona según un criterio de accesibilidad o comodidad.

Unidad de análisis: se utilizó 105 ml en función a la cantidad requerida por cada característica del aceite esencial de hinojo obtenido mediante dos métodos de extracción, arrastre de vapor y soxhlet, luego fue analizado en sus características físicas (densidad, viscosidad, índice de refracción y solubilidad en etanol) y Químicas (índice de saponificación, índice de ester y índice de acides), cada análisis se realizó por triplicado.

3.3 Materiales, instrumentos y equipos

Tabla 4. Materiales, equipos para el desarrollo de la investigación.

Cantidad	Materiales
06	Vaso de precipitado de 250 ml.
01	Separador florentino 100 ml.
04	Probeta de 100 ml.
01	Bureta de 50 ml.
05	Pera de decantación
01	Gradillas
01	Soporte universal
01	Pipeta
18	Frascos de color ámbar con tapa de 15 ml
3	Goteros de 5ml

Cantidad	Equipos e instrumentos
01	Equipo soxhlet
01	Equipo de extracción por arrastre de vapor
01	Balanza analítica, campo de pesado 0.1mg – 120 g.
01	pH metro digital.
01	Balanza de plataforma de 1/100 g de graduación de 50 kg de capacidad.
01	Picnómetro
01	Viscosímetro de tubo Oswald

01	pH-metro.
02	Termómetro de 0 a 200 °C.
01	Refractómetro de ABBE
01	Estufa
01	Agitador magnético

Cantidad	Materia prima
39.5 Kg	Hinojo

Cantidad	Reactivos
15 ml	Alcohol
15 ml	Hidróxido de potasio
600 ml	Éter de petróleo
600 ml	Etanol
600ml	Agua destilada
20ml	Fenolftaleína
50ml	Hidróxido de sodio
50ml	Ácido clorhídrico

3.4 Tipo de investigación

De acuerdo al fin que persigue:

- Aplicada: La materia de investigación se logró aplicando de conceptos teóricos y científicos pertinentes al tema.

De acuerdo a la técnica de contrastación:

- Experimental: durante la experimentación se manipulo las variables de estudio como: extracción por arrastre de vapor a presiones de 5, 10 y 15 psi. Y extracción por soxhlet con solventes éter de petróleo y etanol.

3.5 Métodos de análisis

3.5.1 Obtención del aceite esencial

Se realizo por dos métodos, el primero de ellos fue por arrastre de vapor equipo diseñado en la EPIA, que utiliza vapor sobresaturado y el segundo método esta referido a utilizar el equipo de soxhlet que tiene la finalidad de utilizar el método de solventes. Para el desarrollo de estas operaciones se procedió con los diagramas de flujo, mostrados en la (Figura 3 y 4.)

3.5.2 Descripción de la extracción de aceite esencial del hinojo por el método de arrastre de vapor

Los procesos de extracción de aceite esencial se muestran en la (Figura 3) del diagrama de flujo de obtención del aceite esencial por el método de arrastre de vapor.

a. Recepción del Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*)

Se mantuvo en un ambiente fresco en cajones ventilados. Para este método de arrastre de vapor se utilizó 2.5 kg de muestra por cada repetición de las cuales se cuenta con 3 repeticiones por método.

b. Clasificación

La clasificación se realizó de forma visual donde se quitó las hojas de hinojo que presentaron marchites producidos por el transporte, partículas extrañas, insectos y/o plantas ajenas al hinojo.

c. Lavado

Se lavó con agua potable, para poder eliminar partículas de tierra, polvo.

d. Desojado

Se quitaron los tallos de la materia vegetativa, teniendo una muestra de solo hojas.

e. Pesado

En los procesos anteriores que tuvieron disminución de peso se completaron a 2.5 kg de muestra de hinojo para la extraer el aceite esencial.

f. Extracción por arrastre de vapor

Se colocó la muestra dentro del extractor en seguida se cerró la tapa del extractor, se hizo circular, agua en el condensador consecutivamente se encendió el caldero para la ebullición del agua, a si pasando el vapor a la máquina extractora a las presiones de 5,10 y 15 psi. El vapor arrastro el aceite esencial que contenía el material vegetal, hacia los refrigerantes donde se condensa y se obtuvo el hidrosol (agua + aceite).

g. Decantación del aceite esencial del hinojo

En una pera de decantación se colocó el hidrosol, donde se separa el aceite esencial del agua.

h. Envasado y almacenado

Se envaso en unos frascos de color ámbar de 15 ml, de cada repetición. se almaceno en un ambiente oscuro para evitar los rayos de luz y a una temperatura que no llegue a los 25°C, para luego ser evaluado.

Se modifiko los procedimientos que realizo Valverde *et al.*, (2011). Para la extracción de aceite esencial de romero.

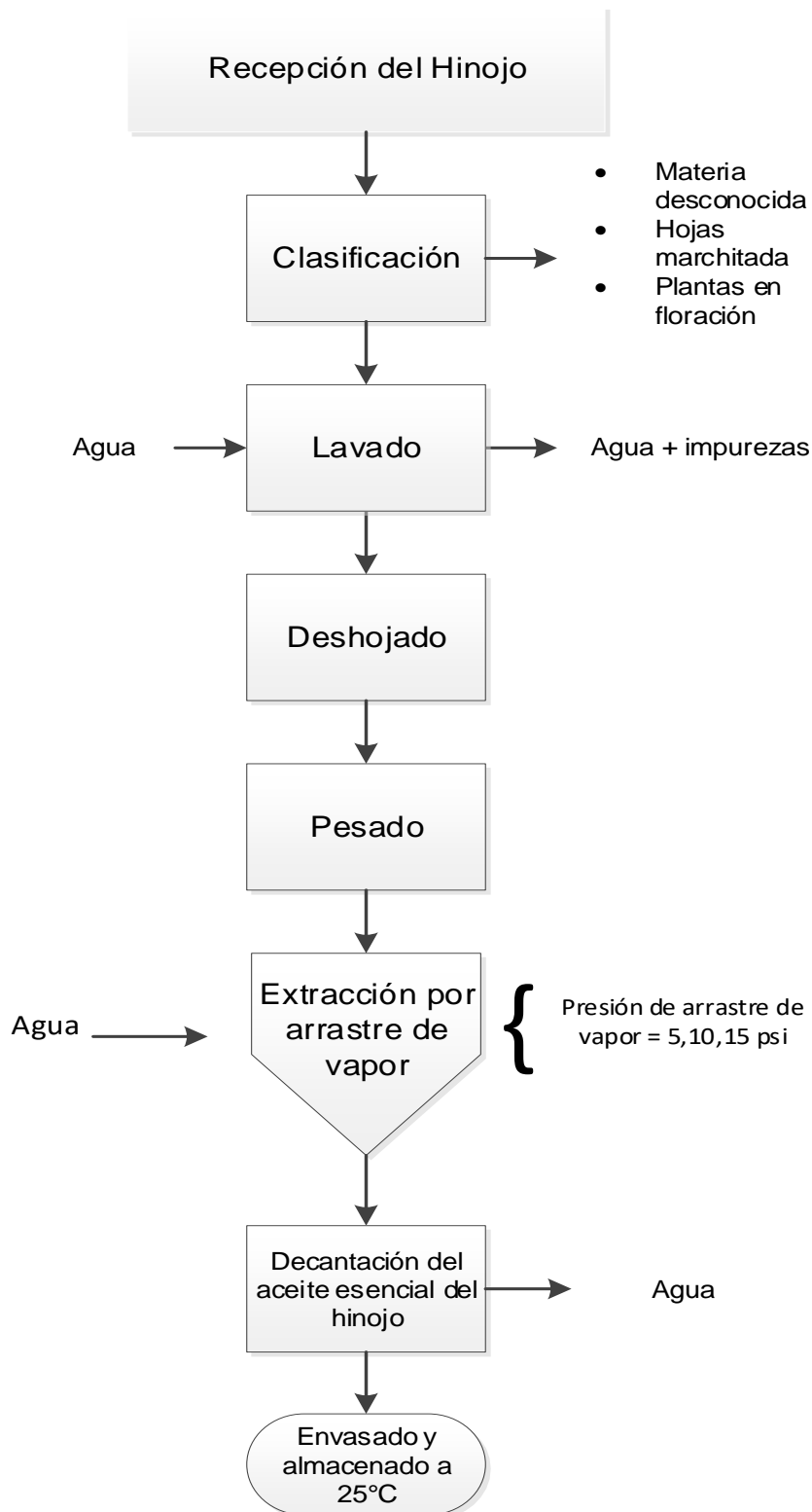


Figura 3. Diagrama del flujo de obtención del aceite esencial por el método de arrastre de vapor.

Fuente: Piedrasanta., (1997)

3.5.3 Procesos de operación del equipo de arrastre de vapor

El proceso de operación del método de arrastre a vapor, para la extracción de aceite esencial se muestra en la (Figura 4).

- a. **Fuente de energía:** Se encendió el gas a una temperatura de 250 °C
- b. **Generador de vapor:** se colocó 6 L de agua para genere vapor saturado a una presión de 60 psi.
- c. **Cámara de extracción:** se colocó la muestra pesada dentro del extractor. ya una vez asegurada dejamos pasar el vapor saturado a presión deseada, donde el vapor de agua transfiere calor latente al material vegetal para obtener el condensado de agua – aceite, se determinó el tiempo necesario para la extracción. La transferencia de masa en esta etapa se refiere a la cantidad de aceite que es arrastrado.
- d. **Condensador:** se condensa el vapor de agua – aceite que provienen del destilado, después se enfrían para separar las fases y obtener el aceite esencial por decantación.
- e. **Separador florentino:** en esta etapa las gotas de aceite esencial de tener una densidad menor a del agua tienden a subir por acción de la fuerza de empuje, en la siguiente Figura 4 se muestran las etapas de operación del equipo de extracción por arrastre de vapor.

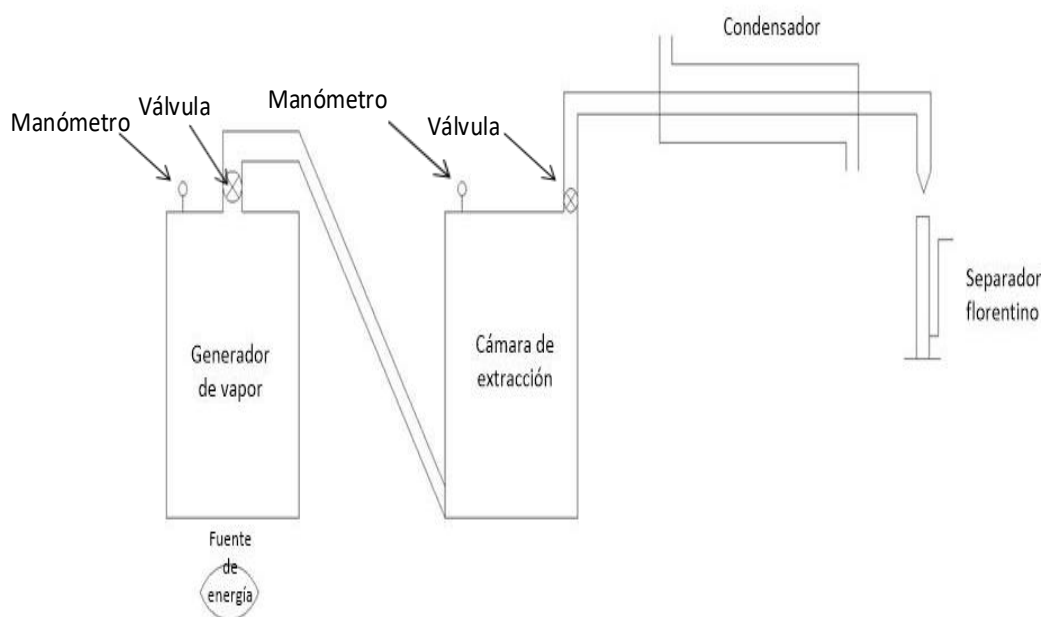


Figura 4. Equipo de extracción por arrastre de vapor.

3.5.4 Descripción de la extracción de aceite esencial del hinojo por el método de soxhlet.

Los procesos de extracción de aceite esencial se muestran en la (Figura 5) del diagrama de flujo de obtención del aceite esencial por el método de soxhlet.

a. Recepción del hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller)

Se mantuvo en un ambiente fresco las muestras de hinojo en cajones ventilados. Para este método de soxhlet se utilizó 2.5kg de muestra par cada repetición de las cuales se cuenta con 3 repeticiones por método.

b. Clasificación

La clasificación se realizó de forma visual donde se quitaron las hojas de hinojo que presentaron marchites producidos por el transporte, partículas extrañas, insectos y/o plantas ajenas al hinojo.

c. Lavado

Se lavó con agua potable, para poder eliminar partículas de tierra, polvo.

d. Pesado 1

Se pesó la muestra antes de reducir de tamaño para tener una consideración de perdida.

e. Secado

Se colocó la muestra de hinojo a una estufa teniendo en cuenta que los aceites esenciales son volátiles a una temperatura de medio ambiente hasta los 45°C.

f. Pesado 2

Se pesó la muestra de 28.00g para colocar en el cartucho

g. Extracción por soxhlet

Se colocó la muestra dentro del extractor, consecutivamente se hizo circular el agua a los refrigerantes luego se llevó a ebullición el solvente (éter de petróleo a una temperatura de 60°C y el etanol a una temperatura de 78 °C), para así obtener el aceite esencial del hinojo.

h. Separación del solvente y aceite esencial.

Se evaporó los residuos del solvente por el método de baño maría.

i. Envasado y almacenado

Se envasó en unos frascos de 15ml de color ámbar, por cada repetición. El almacenado fue en una caja de cartón oscuro para evitar los rayos de luz y a una temperatura que no llegue a los 25°C. Para luego ser evaluado.

Se acopló y modificó los procedimientos de la extracción de aceite esencial de romero de (Guillen, 2016).

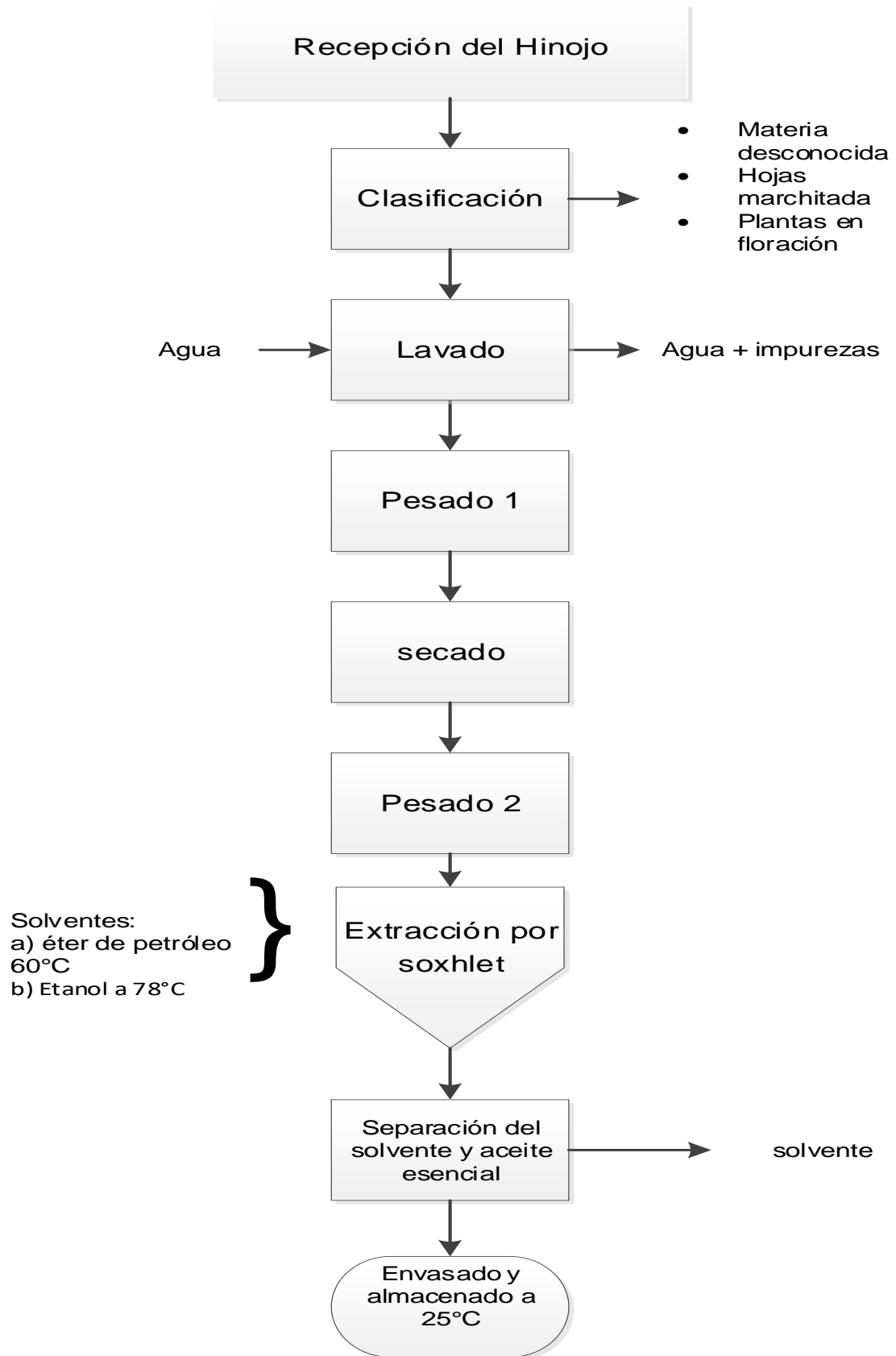


Figura 5. Diagrama del flujo de obtención del aceite esencial por el método soxhlet.

Fuente: Guillen et al., (2016)

3.5.5 Procesos de operación del equipo soxhlet

Los procesos de operación del método soxhlet, para la extracción del aceite esencial se muestran en la (Figura 6).

- **Calentador:** se calentó el solvente que se encuentra en el matraz para que este desprenda vapores
- **Matraz de balón:** se colocó el solvente en un balón y además es en donde se termina depositándose todo el aceite y el solvente.
- **Cartucho de celulosa:** en el recipiente cilíndrico con base semiesférica para que se apoye perfectamente, en donde se colocaron la muestra.
- **Condensador:** se condensa los vapores.
- **Tubo soxhlet:** es donde consta de un cuerpo con boca esmerilada y un tubo de sifón protegiendo el tubo para que pase el vapor. La parte interior del extractor termina en una unión esmerilada para adaptarse al tubo extractor se utilizó como condensador de vapor.

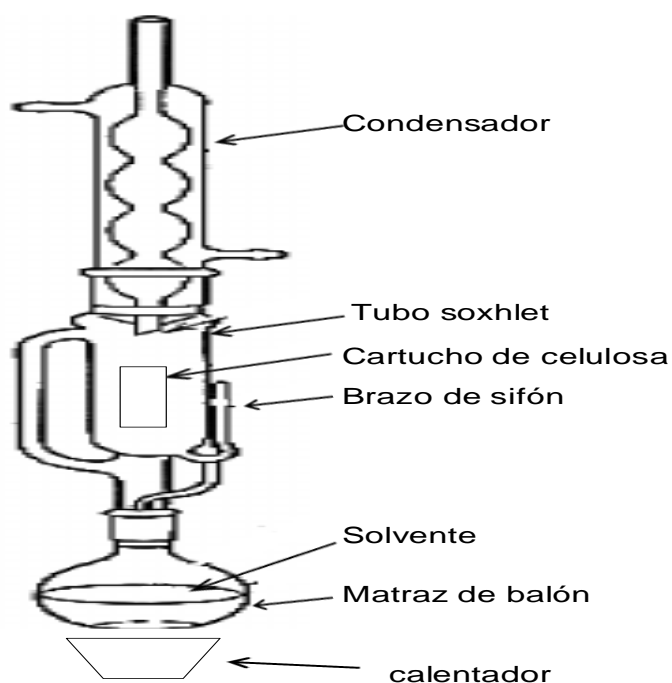


Figura 6. Extractor Soxhlet.

Fuente: Alicia *et al.*, (2008).

3.5.6 Determinación del rendimiento

De acuerdo a Gabriela (2006), el porcentaje de rendimiento de aceite esencial (%P) se ha obtenido del peso total de muestra utilizada (fresca) y del peso del aceite obtenido en porcentaje de cada extracción.

$$\% P = \frac{\text{peso del aceite esencial}(g)}{\text{peso de muestra}(g)} * 100$$

3.5.7 Determinación de las características físicas del aceite esencial

a. Determinación de la densidad

La siguiente determinación se realizó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana: NTP 319.081 (1987), como se observa en el Anexo 1.

b. Determinación de la viscosidad

Esta determinación se realizó mediante el método de Ostwald. (Michael, 2004), como se desarrolla en el Anexo 2.

c. Determinación del índice de refracción

Se realizó empleando la Norma Técnica Peruana: NTP 319.075: (1974), consulte Anexo 3.

d. Determinación de la solubilidad en etanol

La determinación de la Solubilidad en etanol se llevó a cabo empleando la Norma Técnica Peruana: NTP 319.084: (1974), como se desarrolla en el Anexo 4.

3.5.8 Análisis químico del aceite esencial

➤ Determinación del índice de saponificación

Se determinó de acuerdo a Lock de Ugaz, (1994), en el Anexo 5 se describe el índice de saponificación.

➤ Determinación del índice de Ester

La determinación del Índice de ester se llevó a cabo empleando la Norma Técnica Peruana: NTP 319.088: (1974) como se desarrolla en el Anexo 6.

➤ Determinación del índice de acidez

La determinación del Índice de Acidez se llevó a cabo empleando la Norma Técnica Peruana: NTP 319 085: (1974) consulte Anexo 7.

3.6 Diseño experimental

El diseño experimental que se aplicó para el trabajo de investigación fue el diseño en bloques completos al azar (DBCA) que considera tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos, el factor de bloques y el error aleatorio, el arreglo experimental se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Diseño experimental de la investigación.

Bloque	Método por arrastre de vapor			Método de soxhlet	
	Presiones			Solventes	
	5 psi	10 psi	15 psi	Éter de petróleo	Etanol
B1	T1B1	T2B1	T3B1	T4B1	T5B1
B2	T1B2	T2B2	T3B2	T4B2	T5B2
B3	T1B3	T2B3	T3B3	T4B3	T5B3

Donde:

T1 = (arrastre de vapor a una presión de 5psi)

T2 = (arrastre de vapor a una presión de 10psi)

T3 = (arrastre de vapor a una presión de 15psi)

T4 = (soxhlet solvente de éter de petróleo)

T5 = (soxhlet solvente de etanol)

Cada bloque está comprendido por 5 tratamientos, para lo cual se aplicó un ANOVA por tratamiento, para la comparación de los tratamientos se aplicó un estadístico de prueba (LSD) de Fisher.

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En la investigación se desarrollaron las siguientes pruebas estadísticas:

- Prueba de ANOVA y LSD de Fisher, en donde se aplicó para el diseño de bloques completos al azar (DBCA) se consideran tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos (métodos de extracción), el factor de bloques (presión y solvente) y el error aleatorio.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El análisis de varianza (ANOVA), consiste en analizar los cocientes de las varianzas para probar la Hipótesis de igualdad o desigualdad tal como se muestra en la Tabla 6.

TABLA 6: Tabla de ANOVA bifactorial

FV	SC	GL	CM	F	p-evalue
Factor	SCF	k-1	CMF	CMF/CME	P (F>F0)
Bloque	SCB	b-1	CMB	CMB/CME	P (F>F0)
error	SCE	GLT- (k-1)-(b-1)	CME		
total	SCT	N-1			

Para evaluar las diferencias de los promedios del rendimiento y características físicas y químicas del aceite esencial de hinojo se aplicó un ANOVA, cuya Hipótesis estadística a probar será:

- *Hipótesis nula- H0:* el método de extracción de arrastre de vapor y soxhlet no presentan diferencias significativas en cuanto a el rendimiento, características físicas y químicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*).

$$\bar{x}_i = \bar{x}_j$$

- *Hipótesis alterna- Ha:* el método de extracción de arrastre de vapor y soxhlet presentan diferencias significativas en cuanto a el rendimiento, características físicas y químicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*).

$$\bar{x}_i \neq \bar{x}_j$$

- ✓ Para algún i, j (tratamientos)
- ✓ Nivel de significancia (α)
- ✓ Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se emplea $\alpha = 0.05$

CAPITULO 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de extracción del aceite esencial.

En Tabla 7 se muestra el análisis estadístico del rendimiento de hinojo donde se puede observar que el tratamiento T5 obtiene un mayor rendimiento de (5.27%), seguido del T4 con (1.13%), T3 (0.25%), T2 (0.19%), T1 (0.17%).

A través de la evaluación del ANOVA se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos de extracción del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller), puesto que el valor de $p\text{-value} < 0.05$ (Anexo 19).

Tabla 7 . Rendimiento (ml/g) de la extracción del aceite esencial de hinojo.

Tratamiento	x	±	s	c.v	Diferencia significativa
T1	0.17	±	0.02	0.11	A
T2	0.19	±	0.01	0.04	B
T3	0.25	±	0.00	0.02	C
T4	1.13	±	0.02	0.01	D
T5	5.27	±	0.02	0.00	E

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, dónde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

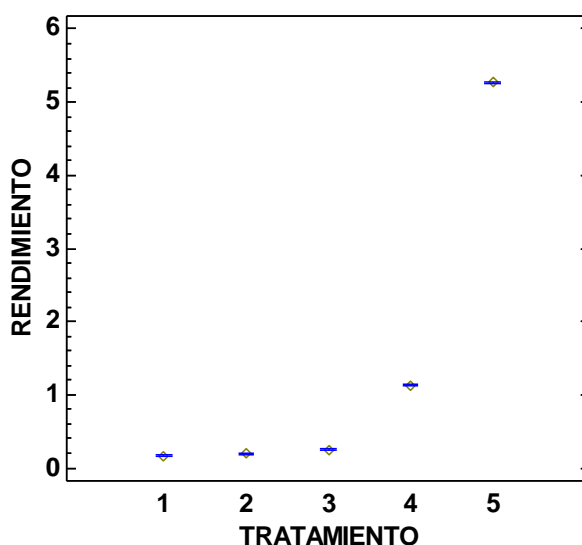


Figura 7. Medias para el rendimiento de extracción del aceite esencial.

En la Figura 7, se muestra que el tratamiento 5 obtiene un mayor rendimiento en comparación con los tratamientos T1, T2, T3, T4.

Las diferencias entre los valores del rendimiento del aceite esencial se deben, probablemente, a que el menor rendimiento del método de arrastre de vapor es que las hojas hayan actuado como un bloque, que impidió que la acción de arrastre del aceite esencial sea más eficiente, para un tiempo de extracción constante. (Peralta,1988).

Los resultados obtenidos en la investigación determino que el mayor rendimiento de aceite esencial utilizando el método de extracción soxhlet con un promedio de 5.27 %. Siendo este método de mayor eficiencia, de acuerdo con Valencia (2018), quien concluyo que el método de extracción de aceite esencial de las semillas de moringa (*moringa oleifera*), es del método soxhlet con un rendimiento de 55.10%, frente a los métodos de arrastre de vapor y prensa.

Po otro lado Ruiz (2012), determino que el método de extracción de aceite esencial de la cascara de pomelo (*citrus máximo*) es del método soxhlet con un rendimiento de extracción de 6.323%, en seguida del método de destilación por arrastre con vapor e hidrodestilación. Con un rendimiento de 0.18%, siendo este promedio similar al resultado obtenido en nuestra investigación.

4.2 Resultados de las características físicas

4.2.1 Densidad del aceite esencial de hinojo

En la Tabla 8, se muestra el análisis estadístico de la densidad del aceite esencial de hinojo donde se puede observar que el tratamiento T5 obtiene una mayor densidad con (0.95 g/ml), seguido del T4 con (0.94 g/ml), T3 (0.93 g/ml), T2 (0.93 g/ml), T1 (0.93 g/ml).

A través de la evaluación del ANOVA se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos de la densidad del aceite esencial de Hinojo puesto que el valor de $p\text{-value} < 0.05$ (Anexo 20).

Tabla 8. Resultados de la densidad (g/ml).

Tratamiento	x	±	s	c.v	Diferencia significativa
T1	0.93	±	0.00	0.00	C
T2	0.93	±	0.00	0.00	D
T3	0.93	±	0.00	0.00	E
T4	0.94	±	0.00	0.00	B
T5	0.95	±	0.00	0.00	A

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, dónde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

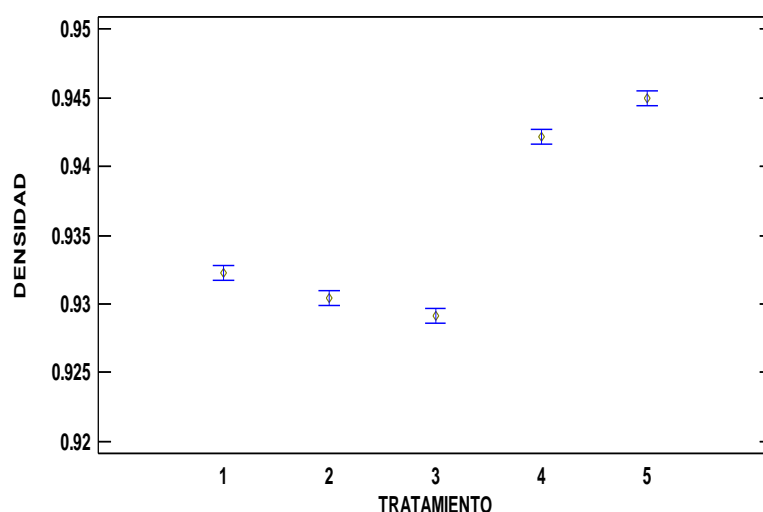


Figura 8. Diagnóstico de medias de la densidad del aceite esencial.

El método de extracción soxhlet del tratamiento 5 y 4 muestra una mayor densidad a comparación a los tratamientos 3, 2 y 1 del método de arrastre de vapor.

Las diferencias entre los valores de densidad pueden deberse a que el material vegetal que fue sifonado con el éter de petróleo y etanol fue sometido previamente a la acción de secado mientras que las hojas que fueron destiladas por arrastre de vapor fueron sometidas directamente a la extracción, Esta diferencia en el método de secado pudo concentrar mayor cantidad de aceite esencial, lo que generó que la densidad del aceite obtenido mediante soxhlet sea mayor que el que se obtuvo mediante arrastre de vapor. Respecto a esto,

Guenther (1948), citando a Von Rechenberg, menciona que las mayores pérdidas de aceites volátiles por evaporación y oxidación se dan cuando se tritura el material antes de la destilación, especialmente cuando el triturado se realiza empleando cuchillas o molinos.

De acuerdo a los promedios de la densidad del aceite esencial hinojo que muestran valores de 0.93 g/ml al igual que los resultados de Marlon (2003), que evaluó la densidad del hinojo procedente de dos niveles altitudinales de Guatemala. Utilizando dos métodos de extracción, a nivel planta piloto por medio de arrastre con vapor y a nivel laboratorio por medio de un neoclevenger determino que la densidad del aceite esencial de hinojo es de 0.90 a 0.96 g/ml a una altitud 2000 msnm y 2400 msnm de 0.89 a 0.92 g/ml.

Por otra parte, los resultados encontrados son similares a lo obtenido por Valverde (2011), que determino que en el método de extracción de arrastre de vapor del aceite esencial de romero en su estado fresco y seco presenta una densidad de 0.9272 g/ml de muestra fresca y de muestra seca es de 0.9289 g/ml.

De acuerdo a los resultados de García (2017), que evaluó las características fisicoquímicas al aceite esencial de cedrón obtenido por los métodos de arrastre de vapor y fluidos supercríticos con una densidad relativa de 0.92 g/mL. Lo cual nos asemejamos a los resultados del aceite esencial de cedrón con 0.93 g/ml.

4.2.2 Viscosidad del aceite esencial de hinojo

Los resultados originales a una temperatura de 20°C de la prueba de viscosidad del aceite esencial obtenido en el presente estudio se presentan en el Anexo 13. En la Tabla 9, se muestra el análisis estadístico de la viscosidad del aceite esencial de Hinojo, donde se puede observar que el tratamiento T5 obtiene una mayor viscosidad de (2.17 cP.), seguido del T4 (2.07 cP.), T3 (1.39 cP.), T2 (1.39 cP.), T1 (1.39 cP.).

El análisis estadístico de los resultados de viscosidad mediante la prueba del ANOVA, demuestra que las diferencias entre los distintos tratamientos, son altamente significativas. Se observa que existen diferencias altamente significativas en los valores de viscosidad del aceite esencial obtenido mediante ambos métodos (soxhlet y por arrastre de vapor). Se presenta en el Anexo 21.

Tabla 9. Resultados de la viscosidad (cP)

Tratamiento	x	±	S	c.v	Diferencia significativa
T1	1.39	±	0.04	0.03	B
T2	1.39	±	0.02	0.01	B
T3	1.39	±	0.04	0.03	B
T4	2.17	±	0.10	0.05	A
T5	2.07	±	0.04	0.02	A

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, dónde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

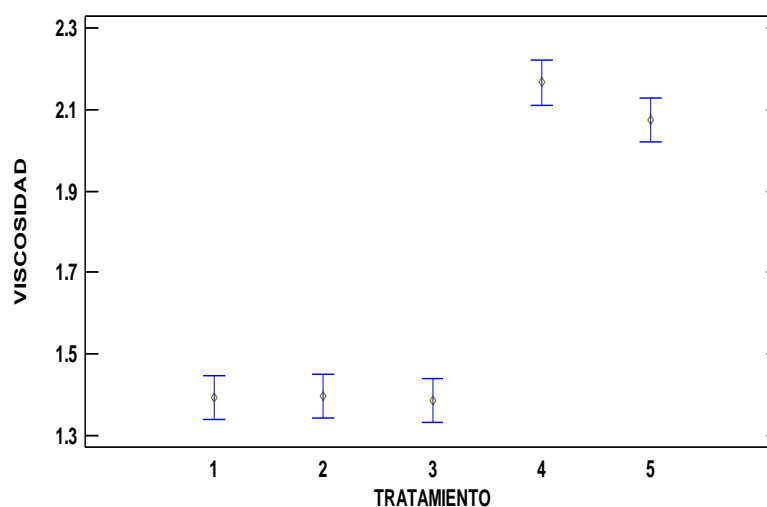


Figura 9. Diagnóstico de medias de la viscosidad del aceite esencial.

De acuerdo a la Tabla 9 de promedios donde se puede identificar el promedio de la viscosidad del aceite esencial de hinojo obtenida a partir de dos métodos de extracción donde el tratamiento 4 tiene un promedio de 2.07cP y el tratamiento 5 con un promedio de 2.17 cP. En cuanto a los tratamientos 1, 2 y 3 presentan una viscosidad de 1.39 cP.

Por otra parte, autores como Arteaga (1980), las diferencias en los valores de viscosidad pueden deberse a que en la extracción con vapor es casi imposible mantener una igualdad de calefacción lo que pudo ocasionar que no se llegaran a volatilizar compuestos de mayor peso molecular lo que sí pudo haber sucedido en el otro método.

Los resultados obtenidos en nuestra investigación al evaluar la viscosidad del aceite esencial de hinojo a una temperatura de 20° obtuvo un promedio de 2.17 cP. Mientras Huamanyauri (2014), evaluó que la viscosidad del aceite de almendra de palma de 2.06 a 1.67 cP. a una temperatura de 30 °C.

4.2.3 Índice de refracción del aceite esencial de hinojo

Los resultados originales a una temperatura de 20 °C de la prueba de Índice de refracción se presentan en el Anexo 14. En la Tabla 10, muestra el análisis estadístico del índice de refracción del aceite esencial de Hinojo donde se puede observar que el tratamiento T1 obtiene un mayor índice de refracción con (1.51), seguido del T2 con (1.50), T4 (1.50), T5 (1.44), T3 (1.39).

El análisis estadístico de los resultados de índice de refracción mediante la prueba del ANOVA, demuestra que las diferencias entre los distintos tratamientos, son altamente significativas. Se observa que existen diferencias altamente significativas en los valores de índice de refracción del aceite esencial obtenido mediante ambos métodos (soxhlet y por arrastre de vapor). Se presenta en el Anexo 22.

Tabla 10. Resultados del índice de refracción.

Tratamiento	x	±	S	c.v	Diferencia significativa
T1	1.51	±	0.00	0.00	A
T2	1.50	±	0.01	0.01	AB
T3	1.39	±	0.01	0.01	C
T4	1.50	±	0.07	0.05	A
T5	1.44	±	0.03	0.02	BC

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, dónde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

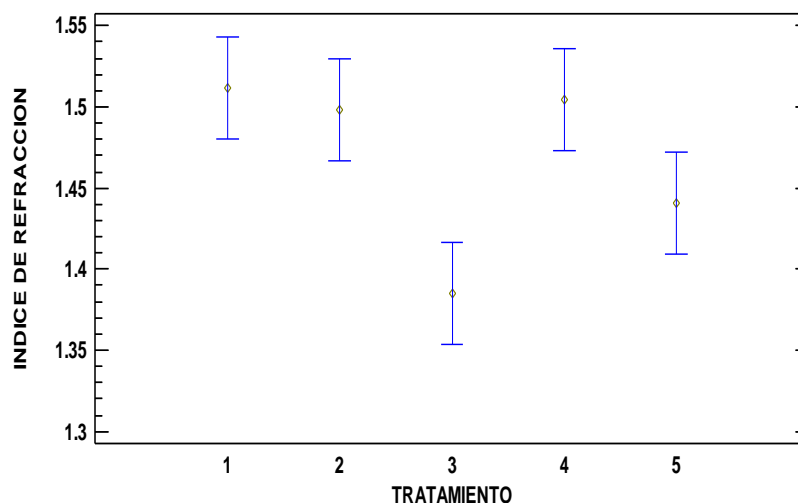


Figura 10. Diagnóstico de medias del índice de refracción del aceite esencial.

La Figura 10, se muestra que el tratamiento 1 obtiene un mayor índice de refracción en comparación con los tratamientos T2, T3, T4, T5.

El índice de refracción está en estrecha relación con la calidad del aceite, a mayor índice de refracción es más puro y por lo tanto de mayor calidad. Según García Naranjo (2002), el grado de pureza está relacionado directamente con el porcentaje del principal componente del aceite esencial.

Esta diferencia en el índice de refracción entre los métodos de extracción es probable que el método de arrastre de vapor a una presión de 5 psi, tenga mayor concentración de los componentes activos, mientras tanto en el método soxhlet con solvente de éter de petróleo se pudo haber perdido los componentes activos debido al tiempo de sifoneo.

Por lo tanto, nos asemejamos a los resultados de Camacho (2011), que determino el índice de refracción de 1.47 a 1.48 del aceite esencial de la muña extraído por el método de arrastre de vapor. Asimismo, Marlon (2003), que determino el índice de refracción del aceite esencial del hinojo con un valor de 1.58 a 1.52 de la muestra recolectada de 2000 msnm y de 1.50 a 1.53 de la muestra recolectada 2400 msnm. Por otra parte, Valverde (2011), indica que obtuvo en su muestra fresca de romero el índice de refracción de 1.48 y en su muestra seca de 1.48. En nuestra investigación el aceite esencial de hinojo presenta un índice de refracción de 1.39 a 1.51.

4.2.4 Solubilidad en etanol del aceite esencial de hinojo

Los resultados originales de la prueba de solubilidad en etanol 96 % se presentan en el Anexo 15. En la Tabla 11, se muestra el análisis estadístico de la solubilidad en etanol del aceite esencial de hinojo.

El análisis estadístico de los resultados de solubilidad en etanol al 96 % (v/v) del aceite esencial, realizado mediante la prueba del ANOVA, demuestra que existen diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos. Se presenta en el Anexo 23.

Tabla 11. Resultados de la solubilidad en etanol (ml de etanol /ml de aceite esencial).

Tratamiento	x	±	S	c.v	Diferencia significativa
T1	4.17	±	0.29	0.07	C
T2	4.07	±	0.12	0.03	C
T3	4.17	±	0.29	0.07	C
T4	26.00	±	0.00	0.00	B
T5	27.17	±	0.29	0.01	A

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, dónde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

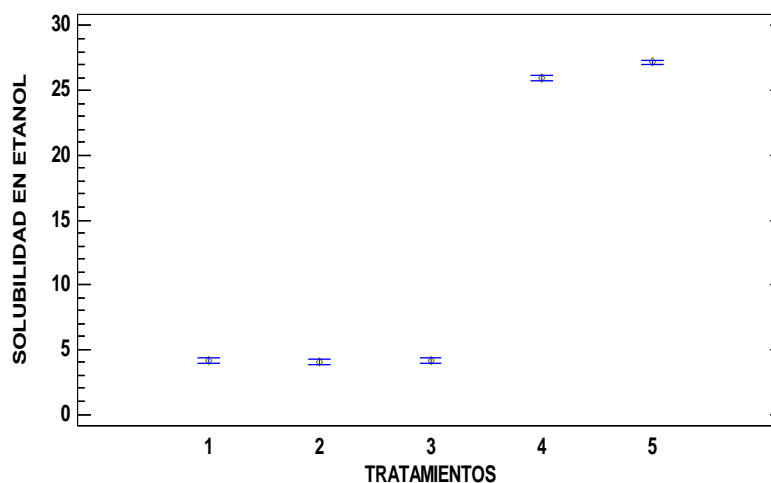


Figura 11. Diagnóstico de medias de la solubilidad en etanol del aceite esencial.

En la Figura 11, se muestra que el tratamiento 5 y 4 requieren mayor cantidad de solubilidad a comparación con los tratamientos T1, T2, T3.

Se determinó que las medias de solubilidad del aceite esencial de hinojo de los tratamientos 1 y 3 es de 4.17 ml mientras que el tratamiento 2,4 y 5 es de 4.07, 26.0 y 27.17 ml en una muestra de 0.9 ml. Estas diferencias altamente significativas quedan demostradas mediante pruebas estadísticas más estrictas.

Estas diferencias podrían deberse a que, siendo los aceites esenciales mezclas de diferentes compuestos químicos, en el método de Soxhlet el aceite obtenido esté conformado por compuesto químicos menos solubles que los compuestos que forman parte del aceite esencial obtenido mediante el otro método. Si es que los compuestos químicos son similares en ambos casos, es probable que se encuentren en proporciones diferentes en cada aceite esencial, lo que ocasiona la diferencia de solubilidad.

Los resultados obtenidos en nuestra investigación al evaluar la solubilidad del aceite esencial de hinojo con etanol de 96% obtuvo un promedio de 4.17ml mientras Piedra (2014), determino la solubilidad del aceite esencial de las hojas de peperomia de 96% de pureza del aceite esencial de las hojas de peperomia de 0.8ml de muestra. De acuerdo a los resultados de García (2017), que evaluó las características fisicoquímicas del aceite esencial de cedrón obtenido por los métodos de arrastre de vapor y fluidos supercríticos con una solubilidad en etanol de 96% de pureza en 10 ml de solubilidad.

Dirección general de normas de México (1976), se dice que un volumen del producto es soluble en V y más volúmenes de etanol de concentraciones C cuando la disolución límpida en V volumen hasta un total de 20 volumen.

En este caso los tratamientos 4 y 5 presentan un volumen mayor a la de 20 ml es decir que la disolución no es correcta por lo tanto no es soluble en alcohol.

4.3 Resultados de las características químicas del aceite esencial de hinojo

4.3.1 Índice de saponificación del aceite esencial de hinojo

Los resultados originales de la prueba del índice de saponificación se presentan en el Anexo 16. En la Tabla 12, se muestra el análisis estadístico del índice saponificación del aceite esencial de hinojo donde se puede observar que el tratamiento T3 y T4 obtienen un mayor índice de saponificación con (6.58 mg de KOH/g), seguido del T5 con (6.53 mg de KOH/g), T2 (5.04 mg de KOH/g), T1 (3.17 mg de KOH/g).

A través de la evaluación del ANOVA se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos del índice de saponificación del aceite esencial de hinojo extraído mediante los dos métodos puesto que el valor de $p\text{-value} < 0.05$ (Anexo 24).

Tabla 12. Resultados del índice de saponificación (mg de KOH/g).

Tratamiento	x	±	S	c.v	Diferencia significativa
T1	3.17	±	1.71	0.54	A
T2	5.04	±	1.12	0.22	A
T3	6.58	±	1.81	0.27	A
T4	4.67	±	1.71	0.37	A
T5	6.53	±	1.72	0.26	A

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, donde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

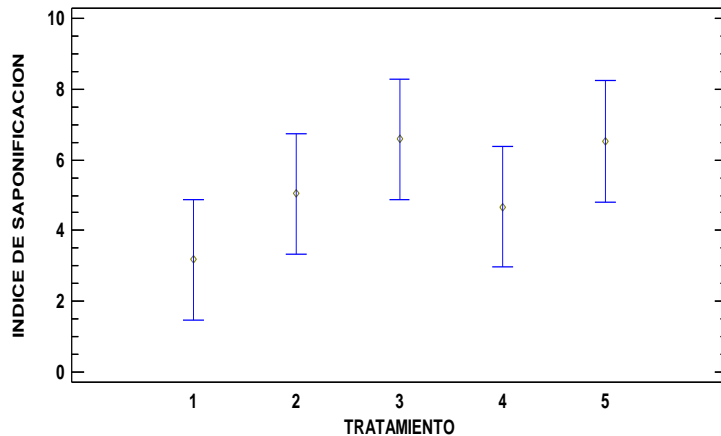


Figura 12. Diagnóstico de medias del índice de saponificación del aceite esencial.

En la Figura 12, se muestra que el tratamiento 3 y 5 obtiene un mayor índice de saponificación en comparación con los tratamientos T1, T2, T4.

Dentro de las características químicas se determinó el índice de saponificación que obtuvo los siguientes resultados T1 (3.17), T2 (3.17), T3 (3.17), T4 (4.66), T5 (3.17).mg de KOH necesarios para saponificar 1 g de aceite. Lo cual nos diferencia mucho de los datos obtenidos de Piedra (2014), que determinó el índice de saponificación del aceite esencial de las hojas de peperomia de 117.66mg de KOH necesarios para saponificar 1g de aceite. Por otro lado, Valverde (2011), que determinó el índice de saponificación del aceite esencial de romero en su estado fresco es de 0.304 (mg KOH/g) y de su muestra en seco presenta un índice de saponificación de 0.305 (mg KOH/g).

4.3.2 Índice de Ester

En la Tabla 13, se muestra el análisis estadístico del índice de ester del aceite esencial de hinojo donde se puede observar que el tratamiento T5 obtiene un mayor índice de ester con (6.09 mg de KOH/g), seguido del T3 con (6.00 mg de KOH/g), T2 (4.52 mg de KOH/g), T4 (4.15 mg de KOH/g), T1 (2.80 mg de KOH/g).

El análisis estadístico de los resultados de índice de ester mediante la prueba de ANOVA, demuestra que no existen diferencias entre los distintos tratamientos. Se observa que no existen diferencias en los valores de índice de ester del aceite esencial obtenido mediante ambos métodos (soxhlet y por arrastre de vapor). Se presenta en el Anexo 25.

Tabla 13. Resultados del índice de ester (mg de KOH/g).

Tratamiento	x	±	S	c.v	Diferencia significativa
T1	2.80	±	1.61	0.57	A
T2	4.52	±	1.24	0.27	A
T3	6.00	±	1.79	0.30	A
T4	4.15	±	1.62	0.39	A
T5	6.09	±	1.71	0.28	A

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, dónde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

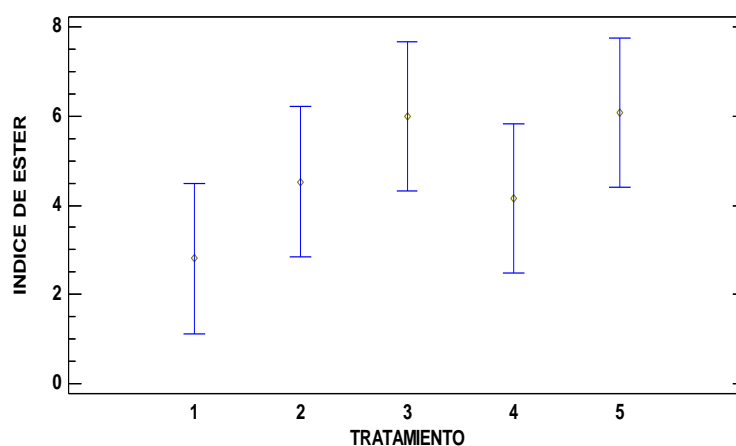


Figura 13. Diagnóstico de medias del índice de ester del aceite esencial.

En la Figura 13, se muestra que el tratamiento 5 obtiene un mayor índice de ester en comparación con los tratamientos T1, T2, T3, T4.

Dentro de las características químicas se determinó el índice de ester que obtuvimos los siguientes resultados T1 con 2.80, T2 con 4.52, T3 con 6, T4 con 4.15, T5 con 6.09.

Los resultados del índice de ester que muestran similitud a los de Ricalde (2015), que determino del aceite esencial de molle obtenido por arrastre de vapor con un índice de ester de 8.027, lo cual nos asemejamos a los resultados de Ricarde con un índice de ester de 6.09 KOH.

De acuerdo a los resultados de García (2017), que evaluó las características fisicoquímicas al aceite esencial de cedrón obtenido por los métodos de arrastre de vapor y fluidos su

percríticos con un índice de ester de 7.80 KOH. Lo cual nos asemejamos a los resultados del aceite esencial de cedrón con un índice de ester de 6.09 KOH.

4.3.3 Índice de acidez

Los resultados originales del contenido de los ácidos grasos libres en el aceite esencial de hinojo obtenido en el presente estudio, que se presentan en el Anexo 18. En la Tabla 14, muestra el análisis estadístico del índice acidez del aceite esencial de hinojo, donde se puede observar que el tratamiento T3 obtienen un mayor índice de Acidez con (0.59 mg de NaOH/g), seguido del T2 con (0.52 mg de NaOH/g), T4 (0.51 mg de NaOH/g), T5 (0.44 mg de NaOH/g), T1 (0.37 mg de NaOH/g).

El análisis estadístico de los resultados de índice de acidez mediante la prueba de ANOVA, demuestra que no existen diferencias entre los distintos tratamientos. Se observa que no existen diferencias en los valores de índice de acidez del aceite esencial obtenido mediante ambos métodos (soxhlet y por arrastre de vapor). Se presenta en el Anexo 26.

Tabla 14. Resultados del índice de acidez (mg de NaOH/g).

Tratamiento	x	±	S	c.v	Diferencia significativa
T1	0.37	±	0.13	0.36	B
T2	0.52	±	0.13	0.25	BA
T3	0.59	±	0.12	0.21	A
T4	0.51	±	0.12	0.24	BA
T5	0.44	±	0.00	0.01	BA

*evaluado a través del test LSD a 5 % de significancia, dónde: x, es el promedio de 3 repeticiones; s, Desviación estándar; CV, coeficiente de variabilidad.

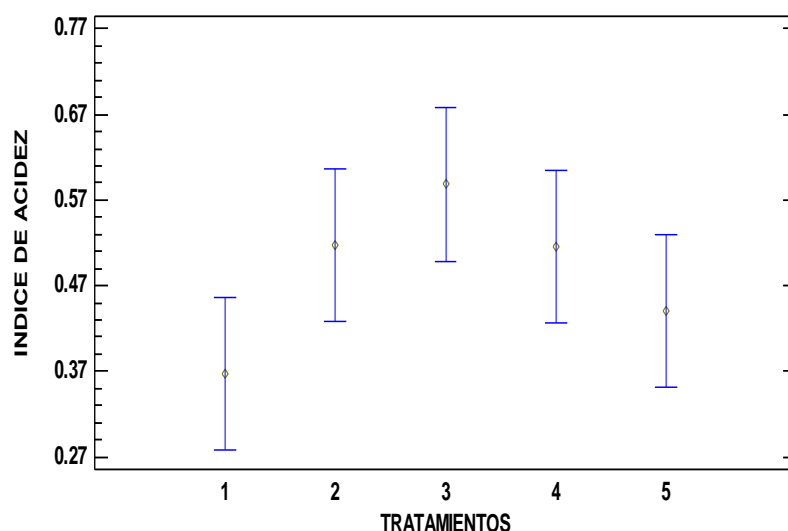


Figura 14. Diagnóstico de medias del índice de acidez del aceite esencial.

En la Figura 14, se muestra que el tratamiento T3 obtiene un mayor índice de acidez en comparación con los tratamientos T1, T2, T4, T5.

Los resultados obtenidos del el índice de acidez del aceite esencial de hinojo se encuentra entre 0.37 a 0.59 mg de NaOH/g necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en un gramo de aceite esencial a diferencia de los resultados inferiores del aceite esencial de romero Valverde (2011), determino el índice de acidez del aceite esencial del romero en su estado fresco y seco del romero con un índice de acidez de 0.06 para la muestra en estado fresco y para la muestra en estado seco de 0.075. Por otra parte Camacho (2011), obtuvo un índice de acidez de la muña entre un promedio de 2.2 mg KOH por g muy superiores a los resultados del aceite esencial de hinojo.

De acuerdo Piedra (2014), indica que el índice de acidez del aceite de peperomia es 1.664mg de KOH por g de aceite. Con un grado de acides de 0.836g de ácido oleico por 100 g de aceite. De acuerdo a estos resultados el aceite esencial presenta similitud.

Tabla 15. Cuadro comparativo de resultados.

Tratamientos	P (%)	ρ (g/ml)	η (cP)	IR	S.E (ml)	I.S (mg de KOH)	I.E(mg de KOH)	I.A (mg de NaOH/g)
T1	0.17	0.93	1.39	1.51	4.17	3.17	2.80	0.37
T2	0.19	0.93	1.39	1.5	4.07	5.04	4.52	0.52
T3	0.25	0.93	1.39	1.39	4.17	6.58	6.00	0.59
T4	1.28	0.94	2.17	1.5	26.00	4.67	4.15	0.51
T5	5.95	0.95	2.07	1.44	27.17	6.53	6.09	0.44

CONCLUSIONES

- El rendimiento del aceite esencial es mayor cuando se emplea el método de soxhlet con solvente de etanol, seguido del solvente éter de petróleo. Mientras en el método de arrastre de vapor el rendimiento es mayor cuando se emplea una presión de 15 psi seguido de 10 psi y por último 5 psi.
- Las características físicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante el método de arrastre de vapor presentan valores de densidad máxima de 0.93 g/ml, su viscosidad máxima de 1.39 cP. con un índice de refracción máximo de 1.51, soluble en alcohol de 4.17 ml, mientras en el método soxhlet presentan valores de densidad máxima de 0.95 g/ml, su viscosidad máxima de 2.17cP, con un índice de refracción máximo de 1.50, soluble en alcohol máximo de 27.17ml.
- Las características químicas del aceite esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante el método de arrastre de vapor presentan valores de índice de acidez máximo de 0.59 mg NaOH/g, índice de saponificación máxima de 6.58 mg de KOH/g y el índice de ester de 6 mg de KOH/g, mientras en el método soxhlet presentan valores de índice de acidez máximo de 0.51 mg NaOH/g, índice de saponificación máxima de 6.53 mg de KOH/g y el índice de ester 6.09 mg de KOH/g.

RECOMENDACIONES

- Para la extracción del aceite esencial del hinojo del método soxhelt se deben realizar estudios para lograr separar el solvente y aceite esencial en su totalidad.
- Para la extracción del aceite esencial de hinojo se recomienda evitar maltratar a la planta la manipulación debe ser de manera cuidadosa ya que ocasionaría la mala calidad del aceite al momento de su caracterización.
- Realizar estudios para la aplicación en conservación y producción de alimentos aprovechando las propiedades que presenta el aceite esencial de hinojo.
- Se sugiere el uso de un solvente diferente al etanol para la extracción soxhlet para consumo humano.
- Para la extracción del aceite esencial por el método de arrastre de vapor se recomienda tener en estándar la salida del flujo del hidrosol al condensador.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALICIA, L., & JULIO, Z., & DIANA, L., & LIZA, L., & MARIELA, T., & DALMIRO, M., (2008), Fundamentos Teóricos Prácticas De Química Orgánica. 1ª ed. Córdoba Argentina. Encuentro grupo editorial. Tesis de licenciatura en química y farmacia. Universidad del Salvador, Centro América, Salvador
- ARRIOLA G, G., (2003). Comprobación de pureza de los aceites comestibles de diferentes marcas comerciales en el aria metropolitana.
- ARTEAGA, A. 1980. Estudio comparativo de tres métodos de extracción de aceite esencial de limón sutil (*Citrus aurantifolia*). Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Lima, PE, UNALM.
- BERNARDINI, E. ,1999. Tecnología de aceites y grasas. España, Madrid: Editorial Alambra.
- BRUNETON JEAN (1993). "Farmacognosia, fotoquímica plantas medicinales" 2da edición, editorial ACRBIA, S.A.
- BRUNETON, J. 2001. Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas Medicinales. 2a ed. Zaragoza, ES. Ed. Acribia. 1099 p.
- BUSTO, M. A. (2008). "Guía De Aceites Esenciales Youhg Living".
- CAMACHO M.H., (2011). "caracterización físico química del aceite esencial de la muña (*Minthostachys setorasa*) y su estudio antibacteriano.
- COSTA, D. (2003). "Extracción por arrastre de vapor y análisis de las propiedades antioxidantes del aceite esencial de romero". Tesis de licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla, México.
- Crop & Food Research. 2001. Essential oils and their production (en línea). New Zealand Institute for Crop & Food Research Institute (39).
- DUKE, J. A. (1985). Handbook of Medicinal Herbs. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida, pp. 198-199.
- DE LOS ÁNGELES MÁRQUEZ, L. (2003). Extracción del aceite esencial de mandarina (*citrus reticulata*) utilizando dióxido de carbono en condición

- supercrítica como solvente. (Tesis, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela) Recuperada de aceites Esenciales, Usos y Riesgos.
- DELLA C., E., (2010). Normalización de productos naturales obtenidos de especies de la flora aromática latino americano. Editorial universidad de PUCRS.
- DOMÍNGUEZ, X. 1973. Métodos de Investigación Fitoquímica. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). MX. Ed. Limusa
- FONT QUER, P. (1979). Plantas Medicinales: El Dioscórides renovado. 7.' Ed., Labor, Barcelona, pp. 498-500.
- GABRIELA, F. R. (2006) Caracterización del aceite esencial de "Lanche" (*Myrcianthes rhopaloides (H.B.K) Me Vaugh*) proveniente del distrito de Chalaco, provincia de Morropón- Piura, obtenido por dos métodos de destilación. Tesis de Ingeniería Forestal. Lima, Perú. UNALM.
- GARCÍA ET AL. (2017). "Extracción de aceite esencial por fluidos supercríticos y arrastre con vapor de cedrón (*aloyisia triphylla*) en la región Arequipa".
- GARCÍA N. L. 2002. Características del aceite esencial de "Palo santo" (*Bursera graveolens (H.B.K.) Triana & Planchon*) obtenido por dos métodos de destilación. Tesis de Ingeniería Forestal. Lima, Perú. UNALM.
- GARCÍA, D. (2002)." Extracción y caracterización del aceite crudo extraído de residuos de mora (*Rubusglaucus Benth*) para su posible uso como aceite comestible", Tesis de Ingeniería de Alimentos, Laboratorio de Biomoléculas, Universidad Simón Rodríguez, Canoabo-Venezuela.
- GARCÍA J. N. (2014). "contribución al uso etnobotánica del hinojo en la provincia de Toledo".
- GRACIELA, E., & VIRGÍNEA., & ARMANDO, L.B. & JELENA, L.N., (2015), Fitocosmética Fitoingredientes Y Otros Productos Naturales. 1ª ed. Buenos Aires; editorial Universitaria De Buenos Aires.
- GUENTHER, E. 1948. The Essential Oils. Volume I-VI. 3a ed. New York. US. Ed. Van Nostrand Company.

- GUILLEN S., J.S., (2016),” Obtención Y Caracterización Físicoquímico Del Aceite De Palta Hass (*Persea americana*) Extraído Por Método En Frio (Prensado) Y Caliente (Soxhelet)”.
- GUTIÉRREZ, H.; DE LA VARA, R. (2004). Análisis y Diseño de Experimentos. Edit. McGrawHill. Mexico.
- GONZÁLEZ C.V, (2004). Física fundamental. 3 ra edición, editorial progre sol, S.A. México.
- GÓMEZ F, R., (2011). Diseño de experimentos. Universidad tecnológica de Bolivia
- HERRERA R. C., (2003). Química de los alimentos manual de laboratorio 1ª edición, editorial de la universidad de Costa Rica.
- HUAMANYAURI., B.E., (2014). “cinética de deterioro en la viscosidad del aceite de almendra de palma (*Elaeis guineensis jacq.*)”. tesis de grado.
- KVEHL., R.O., (2010). Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. 2 da edición., editorial Thomson LEARNIG. México.
- LEVITT, B.P., (2009). Química física practica de Findlay 9ª ed. Editorial reverté, s. A., versión española, Londres.
- LOCK DE UGAZ, O. (1994) “Investigación Fotoquímica-Métodos en el Estudio de Productos Naturales”- 2da Ed. Edit. Pontifica Universidad Católica del Perú-Fondo.
- LOCR., (1994). Investigación fotoquímica. 2 da edición editorial pontificia universidad católica del Perú.
- MARLON ET AL., (2003). “Evaluación del rendimiento de aceite esencial de hinojo (*foeniculum vulgare miller*) procedente de dos niveles altitudinales de Guatemala”.
- MARTINEZ M. J., GOMEZ HERRERA, G., JANER DEL VALLE, C., (2000), “Estudios físico-químicos sobre las pastas de aceitunas molidas: IV Las gotas de aceite, Grasas y Aceites”.
- MARIA A.& ENRIQUEJO, G.M, (2014), Perfumería Y Cosmética Natural. 1ª ed. Madrid España, edición paraninfo, S.A.

- MEHLENBACHER J. (1979). "Análisis de Aceites y Grasas", Enciclopedia de la química Industrial.
- MILLER. (1768). GARD. DICT., ED. 8, N°1, horticultor y botánico, británico.
- MICHAEL E. A., (2004), "Farmacia La Ciencia Del Diseño De Las Formas Farmacéuticas." 2°ed. Madrid España, editorial elservier.
- MONTOYA C.G., (2010). Aceites esenciales una alternativa de diversificación para el eje cafetero. 1ª edición, Editorial Universidad Nacional De Colombia sede Manizales, facultad ciencias exacta y naturales.
- OCAMPOS., R.C., & RÍOS., V., & AMALIA LUZ & BETANCUR., J. & LUZ ADRIANA & OCAMPOS., S. & DIANA MARCELINA., (2008). Curso práctico de químicas orgánicas enfocadas a Biología y alimentos. 1ª edición, editorial universidad de calpas ciencias exactas y naturales.
- ORTUÑO S. M.F, (2006). Manual práctico de aceites esenciales aromas y perfumes. 1ª edición, editorial Aiyana Ediciones.
- PADRINI, F., (2016), Masaje Con Los Aceites Esenciales Para Mejorar Su Salud De Forma Natural., Milán, Italia; editorial de vecchi, S.A.
- PAULI, A. 2001. "Propiedades antimicrobianas de los componentes del aceite esencial Aromaterapia". Tesis de Maestría. Universidad de las Américas, Puebla, México
- PARACELSO (2009). Botánica oculta: las plantas mágicas según Paracelso. Ed. Facsímil, Rodolfo Putz. Maxtor, Valladolid.
- PAHLOW, (1995). "El gran libro de las plantas medicinales". 5ta. Edición; España: Editorial Everest,pp. 24.
- PAREDES P., (2010). Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales.
- PERALTA, V. 1988. Aceites esenciales: Extracción, Análisis y su Potencialidad en la Industria. Tesis Lic. en Química. Lima, PE. PUCP.
- PIEDRASANTA B. (1997). "Extracción de aceite esencial de romero con la aplicación del método de destilación por arrastre de vapor, variando los tamaños de batch a partir de pruebas a nivel de laboratorio y pruebas a nivel de planta piloto", Guatemala, Universidad de San Carlos.

- PIEDRA S. (2014). "Estudio de las propiedades físicas y composición química de los aceites esenciales de las hojas de peperonia." tesis para obtención el título de Ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales. UPSS. Iquitos
- PRIMO Y. E., (2007) "Química Orgánica Básica y aplicada de las moléculas a la industria". Editorial Síntesis S.A.; Madrid- España1.
- RUIZ.P., (2012), "estudio comparativo de dos métodos de extracción para el aceite esencial presente en la cascara de pomelo (*Citrus maximan*). Tesis de grado
- RICALDE. M.P (2015), "establecer parámetros de control de calidad físico químico del aceite esencial del schinus molle obtenido por arrastre de vapor." UMRPSFX, ITA. Qara punku.
- RYMAN. D., (1995), Aromatherapy. 1ª ed. Barcelona; editorial kairas
- ROMERO M. M., (2004), Plantas Aromáticas: Tratado De Aromaterapia Científica. 1ª ed. Buenos Aires editorial KIER.
- ROBERT.L. MOTT., (2006). Mecánica de fluidos., 4 ta edición, editorial Pearson Educación, México.
- STANCIUC ET AL., (2013). "Extracción y caracterización de aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinalis*)".
- VENTURA ET AL., (2017). "Comparación de tres métodos en la extracción de aceite esencial de orégano silvestre (*Lippia ssp.*)".
- VALVERDE ET AL., (2011). trabajo de investigación titulado "Extracción y caracterización del aceite esencial del romero (*rosmarinus officinalis*) por el método de arrastre de vapor obtenida en estado fresco y secado convencional".
- VALENCIA.O., (2018). "Métodos de extracción de aceites esenciales de la semilla de moringa (moringa oleífera)" Tesis de grado.
- VALENCIA, C. 1995. Fundamentos de Fitoquímica. MX. Ed. Trillas.

ANEXOS

ANEXOS 1 . Densidad

La densidad del aceite es la relación entre su peso y su volumen, y en este caso está afectada por la temperatura.

Esta relación entre la cantidad del aceite a 20°C y la del agua destilada a 20 °C, la densidad es la relación entre peso de un volumen dado de aceite esencial y su volumen a 20 °C en g/ml, la densidad se calcula por la siguiente Ecuación 4:

$$D = \frac{P2-P}{P1-P} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

D: Densidad

P1: Peso en g. del picnómetro conteniendo agua destilada a 20°C

P2: Peso en g. del picnómetro conteniendo aceite esencial a 20°C

P: Peso en g. del picnómetro vacío a 20°C

ANEXOS 2. Viscosidad

El viscosímetro de Ostwald permite calcular la viscosidad relativa de un líquido midiendo los tiempos que un mismo volumen de dos líquidos tarda en pasar entre las marcas M1 y M2.

La viscosidad dinámica será:

$$\eta_1 = \eta_{H_2O} \frac{\rho t'}{\rho_{H_2O}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

η_1 : viscosidad del aceite esencial

η_{H_2O} : viscosidad del agua

ρ : densidad del aceite esencial

ρ_{H_2O} densidad del agua

t' : tiempo de M1 a M2

ANEXOS 3. Índice de refracción

El índice de refracción de una sustancia es la relación entre la velocidad de la luz en el aire y la velocidad en la sustancia en ensayo. Para la luz determinada longitud de onda (generalmente se emplea la línea D del sodio, que tiene un doblete a 589,0 nm y 589,6 nm) el índice de refracción de un producto viene dado por el seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción 52, siendo el refractómetro de ABBE el instrumento más adecuado para la lectura del índice de refracción a una temperatura de 20 °C.

ANEXOS 4. Solubilidad en etanol

Usando la bureta, se añade la solución diluida de etanol de concentración conocida, el cual se debe haber llevado previamente a una temperatura de 20 °C \pm 0.5 °C en incrementos de 0.1 ml hasta que el aceite esencial se disuelva completamente, agitando frecuentemente y vigorosamente durante la adición del solvente. Cuando la solución sea perfectamente clara se anote el volumen de la solución de etanol añadido.

Se continúa añadiendo el solvente en incremento de 0.5 ml hasta llegar a 20 ml y se sigue agitando después de cada adición. Si la solución se pone turbia u opalescente antes haber agregado un volumen total de 20 ml de etanol, se anota el volumen en el momento en que aparece la turbidez opalescente, y eventualmente el volumen en el cual desea parece.

Si no se obtiene una solución clara después de añadir 20 ml de solvente se repite el procedimiento con la siguiente concentración más alta de la solución de etanol.

ANEXOS 5. Índice de saponificación

Fundamento: Es una medida aproximada del peso molecular promedio de los ácidos grasos. Se define como el “número de mg de KOH necesarios para saponificar 1 g de grasa”. No es exacto para apreciar dicho peso molecular, ya que se incluyen los ácidos grasos libres junto con los glicéridos.

Reactivos:

- Solución alcohólica de hidróxido de potasio (KOH) 0,5 N
- Ácido clorhídrico (HCl) 0,5 N
- Fenolftaleína al 1% en alcohol de 95%

Procedimiento:

- Pesar $5,00 \pm 0,05$ g de la grasa o aceite en un Erlenmeyer de 250 ml de tapa de vidrio.
- Añadir 30 ml de la solución HOAC-CHCl₃ y agitar para disolver.
- Añadir 0,5 ml de la solución saturada de KI, agitar vigorosamente y dejar reposar en la oscuridad durante 2 minutos añadir unos 30 ml de agua.
- Titular inmediatamente el yodo liberado con tiosulfato 0,1 N; agitando vigorosamente hasta que el color amarillo casi desaparezca.
- Añadir alrededor 0,5 ml de solución de almidón al 1% y continuar titulado (al final de la titulación agitar vigorosamente para extraer todo el yodo de la capa de cloroformo) hasta que el color azul desaparezca. Si se gasta una cantidad menor de 0,5 ml de tiosulfato, repetir la determinación con tiosulfato 0,01 N.
- Correr un blanco conjuntamente con la muestra (debe ser igual o menor a 0,5 ml de tiosulfato 0,01 N). Restar al resultado obtenido al de la muestra.

Cálculos: Restar al volumen de Na₂S₂O₃ gastado en la muestra el obtenido para el blanco. Expresar el índice de peróxido como meq de peróxido/ Kg de grasa como se muestra en la Ecuación 6.

$$I.S. = \frac{28.05x(v_1-v_2)}{g} \quad (\text{Ecuación 6})$$

V1 HCl: Volumen de HCl consumido en la valoración del ensayo blanco

V2 HCl: Volumen de HCl consumido en la valoración de la muestra

g: masa en gramos de la muestra

ANEXOS 6. Índice de éster

Se determina el contenido de esteres de la muestra, y se expresa el número de miligramos de hidróxido potásico necesarios para saponificar los esteres que contiene 1 gramo de aceite esencial.

Se calcula mediante el siguiente procedimiento manifestado en la ecuación 8: en un matraz de saponificación se vierte, por medio de una bureta graduada al 1/10 de mL: 20 mL de KOH alcohólico N/2; algunos gramos de piedra pómez, y se pone durante 1 hora a reflujo en ebullición suave (tubo refrigerante de aire, de 1 m de longitud). Se deja enfriar diez minutos y se añaden 50 mL de agua destilada, dos gotas de fenolftaleína al 2% y se titula por retroceso por H₂SO₄ N/2, contenido en una bureta graduada a 1/10 mL. Sea n el número de mililitros de H₂SO₄ utilizado, con la muestra testigo en las mismas condiciones sin esencia y n₁, el número de mililitros de H₂SO₄ necesario en la muestra con esencia. El número de mililitros de KOH N/2 consumidos por 2 g de esencia es n-n₁.

$$IE = (IS - IA) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

IE: Índice de éster

IS: índice de saponificación

IA: índice de acidez

ANEXOS 7. Índice de acidez

El índice de acidez como se determina en la Ecuación 8.

- 1.- Pesar en una fiola entre 2-5 g. de dos muestras de aceite vegetal
- 2.- Agregue 10 ml de mezcla solvente (1ml etanol) y titule con NaO 0,1 N utilizando fenolftaleína al 1% como indicador. La aparición de un color rosado pálido indica el fin de la titulación (Punto Final).
- 3.- Calcule el índice de Acidez de acuerdo a la siguiente formula:

$$ID = \frac{G * N * 56.1}{W} \quad (\text{Ecuación 8})$$

G: Gasto de Hidróxido de Sodio

N: Normalidad

W: Peso de la Muestr

ANEXOS 8. Determinación del volumen y tiempo de extracción del aceite esencial de hinojo por el método de arrastre de vapor.

- Repetición 1

Presión de 5 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	0.25
20	1.00
30	2.00
40	2.25
50	3.00
60	3.25
70	4.00
80	5.00
90	5.25
100	6.00
110	6.50
120	6.50
130	6.75

Presión de 5 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	0.25
20	0.45
30	1.00
40	1.25
50	2.00
60	2.25
70	3.00
80	3.25
90	4.00
100	4.25
110	5.00
120	6.50

Presión de 5 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	0.25
20	0.25
30	0.45
40	0.75
50	1.00
60	1.75
70	2.25
80	3.00
90	3.25
100	4.00
110	4.75
120	5.25
130	5.47

- Repetición 2

Presión de 10 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	1.00
20	3.00
30	3.25
40	4.00
50	4.25
60	5.00
70	5.25
80	5.75
90	6.00
100	6.25
110	6.25
120	6.30

Presión de 10 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	1.00
20	2.75
30	3.00
40	3.25
50	4.00
60	4.75
70	5.00
80	5.25
90	6.00
100	6.25
110	6.75

Presión de 10 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	1.00
20	1.75
30	2.25
40	3.00
50	3.75
60	4.00
70	5.00
80	6.25
90	6.80

- Repetición 3

Presión de 15 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	1.00
20	1.75
30	3.00
40	4.00
50	4.25
60	5.00
70	5.25
80	5.75
90	6.00
100	6.25
110	6.75
120	7.00

Presión de 15 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	1.00
20	1.25
30	1.75
40	3.00
50	3.75
60	4.00
70	4.50
80	5.00
90	6.00
100	6.70
110	7.00

Presión de 15 psi	
Tiempo (min)	Volumen (ml)
0	0.00
10	1.00
20	2.00
30	3.25
40	4.25
50	4.75
60	5.25
70	6.00
80	6.80

ANEXOS 9. Determinación del rendimiento del aceite esencial de hinojo por el método de arrastre de vapor.

Repetición	R1			R2			R3		
	5 psi	10 psi	15 psi	5 psi	10 psi	15 psi	5 psi	10 psi	15 psi
Tiempo de extracción	2:10h	2:00h	2:00h	2:00h	1:50h	1:50h	2:10h	1:30h	1:20h
Peso de la muestra (g)	2500g	2500g	2500g	2500g	2500g	2500g	2500g	2500g	2500g
Peso del aceite esencial(g)	4.4675g	4.59375g	6.19625g	4.302g	4.92187g	6.19625g	3.62g	4.95833g	6.01g
Rendimiento	0.18%	0.18%	0.25%	0.17%	0.20%	0.25%	0.14%	0.20%	0.24%

ANEXOS 10. Determinación del rendimiento del aceite esencial de hinojo por el método de soxhlet.

	Solvente éter de petróleo			Solvente etanol		
Repetición	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Tiempo de extracción	5h	5h	5h	7h	7h	7h
Peso de la muestra	28.00g	28.00g	28.00g	28.00g	28.00g	28.00g
Peso de aceite esencial	0.3364g	0.3228g	0.3164g	1.4756g	1.470g	1.4784g
Rendimiento	1.14%	1.11%	1.13%	5.27%	5.25%	5.28%

ANEXOS 11. Determinación del porcentaje de humedad de la muestra de hinojo

deshidratado de muestra de hinojo por estufa			
pi	pf	pi-pf	%humedad
61.4736	6.9269	54.5467	88.73%

$$\%humedad = \frac{pi-pf}{pi} \times 100$$

ANEXOS 12. Determinación de la densidad del aceite esencial de hinojo.

-Método de extracción		p2	p1-p	p2-p	Densidad (g/ml)
Presión de extracción	5 psi	20.993	9.988	9.325	0.93
		20.978	9.988	9.31	0.93
		20.968	9.988	9.3	0.93
	10 psi	20.973	9.988	9.305	0.93
		20.958	9.988	9.29	0.93
		20.953	9.988	9.285	0.93
	15 psi	20.953	9.988	9.285	0.93
		20.948	9.988	9.28	0.93
		20.943	9.988	9.275	0.93
Solvente de extracción	Éter de petróleo	21.098	9.988	9.43	0.94
		21.075	9.988	9.407	0.94
		21.061	9.988	9.393	0.94
	Etanol	21.124	9.988	9.456	0.94
		21.097	9.988	9.429	0.94
		21.099	9.988	9.431	0.94

ANEXOS 13. Determinación de la viscosidad del aceite esencial de hinojo.

viscosidad a una temperatura de 20°C					
método de extracción		ρ	t'	$n_{H_2O} * \rho * t'$	Viscosidad (cP)
presión de extracción	5 psi	0.93362034	4.182	3.911	1.44
		0.93211854	3.962	3.700	1.36
		0.93111734	3.884	3.623	1.38
	10 psi	0.93161794	4.016	3.748	1.38
		0.93011614	4.1	3.820	1.40
		0.92961554	4.106	3.824	1.40
	15 psi	0.92961554	3.918	3.649	1.34
		0.92911494	4.144	3.857	1.42
		0.92861434	4.092	3.807	1.40
solvente de extracción	Éter de petróleo	0.94413296	6.534	6.180	2.27
		0.9418302	6.23	5.878	2.16
		0.94042851	5.984	5.638	2.07
	etanol	0.94673608	5.883	5.580	2.04
		0.94403284	6.1	5.769	2.12
		0.94423308	5.911	5.591	2.05

ANEXOS 14. Determinación del índice de refracción

Índice de refracción a una temperatura de 20°C			
Método de extracción		Brix	nD
Presión de extracción	5 psi	87.95	1.51203
		87.63	1.50842
		87.4	1.51452
	10 psi	87.6	1.51107
		81.61	1.49493
		81.26	1.48854
	15 psi	38.35	1.39667
		24.74	1.37189
		38.08	1.38687
Solvente de extracción	Éter de petróleo	67.18	1.57650
		63.91	1.49985
		61.28	1.43813
	Etanol	60.65	1.42322
		62.71	1.47155
		60.78	1.42622

ANEXOS 15. Determinación del índice de solubilidad en etanol.

Solubilidad en etanol			
Método de extracción		Cantidad de muestra	Solubilidad (ml)
Presión de extracción	5 psi	0.9ml	4.00
		0.9ml	4.50
		0.9ml	4.00
	10 psi	0.9ml	4.00
		0.9ml	4.00
		0.9ml	4.20
	15 psi	0.9ml	4.00
		0.9ml	4.00
		0.9ml	4.50
Solvente de extracción	Éter de petróleo	0.9ml	26.00
		0.9ml	26.00
		0.9ml	26.00
	Etanol	0.9ml	27.00
		0.9ml	27.00
		0.9ml	27.50

ANEXOS 16. Determinación del índice de saponificación (I.S)

Índice de saponificación						
Método de extracción		g	v	V'	Constante	I.S (mg de KOH/g)
Presión de extracción	5 psi	2.505	4	4.15	28.05	1.68
		2.508	3.9	4.15	28.05	2.80
		2.507	3.7	4.15	28.05	5.03
	10 psi	2.499	3.7	4.15	28.05	5.05
		2.505	3.6	4.15	28.05	6.16
		2.508	3.8	4.15	28.05	3.91
	15 psi	2.455	3.9	4.15	28.05	8.57
		2.507	3.6	4.15	28.05	6.15
		2.509	3.7	4.15	28.05	5.03
Solvente de extracción	Éter de petróleo	2.502	3.7	4.15	28.05	5.04
		2.505	3.9	4.15	28.05	2.80
		2.506	3.6	4.15	28.05	6.16
	Etanol	2.509	3.7	4.15	28.05	5.03
		2.504	3.4	4.15	28.05	8.40
		2.507	3.6	4.15	28.05	6.15

ANEXOS 17. Determinación del índice de Ester

Índice de Ester				
Método de extracción		I.S	I.A	I.E (mg de KOH/g)
Presión de extracción	5 psi	1.6796	0.21502491	1.46
		2.7961	0.44138474	2.35
		5.0349	0.44470868	4.59
	10 psi	5.051	0.44295302	4.61
		6.1587	0.44470868	5.71
		3.9145	0.66679873	3.24
	15 psi	8.5692	0.6581932	7.91
		6.1538	0.44400475	5.71
		5.0308	0.66233766	4.37
Solvente de extracción	Éter de petróleo	5.0449	0.44665605	4.60
		2.7994	0.44155844	2.36
		6.1562	0.65639626	5.50
	Etanol	5.0308	0.44260355	4.59
		8.4015	0.44453249	7.96
		6.1538	0.43589744	5.72

ANEXOS 18. Determinación del índice acidez (I.A)

Índice de acidez				
Método de extracción		W	G	I.A (mg de NaOH/g)
Presión de extracción	5 psi	2.609	0.1	0.22
		2.542	0.2	0.44
		2.523	0.2	0.44
	10 psi	2.533	0.2	0.44
		2.523	0.2	0.44
		2.524	0.3	0.67
	15 psi	2.557	0.3	0.66
		2.527	0.2	0.44
		2.541	0.3	0.66
Solvente de extracción	Éter de petróleo	2.512	0.2	0.45
		2.541	0.2	0.44
		2.564	0.3	0.66
	Etanol	2.535	0.2	0.44
		2.524	0.2	0.44
		2.574	0.2	0.44

ANEXOS 19. Datos estadísticos del rendimiento de aceite esencial.

Análisis de varianza ANOVA para el % de rendimiento - Suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	58.0219	4	14.5055	74743.69	0.0000
B:BLOQUE	0.000192542	2	0.0000962711	0.50	0.6265
RESIDUOS	0.00155256	8	0.00019407		
TOTAL (CORREGIDO)	58.0236	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para rendimiento con intervalos de confianza del 95.0%

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	3	0.165193	0.008043	X
2	3	0.192986	0.008043	X
3	3	0.245367	0.008043	X
4	3	1.12667	0.008043	X
5	3	5.26667	0.008043	X

Pruebas de múltiples rangos para rendimiento por tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0.0277927	0.0262298
1 - 3	*	-0.0801733	0.0262298
1 - 4	*	-0.961473	0.0262298
1 - 5	*	-5.10147	0.0262298
2 - 3	*	-0.0523807	0.0262298
2 - 4	*	-0.933681	0.0262298
2 - 5	*	-5.07368	0.0262298
3 - 4	*	-0.8813	0.0262298
3 - 5	*	-5.0213	0.0262298
4 - 5	*	-4.14	0.0262298

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 20. Datos estadísticos de la densidad de aceite esencial.

Análisis de varianza para densidad - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: TRATAMIENTO	0.000631183	4	0.000157796	463.90	0.0000
B: BLOQUE	0.0000146605	2	0.000007330	21.55	0.0006
RESIDUOS	0.0000027212	8	3.4015E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0.000648565	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para densidad con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T3	3	0.929115	0.000336724	E
T2	3	0.93045	0.000336724	D
T1	3	0.932285	0.000336724	C
T4	3	0.942131	0.000336724	B
T5	3	0.945001	0.000336724	A

Pruebas de múltiples rangos para densidad por tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	0.00183553	0.00109812
1 – 3	*	0.00317047	0.00109812
1 – 4	*	-0.00984515	0.00109812
1 – 5	*	-0.0127153	0.00109812
2 – 3	*	0.00133493	0.00109812
2 – 4	*	-0.0116807	0.00109812
2 – 5	*	-0.0145508	0.00109812
3 – 4	*	-0.0130156	0.00109812
3 – 5	*	-0.0158857	0.00109812
4 – 5	*	-0.00287011	0.00109812

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 21. Datos estadísticos de la viscosidad de aceite esencial.

Análisis de varianza para viscosidad - Suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: TRATAMIENTO	1.93214	4	0.483036	145.86	0.0000
B: BLOQUE	0.003485	2	0.0017425	0.53	0.6100
RESIDUOS	0.0264925	8	0.00331156		
TOTAL (CORREGIDO)	1.96212	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para viscosidad con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T3	3	1.38511	0.0332243	B
T1	3	1.39081	0.0332243	B
T2	3	1.39486	0.0332243	B
T5	3	2.07413	0.0332243	A
T4	3	2.16666	0.0332243	A

Pruebas de múltiples rangos para viscosidad por tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.00405064	0.108351
1 - 3		0.0056982	0.108351
1 - 4	*	-0.775849	0.108351
1 - 5	*	-0.683326	0.108351
2 - 3		0.00974884	0.108351
2 - 4	*	-0.771798	0.108351
2 - 5	*	-0.679275	0.108351
3 - 4	*	-0.781547	0.108351
3 - 5	*	-0.689024	0.108351
4 - 5		0.0925227	0.108351

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 22. Datos estadísticos del índice de refracción de aceite esencial.

Análisis de varianza para índice de refracción - Suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	0.0354114	4	0.00885284	7.93	0.0069
B:BLOQUE	0.00274212	2	0.00137106	1.23	0.3428
RESIDUOS	0.00893464	8	0.00111683		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0470881	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para índice de refracción con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T3	3	1.38514	0.0192945	C
T5	3	1.44033	0.0192945	BC
T2	3	1.49818	0.0192945	AB
T4	3	1.50483	0.0192945	A
T1	3	1.51166	0.0192945	A

Pruebas de múltiples rangos para índice de refracción por tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		0.0134767	0.062923
1 – 3	*	0.126513	0.062923
1 – 4		0.00683	0.062923
1 – 5	*	0.0713267	0.062923
2 – 3	*	0.113037	0.062923
2 – 4		-0.00664667	0.062923
2 – 5		0.05785	0.062923
3 – 4	*	-0.119683	0.062923
3 – 5		-0.0551867	0.062923
4 – 5	*	0.0644967	0.062923

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 23. Datos estadísticos de la solubilidad en etanol de aceite esencial.

Análisis de varianza para solubilidad en etanol - Suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	1816.47	4	454.118	9526.94	0.0000
B:BLOQUE	0.145333	2	0.0726667	1.52	0.2748
RESIDUOS	0.381333	8	0.0476667		
TOTAL (CORREGIDO)	1817.0	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para solubilidad en etanol con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T2	3	4.06667	0.126051	C
T3	3	4.16667	0.126051	C
T1	3	4.16667	0.126051	C
T4	3	26.0	0.126051	B
T5	3	27.1667	0.126051	A

Pruebas de múltiples rangos para solubilidad en etanol por tratamientos

Método: 95.0 porcentaje LSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		0.1	0.411077
1 - 3		0	0.411077
1 - 4	*	-21.8333	0.411077
1 - 5	*	-23.0	0.411077
2 - 3		-0.1	0.411077
2 - 4	*	-21.9333	0.411077
2 - 5	*	-23.1	0.411077
3 - 4	*	-21.8333	0.411077
3 - 5	*	-23.0	0.411077
4 - 5	*	-1.16667	0.411077

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 24. Datos estadísticos del índice de saponificación del aceite esencial.

Análisis de varianza para índice de saponificación - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	24.3362	4	6.08404	1.84	0.2155
B:BLOQUE	0.11396	2	0.0569802	0.02	0.9830
RESIDUOS	26.5219	8	3.31524		
TOTAL (CORREGIDO)	50.9721	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para índice de saponificación con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T1	3	3.1702	1.05123	A
T4	3	4.66683	1.05123	A
T2	3	5.0414	1.05123	A
T5	3	6.5287	1.05123	A
T3	3	6.5846	1.05123	A

Pruebas de múltiples rangos para índice de saponificación por tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 – 2		-1.8712	3.42826
1 – 3		-3.4144	3.42826
1 – 4		-1.49663	3.42826
1 – 5		-3.3585	3.42826
2 – 3		-1.5432	3.42826
2 – 4		0.374567	3.42826
2 – 5		-1.4873	3.42826
3 – 4		1.91777	3.42826
3 – 5		0.0559	3.42826
4 – 5		-1.86187	3.42826

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 25. Datos estadísticos del índice de ester de aceite esencial.

Análisis de varianza para índice de ester - Suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	22.6056	4	5.6514	1.76	0.2295
B:BLOQUE	0.0909855	2	0.0454927	0.01	0.9859
RESIDUOS	25.6597	8	3.20746		
TOTAL (CORREGIDO)	48.3562	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para índice de ester con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T1	3	2.80316	1.034	A
T4	3	4.15196	1.034	A
T2	3	4.52325	1.034	A
T3	3	5.99642	1.034	A
T5	3	6.08769	1.034	A

Pruebas de múltiples rangos para índice de Ester por tratamientos

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 – 2		-1.72009	3.37207
1 – 3		-3.19326	3.37207
1 – 4		-1.3488	3.37207
1 – 5		-3.28453	3.37207
2 – 3		-1.47317	3.37207
2 – 4		0.371283	3.37207
2 – 5		-1.56444	3.37207
3 – 4		1.84446	3.37207
3 – 5		-0.0912674	3.37207
4 – 5		-1.93573	3.37207

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 26. Datos estadísticos del índice de acidez de aceite esencial.

Análisis de varianza para índice de acidez - Suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: TRATAMIENTOS	0.0854499	4	0.0213625	2.38	0.1380
B: BLOQUE	0.0572724	2	0.0286362	3.19	0.0958
RESIDUOS	0.0718267	8	0.00897833		
TOTAL (CORREGIDO)	0.214549	14			

Tabla de medias por mínimos cuadrados para índice de acidez con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T1	3	0.367039	0.0547063	B
T5	3	0.441011	0.0547063	BA
T4	3	0.51487	0.0547063	BA
T2	3	0.518153	0.0547063	BA
T3	3	0.588179	0.0547063	A

Pruebas de múltiples rangos para índice de acidez por tratamientos

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.151114	0.178408
1 - 3	*	-0.221139	0.178408
1 - 4		-0.147831	0.178408
1 - 5		-0.0739717	0.178408
2 - 3		-0.0700251	0.178408
2 - 4		0.00328323	0.178408
2 - 5		0.0771423	0.178408
3 - 4		0.0733083	0.178408
3 - 5		0.147167	0.178408
4 - 5		0.0738591	0.178408

* indica una diferencia significativa.

ANEXOS 27. Anexos fotográficos





IMAGEN 4: Decantación del aceite esencial de hinojo



IMAGEN 5: Proceso de deshidratado por estufa del hinojo



IMAGEN 6: Pesado de la muestra en filtro de celulosa.



IMAGEN 7: Sofonado de la muestra de hinojo



IMAGEN 8: Evaporación de residuo del solvente por el método de baño maría

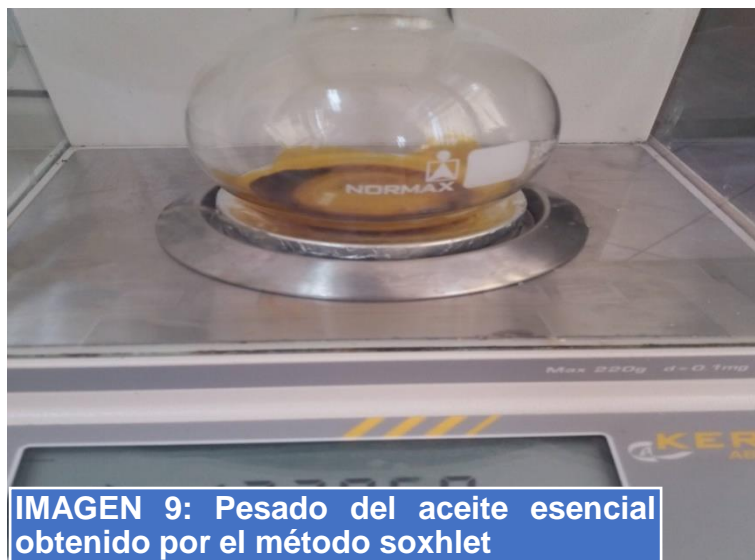


IMAGEN 9: Pesado del aceite esencial obtenido por el método soxhlet

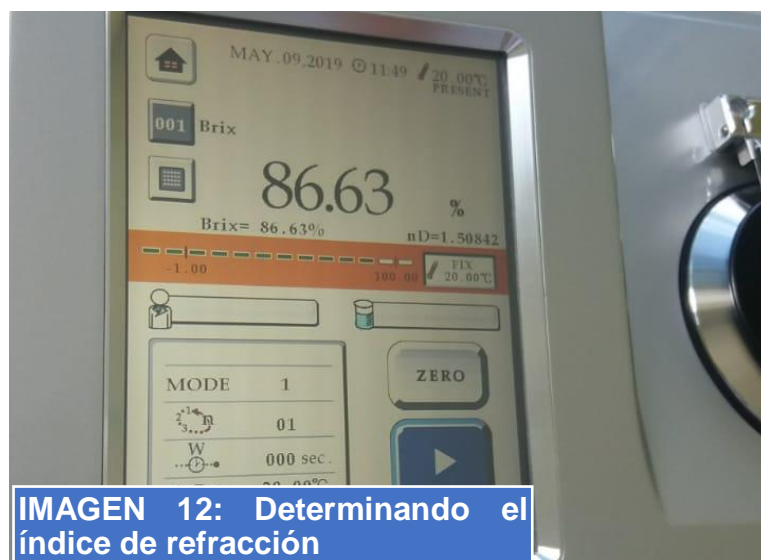
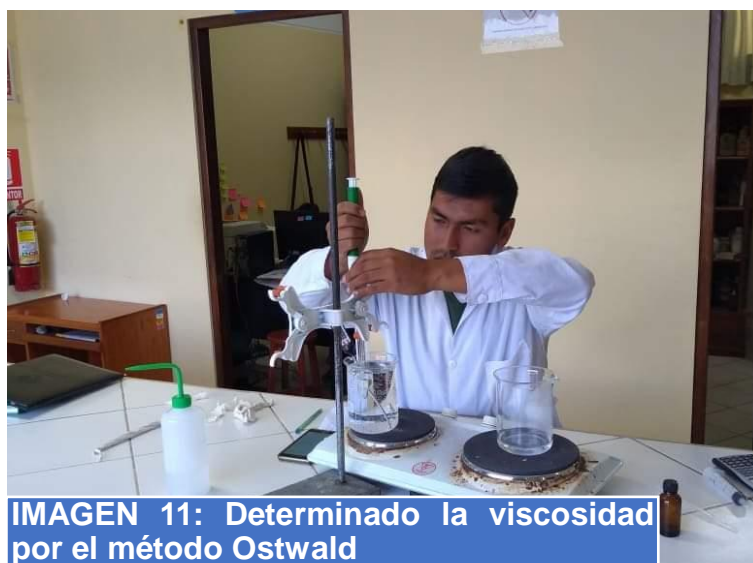
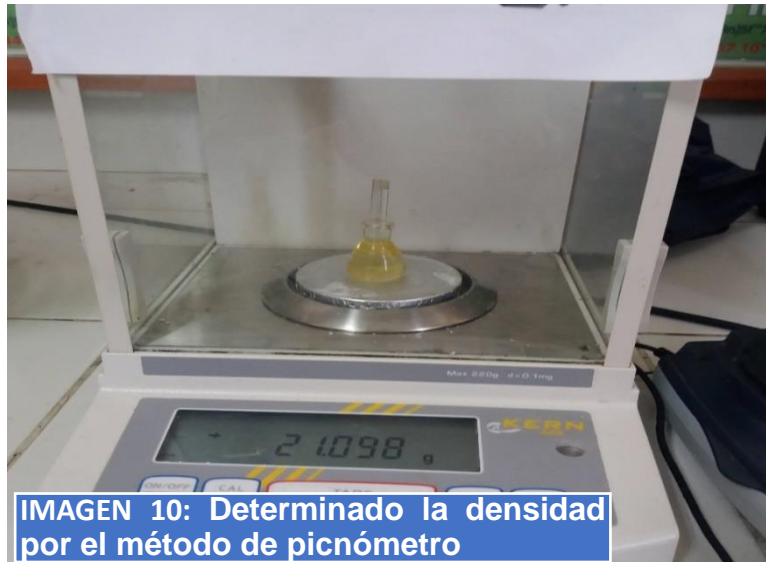




IMAGEN 13: Determinando la solubilidad en etanol



IMAGEN 14: Determinación del índice de acidez