

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“CARACTERIZACIÓN MICRO-HISTOLOGICO, FÍSICO Y QUÍMICO DEL
ACEITE ESENCIAL DE LAS HOJAS DE MATICO (*Piper aduncum*),
EXTRAIDO POR ARRASTRE DE VAPOR EN UN EQUIPO MODULAR”**

TESIS

PRESENTADA POR:

SIVELY KAREN MOROCCO QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

“Caracterización micro-histológico, físico y químico del aceite esencial de las hojas de matico (*Piper aduncum*), extraído por arrastre de vapor en un equipo modular”

PRESENTADA POR:

Sively Karen Morocco Quispe

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 DE MAYO DEL 2017

APROBADO POR:

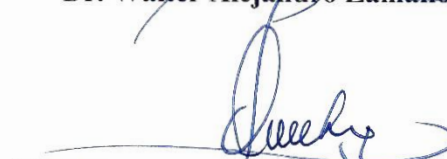
PRESIDENTE

:


Dr. Walter Alejandro Zamalloa Cuba

PRIMER MIEMBRO

:


M.Sc. Germán Quille Calizaya

SEGUNDO MIEMBRO

:


Ing. René Justo Quispe Flores

DIRECTOR / ASESOR

:


M.Sc. Edith Tello Palma

Área : Procesos industriales

Tema : Obtención de productos industriales

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis en primer lugar a Dios por bendecirme y haberme permitido llegar hasta este momento tan especial en mi vida.

A mi madre Bertha.

Por ser la fuente de mi inspiración, por haberme apoyado en todo momento, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante y por creer en mí, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos todo ello me ha permitido ser una persona de bien, pero sobre todo por tu inmenso amor. Mamá gracias, todo este trabajo y lo que he logrado hasta el día de hoy te lo debo a ti.

A mi padre Alejandro.

Por tu apoyo incondicional, por los ejemplos de perseverancia y constancia que te han caracterizado y que me ha influenciado siempre, por sus consejos, llevando presente tus sabias palabras de que un profesional debe estar al servicio de la sociedad, por el valor de salir adelante y por tu infinito amor.

A mi hermana Evelyn.

Por estar siempre a mi lado y apoyarme como amiga, confié en ti como en nadie, eres mi confidente, tus virtudes y tu gran corazón me lleva a admirarte cada día más, espero ser el espejo en el cual quieras verte reflejada. Gracias por todo y siempre estaremos juntas.

AGRADECIMIENTOS

- El presente trabajo de tesis, agradecerte en principal a ti Dios, por bendecirme, haberme dado salud para lograr mis objetivos, por darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades, guiarme y protegerme durante todo mi camino, además de su infinita bondad y amor, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que son mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, y porque hiciste realidad este sueño tan anhelado.
- A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Facultad de Ingeniería Química por ser como un segundo hogar, y permitir la ejecución de este proyecto de tesis, conjunto a todos los ingenieros que contribuyeron durante los 5 años con mi formación profesional
- A mi directora y asesora M.Sc. Edith Tello Palma, por sus conocimientos, apoyo, y colaboración para la elaboración de esta tesis, sin los cuales no hubiera podido realizar este trabajo.
- Al miembro del jurado Dr. Walter Alejandro Zamalloa Cuba, por impulsar el desarrollo de mi formación profesional, por su apoyo incondicional, desinteresado y constante, por sus valiosas contribuciones de conocimiento científico, orientación y motivación para la culminación de este proyecto.
- A los miembros del jurado M.Sc. Germán Quille Calizaya, Ing. René Justo Quispe Flores, por sus sabias observaciones y correcciones.
- Al personal que labora en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química, por su colaboración y paciencia durante la ejecución de mi tesis.
- A mis familiares que también fueron fuente de energía cuando la necesite, hermanos de mi madre (Nelly, Walther, Luzmila, Vilma, Edith, Yonny, Lizandro), a mis abuelitos Alejandro, Filiberto y a mi tía Saturnina por sus consejos y apoyo incondicional.
- A la señora Rosario Nagybabi por sus consejos y apoyo incondicional.
- A todos mis amigos, compañeros de clase durante todos los niveles de universidad, gracias por la amistad y el apoyo moral que han aportado un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional. Y así mismo expreso todo el agradecimiento a todas aquellas personas que sin estar mencionadas están en mi corazón y que de alguna forma contribuyeron con este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	11
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
I. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.1.1 Problema General.....	18
1.1.2 Problemas Específicos	18
1.2 Antecedentes	19
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
1.4 Justificación.....	23
1.4.1 Justificación Técnica.....	23
1.4.2 Justificación Económica	23
1.5 Hipótesis.....	23
1.5.1 Hipótesis General.....	23
1.5.2 Hipótesis Específica.....	24
II. REVISIÓN DE LITERATURA	25
2.1 Marco Teórico.....	25
2.1.1 Características Botánicas de la Planta.....	25
2.1.1.1 Registros y estudios de las plantas de Piper en el Perú.....	25
2.1.1.2 Usos de la planta Piper.....	26
2.1.2 Piper aduncum (Matico)	27
2.1.2.1 Descripción Morfológica	28

2.1.3 Aceite esencial (EOs)	31
2.1.3.1 Clasificación de los aceites Esenciales	31
2.1.3.2 Propiedades de los aceites Esenciales.....	32
2.1.3.3 Control de calidad del aceite esencial.....	33
2.1.3.4 Pruebas Fisicoquímicas para caracterización de aceites Esenciales.....	34
2.1.4 Aceite Esencial de Matico (<i>Piper aduncum</i>).....	36
2.1.4.1 Aspectos Químicos del aceite esencial de Matico (<i>Piper aduncum</i>).....	36
2.1.4.2 Principales componentes del aceite esencial de las hojas y espigas de Matico (<i>Piper aduncum</i>)	36
2.1.5 Métodos de obtención de Aceite Esencial	38
2.1.5.1 Destilación por arrastre con vapor de agua.....	39
2.1.5.2 Destilación con agua (hidrodestilación)	40
2.1.5.3 Destilación con Vapor Húmedo (Agua-Vapor).....	42
2.1.5.4 Destilación por arrastre con Vapor Seco (Inyección de Vapor)	44
2.1.5.5 Destilación previa maceración.....	45
2.1.5.6 Destilación al vacío.....	45
2.1.5.7 Destilación Molecular.....	45
2.1.5.8 Extracción por Microondas.....	46
2.1.6 Mecanismo de extracción de Aceite Esencial	46
2.1.6.1 Liberación del aceite esencial.....	47
2.1.6.2 Método de extracción por arrastre con vapor seco (principio teórico de la destilación por arrastre con vapor).....	48
2.1.6.3 Factores que influyen en la extracción	50
2.1.6.4 Operación de la MLDT.....	51
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
3.1 Materiales.....	52
3.1.1 Localización.....	52
3.1.2 Materiales y Equipo.....	52

3.1.2.1 Materiales	52
3.1.2.2 Equipos	52
3.2 Materia Prima.....	53
3.2.1 Descripción de la Materia Prima	53
3.2.2 Preparación de la Materia Prima.....	53
3.2.3 Pesado de las hojas de Matico	54
3.3 Descripción del Equipo Modular de Extracción de Aceites Esenciales.	55
3.3.1 Generador de Vapor de Agua	55
3.3.2 Recipiente Destilador.....	56
3.3.3 Condensador	56
3.3.4 Florentino separador de fases	57
3.3.5 Suministro de Servicio.....	57
3.3.6 Sistema de control de procesos	58
3.4 Descripción del Proceso de Extracción	59
3.5 Determinación del rendimiento de la extracción de aceite esencial	60
3.6 Evaluación del equipo modular (condensador).....	61
3.6.1 Calor total de evaporación del agua.....	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
4.1 Resultados de la extracción de aceite esencial de matico (<i>Piper aduncum</i>).....	70
4.1.2 Evaluación del diseño del condensador en el equipo modular	71
4.1.2.1 Condensador	71
4.1.2.2 Diseño de partes constitutivas	72
4.1.2.3 Diseño del sistema de extracción de aceite esencial.....	72
4.1.2.4 Vapor procedente del Caldero Eléctrico	73
4.1.2.5 Diseño del intercambiador de calor de calor coraza y tubo.....	76
4.1.3 Balance de Materia en el equipo de arrastre de vapor de agua.....	82
4.1.3.1 Balance de materiales para el generador:	82

4.1.3.3 Balance de Materia	86
4.1.4 Balance de energía en el equipo modular de arrastre de vapor de agua	87
4.1.5 Propiedades Físicas del aceite esencial de Matico (<i>Piper aduncum</i>)	96
4.1.5.1 Densidad del aceite esencial de Matico	96
4.1.5.2 Determinación del pH en el aceite esencial e Matico	96
4.1.5.3 Índice de Refracción	97
4.1.5.4 Determinación de la Humedad	97
4.1.5.5 Determinación de la viscosidad aparente del aceite esencial de Matico	98
4.1.6 Caracterización del aceite esencial de Matico (<i>Piper aduncum</i>) por su análisis químico.....	99
4.1.7 Determinación de la estructura molecular de componentes puros del sistema de aceite esencial de hojas de Matico (<i>Piper aduncum</i>)	102
4.1.8 Caracterización de la materia prima por Micro-histología	104
4.1.9 Rendimiento de la extracción del aceite esencial	105
V. CONCLUSIONES	108
VI. RECOMENDACIONES	109
VII. REFERENCIAS	110
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Piper aduncum	30
Figura 2. Fórmula estructural del dilapiol.....	36
Figura 3: Fórmula estructural de la miristicina.	37
Figura 4. Fórmula estructural de la piperitona	38
Figura 5. Distribución de temperatura en un condensador de vapor supercalentado.....	51
Figura 6. Recolección de las hojas de Matico (Piper aduncum)	53
Figura 7. Preparación de la Materia prima.....	54
Figura 8. Pesado de las hojas de Matico (Piper aduncum)	54
Figura 9. Generador de Vapor de agua	55
Figura 10. Recipiente destilador	56
Figura 11. Condensador construido	57
Figura 12. Compresora de aire	57
Figura 13. Panel de control	58
Figura 14. Diagrama de bloques del Proceso de Extracción de Aceites Esenciales de Matico	59
Figura 15. Volumen de aceite extraído mL vs tiempo en min.....	71
Figura 16. Condensador diseñado y construido	81
Figura 17. Determinación de la viscosidad.....	98
Figura 18. Variación de la viscosidad.....	99
Figura 19. Cromatograma del aceite esencial de Matico.	101
Figura 20. Estructura molecular en 2-D y 3-D de los componentes mayoritarios en el aceite esencial de Piper aduncum.....	102
Figura 21. Caracterización Micro-histológica	104
Figura 22. Microestructura de las hojas de Matico	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción Morfológica	28
Tabla 2. Resultados de la extracción de aceite esencial de matico	70
Tabla 3. Determinación de la Densidad	96
Tabla 4. Determinación del pH	96
Tabla 5. Determinación del Índice de Refracción.....	97
Tabla 6. Composición química del aceite esencial usando el GC/MS.....	100
Tabla 7. Propiedades Físico-químicas de los componentes mayoritarios en el aceite esencial de Piper aduncum	103
Tabla 8. Rendimiento del aceite esencial de Matico (Piper aduncum).....	107

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

EOs: Aceites esenciales

CG: cromatografía de gases

SEM: Microscopio Electrónico de Barrido

BHP: Boiler Horse Power

U: Coeficiente Global de Transferencia de Calor

η : Rendimiento (%)

ρ : Densidad (g/mL)

m: Masa (Kg)

v: Volúmen (mL)

β : Coeficiente de expansión volumétrica (mL)

h_{fg} : Entalpia (KJ/ Kg)

Q_T : Calor total (KJ/h)

$Q_{diseño}$: Calor de diseño (KJ/h)

T_{ia} : Temperatura del ingreso del agua (°C)

T_{sa} : Temperatura de salida del agua (°C)

T_e : Temperatura de entrada del vapor (°C)

T_s : Temperatura de salida del vapor (°C)

m_v : Masa de vapor (kg/h)

m_a : Masa de agua (kg/h)

P_{Total} : Presión total del sistema

P° : Son las presiones de vapor de los líquidos puros (A y B)

N: Son las fracciones molares de A y B

P: Presión total o de operación

Q_T : Calor total para evaporización de agua (KJ)

Q_S : Calor sensible (KJ)

Q_L : Calor latente (KJ)

\dot{m} : masa de agua (Kg)

C_p : Capacidad calorífica del agua (KJ/Kg °C)

ΔT : variación de temperatura

h_{fg} : entalpía de vaporización (KJ/Kg)

A : Área de la tubería (m^2)

D : Diámetro de la tubería (m)

$MLDT$: media logarítmica de temperatura

ΔT_2 : variación de la temperatura en el extremo 2

ΔT_1 : variación de temperatura en el extremo 1

h'_{fg} : entalpía de vaporización corregida (KJ/Kg)

C_{pL} : capacidad calorífica del líquido (KJ/Kg °C)

T_{sat} : temperatura de saturación del agua (°C)

T_w : temperatura de la pared del condensador (°C)

q_T : calor total del vapor (w)

h_i : coeficiente de condensación de película en el interior del tubo ($W/m^2 \cdot K$)

T_W : temperatura de la pared del condensador °C

β : expansión térmica $1/^\circ K$ se halla en tabla

g : gravedad m/s^2

ρ : densidad del líquido (Kg/ m^3)

μ : viscosidad dinámica (Ns/ m^2)

T_w : temperatura de la pared del condensador °C

T_b : temperatura promedio del fluido para el enfriamiento °C

L_c : diámetro de la tubería (m)

R_a : número de Rayleigh

G_r : número de Grashof

P_r : número de Prandtl

N_u : Nusselt

P_r : número de Prandtl

h_e : coeficiente de condensación de película externa ($W/m^2 \cdot K$)

K : conductividad termica del liquido ($W/m^{\circ}K$)

h : coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2^{\circ}K$)

C_p : capacidad calorifica del liquido ($KJ/Kg^{\circ}C$)

μ : viscosidad dinamica (Ns/m^2)

G : Flujo masico (Kg/h)

K : conductividad termica ($W/m^{\circ}K$)

D_e : diametro hidraulico (m)

V : velocidad del fluido (m/s)

\dot{m} : flujo masico (Kg/s)

A : area de la tuberia (m^2)

ρ : densidad del fluido (Kg/m^3)

U_c : coeficiente global de transferencia de calor por condensacion ($W/m^2^{\circ}C$)

h_0 : coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2^{\circ}C$)

h_c : coeficiente de condensacion de pelicula ($W/m^2^{\circ}C$)

U_e : coeficiente global de transferencia de calor por enfriamiento ($W/m^2^{\circ}C$)

h_e : coeficiente de transferencia por conveccion para enfriamiento ($W/m^2^{\circ}C$)

A_c : area de transferencia de calor para condensacion (m^2)

$MLTD_c$: media logaritmica de temperatura para la condensacion ($^{\circ}C$)

F : factor de correccion

A_e : area de transferencia de calor para enfriamiento (m^2)

$MLTD_e$: media logaritmica de temperatura para el enfriamiento ($^{\circ}C$)

A_T : area total del condensador (m^2)

D_{ext} : diametro externo del condensador (m)

L : longitud del condensador (m)

RESUMEN

Los Aceites Esenciales tienen demanda mundial en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. El objetivo de la investigación realizada con las hojas de Matico (*Piper aduncum*), procedentes del distrito de Ollachea Anexo Chuany, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno, muestra su estructura micro-histológica del aceite esencial situada en los tricomas glandulares peltados de forma esferoides achatada, realizada en el microscópico electrónico de barrido del mega laboratorio de la UNA-Puno. Propiedades físicas: densidad del aceite 0.9278g/ml a 20° C; viscosidad aparente es de 4.69 cP a 4.96 cP; Índice de refracción de 1.4872; pH de 5.15. Los componentes aromáticos mayoritarios como el Asarone, 1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-, y Bicyclo (7.2.0) undec-4-ene, 4, 11, 11-trimethyl-, se determinaron por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masa, sus entalpías de estos componentes se hallaron con el software ADC Chem sketch. El tiempo de extracción del aceite esencial por arrastre de vapor fue de 2 (dos horas), obteniéndose 25 mL de aceite con 4.5 kg de muestra en el condensador modular (coraza y tubos), obteniendo mayor rendimiento comparado con el condensador de serpentín de LOPU que extrajo 13.5 mL.

Los cálculos de la evaluación energética del equipo modular, muestra ahorro energético, mayor rendimiento. La investigación se realizó modificando el condensador del equipo del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) de la FIQ – UNA- Puno.

Palabra clave: aceite de matico, extracción, cromatografía, coeficiente de calor.

ABSTRACT

Essential oils are worldwide demanded by the food, pharmaceutical and cosmetic industry. The aim of the present research is to study the physico-chemical properties of the essential oil of Matico (*Piper aduncum*) through the steam extraction in a modular condenser. The essential oil was extracted from the glandular trichomes performed in spheroid form flattened, made in the microscopic electronic scan of the mega laboratory in the UNA-Puno. Physical properties: oil density 0.9278g/ml at 20°C, apparent viscosity is in a range of 4.69 cP to 4.96 cP. The refractive index is 1.4872, 5.15 pH. Major aromatic components such as Asarone, 1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-, and Bicyclo (7.2.0.) undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl- were determined by gas chromatography docked to mass spectrometry, their enthalpies of these components were found with the ADC Chem sketch software. The extraction time of the essential oil through the steam trapping was two (2) hours, obtaining 25 mL of oil from 4.5 kg of leaves samples in the modular capacitor (Shell and tubes), getting greater performance compared to the oil condenser of LOPU which extracted 13.5 mL.

The data of the energy evaluation the molecular equipment, show energy saving, higher performance. The investigation was carried out by modifying the capacitor of the unit from the Laboratory of Unitary Operations (LOPU) of FIQ – UNA – Puno.

Keys words: Matico oil, extraction, chromatography, heat coefficient-

I. INTRODUCCIÓN

El mercado mundial de los aceites esenciales, está en crecimiento constante, genera una continua renovación de la tecnología empleada para obtener estos productos.

El Matico (*Piper aduncum*), es un arbusto perenne crece hasta una altura de 5 metros, nativa del Caribe, aunque se ha adaptado a varios trópicos. En el Perú crece en las regiones de 2800 a 3200 msnm. El aceite esencial presenta una amplia variedad de usos tradicionales, como molusquicida, insecticida y antibacteriano (Araujo, *et al*, 2012; De Almeida, *et al*, 2009). El té elaborado de las hojas y raíces es usado para tratar la diarrea, disentería, náuseas, úlceras, infecciones del aparato urinario y trastornos hemorrágicos (Guerrini, *et al*, 2009).

Los aceites esenciales son mezclas homogéneas de compuestos químicos orgánicos, provenientes de una misma familia química, terpenoides. Tienen la propiedad en común, de generar diversos aromas agradables y perceptibles al ser humano. A condiciones ambientales, son líquidos menos densos que el agua, pero más viscosos que ella. Poseen un color en la gama del amarillo, hasta ser transparentes en algunos casos (Günther, 1948; Teuscher *et al.*, 2005; Parry, 1921; Muñoz, 2002; Peter, 2004).

El proceso de extracción comúnmente denominado destilación por arrastre de vapor. Sin embargo, no existe un nombre claro y conciso para definirlo, debido a que se desconoce exactamente lo que sucede en el interior del equipo principal y porque se usan diferentes condiciones del vapor de agua para el proceso. Es así que, cuando se usa vapor saturado o sobrecalentado, fuera del equipo principal, es llamado “destilación por arrastre de vapor” (Günther, 1948). Cuando se usa vapor saturado, la materia no está en contacto con el agua generadora, sino con un reflujo del condensado formado en el interior del destilador y se asumía que el agua era un agente extractor, se le denominó “hidroextracción” (Palomino y Cerpa, 1999). En el presente trabajo, se adoptará el término extracción-destilación, para obtener el aceite esencial del Matico mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica.

El balance de masa y calor para evaluar el ahorro de energía, y la determinación de los componentes aromáticos por cromatografía y las propiedades físicas se harán de acuerdo a los estándares actuales, como el uso del microscopio electrónico de barrido.

1.1 Planteamiento del problema

El mercado mundial de aceites esenciales, vienen cobrando enorme importancia, fundamentalmente por sus propiedades multifuncionales, que además de los roles clásicos como aditivos alimenticios y/o fragancias, tienen propiedades farmacológicas con actividades antibacterianas, antioxidantes, anti-inflamatorias y antitumorales (Araujo, *et al.*, 2012; Berger, 2007), aplicaciones como ingredientes de productos aromaterápicos (Surburg, 2006; Guerrini, *et al.*, 2009), han creado una mayor demanda y tendencia a la búsqueda de nuevas fuentes naturales, el cual está desplazando al uso de productos sintéticos, lo que motiva al esfuerzo científico, por precisar, evaluar y analizar plantas y sus propiedades, pero si no se, genera una continua renovación de la tecnología empleada para obtener estos productos. A su vez, incentiva la optimización de los equipos usados diariamente, para aumentar su rentabilidad y eficiencia. Existe amplio conocimiento de procesos para obtener aceites esenciales usando el agua como agente de extracción. Sin embargo, pocas modificaciones se han realizado en las últimas décadas, para controlar y optimizar el proceso. Esto es debido, a que las modificaciones realizadas han tenido un carácter mecánico y buscan disminuir el consumo energético necesario para esta operación. Y se ha dejado de lado, la comprensión y la predicción de los fenómenos físicos que acontecen en el interior del equipo. Este análisis es importante en la actualidad, porque permite formular modificaciones en equipos ya existentes y es necesario determinar cuál es el impacto de las variables de operación en el rendimiento y calidad de los productos; dimensionar equipos a una escala superior. Así se evita la necesidad de construir una planta industrial o de realizar pruebas onerosas y numerosas a escala piloto, las cuales sólo sirven para una materia prima para determinadas condiciones de operación y escala de producción. El apoyo a esta tecnología, para modernizarla y optimizarla, recae en conocer sus antecedentes; en el control operacional de los equipos; en el efecto de las variables y parámetros operacionales en el rendimiento. Además, de integrar lo anterior, en una metodología científica, capaz de ser aplicada a cualquier materia prima o tipo de equipo. Logrando así, mejorar el rendimiento en la producción y el disminuir el consumo energético de manera homogénea y permanente en el tiempo.

El proceso para obtener los aceites esenciales, usado desde la antigüedad hasta el presente, ha demostrado su cualidad de ser amigo del medio ambiente: gracias al

mínimo impacto generado; contribuir a cerrar el ciclo de producción-consumo de materiales renovables en nuestro planeta. Además, al requerir materias primas renovables, contribuye al desarrollo sostenible de zonas con un menor nivel de industrialización, pero con una alta disponibilidad de mano de obra y de una gran biodiversidad del material vegetal. Lo cual favorece a un mayor crecimiento económico, apoyado en un manejo racional, sin descartar la implementación de modificaciones de esta tecnología.

Un problema común en la producción de aceites esenciales radica en la diversidad de los rendimientos obtenidos para una misma planta aromática. Lo cual podría deberse al nivel de producción, al tipo de equipo usado, a las condiciones térmicas del vapor de agua usada, variables de operación y a otros factores adicionales. De este hecho se reconoce la necesidad del desarrollo de métodos alternativos que evite en lo posible la anterior objeción.

En el LOPU-FIQ – UNA, existe el equipo de extracción de aceites esenciales tiene un condensador de tubo y serpentín, y este tiene un rendimiento bajo cuando se realiza la extracción de un aceite esencial, por lo que se propone con este trabajo de investigación cambiar por un condensador de tubo y coraza (13 tubos de longitud 0.505 m, diámetro externo de 0.0127 m, espesor 1.5 mm), el mismo que concentra mayor rendimiento que contribuirá en la optimización del proceso de extracción mediante el ahorro energético y así poder resolver ese problema. Posteriormente se caracterizó el aceite esencial extraído de la planta Matico (*Piper aduncum*), proveniente del distrito de Ollachea Anexo Chuany, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno.

1.1.1 Problema General

- ¿Cuál es la caracterización micro-histológico, físico y químico del aceite esencial de las hojas de matico (*Piper aduncum*) extraído por arrastre de vapor en un equipo modular?

1.1.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál es el mejor diseño del condensador del equipo modular para optimizar el proceso de obtención del aceite esencial de Matico?

- ¿Cuál es el mejor análisis que permitirá identificar el tipo de células que contiene el aceite esencial presente en las hojas de Matico?
- ¿Cuáles serán las propiedades físicas (densidad, viscosidad, pH e índice de refracción) del aceite esencial de Matico?
- ¿Cuál es la composición química de los componentes aromáticos del aceite esencial de Matico mediante la técnica cromatográfica?
- ¿Cuál es el balance de masa del equipo modular diseñado y construido para que funcione como planta piloto en el LOPU – FIQ –UNA?
- ¿Cuáles serán las entalpías de los componentes mayoritarios del aceite esencial?
- ¿Comparar el porcentaje de rendimiento promedio de aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*), en el condensador (serpentín) adquirido por la FIQ-UNA y el porcentaje de rendimiento promedio de aceite esencial de Matico en el condensador (coraza – tubos), diseñado y construido?

1.2 Antecedentes

En análisis microscópico, de hojas de *Leonurus sibiricus* (Duarte & Lopes, 2005). (Zuzarte *et al.*, 2010). Encontró tricomas glandulares bifurcados y ramificados, así como para las hojas de mentha *Ocimum gratissimum* (Vianna, 2009).

(Cerpa, 2007), determino en hojas de la Lavandin super, tricomas glandulares peltados con forma esferoide achatada, así como para las hojas de romero español muestra tricomas glandulares peltados ocultas entre una gran cantidad de tricomas no glandulares.

Para la mejorana de España muestra una distribución uniforme y abundante de los tricomas glandulares peltados, en el anverso y reverso de las hojas estos poseen una forma esferoide achatada. Para el Hisopo Español, muestran una distribución uniforme de los tricomas glandulares peltados, en el anverso y reverso de las hojas. Éstos poseen una forma esferoide achatada, donde el diámetro transversal es mayor al perpendicular. (Cerpa, 2007).

Este análisis constituye una herramienta importante para formular modelos fenomenológicos microscópicos más próximos a la realidad, que tomen en cuenta la verdadera morfología de la matriz herbácea, la localización real del aceite esencial en

ella y conocer la variación de la morfología superficial de la Hidrodestilación de aceites esenciales: Modelado y Caracterización (Cerpa, 2007).

En este trabajo se pretende mostrar el tipo de análisis micro-histológico de las hojas de Matico (*Piper aduncum*) del cual no existen estudios realizados.

Para la extracción de aceites esenciales, existen diferentes métodos, siendo la destilación por arrastre de vapor uno de los más utilizados a escala industrial, por ser un método sencillo y de bajo costo en comparación de otros métodos alternativos como el de la extracción por fluidos supercríticos y el de extracción por microondas, que pueden tener mejor rendimiento, pero para un nivel industrial aun es necesario realizar mayor investigación (Peredo, *et al.* 2009).

El aceite esencial de *Piper aduncum* en concentración de 20 mg/ml presenta actividad antimicrobiana contra *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Cryptococcus neoformans*, *Sacharomyces cerevisiae* y *Mycobacterium smegmatis* y una débil actividad contra *Aspergillus flavus* y *Trochophyton mentagrophytes*. (Gupta, 1995).

Por sus propiedades antibacterianas, anti fúngicas, cicatrizante, antiespasmódica antiperitica, también se ha evaluado sus propiedades anticancerígenas como señala en su estudio sobre su potencialidad de utilizar los aceites esenciales de Matico (*Piper aduncum*) para el desarrollo de productos con actividad antitumoral donde obtuvo una mortalidad de 100% de Artemio salina a concentración de 250 µg/mL, respectivamente en 24 horas. (Sánchez., *et al.* 2011).

Piper aduncum L., Piperacea, se ha utilizado para el tratamiento de enfermedades inflamatorias principalmente y ha mostrado varias actividades biológicas, tales como insecticida y larvicida. (Maia, *et al.* 1998).

El té elaborado de las hojas y raíces de Matico (*Piper aduncum*) es usado para tratar la diarrea, disentería, náuseas, úlceras, infecciones del aparato urinario y trastornos hemorrágicos (Guerrini, *et al.* 2009).

Diana, *et al* (1992). En su “Estudio técnico de extracción de aceite esencial de *Piper aduncum* (Matico) y diseño de planta piloto” Afirmando que la cantidad máxima de aceite esencial extraído, a partir de 1kg de matico en el equipo de destilación con vapor nivel banco, fue de 10.6g. Los compuestos mayoritarios, o sus cantidades pueden variar de acuerdo a la región de donde provenga la especie.

Ruiz, *et al* (2015), extrajeron 23 ml de aceite esencial de 12.2 kg de hojas de Matico hojas lisas (*Piper hispidum*).

El aceite esencial de Matico (*Piper aduncum* L.), presenta una amplia variedad de usos tradicionales, como molusquicida, insecticida y antibacteriano. (De Almeida, *et al*, 2009).

Su eficacia como alternativa potencial a la inhibición de la eclosión de huevos de *Haemonchus contortus* de oveja. (Gisele, *et al*, 2013).

Smith y Kassim, (1979). Informaron que los constituyentes principales del aceite de Matico (*Piper aduncum*) obtenido por destilación al vapor de hojas frescas recolectadas en las Islas Fiji son dilapiol (58%) y piperitona (4%).

Gottlieb, *et al* (1981). Estudiaron los componentes principales de las variedades brasileñas *P. aduncum* var. *aduncum* y *P. aduncum* var. *cordulatum* encontrando dilapiol (74.5% y 88.4% respectivamente) y trazas de alcanfor en la primera.

Investigaron la composición del aceite esencial de las hojas frescas de la planta Matico recolectada en Panamá encontrando dilapiol (90%) como componente mayoritario, pero no encontraron piperitona; el aceite esencial obtenido de 4 diferentes variedades en la región amazónica tienen como componente mayoritario al dilapiol en un rango desde 3.4 a 12 %. (Maia, *et al*, 1998).

A través de estudios realizados se reportó la actividad insecticida y biológica como repelente y presenta actividad funguicida en hongos patógenos de la caña de azúcar; a partir de mezclas racémicas de piperitona se realizaron bioensayos que mostraron su efectividad como repelente de la mosca doméstica. (Lichtenstein, *et al*, 1974).

El dilapiol, uno de los componentes mayoritarios del aceite esencial de *Piper aduncum*, reduce el crecimiento de larvas de pestes de insectos, incluida la larva de la mayor peste de maíz en Norte América, *Ostrinia nubilalis*; son conocidos por su actividad insecticida y su uso como sinergias de insecticidas organofosforados y carbamatos (Bernard, *et al.* 1995).

Muchas sustancias obtenidas de especies del género piper han sido estudiadas utilizando tradicionalmente como insecticidas, especias y fitomedicamentos (Araújo, *et al.*, 2012).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Caracterizar micro-histológico las hojas frescas de Matico (*Piper aduncum*) y evaluar las propiedades físico y químico del aceite esencial, extraído por arrastre de vapor en un equipo modular.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el diseño del condensador del equipo modular.
- Analizar e identificar el tipo de células que contiene el aceite esencial presente en las hojas.
- Determinar las propiedades físicas (densidad, viscosidad, pH, e índice de refracción).
- Determinar la composición química de los componentes aromáticos del aceite esencial por técnicas cromatográficas.
- Evaluar el balance de masa y energía en el equipo modular diseñado y construido para que funcione como planta piloto en el LOPU – FIQ –UNA.
- Determinar las entalpias de los componentes mayoritarios del aceite esencial.
- Comparar el rendimiento de extracción del aceite esencial del matico (*Piper aduncum*), del equipo (con condensador de serpentín) adquirido por la FIQ-UNA y el equipo modular (con condensador diseñado y construido), que se colocara en vez del condensador de serpentín.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación Técnica

- Los aceites esenciales son mezclas de sustancias volátiles de origen natural caracterizado por poseer un fuerte olor, contenidas en plantas. Por sus propiedades multifuncionales, motiva a la comunidad científica y compañías farmacéuticas realizar estudios básicos y aplicados relacionados a la caracterización, extracción y purificación de los componentes químicos de aceites esenciales.
- El uso eficiente de la energía es un paso adelante contra un posible agotamiento energético, por lo cual, se está tratando de comprender como es posible aumentar el rendimiento de los procesos, para poder operar con eficiencia.

1.4.2 Justificación Económica

- Generar una tecnología que permita el aprovechamiento y darle mayor valor agregado al Matico (*Piper aduncum*). Por lo tanto, esta tecnología permitirá obtener aceite esencial, que puede tener una demanda en las industrias especializadas en la elaboración de diversos productos finales a partir del aceite esencial de Matico.
- Los pobladores del distrito Ollachea podrán tener mayores ingresos al dar el valor agregado a esta planta (Matico) y generar riqueza.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

- El microscopio electrónico de barrido caracterizo la forma de cómo están ubicadas las células que contienen el aceite en las hojas de Matico, para que con estos datos al extraer el aceite esencial se pueda estudiar sus propiedades físicas, composición química de los componentes aromáticos, realizar el balance de energía, su rendimiento de concentración de aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*) en el equipo modular modificado

1.5.2 Hipótesis Específica

- La evaluación del diseño del condensador del equipo modular, permite optimizar el proceso de extracción del aceite esencial.
- Mediante la técnica del Microscopio Electrónico de Barrido (MEC) se ha identificado el tipo de células que contiene el aceite esencial presente en las hojas.
- El aceite esencial de las hojas frescas de Matico (*Piper aduncum*), extraídos por arrastre de vapor en el equipo modular, permite determinar la densidad, la viscosidad, el pH e índice de refracción.
- Mediante las técnicas cromatográficas se identifican y cuantifican los principales componentes aromáticos mayoritarios en el aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*) extraído.
- Mediante el balance de materia y energía en el equipo modular por arrastre de vapor de agua se logra optimizar el proceso de extracción del aceite esencial.
- Se determinaron las entalpías de los componentes mayoritarios del aceite esencial haciendo uso del software ADC Chem Sketch.
- La comparación del porcentaje de rendimiento promedio de aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*), en el condensador (serpentín) adquirido por la FIQ-UNA y el porcentaje de rendimiento promedio de aceite esencial de Matico en el condensador (coraza – tubos), colocado en lugar del condensador de serpentín, se observó un mayor rendimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Características Botánicas de la Planta

Las Piperaceas son una familia tropical de arbolitos, arbustos y trepadoras leñosas, esta familia comprende 10 géneros, siendo los principales Piper y Peperomia. Las Piperaceas como una familia pantropical se cree que crecen principalmente en los bosques pluviales.

Sus caracteres diagnósticos son: hojas alternas, simples, enteras, con glándulas que contienen esencia de olor picante y pecíolos que abrazan el tallo; las estípulas cuando existen se encuentran soldadas al pecíolo; flores diminutas, desnudas, bisexuales o unisexuales dispuestas en racimo o en espiga, generalmente opuestos a las hojas, los tallos tienen nodos, pueden ser articulados aéreos y subterráneos, presentan el tejido vascular primario en 2 o más anillos, o anillos pequeños esparcidos; el fruto es una drupa o baya, y consta de una semilla. (Pino, 2002).

2.1.1.1 Registros y estudios de las plantas de Piper en el Perú

La exploración formal de la flora peruana fue impulsada hacia fines de los años 1700 por la expedición de los naturistas españoles Ruiz y Pavón, quienes fueron pioneros en la colección y descripción de plantas peruanas. En *Flora peruviana et chilensis*, ellos describen e ilustran varias especies de la familia en el año 1798.

En *Flora de Perú*, la serie descriptiva fundamental sobre la flora peruana, contiene un tratamiento de la familia, de gran valor para su momento histórico (Macbride, 1936). En las décadas inmediatas posteriores a esta obra, el botánico estadounidense William Trelease, quien se consolidaría como especialista en el género *Piper*, describió gran cantidad de especies, incluyendo varias del ámbito de estudio (Trelease, 1950).

El Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú reporta unas 830 especies de Piperáceas, principalmente hierbas y arbustos (Brako y Zarucchi, 1993); este número se ve nutrido con nuevos registros y especies de manera continua, como se aprecia, por ejemplo, en el documento Diez años de adiciones a la flora de Perú (Ulloa *et al.*, 2004),

que añade 12 especies para el género *Piper* y 7 especies para el género *Peperomia* solamente en el lapso de una década.

Piper es el género más rico en especies endémicas en el Perú; éstas se concentran principalmente en las formaciones de Bosque Húmedo Amazónico, Bosque Muy Húmedos Montano y Bosque Muy Húmedo Premontano, entre los 100 - 2700 m de altitud (León, 2006).

2.1.1.2 Usos de la planta *Piper*

Un rubro de uso mundialmente extendido de *Piper* es como condimento. La Pimienta es elaborada del fruto maduro de *Piper nigrum*.

En la medicina tradicional, las especies de *Piper* son ampliamente usadas por la población local. La infusión de las hojas de varias de las especies es empleada para el tratamiento de desórdenes intestinales, y como antimicrobiana. Los estudios fitoquímicos efectuados en algunas de las especies han conducido al aislamiento de una amplia variedad de metabolitos secundarios, dentro de ellos alcaloides, lignanos, neolignanos, terpenoides, kavapironas, piperolidas, chalconas y dihidrochalconas, flavonas y flavanonas, los cuales presentan una amplia gama de actividades biológicas y con potencial farmacológico, como calmantes, antimicrobianos, antifúngicos e insecticidas (Virinder *et al.*, 1997; Palacios *et al.*, 2009).

En América Latina, *Piper amalago*, distribuida desde México hasta Brasil, es usado para aliviar dolores de pecho y como agente antiinflamatorio. Las hojas de *Piper hispidum* y *P. elongatum* son usadas en emplasto o en ungüentos para tratar úlceras cutáneas causada por leishmaniasis (Estevez *et al.*, 2007), y las hojas de *Piper aduncum* son usadas como control de inflamaciones y como antisépticas (Orjala *et al.*, 1994).

Estudios etnobotánicos desarrollados en Brasil indican que *Piper aduncum* ha sido usada ampliamente en el norte y nordeste de Brasil y Selva Amazónica como una planta que posee propiedades insecticidas (Maia *et al.*, 2001). Sus hojas y tallos contienen un aceite esencial compuesto principalmente por Dillapiole, producto que ha demostrado tener un efecto sinérgico con varios pesticidas de origen natural, además de poseer actividad bactericida y fungicida. (Castro *et al.* 2009), reportan la toxicidad de los

extractos de *Piper aduncum* sobre diferentes estados de desarrollo de las garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, y evalúan su potencial en el control de éstas.

En las islas del Pacífico, a partir de las raíces de *Piper methysticum*, arbusto conocido como Kava, se prepara una bebida refrescante, que es consumida habitualmente como tranquilizante para combatir la ansiedad (Singh, 1997); con esta misma finalidad se usan las hojas de Betel, *Piper betle*, en zonas de India y Bangladesh.

2.1.2 Piper aduncum (Matico)

El *Piper aduncum* es una planta dicotiledónea, arbustiva, perenne de 1.80 a 5 m de altura, raíz pivotante, tallo erguido, leñoso, ramificado, con ramas ascendentes, nudoso, con entrenudos floríferos más bien delgados y cortos, esparcidamente pubescente, hojas lanceoladas o subelípticas, agudamente acuminadas, con la base redondeada o un poco cordada, pinnadamente nerviadas hasta la mitad o tercera parte superior, con 6 a 8 nervaduras en cada lado, con pecíolos cortos; inflorescencia en espigas, gradualmente encorvadas y con cabillo largo, las flores son inconspicuas, sésiles, glabras, de color blanquecino o amarillento; el fruto es pequeño ovoide, más o menos di o tetragono y glabro; se propaga por semilla y vegetativamente por estacas.

El *Piper aduncum* contribuye en la reforestación y conservación de la biodiversidad y biomasa del bosque y actúa como barrera natural contra la erosión; Su madera es utilizada como combustible, en estacas, cercas e incluso haciendo parte de construcciones rudimentarias. Crece en zonas con altitudes entre 0 y 1800 msnm y temperatura superiores a 17.5°C, es maleza en cultivos, potreros, caminos y cafetales, es una planta de importancia apícola, es medicinal y se usa como antineurálgica y estupefaciente de la lengua, la decocción de las hojas se usa como tónico en disentería, para curar llagas rebeldes. La raíz en decocción se usa contra hemorragias internas. (Gómez, 1987).

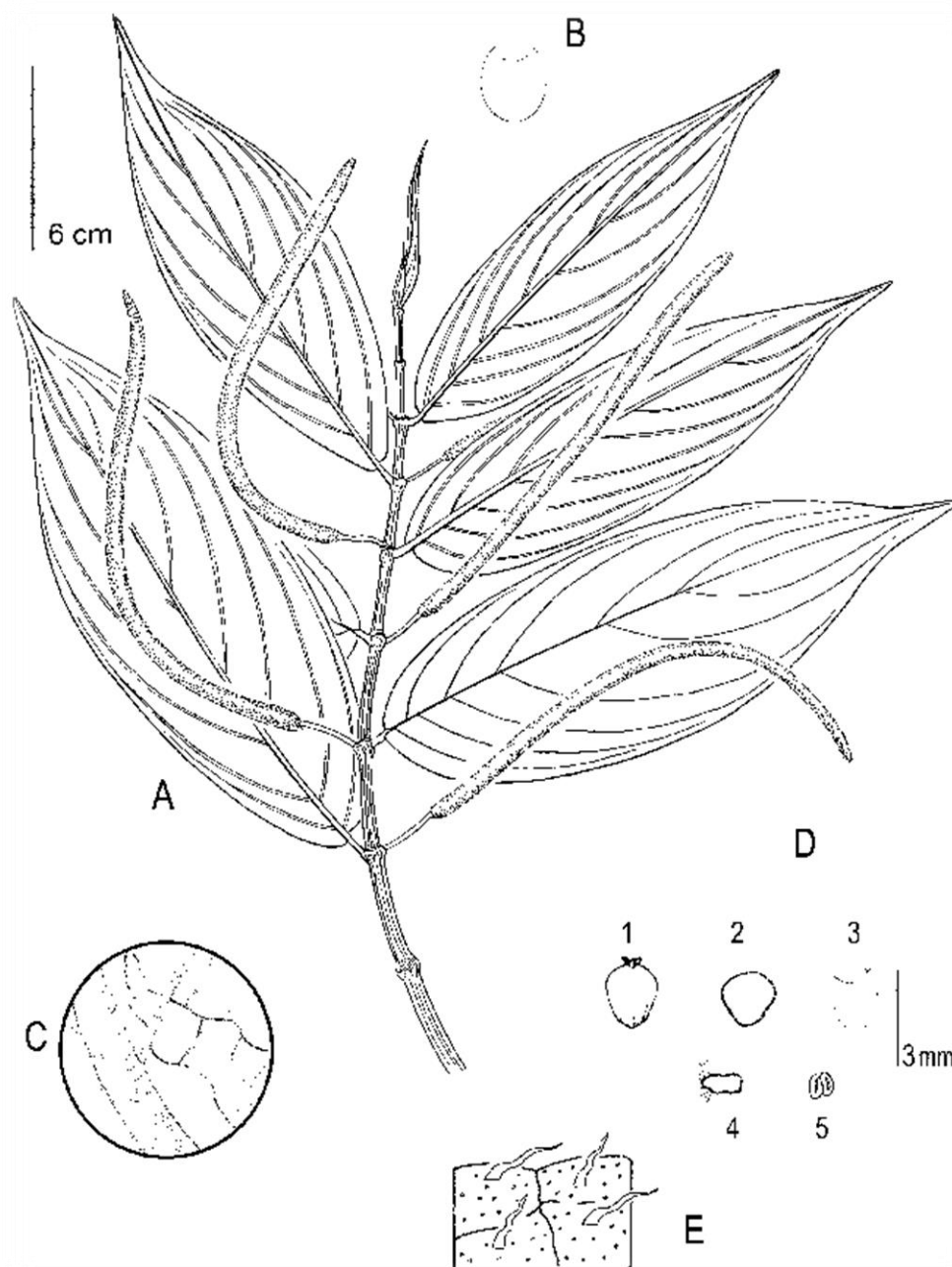
2.1.2.1 Descripción Morfológica

Tabla 1. Descripción Morfológica

Piper aduncum	
Sinónimos Botánicos:	Artanthe elongata (M. Vahl) Miquel, Piper angustifolium R. & P., Piper elongatifolium Trelease, Piper elongatum var. pampayacusum Trelease, Piper lineatum var. hirtipetiolatum Trelease, Piper purpurescens D. Dietrich, Piper reciprocum Trelease, Steffensia elongata (M. Vahl) Kunth.
Nombres Comunes:	“Cordoncillo” o “Matico”
Descripción:	<p>Árbol de 3 - 5 m de alto y 8 - 15 cm de diámetro, ramificado en el segundo tercio, con el fuste nudoso.</p> <p>Corteza externa de color verde o gris pálido, con anillos horizontales en todo el fuste, distanciados unos 20 cm entre sí, con pequeñas fisuras separadas 1- 2 cm entre sí, y lenticelas poco protuberantes y equidimensionales, alargadas horizontalmente, de 0.2 – 0.5 cm de longitud, regularmente distribuidas, del mismo color que la corteza externa.</p> <p>Corteza interna homogénea, color verde o blanquecino; oxida a color marrón oscuro luego de unos cinco minutos de expuesta al aire; tiene olor fuerte, algo dulce y picante.</p> <p>Ramita terminal con sección circular, de 5 - 6 mm de diámetro, lenticelada, levemente fisurada, glabra o pubérula, provista de nudos notables en la zona de inserción de cada hoja, los entrenudos de 2 - 5 cm de longitud; prófido ligulado - lanceolado, de 1.5 - 3 cm de longitud.</p> <p>Hojas simples, alternas y dísticas, de 12 – 17 cm de longitud y 3.5 – 5 cm de ancho, color verde o verde amarillento en el haz, verde más pálido en el envés, lanceoladas hasta oblongo - elípticas, el ápice acuminado, la base rotunda y en casos desigualmente</p>

	<p>cordulada, con uno de los lados 3 - 10 mm más corto que el otro, nervios secundarios 6 - 7(8) pares, pinnados, curvos, prolongados hasta la parte media o 2/3 de la lámina, el par superior fuertemente ascendente en ángulo de 60° con respecto al nervio principal, los nervios terciarios moderadamente reticulados; láminas cartáceas, haz pubérulo con pelos simples y cortos, envés con pelos simples y medianos; peciolo corto, de 3 - 6 mm de longitud, levemente pubescente, vaginado solamente en la base.</p> <p>Inflorescencias en espigas de color blanco hasta verde, péndulas, de unos 8 - 15 cm de longitud y 4 mm de diámetro, las flores densamente agrupadas en bandas transversales; pedúnculo de 12 - 15 mm de longitud, esparcidamente pubescente hasta glabrado.</p> <p>Flores pequeñas, rodeadas por brácteas irregularmente oblongas, densamente fimbriadas con pelos blanco, amarillentos en los márgenes, anteras con tecas de 0.2 mm de longitud, lateralmente dehiscentes.</p> <p>Fruto ovoide, algo redondeado a tetragonal visto desde arriba; estigmas 3, cortos y sésiles.</p>
<p>Distribución Geográfica:</p>	<p>Neotrópico: Antillas, América Central y América del Sur (Steyermark, 1984).</p> <p>En el Perú: Departamentos de Amazonas, Ayacucho, Cuzco, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Puno, San Martín, Ucayali, Cajamarca, Lima, Lambayeque, Pasco y Piura, se desarrolla entre los 0-3000msnm (Brako & Zarucchi, 1993).</p>
<p>Usos:</p>	<p>La madera es usada eventualmente como combustible. Las hojas y ramitas tiernas en infusión se emplean en la Amazonía peruana como un tónico para mitigar la fiebre, inflamaciones, afecciones urinarias, amigdalitis, cistitis, diarreas y estreñimiento; también como diurético (IIAP, 2010).</p>

Fuente: Steyermark, J. 1984. Piperaceae. Flora de Venezuela. Vol. II, 2da parte. Instituto Nacional de Parques de Venezuela.



Fuente: Steyermark, J. 1984. Piperaceae. Flora de Venezuela. Vol. II, 2da parte. Instituto Nacional de Parques de Venezuela.

Figura 1. *Piper aduncum*

A. Ramita con hojas e inflorescencias. B. Sección transversal del peciolo. C. Hoja, detalle de la nervación terciaria por el envés. D. Detalle de flores y frutos: 1. Ovario, vista lateral. 2. íd., visto desde arriba. 3. Fruto, vista lateral. 4. Bráctea. 5. Antera. E. Detalle de pelos en el haz de la lámina.

2.1.3 Aceite esencial (EOs)

Un aceite esencial es una mezcla de varias sustancias químicas biosintetizados por las plantas, que dan el aroma característico de algunas flores, árboles, frutos, hierbas, especias y semillas. Los EOs, son una mezcla compleja de sustancias orgánicas de origen natural que se encuentran en la estructura vegetal de las plantas, producto del metabolismo secundario (Jirovetz, *et al.*, 2005; stashenko, *et al.*, 1998).

Se caracterizan por poseer aromas característicos formados por la biosíntesis de ciertos glucósidos o directamente por el protoplasma, o por la descomposición de la capa resinosa de la pared celular, su presencia y función en la naturaleza es todavía una interrogante y tema de investigación (Berger, 2007; Sell, 2003; Rauha, *et al.*, 2000; Steward, 2005).

A la luz de los avances científicos en química, bioquímica, farmacológica e ingeniería de los productos naturales, podemos sostener que los componentes de los EOs poseen actividad biológica antibactericida, anti fúngica, antivírica, antiespasmódica, antitumoral, etc. Conociéndose entre otras sus propiedades estereoquímicas relacionados con la actividad farmacológica y aromática (Leffingwell, 2003; Ramawat, *et al.*, 2008).

2.1.3.1 Clasificación de los aceites Esenciales

Los aceites esenciales se clasifican con base en los siguientes criterios: Consistencia, origen, o naturaleza química de los componentes mayoritarios.

a) Por su consistencia

Las Esencias Fluidas son líquidos muy volátiles a temperatura ambiente (esencias de albahaca, caléndula, citronela, pronto alivio, romero, tomillo, menta, salvia, limón).

- Los Bálsamos. Son de consistencia más espesa, poco volátiles, contienen principalmente sesquiterpenoides y son propensos a polimerizarse (bálsamos de Copaiba, bálsamo de Perú, bálsamo de Tolú).
- Las Oleorresinas. Tienen el aroma de las plantas en forma concentrada, son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha,

chicle, oleorresinas de p prika, de pimienta negra, de clavero). Contienen los aceites esenciales, los aceites fijos, los colorantes y los principios activos de la planta.

b) Por su Origen

En cuanto al origen los aceites esenciales se clasifican en: Naturales, Artificiales, o Sintéticos.

- Aceites Esenciales Naturales: Se obtienen directamente de la planta y no se someten posteriormente a ninguna modificación fisicoquímica o química, son costosos y de composición variada.
- Artificiales: Se obtienen por enriquecimiento de esencias naturales con uno de sus componentes; también se preparan por mezclas de varias esencias naturales extraídas de distintas plantas.
- Sintéticos: Son mezclas de diversos productos obtenidos por procesos químicos, son más económicos y por lo tanto se utilizan mucho en la preparación de sustancias aromatizantes y saborizantes.

c) Por la naturaleza Química

Según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres grupos principales:

- Monoterpenoides (linalool, nerol, 1-8 cineol, geraniol)
- Sesquiterpenoides (farnesol, nerolidol)
- Compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos, cetonas)

2.1.3.2 Propiedades de los aceites Esenciales

Los aceites esenciales se caracterizan por su olor pronunciado y penetrante, generalmente agradable, que siempre nos recuerda el olor del vegetal del que proviene, pero generalmente menos suave. Tienen sabor cáustico, acre e irritante y a veces aromático, dulce y delicado. Son sustancias de aspecto oleoso poco solubles o insolubles en el agua, a la que le comunican su aroma característico; soluble en alcohol absoluto, en el sulfuro de carbono, en éter de petróleo, en tetracloruro de carbono y demás solventes orgánicos, son volátiles y en su mayoría líquidos a la temperatura

ambiente. Su peso específico a 15°C oscila entre 0.8 y 1.2, en los aceites etéreos el punto de ebullición varía entre 150 y 300°C. En lo que respecta a la volatilidad, todos los perfumes son más o menos volátiles y el conocimiento de su grado de volatilidad es un factor de importancia, pues estas esencias no se preparan aisladas, sino en combinación con otras que deben tener las mismas características, tanto en la solubilidad como en la volatilidad.

Si los aceites esenciales se dejan en contacto con el aire, se oxidan, solidifican y resinifican, perdiendo su olor característico, al igual que se alteran fácilmente bajo la acción de la luz, volviéndose amarillos y oscuros, modificándose asimismo su perfume. La acción del aire sobre estas sustancias, se debe a la transformación de los terpenos, razón por la cual se trata de eliminarlos por distintos procedimientos, obteniéndose entonces las esencias desterpenadas cuya solubilidad e inalterabilidad es mucho más grande.

Las esencias se unen con facilidad a las grasas y a los aceites fijos a los que disuelve. Cuando se encuentran puros son incoloros, pero como siempre llevan disueltos ciertas impurezas afectan diversos colores así, son amarillos y pardos como el clavo aromático, azulados como el ajeno, la manzanilla y el cáamo o bien verdes como la bergamota y el Cayeput. Arden fácilmente como llama fuliginosa. (Bandoni. 2000).

2.1.3.3 Control de calidad del aceite esencial

En la industria de los Aceites Esenciales, para mantener una calidad constante, es necesario fijar criterios de calidad para cada aceite esencial. El conjunto de estos criterios constituye la norma de calidad. Un adecuado y estricto control de calidad se basa en la determinación de propiedades organolépticas, constantes físicas, propiedades químicas y la combinación de datos analíticos obtenidos con técnicas modernas.

El objetivo de la norma de calidad es evitar y controlar adulteraciones en todos los productos terminados o sus materias primas. Las normas de calidad generales de un aceite esencial las establece la legislación de cada país. Se normalizan, por ejemplo, los métodos de análisis y las condiciones de transporte, empaquetado y etiquetado. Generalmente las especificaciones para un determinado aceite esencial suelen ser muy

parecidas a las normas establecidas por distintos organismos. Las principales diferencias se encuentran en relación al uso final que vaya a tener la esencia. (Bandoni 2002).

2.1.3.4 Pruebas Físicoquímicas para caracterización de aceites Esenciales

a) Pruebas Físicas

- **Densidad:** Tiene interés por encontrarse siempre citada en literaturas afines, ayudando a definir calidades. La densidad es la masa de una sustancia dividida entre su volumen.

La densidad de los aceites volátiles, varía entre 0.84 y 1.2; casi todas las esencias poseen una densidad menor a la del agua, con algunas excepciones. Los que son más ligeros en agua (densidades menores a 0.9 g/cm^3), son generalmente ricos en hidrocarburos, alcoholes, esterés y cetonas, tales como los de naranja, coriandro, limón, romero y trementina. Por otra parte aquellos que tienen densidades mayores de 1 g/cm^3 , contienen principalmente fenoles, derivados fenólicos o ciertos esterés; por ejemplo el aceite de anís, canela, clavo y mostaza. (Domínguez, 1988; Güenther, 1948).

- **Viscosidad:** Se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido. Dicho concepto se introdujo anteriormente en la ley de Newton, que relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación (gradiente de velocidad).

Para medir la viscosidad se utiliza el método de Brookfield; los viscosímetros Brookfield utilizan el conocido principio de la viscosimetría rotacional; miden la viscosidad captando el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un husillo inmerso en la muestra de fluido. El par de torsión es proporcional a la resistencia viscosa sobre el eje sumergido y en consecuencia, a la viscosidad del fluido.

- **Índice de Refracción:** El índice de refracción es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo y es una propiedad específica de cada interfase y varía con la temperatura y con la longitud de onda de la luz considerada. Los índices de refracción se reportan a una

temperatura de 20°C. Se practica su determinación porque puede señalar adulteraciones y envejecimientos de los aceites. (Bandoni 2002).

- **pH:** El pH (potencial de hidrógeno) es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H] de una sustancia. (Chang, 2002). No posee unidades o dimensionales, únicamente se expresa por un número. Los aceites esenciales tienen, sin duda, pH ácido lo que constituye otra característica de su actividad bactericida, la acidez se opone a la multiplicación o proliferación microbial y la alcalinidad la fomenta. (Damian, 2010).

b) **Determinación de componentes aromáticos**

- **Características de Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM):** Esta técnica de análisis ha demostrado durante los últimos 25 años, que es uno de los métodos más eficaces para el estudio de la composición de los aceites esenciales (Stashenko, 2004). Es una técnica adecuada para la identificación debido a que los componentes del aceite son compuestos volátiles y de bajo peso molecular. La muestra se inyecta directamente al cromatógrafo sin ningún tratamiento previo, lo cual elimina posibles modificaciones en su composición o en la estructura de sus constituyentes. En el cromatógrafo, los componentes de la esencia se separan, entran al espectrómetro de masas, que permite registrar el espectro de cada una de las sustancias separadas. Los constituyentes del aceite se identifican con base en patrones de fragmentación, que se observan en sus espectros de masas (McLafferty, 1993; Skoog, 1994; Stashenko, 1999). La cromatografía de gases es la técnica a elegir para la separación de compuestos orgánicos e inorgánicos térmicamente estables y volátiles. La cromatografía de gases es uno de los métodos de separación más eficaces que se conocen; cada componente de una muestra suministra tres unidades de información: posición, altura y anchura de los picos en el cromatograma. La posición, un solo parámetro expresado cuantitativamente como dato de retención, suministra la información cualitativa y los otros proporcionan la información cuantitativa.
- **Característica Micro-histología:** Para realizar esta caracterización se utiliza la técnica de Microscopia Electrónica (Microscopio Electrónico de Barrido, SEM)

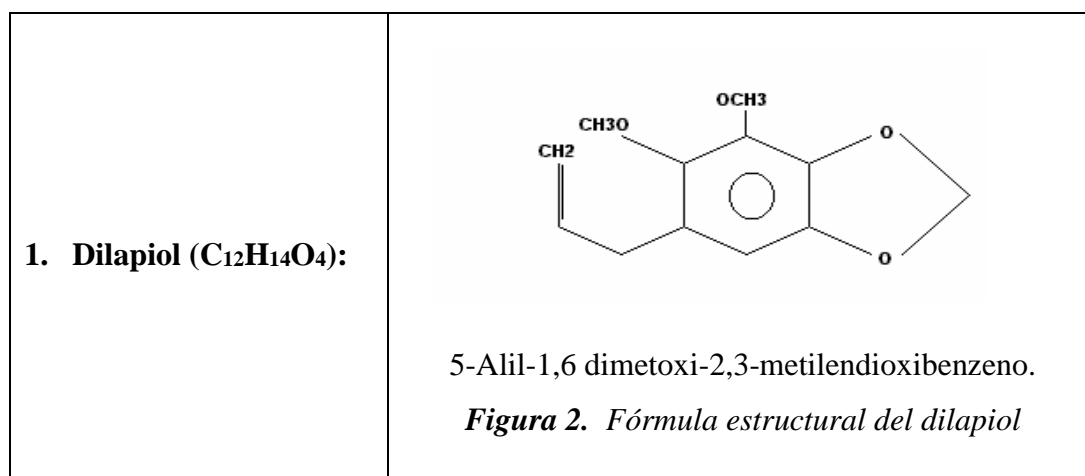
capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón – materia. Esta técnica es utilizada también en la micro-histología ya que permite la identificación de especies a partir de proporciones de epidermis. Las plantas aromáticas almacenan su esencia en estructuras especializadas, los tricomas glandulares. Mediante esta técnica se puede obtener la densidad de los tricomas como también cuantificarlos y medir el tamaño de estas. (Gerbach, 2002; Ascensao *et al.*, 1999; Sharma *et al.*, 2003; Iriti *et al.*, 2006).

2.1.4 Aceite Esencial de Matico (*Piper aduncum*)

2.1.4.1 Aspectos Químicos del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*)

En el género Piper ha sido reportada la presencia de metabolitos del ácido mevalónico (monoterpenos y sesquiterpenos), metabolitos del ácido acético y shikimico (flavonoides) y relacionados al ácido shikimico (lignoides, arilopropanoides, amidas, etc.). Los metabolitos más frecuentemente aislados son amidas (cinnamoilamidas y alquilamidas), aristolactamas y otros alcaloides, flavonoides (flavona, dihidroflavonas, dihidrochalconas, y ometilflavonoides) notándose que la o-glicosilación es rara. (Pino, 2002) y (Ciprona, 2006). (Anexo 1)

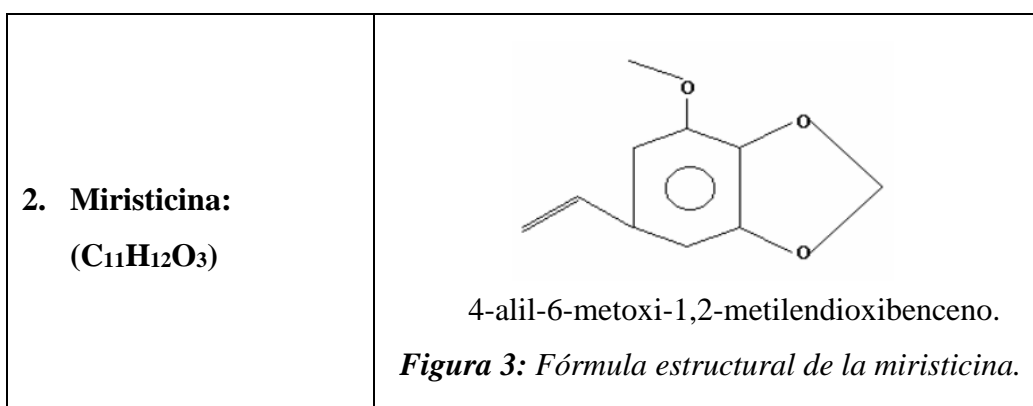
2.1.4.2 Principales componentes del aceite esencial de las hojas y espigas de Matico (*Piper aduncum*)



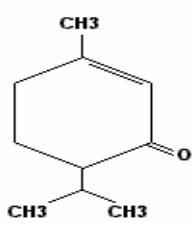
El dilapiol es un fenilpropanoide derivado del ácido benzoico, monolignoide.

- Aislamiento: por destilación fraccionada.

- Caracterización: en tratamiento con exceso de bromuro forma monobromoapiole $C_{12}H_{13}Br_3O_4$; incoloro que funde a $107^{\circ}C$; en tratamiento con KOH alcohólico se convierte en diisoapiol, que funde a $44^{\circ}C$ y ebulle a $296^{\circ}C$; en oxidación con solución de K_2MnO_4 alcalino se convierte en dilapiolaldehído $C_{10}H_{10}O_5$ que funde a $75^{\circ}C$ y ácido dilapiólico $C_{10}H_{10}O_6$ que funde entre $151^{\circ}C$ y $152^{\circ}C$. (SAXENA-DB; pág 199-203).
- Propiedades: el dilapiol es viscoso e inodoro: $n_D^{25}=1,52778$; $pe=285$; $PM=222,23$ (Guenther, 1942).



- Aislamiento: por destilación fraccionada
- Caracterización: en tratamiento con bromuro la miristicina da dibromomiristicina dibromuro $(C_3H_5Br_2)*C_6Br_2(O_2CH_2)*(OCH_3)$ que funde a $130^{\circ}C$.; la miristicina en oxidación con permanganato produce miristicina aldehído que funde a $130^{\circ}C$ y ácido miristicínico, que funde entre $208^{\circ}C$ y $210^{\circ}C$. (Guenther, 1942).
- Propiedades: olor ligeramente aromático, no congelable a bajas temperaturas, Se encuentra principalmente en el aceite de nuez moscada, es cristalina y debido a su elevado punto de ebullición se encuentra principalmente en las últimas fracciones del destilado, es tóxica para el hombre, dosis elevadas de nuez moscada o de su esencia pueden producir convulsiones, la miristicina se relaciona con las anfetaminas. (Evans, 1991). También aparece en el aceite de eneldo y en el aceite de los frutos del perejil, $n_D^{20} = 1.54032$.; $PM=192.21$.

<p>3. Piperitona: (C₁₀H₁₆O)</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">3-metil – 6 (1- metiletil) – 1,2-ciclohexano</p> <p style="text-align: center;">Figura 4. Fórmula estructural de la piperitona</p>
--	--

La molécula está constituida por: C: 78,89% H: 10,59% O: 10,51 %. La forma racémica de la piperitona puede ser preparada sintéticamente mientras ambas formas (d y l) aparecen en muchos aceites esenciales.

- **d-piperitona**: puede ser encontrada en el aceite de *Menta arvensis var. Piperascens*; esta forma el componente mayoritario del aceite de *Andropogon iwarancusa* (cerca al 80%) y del aceite de *cymbopogon sennaarensis* (cerca al 45%).
- **l-piperitona**: se presenta en muchas especies de eucalipto, por ejemplo, *eucalyptus dives* (cerca del 40%) y del *eucalyptus radiata*.
- Aislamiento: por destilación fraccionada.
- Caracterización: para la preparación de l-piperitona puede emplearse baja temperatura y recristalización a partir del aislamiento de este derivado terpénico; la piperitona puede ser detectada por la reducción de la cetona en una solución alcohol-éter con amalgama de sodio que reacciona para producir pinacone (C₂₀H₃₄O₂); un tratamiento con semicarbacida da una mezcla de dos semicarbazones (dl piperitona). (Guenther, 1942).
- Propiedades: piperitona en aceite posee un olor de menta alcanfor; incolora cuando está recién destilada para tornarse amarilla en agitación, PM=152,23. (Guenther, 1942).

2.1.5 Métodos de obtención de Aceite Esencial

Los principales métodos extractivos empleados a escala industrial para los aceites esenciales más comunes, se basan en el arrastre del aceite esencial contenido en las plantas con vapor de agua. Existen otros métodos que si bien en lo referente a la calidad

del producto son excelentes, sus costos de inversión y operativos son elevados y no se justifica para su aplicación para la gran mayoría de los aceites esenciales.

Los diferentes procesos de extracción utilizados en la obtención de aceites esenciales y extractos aromáticos, se pueden resumir de la siguiente forma.

2.1.5.1 Destilación por arrastre con vapor de agua

En la destilación por arrastre con vapor de agua, la muestra vegetal generalmente fresca y cortada en trozos pequeños, se coloca en un recipiente cerrado y sometida a una corriente de vapor de agua, la esencia así arrastrada es posteriormente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa. Esta técnica es muy utilizada especialmente para esencias muy volátiles, por ejemplo, las utilizadas para perfumería. Se utiliza a nivel industrial debido a su alto rendimiento, a la pureza del aceite obtenido y porque no requiere tecnología sofisticada.

La destilación por arrastre con vapor que se emplea para extraer la mayoría de los aceites esenciales es una destilación de mezcla de dos líquidos inmiscibles y consiste en una vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto de una corriente directa de vapor de agua, el cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y adicionar tensión de vapor a la de los componentes volátiles del aceite esencial; los vapores que salen de la cámara extractora se enfrían en un condensador donde regresan a la fase líquida, los dos productos inmiscibles, agua y aceite finalmente se separan en un dispositivo decantador o vaso florentino. (Günther, 1948).

a) Ventajas:

- Energéticamente es más eficiente, se tiene un mayor control de la velocidad de destilación, existe la posibilidad de variar la presión del vapor, y el método satisface mejor las operaciones comerciales a escala, al proveer resultados más constantes y reproducibles.
- Productos libres de solventes orgánicos, el método de destilación con vapor usa agua como el agente de separación. Este tipo de proceso provee productos naturales libres de solventes orgánicos que puede ser usado directamente en otros procesos sin la necesidad de procesos adicionales de separación.

- Bajos costos de inversión, el equipo de destilación con vapor de agua es barato, flexible y fácil de construir. Hay una variedad de materiales para su construcción porque el equipo de destilación con vapor opera a condiciones ambientales, no es necesario construir recipientes de presión.
- Los conocimientos técnicos disponible es muy conocida. El procedimiento operativo es lo mismo para destilar matrices herbáceos o líquidos. No es necesario pedir licencias o permiso o comprar la tecnología para destilar una matriz herbácea.

b) Desventajas:

- Pueden ocurrir procesos colaterales como polimerización y resinificación de los terpenos; así como hidrólisis de esteres y destrucción térmica de algunos componentes.
- Degradación térmica de productos, si no se opera el equipo adecuadamente la temperatura interna del lecho puede superar los 98 °C provocando que los aceites esenciales sufran degradación térmica dando lugar a la formación de oligómeros y compuestos químicos complicados que disminuyen la durabilidad, calidad y cambio en la percepción organoléptica. Por ejemplo, en la técnica de hidrodestilación es común que ocurra la hidrólisis de aceites esenciales porque el material herbáceo está inmerso en agua a diferencia de otras técnicas como destilación con vapor húmedo y seco, el material a extraer está en contacto con vapor de agua. Por esta razón la hidrodestilación es muy pocas veces usada.
- Alto consumo de energía, como la materia prima debe ser calentado a la temperatura de ebullición, el consumo de energía es alto. La mayor contribución para el consumo de energía es causada por el calentamiento de la masa del equipo. De hecho, la carga real de calor es muy grande cuando es comparado para carga de valor ideal (el aislamiento, reciclo de agua condensado, vacío), y muchas modificaciones mecánicas y operacionales se ha propuesto para reducir el consumo global de energía (la vaporización de aceite esencial).

2.1.5.2 Destilación con agua (hidrodestilación)

El principio de la destilación en agua es llevar a estado de ebullición una suspensión acuosa de un material vegetal aromático, de tal manera que los vapores generados

puedan ser condensados y colectados. El aceite, que es inmiscible en agua, se separa posteriormente. En la destilación con agua el material vegetal siempre debe encontrarse en contacto con el agua, si el calentamiento del equipo es con fuego directo, el agua presente en la cámara extractora debe ser suficiente y permanente para llevar a cabo toda la destilación a fin de evitar el sobrecalentamiento y carbonización del material vegetal, dado que este hecho provoca la formación de olores desagradables en el producto final; el material vegetal debe ser mantenido en constante agitación a fin de evitar aglomeraciones o sedimentación del mismo en el fondo del recipiente, lo cual puede provocar su degradación térmica. (Günther, 1948).

El tiempo total de destilación es función de los componentes presentes en el aceite esencial. Si el aceite contiene compuestos de alto punto de ebullición, el tiempo de destilación deberá ser mayor, los aceites esenciales obtenidos mediante destilación en agua normalmente presentan notas más fuertes y un color más oscuro con respecto a los producidos por otros métodos.

En general, los aceites producidos por destilación en agua son de menor calidad por las siguientes razones:

- Algunos componentes son sensibles a la hidrólisis, mientras que otros, son susceptibles de polimerización.
- Los compuestos oxigenados tienden a ser parcialmente solubles en el agua de destilación, por lo que es imposible la remoción completa de estos compuestos.
- Los tiempos requeridos de destilación son demasiado largos, lo cual se asocia a un detrimento de la calidad del aceite obtenido.

a) Ventajas

- Involucran un bajo costo de fabricación del equipo y su operación no requiere de servicios de energía eléctrica, instalaciones auxiliares para la generación de vapor, aire u otros.

b) Desventajas

- La extracción del aceite volátil es incompleta, ofrece una menor eficiencia energética con respecto a la destilación con vapor o vapor/agua y es aplicable sólo cuando las cargas son relativamente pequeñas.

- Los componentes de aceite como ésteres son sensibles a la hidrólisis mientras los otros como hidrocarburos acíclicos del monoterpenos y aldehídos son susceptibles a la polimeración (a medida que el pH de agua desciende durante la destilación, las reacciones hidrolíticas son facilitadas.)
- Los componentes oxigenados como fenoles tienen una tendencia a solubilizarse en el agua del destilador, de tal manera su extracción completa por la hidrodestilación no es posible.
- Por ser un sistema particularmente empleado en zonas rurales, se realiza como un arte y normalmente no se opera bajo condiciones óptimas de tiempo y temperatura, quienes raramente tratan de optimizar el rendimiento y calidad de aceite.
- Como la hidrodestilación tiende a ser una operación pequeña (manejado por una o dos personas), tarda mucho en acumular aceite esencial, de esta manera el aceite de buena calidad es a menudo con aceite esencial de mala calidad.
- La hidrodestilación es un proceso más lento que cualquier otro tipo de destilación con vapor de agua (destilación con vapor húmedo o destilación por arrastre con vapor seco).

2.1.5.3 Destilación con Vapor Húmedo (Agua-Vapor)

En este caso el vapor puede ser generado mediante una fuente externa o dentro de la propia cámara extractora, aunque separado del material vegetal, la diferencia radical existente entre este sistema y los anteriormente mencionados es que el material vegetal se encuentra suspendido sobre un tramado (falso fondo) que impide el contacto del material vegetal con el medio líquido en ebullición, este sistema reduce la capacidad neta de carga de materia prima dentro del extractor pero mejora la calidad del aceite obtenido. (Bandoni, 2000).

Estos procesos de destilación como tal no tienen una diferencia fundamental desde el punto de vista teórico, sin embargo, existen ciertas variaciones en la práctica y en los resultados obtenidos que en muchos casos son considerables, esto depende del método empleado porque ciertas reacciones pueden ocurrir durante la destilación. (Guenther, 1942).

Los principales efectos que acompañan estos procesos son:

- Difusión del aceite esencial y del agua caliente a través de las membranas de la planta.
- Hidrólisis de ciertos componentes del aceite esencial.
- Descomposición ocasionada por el calor.

En la destilación por arrastre con vapor, los componentes volátiles son retenidos por las membranas si estas se encuentran secas (material vegetal seco) lo que hace necesario un remojo del material, esto se logra con la condición de vapor saturado. Diferentes condiciones son logradas si el material se remoja con agua fría o caliente además, entran en juego factores como la solubilidad y las temperaturas.

En la presencia de agua y particularmente a altas temperaturas pueden ocurrir reacciones que favorecen la formación de compuestos, como alcoholes y ácidos por descomposición de los ésteres, causantes de una disminución en la producción del aceite, esta es una de las desventajas de la hidrodestilación pues por la cantidad de agua presente puede producirse mayor hidrólisis; En el caso de la destilación agua vapor, el grado de hidrólisis es mucho menor y lo es aún menos en la destilación por arrastre con vapor de agua.

Prácticamente todos los constituyentes de los aceites esenciales son algo inestables a altas temperaturas; Para obtener la mejor calidad del aceite es necesario asegurar que durante la destilación haya una baja temperatura o si es del caso tener altas temperaturas durante el menor tiempo posible. En el caso de la hidrodestilación o la destilación agua-vapor la temperatura es determinada por la presión de operación; En la destilación por arrastre con vapor de agua la temperatura puede ser cercana a 100°C dependiendo de si es usado vapor saturado a baja presión o vapor sobrecalentado.

a) Ventajas

- Involucran un bajo costo de fabricación del equipo y su operación no requiere de servicios de energía eléctrica, instalaciones auxiliares para la generación de vapor, aire u otros.
- El rendimiento de aceite es superior.
- Los componentes del aceite esencial son menos susceptibles a la hidrólisis y la polimerización (el control de condensados en el fondo del destilador disminuye la

hidrolisis, mientras que la conductividad térmica de las paredes del destilador ocasiona la polimerización).

- El reflujo es controlado, entonces la pérdida de compuestos polares es minimizada.
- La calidad de aceite producida por la destilación con vapor directo es más reproducible.
- La destilación con vapor directo es más rápida que la hidrodestilación, es más eficiente energéticamente.

b) Desventajas

- Debido a la baja presión de vapor ascendente, los aceites que hierven en rango de punto de ebullición alto requieren una cantidad mayor de vapor para su vaporización, por tanto más tiempo de destilación.
- El material de la planta se pone muy mojado, lo cual retarda la destilación porque el vapor tiene que revaporizar el agua hasta dejarlo condensarse en lo alto del destilador.
- Exceso de temperatura de vapor puede degradar la calidad de aceite esencial.

2.1.5.4 Destilación por arrastre con Vapor Seco (Inyección de Vapor)

La destilación con vapor seco es una operación unitaria de extracción de aceite esencial del material aromático con vapor generado fuera del destilador en un generador de vapor externo generalmente llamado caldera. Como en la destilación de vapor húmedo, el material de la planta es soportado en una cuadrícula agujerada por encima de la entrada de vapor. Una ventaja real de generación del vapor externo es que la cantidad de vapor puede controlarse fácilmente. Como el vapor es generado en una caldera externa, el material de la planta no es calentado por encima de 100 °C, consecuentemente, no debería experimentar degradación térmica. La destilación con vapor seco es el proceso más ampliamente aceptado para la producción de aceites esenciales a escala industrial.

Un inconveniente obvio a tratar con destilación con vapor seco es el gasto muy alto de capital requerido para construir el equipo completo. En algunas situaciones, como el costo de producción a gran escala de aceite esencial es bajo (por ejemplo el romero, eucalipto, citronela), los precios de mercado mundial de los aceites esenciales son apenas lo suficiente altos para justificar su producción por la destilación por arrastre con

vapor seco sin amortizar el gasto capital requerido para la instalación de planta sobre un periodo de 10 años a más. (Bandoni, 2000).

a) Ventajas

- La cantidad de vapor puede controlarse fácilmente.
- No hay descomposición térmica de componentes de aceite.
- Es la operación más ampliamente aceptado para la producción de aceite a gran escala, superior a las otras dos operaciones unitarias de destilación.

b) Desventajas

- Gasto muy grande de capital necesitado para establecer esta actividad que para las otras dos operaciones unitarias de destilación.

2.1.5.5 Destilación previa maceración

El método se aplica para extraer el aceite de semilla de almendras amargas, bulbos de cebolla, bulbos de ajo, semillas de mostaza y hojas de corteza de abedul. En el caso de plantas aromáticas, la maceración en agua caliente se emplea para favorecer la separación de su aceite esencial, ya que sus componentes volátiles están ligados a componentes glicosilados. (Bandoni, 2000).

2.1.5.6 Destilación al vacío

Se han diseñado sistemas para aislar constituyentes del aceite esencial, el cual se basa en sus diferentes puntos de ebullición. La mayor ventaja de este método, es la mínima probabilidad de descomposición de los aceites esenciales y formación de compuestos no deseados, debido a las bajas temperaturas de trabajo. (Günther, 1948).

2.1.5.7 Destilación Molecular

Este método se utiliza para la obtención de productos coloreados, más estables y la recuperación de las notas más delicadas que caracterizan los aceites esenciales. Se basa en una destilación del material entre 10.3 a 10.6 psi, cuyo producto se procesa con diversos solventes orgánicos, que luego se separan y recuperan, obteniendo en cada fase orgánica compuestos determinados del aceite esencial según su afinidad frente al solvente. (Günther, 1948).

2.1.5.8 Extracción por Microondas

Consiste en calentar el agua contenida en el material vegetal, que a su vez está inmerso en un disolvente “transparente” a las microondas como puede ser el Cl_4C , el hexano o el tolueno. Al aumentar la temperatura del medio, se rompen las estructuras celulares que contienen a la esencia por efecto de su presión de vapor. La esencia es así liberada y disuelta en el disolvente presente en el medio. La principal ventaja de esta técnica es su velocidad, pues pueden lograrse extracciones en minutos, cuando comparativamente una técnica tradicional como la hidrodestilación necesita varias horas. (kimbaris *et. al.*, 2006; Bayramoglu *et. al.*, 2008; Bousbia *et. al.*, 2009)

La implementación del sistema de microondas a escala industrial, si bien es factible tecnológicamente, implica una fuerte inversión económica. Además, deben tenerse en cuenta que, como en cualquier cambio de las tecnologías tradicionales, los productos obtenidos suelen diferir en calidad de los normalmente ofrecidos en el mercado internacional y pueden por lo tanto significar un problema para competir con el producto comercialmente consagrado. (kimbaris *et. al.*, 2006; Bayramoglu *et. al.*, 2008; Bousbia *et. al.*, 2009)

2.1.6 Mecanismo de extracción de Aceite Esencial

En este punto se da una descripción general de los posibles fenómenos que ocurren en cada paso de la destilación por arrastre con vapor seco durante la extracción de aceites esenciales de la matriz inerte del vegetal. Esta descripción no es muy exacta debido a que es muy complejo generalizar para todas las matrices vegetales, ya que cada una tiene una estructura diferente unas de otras.

La recuperación de aceite de la planta aromática tiene lugar en cuatro etapas secuenciales: (1) Por el incremento de la temperatura, la liberación del aceite esencial es promovido del interior de la planta hacia su superficie exterior. (2) El aceite esencial se vaporiza, tomando calor de vaporización del vapor (3) las moléculas de aceite vaporizados en la superficie de la materia prima se difunden en la corriente del vapor en un proceso de transferencia de masa, y (4) Las moléculas de aceite vaporizados llevadas por la corriente de vapor son condensadas y decantadas.

2.1.6.1 Liberación del aceite esencial

Cuando un producto líquido es destilado por arrastre de vapor, la carga entera está en contacto con el vapor de agua y los compuestos volátiles están listos para ser vaporizados tan pronto como alcanzan su temperatura de ebullición. Esto es el caso con el refinamiento y desodorizado del aceite esencial, y bajo estas condiciones, la etapa de liberación de aceite esencial debe ser omitida, y la vaporización debería ser tomada como el punto de partida.

En caso de matrices solidos como en la destilación de aceite esencial, al menos una porción de los componentes recuperables no está en contacto con el vapor inyectado y debe fluir fuera del solido antes de que puedan ser vaporizados. El mecanismo por el cual este aceite es liberado de la matriz de la planta depende en donde este localizado. Dos localizaciones principales de aceite y mecanismos de liberación se describen:

- **En las semillas, frutos o raíces:** El sólido muestra un comportamiento del material isotrópico, con una distribución uniforme de aceite esencial, estos al ser molturados dejan expuestas los depósitos de aceite esencial, donde la difusión dentro de la matriz sólida esta sobrentendida.
- **En las hojas o flores:** El aceite es depositado sobre la superficie desde el interior de la planta desde las frágiles tricomas glandulares. En otras operaciones de extracción de aceite, como la extracción supercrítica del CO₂ o extracción por horno de microondas, se ha comprobado el rompimiento de todo o una parte significativa de los tricomas. Sin embargo, en la destilación por arrastre con vapor seco, la integridad de la pared que contiene el aceite dentro del tricoma se ha verificado por su escaneado por microscopía del electrón, y ha sido propuesto un modelo de exudación en este caso donde el aceite perna (penetra) lentamente a través de membranas y de la cutícula.

Puesto que la etapa de liberación de aceite es un mecanismo lento de transferencia, es usualmente la etapa controlante de la parte final de la destilación, principalmente en partículas molidas donde la difusión dentro de la partícula es la resistencia principal para la recuperación de aceite. Esta es la razón principal por la que las semillas y las raíces son usualmente molidas antes de la destilación.

2.1.6.2 Método de extracción por arrastre con vapor seco (principio teórico de la destilación por arrastre con vapor)

Cuando se requiere separar o purificar por destilación una solución homogénea (líquidos miscibles) como en el caso de agua – etanol, esta solución ideal binaria obedece la ley de Dalton:

$$P_{Total} = P_A + P_B \quad (1)$$

(La presión de vapor total del sistema = presión parcial de vapor de A + presión parcial de B). Las presiones parciales de A y B son:

$$P_A = P_A^\circ * X_A \quad (2)$$

$$P_B = P_B^\circ * X_B \quad (3)$$

Por lo tanto, la presión total del sistema es:

$$P_{Total} = P_A^\circ * X_A + P_B^\circ * X_B \quad (4)$$

Donde:

P_{Total} = Presión total del sistema

P° = Son las presiones de vapor de los líquidos puros (A y B)

X = Son las fracciones molares de A y B

Esta ecuación nos dice que la presión total del sistema depende de la condensación de A y B, y de las presiones de vapor de los líquidos puros. También nos permite determinar la temperatura de ebullición (a presión atmosférica) de una mezcla binaria ideal. Las siguientes ecuaciones nos permiten calcular las concentraciones de A y B en el vapor:

$$X_{A(vapor)} = \frac{P_A}{P_{Total}} \quad (5)$$

$$X_{B(vapor)} = \frac{P_B}{P_{Total}} \quad (6)$$

Pero en nuestro caso se trata de una mezcla heterogénea de dos líquidos inmiscibles, donde la presión total del sistema es independiente de las concentraciones y sigue la ley de Dalton sobre las presiones parciales, que dice: cuando dos o más gases o vapores que no reaccionan entre sí, se mezclan a temperatura constante, cada gas ejerce la misma presión como si estuviera solo y la suma de las presiones de cada uno, es igual a la presión total del sistema. Su expresión matemática es la siguiente:

$$P_{Total} = P_A^{\circ} + P_B^{\circ} + \dots + P_n^{\circ} \quad (7)$$

De la ley de Dalton se deduce que, al destilar una mezcla de dos líquidos inmiscibles, su punto de ebullición será la temperatura a la cual la suma de las presiones de vapor es igual a la atmosférica. Esta temperatura será inferior al punto de ebullición del componente más volátil. Si uno de los líquidos es agua (destilación por arrastre con vapor de agua) y si se trabaja a la presión atmosférica, se podrá separar un componente de mayor punto de ebullición que el agua a una temperatura inferior a 100 °C. Esta mezcla ebulle a una temperatura menor que la temperatura de ebullición de cualquiera de los “n” líquidos puros. La explicación para este fenómeno es que la incompatibilidad que existe entre los dos líquidos inmiscibles hace que se comporten como un zoótropo mínimo. Esto es una gran ventaja, ya que, utilizando agua, es posible destilar compuestos orgánicos de alto punto de ebullición (de baja presión de vapor) a una temperatura menor de 100 °C (el requisito es que el compuesto sea inmiscible en agua).

a) Entalpia

La entalpia de vaporización es una de las propiedades termodinámicas más utilizadas en diferentes procesos de ingeniería, ya que permite simular, diseñar y optimizar procesos que involucren cambios de fase liquido-vapor como destilación, evaporación o secado (Cachadiña & Mulero, 2006; Tratar, Brati-Harooni, & Partovi, 2016).

b) Condensación del destilado

El vapor que sale del destilador es condensado por el agua refrigerante de condensador externo. En un condensador no ocurre ningún cambio en flujo o composición, porque todos los vapores son condensados en una nueva fase líquida.

c) Condensadores

El condensador es un dispositivo de intercambio de calor muy parecido al evaporador, que se encarga de expulsar el calor del sistema que ha sido absorbido por evaporador. Este calor se encuentra en forma de gas caliente que hay que enfriar hasta que condense. El condensador funciona a presiones y temperaturas más elevadas que el evaporador y suele estar situado en el exterior

- **Condensador de coraza y serpentín:** Es muy parecido al serpentín de tubo dentro de tubo. Se trata de un serpentín de tubos empaquetado en una coraza que, posteriormente, se cierra y se suelda. Normalmente el gas refrigerante se descarga en esta coraza y el agua circula por el tubo que hay en ella. La coraza del condensador hace las veces de tanque de almacenamiento que recibe el excedente de refrigerante del sistema. Este condensador no se puede limpiar por medios mecánicos, porque el serpentín no es recto. (William, 2006).
- **Condensador de tubo y coraza:** Se construye asegurando los tubos a una lámina terminal de la coraza. El vapor de entrada entra en el condensador por la parte superior de la coraza y el agua de refrigeración (refrigerante) pasa por el interior de los tubos. (William, 2006)

2.1.6.3 Factores que influyen en la extracción

Tiempo de secado del material. La materia prima vegetal húmedo generan hongos que transfieren un olor terroso, mohoso al aceite esencial, debido a la formación de ácidos grasos, por esto si el material no se procesa pronto (3 días) se dispone en literas para su oreo.

- Tiempo de extracción. Pasado un tiempo de destilación, la salida de aceite esencial es insignificadamente y el exceso de vapor de agua causa una disminución en el rendimiento de extracción por la solubilidad o emulsión del aceite esencial.
- Presión del vapor. Si la presión del vapor de arrastre es muy alta (máxima 6 psi), se presenta hidrolisis en el aceite disminuyendo su calidad y su rendimiento.
- Factor de empaquetamiento. Si el material queda muy suelto, el proceso termina pronto, presentado un alto consumo energético, si queda muy apretado, el vapor se acanala disminuyendo el rendimiento del aceite, el factor de empaquetamiento debe de estar entre el 0.15% a 0.25%.
- Distribución interior del vapor
- Eficiencia del condensador
- Condensación interior. Se evita realizando una purga previa a los 30 minutos de iniciado el proceso.
- Tiempo de residencia en el florentino. Sobre todo si el diámetro es muy pequeño se produce arrastre del aceite.

- Grado de molienda de la materia prima (grado de liberación del aceite esencial encerrados en paredes celulares de la matriz vegetal). Se debe tener especial cuidado de no provocar degradación térmica de componentes de aceite esencial por calentamiento excesivo por fricción de discos de molino.

2.1.6.4 Operación de la MLDT

Hay situaciones en las cuales la MLDT no es la diferencia de la temperatura media a ser empleada, se debe recordar las hipótesis asumidas para la deducción. Tomemos como ejemplo un intercambiador de calor que deberá enfriar y condensar un vapor supercalentado como se representa en la figura 5. (Da Costa Araujo, 2012)

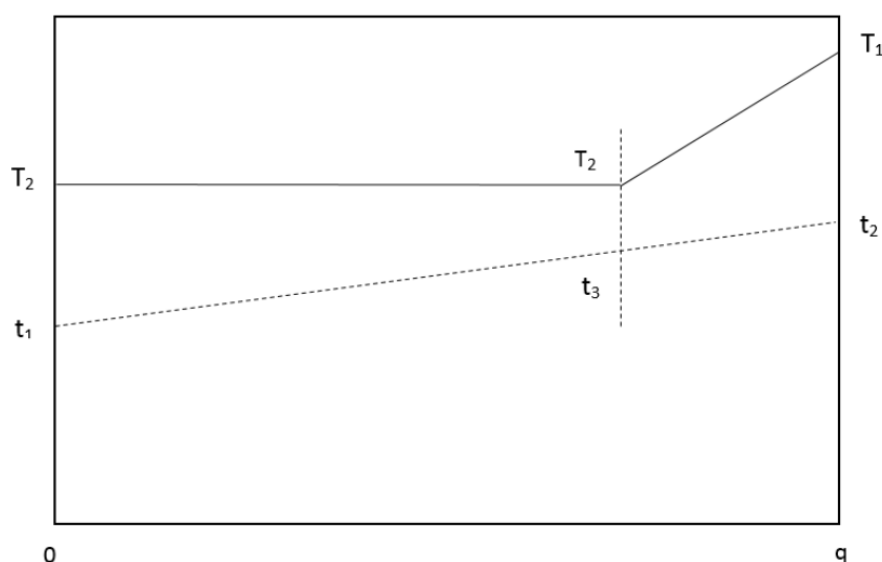


Figura 5. Distribución de temperatura en un condensador de vapor supercalentado

Hay dos regiones distintas en este intercambiador de calor, una donde ocurre el enfriamiento de vapor supercalentado (T_1 a T_2) y otra, la condensación del vapor (T_2 constante). En las dos regiones deben ocurrir relaciones lineales de ΔT con q , por eso diferentes, además de eso, los valores de U para las dos regiones deben ser distintos. Cada región tiene su valor de U , q y ΔT . Aplicar una única LM para todo el intercambiador implica a error.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Localización

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, empleando el equipo modular de extracción modificado (de tipo serpentín a tubo y coraza) de aceite esencial por arrastre con vapor de agua.

3.1.2 Materiales y Equipo

3.1.2.1 Materiales

- Materia prima (hojas frescas de Matico)
- Balanza analítica
- Viscosímetro Brookfield (Modelo: RVD III ULTRA)
- Termómetros (Modelo: SH-113 , Tipo: Digital Thermometer)
- Buretas
- Botellas de color ámbar de 50 mL

3.1.2.2 Equipos

- Cámaras de secado (Tipo: Secador por Bandejas)
- Microscopio de Barrido Electrónico (Modelo: Evo/LS10, Tipo: Carl Zeiss)
- Cromatógrafo de gas acoplado a espectrometría de masas
- Equipo modular de extracción de aceite esencial (Condensador diseñado y construido en el Taller Electromecánico Holger K. Hansen de la FIQM – UNSCH). Que se colocara en el Equipo de Extracción de Aceites Esenciales instalado en el LOPU – FIQ-UNA.
- Compresor
- Generador de vapor

3.2 Materia Prima

3.2.1 Descripción de la Materia Prima

- **Hojas** simples, alternas y dísticas, de 12 – 17 cm de longitud y 3,5 – 5 cm de ancho, color verde o verde amarillento en el haz.
- **Árbol** de 3 - 5 m de alto y 8 - 15 cm de diámetro, ramificado en el segundo tercio, con el fuste nudoso.
- **Fruto** ovoide, algo redondeado a tetragonal visto desde arriba; estigmas 3, cortos y sésiles. (Brako & Zarucchi, 1993). (Anexo 2)

3.2.2 Preparación de la Materia Prima

Las hojas de Matico recolectadas, transportadas hasta el laboratorio de Operaciones Unitarias de la facultad de Ingeniería Química, seleccionadas separando las impurezas hojas secas y tallos.

Las hojas frescas son picadas de tamaño pequeño para analizar con los dos tipos de condensadores.



(a)



(b)

Figura 6. *Recolección de las hojas de Matico (Piper aduncum)*

En (a) identificación de las hojas de matico procedentes del distrito de Ollachea Anexo Chuany, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno, (b) recolección de las hojas frescas de matico, pesado y almacenado.

Selección de las hojas de Matico (*Piper aduncum*) y picadas



(c)



(d)

Figura 7. Preparación de la Materia prima

En (c) selección de las hojas de Matico seleccionando todas las impurezas (hojas secas, tallos) se separan hojas para el análisis micro-histológico en el equipo SEM y también para determinar porcentaje de humedad, (d) picado de tamaño pequeño de las hojas frescas de Matico listas para introducir a la cámara de extracción.

3.2.3 Pesado de las hojas de Matico

Para el desarrollo experimental de la caracterización micro-histológico, físico y químico del aceite esencial de las hojas de matico (*Piper aduncum*), extraído por arrastre de vapor en un equipo modular, se recolectó 30 Kg de hojas frescas de Matico.

- Primer pesado:

Se pesa 4.5 kg de hojas frescas de Matico picadas de tamaño pequeño, para la extracción de aceite esencial en el equipo con condensador de serpentín.



Figura 8. Pesado de las hojas de Matico (*Piper aduncum*)

- **Segundo pesado:**

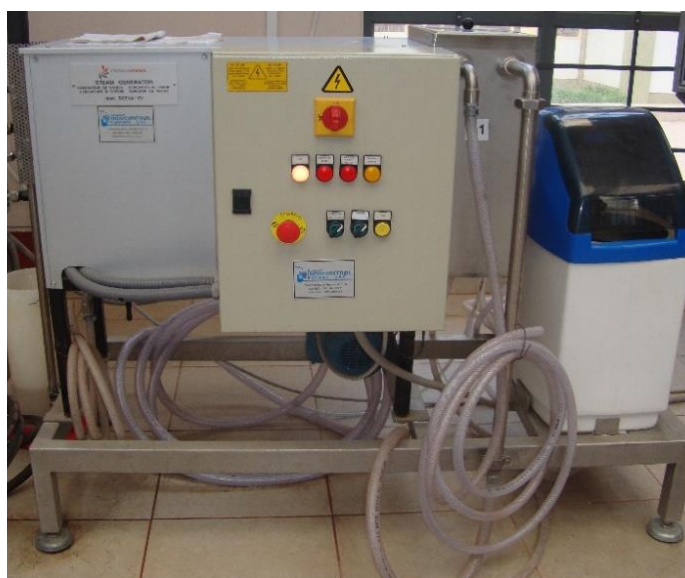
Se pesa 4.5 Kg de hojas frescas de Matico picadas para la extracción de aceite esencial en el equipo modular con condensador diseñado y construido (tubo y coraza).

3.3 Descripción del Equipo Modular de Extracción de Aceites Esenciales.

El equipo de extracción de Aceite Esencial por arrastre con vapor de agua cuenta con toda instrumentación de control que permite el fácil acondicionamiento del equipo a las necesidades del diseño que se requiere evaluar.

3.3.1 Generador de Vapor de Agua

El generador de vapor que se empleó cuenta con un ablandador de agua en la entrada cuya finalidad es ablandar el agua que ingresa al generador de vapor a través de una bomba de activación automática. El generador de vapor opera a una presión máxima de 5 bar, la peculiaridad de este generador es que ante el decaimiento de la presión hay que estar atento para activar la resistencia eléctrica mediante el control automático o simplemente girando la perilla “RESET” del tablero de control con la finalidad de mantener la presión de operación en 4 bar, es decir operar en forma intermitente.



Fuente: Fotografía del Generador de vapor FIQ-LOPU

Figura 9. *Generador de Vapor de agua*

3.3.2 Recipiente Destilador

Tiene una capacidad útil de 40 litros y está fabricada de vidrio borosilicato, en la parte inferior esta provista de resistencia de calentamiento de 15kW y difusor de flujo de vapor de agua. Por encima del difusor de vapor posee un disco de acero perforado cuya finalidad es mantener suspendido la materia prima empleada por encima de punto de inyección del vapor. Dentro de la columna del destilador posee un sensor de temperatura con código “T1” cuya finalidad es determinar la temperatura interna del lecho.



Fuente: Fotografía del recipiente destilador FIQ-LOPU

Figura 10. Recipiente destilador

3.3.3 Condensador

El condensador original de fábrica es de tipo serpentín y carcasa de acero inoxidable. Al evaluar el condensador se determinó su ineficiencia, dando una temperatura de salida de agua floral-aceite esencial por encima de 40° C. por la necesidad de obtener un producto por debajo de 25° C se reemplazó el condensador original por otro condensador de tubos y carcasa construido en el taller electromecánico “HOLGER HANSEN” de la facultad de Ingeniería Química UNSCH con el cual se obtuvo mayor eficiencia en la extracción de aceite esencial por tener mayor área de transferencia de calor. En todas las corridas experimentales con este condensador se obtuvo una temperatura de trabajo de 22° C a la salida de condensados. (Agua foral - aceite esencial). (Anexo 3)



Fuente: Fotografía del condensador FIQ-LOPU

Figura 11. Condensador construido

3.3.4 Florentino separador de fases

El material es de vidrio borosilicato de dos tubos concéntricos, por la región anular entre el tubo externo e interno fluye agua de refrigeración y por el tubo interno fluye la mezcla líquida agua-aceite esencial que sale del condensador. Tiene una capacidad de 25mL, el tamaño del diseño estaría adecuado para matrices herbáceas con poco contenido de aceite esencial.

3.3.5 Suministro de Servicio

Los suministros de servicio para el funcionamiento del equipo modular de extracción de aceites esenciales es la energía eléctrica, el aire comprimido para el funcionamiento de válvula neumática para regular el flujo de vapor de agua a la caldera, agua de alimentación a la caldera, agua de refrigeración del condensador de tubos-coraza y el florentador.



Fuente: Fotografía del compresor de aire FIQ-LOPU

Figura 12. Compresora de aire

3.3.6 Sistema de control de procesos

El equipo modular de extracción de Aceites Esenciales cuenta con tablero eléctrico de control, que consta de:

- Sensores digitales de temperatura
- Válvula de control de flujo de vapor
- Pulsadores de marcha y parada
- Interruptor automático diferencial
- Computadora y teclado para programar el funcionamiento del equipo.



Fuente: Fotografía del panel de control FIQ-LOPU

Figura 13. Panel de control

3.4 Descripción del Proceso de Extracción

Para el proceso de extracción del aceite esencial de las hojas frescas de Matico se tomó en cuenta las siguientes operaciones:

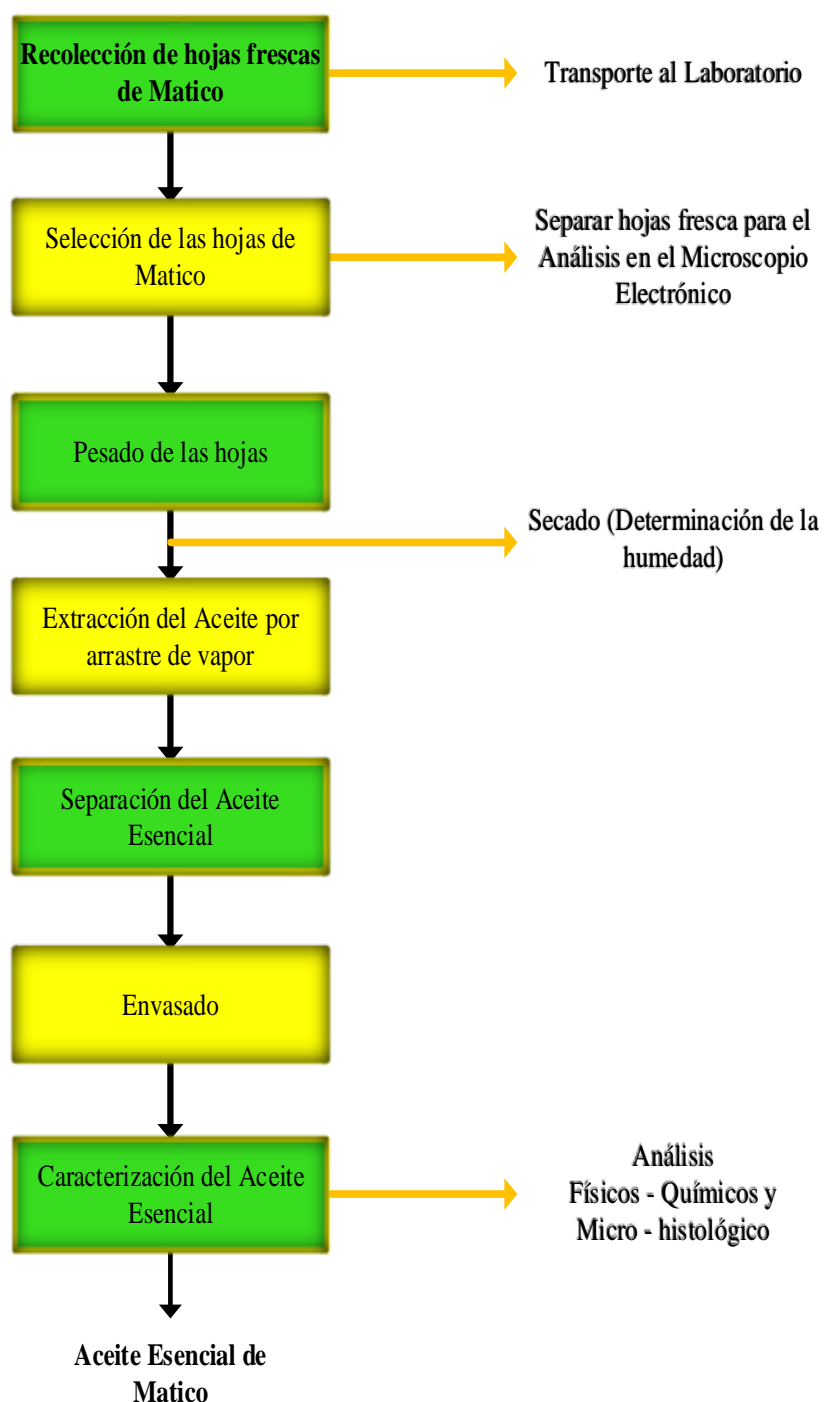


Figura 14. Diagrama de bloques del Proceso de Extracción de Aceites Esenciales de Matico

Selección: Se selecciona las hojas frescas de matico, se debe de separar de residuos sólidos.

Extracción del aceite esencial por arrastre de vapor: Consiste en hacer pasar vapor de agua por un recipiente de borosilicato que contiene el material vegetal. El vapor de agua extrae la esencia de la planta y se forma una mezcla gaseosa homogénea. Al salir del recipiente a una presión controlada, el vapor de agua enriquecido con aceite esencial se enfría en un condensador en donde regresa a la fase líquida.

Separación del aceite esencial: Se separa el aceite esencial del agua floral gracias a su diferencia de densidad en un vaso florentino.

Envasado: se recibió en un envase de vidrio esterilizado de color acaramelado para evitar la interacción con el sol y la volatilización.

Caracterización del aceite: Se realizaran los respectivos análisis físicos-químicos del aceite esencial mediante el uso del microscopio electrónico de barrido para la caracterización micro-histológica de las hojas antes se determina la extracción y mediante la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS) para hallar los componentes del aceite.

3.5 Determinación del rendimiento de la extracción de aceite esencial

La determinación del rendimiento se basa en la cantidad de aceite esencial recolectado a partir de una cantidad de muestra previamente pesada y relacionada al 100%.

El rendimiento de la extracción del aceite esencial de las hojas de matico se obtuvo por medio de la ecuación: (Granados, Yáñez & Acevedo 2013).

$$\%R = \frac{P_p}{P_m} * 100$$

Donde:

%R: Porcentaje de rendimiento de la extraccion

P_p: Peso de producto (g)

P_m: Peso de materia prima (g)

3.6 Evaluación del equipo modular (condensador)

3.6.1 Calor total de evaporación del agua.

El calor total que requiere el fluido para pasar de fase líquida a gas la cual es igual al calor sensible más el calor latente de vaporización.

$$Q_T = Q_S + Q_L \quad (8)$$

Donde:

Q_T : Calor total para evaporación de agua (KJ)

Q_S : Calor sensible (KJ)

Q_L : Calor latente (KJ)

Se aplica en procesos industriales, donde se trabaja con agua caliente o vapor de agua.

3.6.2 Calor sensible.

Es la cantidad de calor que requiere un cuerpo para aumentar su temperatura sin cambiar su estado.

$$Q_S = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (9)$$

Donde:

Q_S : Calor sensible (KJ)

\dot{m} : masa de agua (Kg)

C_p : Capacidad calorífica del agua (KJ/Kg °C)

ΔT : variación de temperatura

3.6.3 Calor Latente.

Es el calor necesario que se suministra a una sustancia para que ésta cambie de fase.

$$Q_L = \dot{m} * h_{fg} \quad (10)$$

Donde:

Q_L : calor latente de vaporización (KJ)

\dot{m} : masa de agua (Kg)

h_{fg} : entalpía de vaporización (KJ/Kg)

3.6.4 Calculo de área de tuberías.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (11)$$

Donde:

A: Area de la tubería (m^2)

D: Diametro de la tubería (m)

3.6.5 Media logarítmica de temperatura MLDT

Se utiliza en el diseño y dimensionamiento de intercambiadores de calor en la industria.

$$MLDT = \frac{\Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (12)$$

Donde:

MLDT: media logaritmica de temperatura

ΔT_2 : variacion de la temperatura en el extremo 2

ΔT_1 : variacion de temperatura en el extremo 1

3.6.6 Coeficiente de condensación en la película en el interior de la tubería

La ecuación calcula el coeficiente de transferencia de calor de película la cual depende de la temperatura de los fluidos que ingresa al intercambiador de calor (Chato, 1962).

$$h_i = 0,555 \left[\frac{g * \rho_L (\rho_L - \rho_V) * Kl^3 * h'_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_s) D} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (13)$$

Donde:

h_i = coeficiente de condensación de película en el interior del tubo ($w/m^2 \circ k$)

g = gravedad (m/s^2)

ρ_L = densidad del liquido (Kg/m^3)

Kl = constante de conductividad termica ($W/m \circ K$)

μ_l = viscosidad dinámica del líquido (Ns/m^2)

h'_{fg} = entalpia de vaporización corregida (KJ/Kg)

D = diámetro de vaporización interna (m)

3.6.7 Cálculo de la temperatura filmica

Es la media entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de la pared del condensador.

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2} \quad (14)$$

Donde:

T_f : temperatura filmica ($^{\circ}\text{C}$)

T_{sat} : temperatura de saturación del agua ($^{\circ}\text{C}$)

T_w : temperatura de la pared del condensador ($^{\circ}\text{C}$)

3.6.8 Entalpia de vaporización h'_{fg}

Como las entalpias dependen directamente de la temperatura se calcula con las temperaturas de los fluidos que ingresan al condensador.

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} C_{pL} (T_{sat} - T_w)^{\circ}\text{C} \quad (15)$$

Donde:

h'_{fg} : entalpia de vaporización corregida (KJ/Kg)

h_{fg} : entalpia de vaporización encontrados en tablas (KJ/Kg)

C_{pL} : capacidad calorífica del líquido ($\text{KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$)

T_{sat} : temperatura de saturación del agua ($^{\circ}\text{C}$)

T_w : temperatura de la pared del condensador ($^{\circ}\text{C}$)

3.6.9 Temperatura real de la pared del condensador

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left(T_W - \frac{T_e + T_S}{2} \right) \quad (16)$$

La fórmula se emplea para calcular la temperatura real de la pared interna del condensador, con lo cual posteriormente se calculará el área de transferencia de calor.

Donde:

q_T : calor total del vapor (w)

h_i : coeficiente de condensacion de pelicula en el interior del tubo ($W/m^2 \cdot K$)

D : diametro de la tuberia (m)

L : longitud de tuberia (m)

T_e : temperatura de entrada del refrigerante °C

T_S : temperatura de salida del refrigerante °C

T_W : temperatura de la pared del condensador °C

3.6.10 Número de Grashof

Se define como el cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan sobre un fluido. Se aplica para cálculos de transferencia de calor por convección natural en industrias.

$$G_r = \frac{\rho^2 g \beta}{\mu^2} (T_w - T_b) L_c^3 \quad (17)$$

Donde:

β : expansion termica $\frac{1}{^\circ K}$ se halla en tabla

g : gravedad (m/s^2)

ρ : densidad del liquido (Kg/m^3)

μ : viscosidad dinamica (Ns/m^2)

T_W : temperatura de la pared del condensador °C

T_b : temperatura promedio del fluido para el enfriamiento °C

L_c : diametro de la tuberia (m)

3.6.11 Número de Rayleigh

Este número hace referencia a la transferencia de calor en el interior de un fluido y define si la transferencia se da por conducción o radiación.

$$R_a = G_r * P_r \quad (18)$$

Donde:

R_a : numero de Rayleigh

G_r : numero de Grashof

P_r : nuemro de Prandt

3.6.12 Cálculo del número de Nusselt

Es un número dimensional que compara la trasferencia de calor si esta ocurriera solo por conducción.

$$N_u = 0.36 + \frac{0.518R_a^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{P_r}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad (19)$$

Donde:

N_u : Nusselt

R_a : numero de Rayleigh

P_r : nuemro de Prandt

3.6.13 Coeficiente de condensación en película externa

Esta ecuación relaciona la conductividad térmica del fluido a condensarse, Nusselt y el diámetro de la tubería para determinar el coeficiente de condensación.

$$h_e = \frac{Nu * K}{L_c} \quad (20)$$

Donde:

h_e : coeficiente de condensacion de pelicula externa ($W/m^2\text{°K}$)

L_c : diametro de la tuberia (m)

K : conductividad termica del liquido ($W/m\text{°K}$)

3.6.14 Coeficiente de convección forzada en superficies interiores

La ecuación se utiliza generalmente en tuberías donde se da la transferencia de calor con convección forzada.

$$\frac{h}{C_p G} \left(\frac{C_p \mu}{K} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0.14} = \frac{0.023}{\left(\frac{D_e G}{\mu} \right)^{0.2}} \quad (21)$$

Donde:

h : coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2\text{°K}$)

C_p : capacidad calorifica del liquido ($KJ/Kg\text{°C}$)

μ : viscosidad dinamica (Ns/m^2)

G : Flujo masico (Kg/h)

K : conductividad termica ($W/m\text{°K}$)

D_e : diametro hidraulico (m)

3.6.15 Velocidad de un fluido en el interior del condensador

$$V = \frac{\dot{m}}{A * \rho} \quad (22)$$

Donde:

V : velocidad del fluido (m/s)

\dot{m} : flujo masico (Kg/s)

A : area de la tuberia (m^2)

ρ : densidad del fluido (Kg/m^3)

3.6.16 Coeficiente global de transferencia de calor por condensación

Es una magnitud que mide la cantidad total de calor que se transfiere de un fluido a otro al condensarse.

$$U_C = \frac{h_c * h_0}{h_c + h_0} \quad (23)$$

Donde:

U_C : coeficiente global de transferencia de calor por condensación ($W/m^2\text{°C}$)

h_0 : coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2\text{°C}$)

h_c : coeficiente de condensación de película ($W/m^2\text{°C}$)

3.6.17 Coeficiente global de transferencia de calor por enfriamiento

Es una magnitud que mide la cantidad total de calor que se transfiere de un fluido a otro al enfriarse.

$$U_e = \frac{h_e * h_0}{h_e + h_0} \quad (24)$$

Donde:

U_e : coeficiente global de transferencia de calor por enfriamiento ($W/m^2\text{°C}$)

h_e : coeficiente de transferencia de calor por convección para enfriamiento ($W/m^2\text{°C}$)

h_0 : coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2\text{°C}$)

3.6.18 Área de transferencia de calor para condensación

Esta ecuación sirve para calcular el área del condensador en el cual tendrá lugar la condensación del vapor.

$$A_C = \frac{q_t}{U_C * MLTD_C * F} \quad (25)$$

Donde:

A_C : *area de transferencia de calor para condensacion (m²)*

U_C : *coeficiente global de transferencia de calor por condensacion (KJ/m²°K)*

q_l : *calor latente del vapor (KJ)*

$MLTD_C$: *media logaritmica de temperatura para la condensacion (°C)*

F : *factor de correccion*

3.6.19 Área de transferencia de calor para enfriamiento

Esta ecuación sirve para calcular el área o parte del condensador en el cual tendrá lugar el enfriamiento del condensado.

$$A_e = \frac{q_s}{U_e * MLTD_e * F} \quad (26)$$

Donde:

A_e : *area de transferencia de calor para enfriamiento (m²)*

U_e : *coeficiente global de transferencia de calor por condensacion (KJ/m²°K)*

q_s : *calor sensible del fluido (KJ)*

$MLTD_e$: *media logaritmica de temperatura para el enfriamiento (°C)*

3.6.20 Área total de transferencia de calor

Es la suma entre el área de transferencia por condensación y el área de transferencia por enfriamiento.

$$A_T = A_C + A_e \quad (27)$$

Donde:

A_T : *area total del condensador (m²)*

A_C : *area para condensacion (m²)*

A_e : *area para enfriamiento (m²)*

3.6.21 Cálculo de la longitud del condensador

Esta ecuación permite el cálculo del tamaño del condensador la cual depende del área total de transferencia de calor.

$$L = \frac{A_T}{\pi * D_{ext}} \quad (28)$$

Donde:

L : longitud del condensador (m)

A_T : area total del condensador (m²)

D_{ext} : diametro externo del condensador (m)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la extracción de aceite esencial de matico (*Piper aduncum*)

En la tabla 2 se muestra el tiempo de extracción de aceite esencial en minutos, el volumen del condensado (agua floral; volumen del aceite extraído y temperaturas tal como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultados de la extracción de aceite esencial de matico

Tiempo (min)	Volumen del condensado (mL)	Volumen de AE de Matico (mL)	T_1	T_2	T_3	T_4
0	0	0	19.6	14	14.5	17.2
10	134	0.5	49	14	16	17
20	262	2.5	59	14	20	19.6
30	450	4.5	65	14.1	20	20.3
40	750	9	70.5	14.1	21	19.8
50	900	12.5	80.5	14	24	19
60	1128	15.5	85.5	14	24	19
70	1434	17	87	14	28	18.5
80	1800	19	87	14	25	19.4
90	2400	23	87	14.1	20	19.7
100	3050	24.5	87	14.1	23	19
110	3810	25	87	14.1	26	19
120	4200	25	87	14.1	24	19

Las temperaturas que se indica son:

T_1 : Temperatura de entrada del vapor al condensador,

T_2 : Temperatura de entrada de agua de refrigeración

T_3 : Temperatura de salida del agua de refrigeración y

T_4 : Temperatura de salida del agua floral + aceite esencial del condensador

Lo que muestra la variación de T_1 a un inicio de 19.6 °C se hace constante a partir de los 70 minutos, y el agua de ingreso T_2 es constante a 14 °C, notando que la temperatura de salida del agua de refrigeración tiene una variación y siendo un promedio de 24 °C, la temperatura de salida de agua y aceite, también se hace constante a 19 °C.

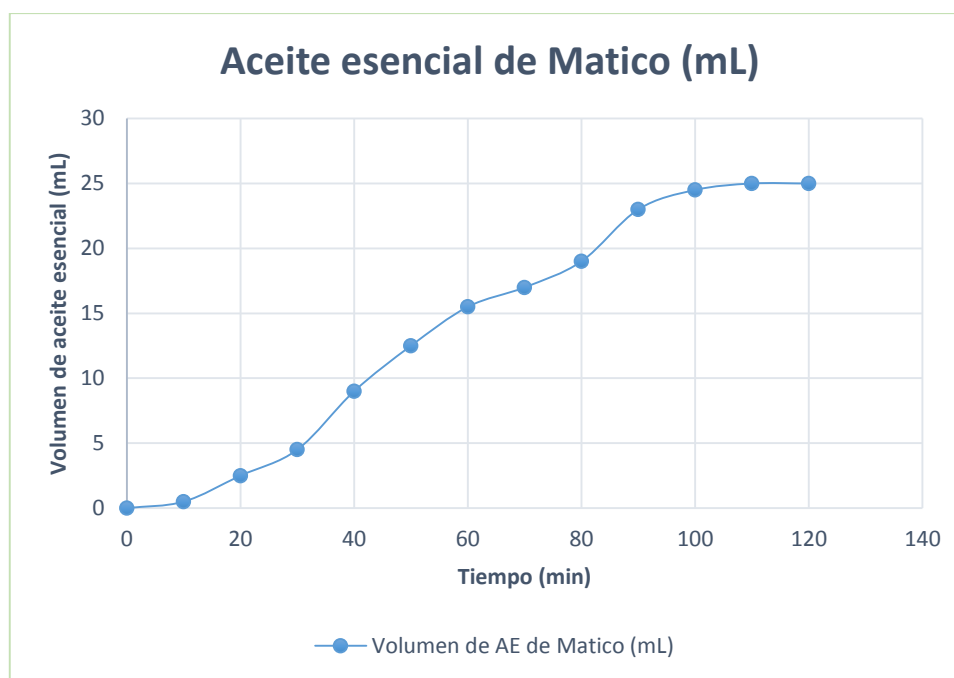


Figura 15. *Volumen de aceite extraído mL vs tiempo en min.*

En la figura 15 se observa que la extracción comienza en forma ascendente en un tiempo de 10 minutos hasta el tiempo de 110 minutos que se obtiene 25 mL y a partir de ahí es constante con 120 minutos que también tiene un el volumen constante de 25 mL.

4.1.2 Evaluación del diseño del condensador en el equipo modular

4.1.2.1 Condensador

Para el diseño del Condensador se considera las siguientes variables:

a) Variables del vapor (vapor de agua más vapor del aceite esencial)

- Masa total de vapor
- Presión absoluta del vapor al ingreso del condensador
- Temperatura del vapor al ingreso del condensador
- Temperatura del vapor a la salida del condensador
- Diámetro de la tubería

b) Variables del refrigerante (agua).

- Temperatura de ingreso del agua
- Temperatura de salida del agua

- Flujo de agua
- Diámetro de la tubería

4.1.2.2 Diseño de partes constitutivas

Una vez identificado las variables el siguiente paso a seguir es el diseño de sus elementos constitutivos. Debido a que se trata del diseño y construcción del condensador, se deberá asumir consideraciones propias.

4.1.2.3 Diseño del sistema de extracción de aceite esencial

Se parte con la cantidad de producto de aceite esencial que se quiere obtener, para ello se considera el rendimiento teórico de la planta, que sea factible extraer aceite esencial por arrastre de vapor.

El material vegetal elegido para el análisis, es el Matico. Ahora, debido a que el contenido de aceites en las plantas es bajo, por ello hace falta destilar abundante cantidad de hierbas para obtener un volumen que justifique el gasto de destilación, esto no solo obliga a optimizar la destilación, sino a contar con abundante materia prima para destilar.

El volumen asumido que se considera es 35 mL de aceite esencial de Matico (volumen determinado al realizar pruebas en la FIQ de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga - Ayacucho). Utilizando el rendimiento teórico de la planta, se determina la cantidad de materia vegetal que se tendrá que destilar para obtener dicho volumen.

Material Matico (*Piper aduncum*).

$$\eta = 0.8 \%$$

$$\rho = 0.9278 \frac{g}{mL}$$

ρ = densidad del aceite esencial de Matico

$$\eta = 0.8 \%$$

Conociendo que:

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{4.1}$$

Se conoce que:

$$X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} \rightarrow Y_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = m$$

$$100_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} \rightarrow Z_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = \eta$$

Entonces:

$$Y_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = \frac{\eta * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}}}{100}$$

$$Y_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = \frac{0.8\% * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}}}{100} = 0.008 * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} \quad (4.2)$$

Despejando la masa de la ecuación (4.1)

$$m = \rho * v$$

$$0.008 * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} = 0.9278 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 35 \text{ mL}$$

$$X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} = \frac{0.9278 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 35 \text{ mL}}{0.008}$$

$$X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} = 4059.125 \text{ g}$$

Obteniendo el resultado de 4059.125 g redondearemos a un valor exacto, por lo tanto, se trabajará con una masa de 4500 g ó 4.5 Kg de planta de Matico (*Piper aduncum*). Con este dato se procede al diseño de las partes constitutivas.

4.1.2.4 Vapor procedente del Caldero Eléctrico

Para la selección del generador de vapor, se debe determina el calor que entrega el combustible al agua para transformarlo de estado líquido a vapor, pasando primeramente por el calentamiento y luego a la evaporación, teniendo en cuenta que el calor total es igual a la suma del calor sensible y el calor latente, y cuyo calor total servirá para determinar los BHP requeridos para el sistema de extracción de aceites esenciales.

- **Calculo del calor sensible**

$$Q_s = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (4.3)$$

Para lo cual primero determinamos el flujo másico del fluido.

Para conocer la cantidad de agua que se necesita para procesar 4.5 Kg de hojas de matico para la extracción de aceite esencial, se usara experiencia anterior realizada en el laboratorio (LOPU- UNA).

$$1 \text{ kg vegetal} \quad 3 \text{ kg agua por hora}$$

Entonces para:

$$4.5 \text{ kg vegetal} \quad 13.5 \text{ kg agua por hora}$$

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (4.4)$$

$$v = \frac{13.5 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$v = \frac{13.5 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.0135 \text{ m}^3$$

$$v = 13.5 \text{ L}$$

Con el cual se tiene un flujo másico de:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{13.5 \text{ Kg}}{1h} = 13.5 \frac{\text{Kg}}{h}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.5)$$

Donde $T_1 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatura del fluido en el ambiente

El caldero eléctrico trabaja a 4.5 bar, pero por pruebas realizadas se determinó que la presión de trabajo es de:

$$P_{trab} = 3 \text{ bar} = 43.5113 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_{atm} = 9.3362 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (Presión atmosférica en Puno)}$$

P_{atm} = presión atmosférica del departamento de Puno

P_{trab} = presión de trabajo del equipo

Con la presión atmosférica y la presión de trabajo, se determina la presión absoluta.

$$P_{abs} = P_{trab} + P_{atm}$$

$$P_{abs} = 43.5113 \text{ psi} + 9.3362 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 52.8475 \text{ psi}$$

Con la $P_{abs} = 52.8475 \text{ psi}$, encontramos $T_{sat} = 139.84$ (Anexo 4) reemplazando en la ecuación (4.3)

$$Q_S = 13.5 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (139.84 - 14)^\circ\text{C}$$

$$Q_S = 7111.34 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

- Cálculo del calor latente

$$Q_L = \dot{m} * h_{fg} \tag{4.6}$$

Con la P_{abs} , encontramos $h_{fg} = 2145.24 \text{ KJ/Kg}$ (Anexo 4)

$$Q_L = 13.5 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 2145.24 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_L = 28960.74 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

- Calor Total

$$Q_T = Q_S + Q_L \tag{4.7}$$

$$Q_T = 7111.34 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} + 28960.74 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

$$Q_T = 36071.34 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

Al calor total hay que considerar un factor de seguridad en un porcentaje del (10 al 20) %.
Se asume para nuestro caso un porcentaje del 10%

$$Q_{diseño} = 1.1 Q_T \quad (4.8)$$

$$Q_{diseño} = 1.1(36071.34 \frac{KJ}{h})$$

$$Q_{diseño} = 39678.47 \frac{KJ}{h} = 37607.93 \frac{Btu}{h}$$

Los BHP que debe proporcionar el caldero es:

Como un BHP es una cantidad definida que representa la transferencia de $33475 \frac{Btu}{h}$ de calor, entonces:

$$37607.93 \frac{Btu}{h} \times \frac{1 \text{ BHP}}{33475 \frac{Btu}{h}} = 1.123 \text{ BHP}$$

4.1.2.5 Diseño del intercambiador de calor de calor coraza y tubo

Datos del refrigerante (Agua)

$$T_{ia} = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{sa} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Datos del vapor

$$T_e = 87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_s = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_v = 13.5 \frac{Kg}{h}$$

Como la masa de vapor con relación a la del aceite esencial es superior, todos los cálculos se realizan como si se tratara vapor de agua, entonces el Calor a quitarse del vapor de agua para que se condense es:

- **Calor latente**

$$q_L = m_v * h_{fg} \quad (4.9)$$

Con la $T_{sat} = 87.96 \text{ } ^\circ\text{C}$ (dato obtenido de tabla), encontramos $h_{fg} = 2288.11 \text{ KJ/Kg}$

Reemplazando:

$$q_L = 13.5 \frac{Kg}{h} * 2288.11 \frac{KJ}{Kg}$$

$$q_L = 30889.53 \frac{KJ}{h}$$

- **Calor Sensible:**

$$q_S = m * C_p * \Delta T \quad (4.10)$$

$$C_{p_{agua}} = 4.186 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$$

$$\Delta T = T_{sat} - T_{final} \quad (4.11)$$

Reemplazando:

$$q_S = 13.5 \frac{Kg}{h} * 4.186 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * (87.96 - 19)^{\circ}C$$

$$q_S = 3896.99 \frac{KJ}{h}$$

- **Calor Total:**

$$q_T = q_L + q_S \quad (4.12)$$

$$q_T = 30889.53 \frac{KJ}{h} + 3896.99 \frac{KJ}{h}$$

$$q_T = 34786.52 \frac{KJ}{h} = 9662.92 W$$

Asumiendo un factor de seguridad del 10% tenemos el calor de diseño:

$$q_{diseño} = 1.1 * q_T$$

$$q_{diseño} = 1.1(34786.52 \frac{KJ}{h})$$

$$q_{diseño} = 38265.17 \frac{KJ}{h} = 10629.21 W$$

Calculo del caudal másico del agua requerido:

$$q_{perdido}(mezcla vapor+aceite esencial) = q_{ganado} agua \quad (4.13)$$

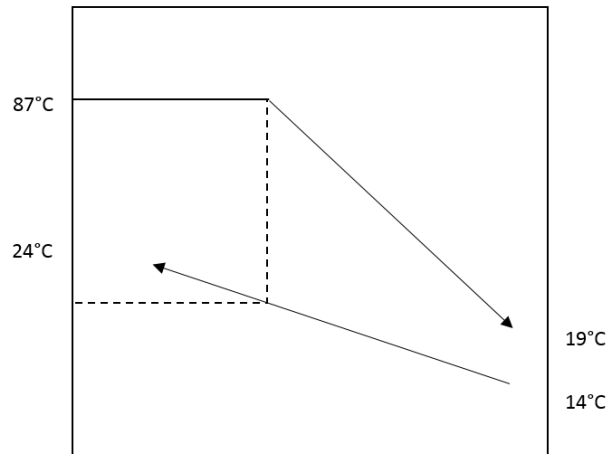
$$38265.17 \frac{KJ}{h} = m_a * C_{p_a} * \Delta T$$

Despejando m_a , se tiene la siguiente expresión.

$$m_a = \frac{38265.17 \frac{KJ}{h}}{4.186 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * (24 - 14)^{\circ}C}$$

$$m_a = 914.12 \frac{Kg}{h}$$

- **Calculo de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (MLDT)**



- **Calculo del MLDT para la condensación**

Considerando:

$$T_{A1} = 24 \text{ }^{\circ}C$$

$$T_{A2} = 87.96 \text{ }^{\circ}C$$

$$T_{B1} = 20 \text{ }^{\circ}C$$

$$T_{B2} = 87 \text{ }^{\circ}C$$

$$\Delta T_A = (T_{A2} - T_{A1})$$

$$\Delta T_B = (T_{B2} - T_{B1})$$

$$MLDT = \frac{\Delta T_B - \Delta T_A}{\ln \frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}}$$

$$MLDT = \frac{(87 - 20) - (87.96 - 24)}{\ln \left(\frac{87 - 20}{87.96 - 24} \right)}$$

$$MLDT = 65.46 \text{ }^{\circ}C$$

Calculo de MLDT para el enfriamiento

$$T_{B1} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{B2} = 87 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{C1} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{C2} = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_C = (T_{C2} - T_{C1})$$

$$\Delta T_B = (T_{B2} - T_{B1})$$

$$MLDT = \frac{\Delta T_C - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_C}{\Delta T_B}}$$

$$MLDT = \frac{(19 - 14) - (87 - 20)}{\ln \left(\frac{19 - 14}{87 - 20} \right)}$$

$$MLDT = 23.88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se tiene:

$$Q = A * U * LMTD \quad (4.14)$$

Donde:

Q: Calor

A: Area

U: Coeficiente global de transferencia de calor

LMTD: Diferencia de Teperatura Media Logarítmica

- **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor U (Anexo 5)**

Coeficiente global de transferencia de calor por condensación

$$U_c = \frac{h_c * h_0}{h_c + h_0} \quad (4.15)$$

$$U_c = 2778.23 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 9993.63 \frac{KJ}{m^2 h \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Coeficiente global de calor por su enfriamiento:

$$U_e = \frac{h_e * h_0}{h_e + h_0} \quad (4.16)$$

$$U_e = 384.15 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = 1381.83 \frac{KJ}{m^2 h^\circ C}$$

- **Áreas de transferencia de calor** (Anexo 5)

Área de transferencia de calor para condensación:

$$A_C = \frac{q_l}{U_C * LMTD_C * F} \quad (4.17)$$

$$A_C = 0.047 m^2$$

Área de transferencia de calor para sub-enfriamiento:

$$A_e = \frac{q_s}{U_e * LMTD_e * F} \quad (4.18)$$

$$A_e = 0.118 m^2$$

- **Área Total**

$$A_T = A_C + A_e \quad (4.34)$$

$$A_T = 0.165 m^2$$

- **Cálculo de la longitud del condensador**

$$L = \frac{A_T}{\pi * D_{ext}}$$

$$L = 0.516 m \cong 0.5 m$$

Con estas consideraciones se tiene el condensador de estas medidas:

Se tiene las dimensiones por donde va circular la mezcla de vapor de agua y aceite esencial. (Tubos de acero INOX). (Anexo 5).

Resumen general de la evaluación del diseño del condensador del equipo modular

Para realizar el balance de energía en el condensador construido se considera el cambio de fase que sufre la mezcla de flujo de vapor de agua y aceite esencial, el condensador empleado se muestra en la figura 16, tiene las siguientes características como se muestra en el cuadro.

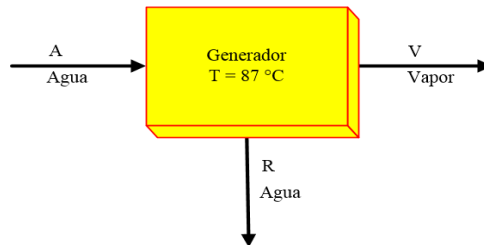


Figura 16. Condensador diseñado y construido

Tubo	Carcaza
Número de tubos: 13	Longitud: 0.505 m
Longitud: 0.505 m	Longitud de casco: 0.045 m
Diámetro externo: $\varnothing_{ext} = 0.0127$ m	Diámetro externo: 0.1016 m
Espesor: 1.5 mm = 0.0015 m	Espesor: 1.65 mm
Diámetro interno: $\varnothing_i = 0.0112$ m	
Área interna = $A_i = 1.281 \times 10^{-3} m^2$	

4.1.3 Balance de Materia en el equipo de arrastre de vapor de agua

4.1.3.1 Balance de materiales para el generador:



Realizando el balance:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Volumen} \\ \text{inicial} \\ \text{del agua} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Volumen} \\ \text{final} \\ \text{del agua} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Volumen} \\ \text{de vapor} \\ \text{generado} \end{array} \right)$$

Se obtiene la siguiente ecuación

$$A = R + V \quad (4.1.1)$$

Donde:

$A = \text{Alimentacion (volumen inicial del agua en el hervidor)} = 10L = 10Kg$

$R = \text{Residuo en el generador (volumen final del agua)} = 4,20 L = 4,20 Kg$

$V = \text{Volumen de vapor generado (Kg)}$

a) Cálculo de volumen de vapor generado según la ecuación

$$V_{\text{vapor generado}}(Kg) = V_{i \text{ de agua}}(L) - V_{f \text{ de agua}}(L) \quad (4.1.2)$$

Donde:

$V_{i \text{ de agua}}$: Volumen inicial de agua en el hervidor = 10 L

$V_{f \text{ de agua}}$: Volumen final de agua en el hervidor = 3.60 L

Reemplazando datos en la ecuación (4.2), se tiene el volumen de vapor generado:

$$V_{\text{vapor generado}}(Kg) = V_{i \text{ de agua}}(L) - V_{f \text{ de agua}}(L)$$

$$V_{\text{vapor generado}} = 10L - 3.60 L$$

$$V_{\text{vapor generado}} = 6.4 L = 6.4 Kg \text{ de vapor generado}$$

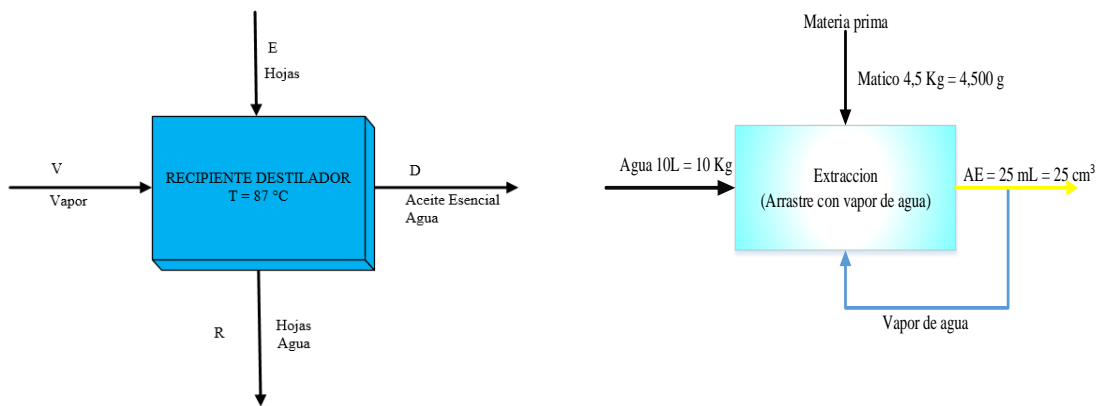
Finalmente reemplazando en la ecuación (4.1), se realiza el balance de materiales en el generador de vapor.

$$A = R + V$$

$$10Kg = 4,20 Kg + 6,4 Kg$$

$$10Kg = 10,0 Kg$$

4.1.3.2 Balance de materiales en el recipiente destilador



Realizando el balance: deduciendo la ecuación se tiene:

$$\left(\begin{matrix} \text{Volumen} \\ \text{de vapor} \\ \text{generado} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Peso de} \\ \text{hojas} \\ \text{inicio} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Volumen} \\ \text{mezcla} \\ \text{agua - AE} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Peso de} \\ \text{hojas - agua} \end{matrix} \right)$$

$$V + E = D + R \tag{4.1.3}$$

Donde:

V: Volumen de vapor generado = 6.4 Kg

E: Peso inicial de muestra (Hojas) con 80% de humedad = 4.5 Kg

D: (Volumen de agua floral y/o condensada + volumen de AE) = 4.20 Kg

R: Peso final de hojas en el recipiente destilador = 5.8 Kg

a) Cálculo del volumen de la mezcla

$$V_{mezcla} = V_{AC}(mL) + V_{AE}(mL) \tag{4.1.4}$$

Donde:

V_{AC}: Volumen de agua condensada (mL)

V_{AE} : Volumen de aceite esencial (mL)

$$V_{mezcla} = (4175 + 25)mL$$

$$V_{mezcla} = 4200 \text{ mL} = 4.200 \text{ Kg}$$

b) Cálculo de masa de condensado

$$m_{condensado} = V_{mezcla}(mL) - V_{AE}(mL) \quad (4.1.5)$$

Donde:

V_{mezcla} : Volumen de la mezcla en (mL)

V_{AE} : Volumen del aceite esencial en (mL)

$$m_{condensado} = 4200 \text{ mL} - 25mL$$

$$m_{condensado} = 4175 \text{ g de agua}$$

c) Cálculo de vapor mínimo óptimo (Romero, 2010)

$$\dot{m}_v \text{ arrastre} = \frac{(V_{mezcla}(g) - V_{AE}(g))}{t_{operacion}(h)} \quad (4.1.6)$$

Donde:

t : tiempo de operacion = 2 h = 120 min

$$\dot{m}_v \text{ arrastre} = \frac{(4200 - 25)g}{120 \text{ min}} = 34.7916 \frac{g}{\text{min}} = 2087.496 \frac{g}{h}$$

$$\dot{m}_v \text{ arrastre} = 2.0874 \frac{Kg}{h} \text{ flujo de vapor minimo óptimo}$$

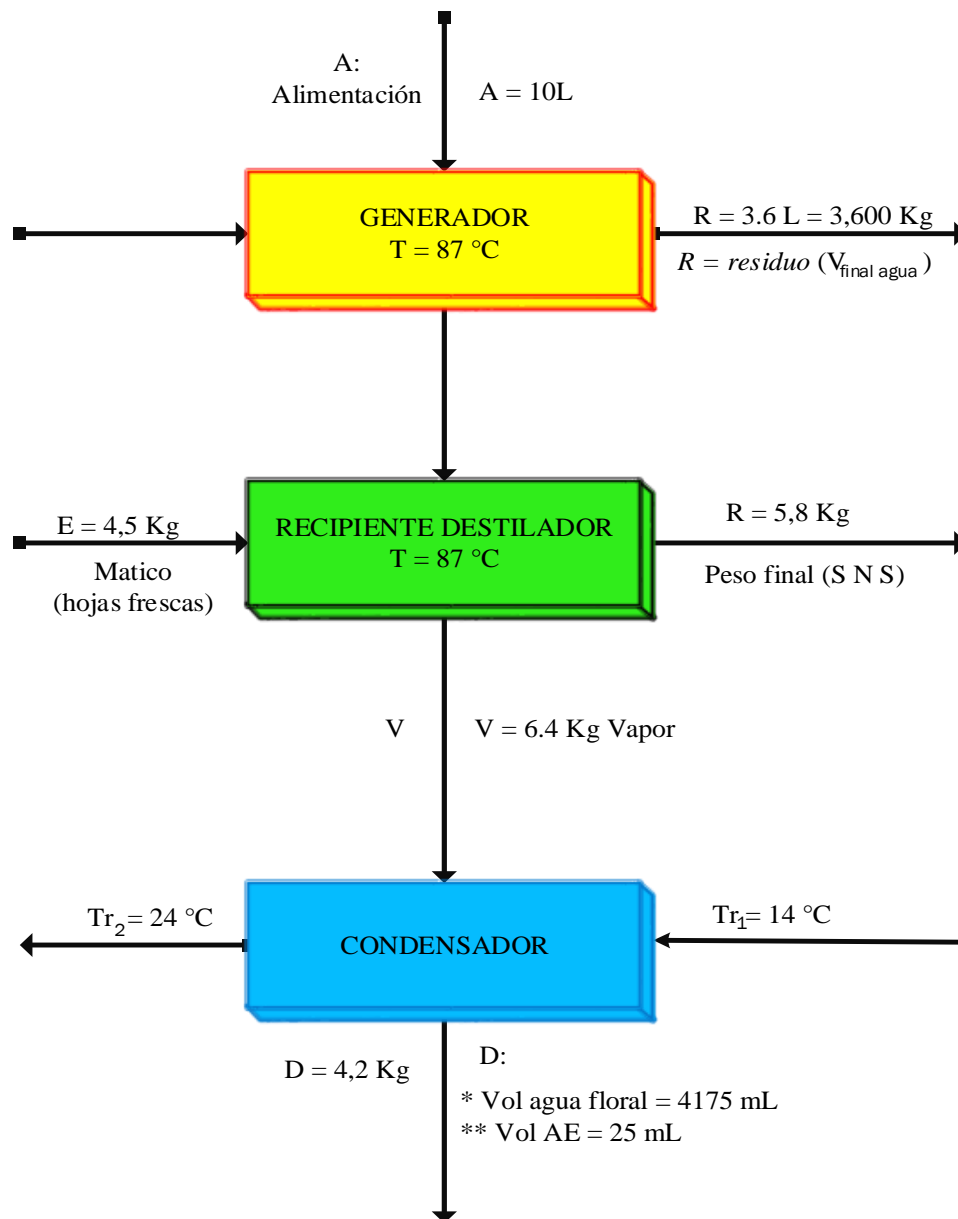
Finalmente reemplazando los datos en la ecuación (4.3), se realiza el balance de materiales en el recipiente destilador (extractor).

$$V + E = D + R$$

$$6.4 \text{ Kg} + (4.5 * 0.8) \text{ kg} = (4.175 + 0.025) \text{ Kg} + 5.8 \text{ Kg}$$

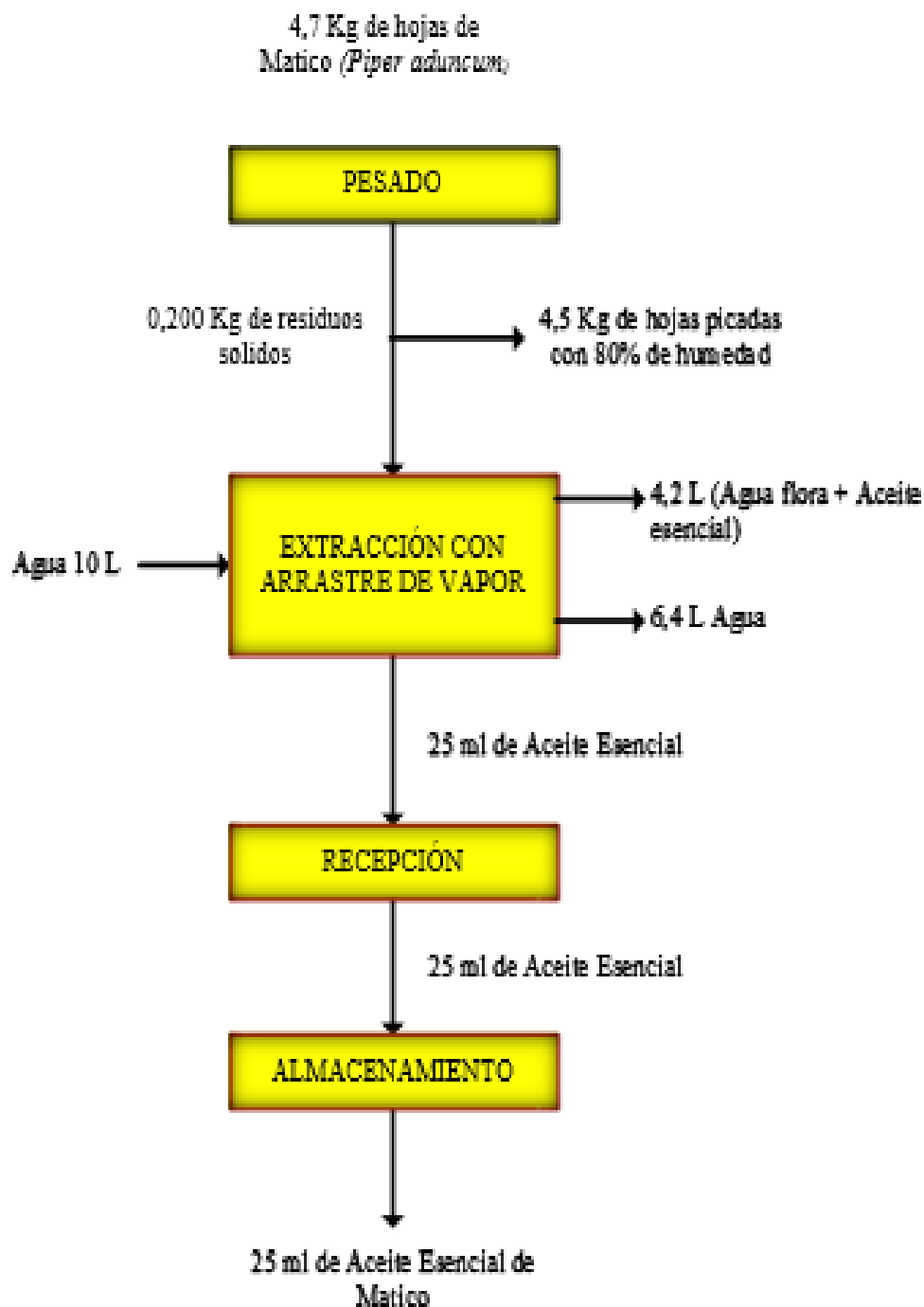
$$10 \text{ Kg} = 10 \text{ Kg}$$

Resumen general de balance de materia en el equipo extractor de aceite esencial

**Interpretación del balance de materia:**

De los balances de materia en el generador de vapor y en el extractor, para las hojas frescas de Matico se presenta un balance en donde no hay variaciones significativas, en el resumen de balance de materia se muestra los cálculos obtenidos durante todo el proceso de extracción de aceite esencial, donde la alimentación fue de 10 L de agua para el generador de vapor, para el extractor se necesitó 4.5 Kg de hojas frescas de matico con un 80% de humedad. No presento ninguna cantidad de vapor perdido por ello no hubo ninguna variación significativa en el balance de materia.

4.1.3.3 Balance de Materia



Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Balance de energía en el equipo modular de arrastre de vapor de agua

Realizando el balance energético:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Calor} \\ \text{suministrado} \\ \text{al sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Calor suministrado} \\ \text{por el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Calor disipado} \\ \text{a los} \\ \text{alrededores} \end{array} \right)$$

$$Q_t = C_c + C_p \quad (4.1.8)$$

4.1.4.1 Balance de energía en el generador de vapor

Según la ecuación se determina el calor total generado.

$$Q_T = Q_{H_2O} + Q_D \quad (4.1.9)$$

Donde:

Q_T : Calor total generado (Kcal)

Q_{H_2O} : Calor consumido por el agua (Kcal)

Q_D : Calor disipado (Kcal)

a) Cálculo del calor total generado

El calor total generado por el hervidor está dado por la potencia de la resistencia en contacto y el tiempo total de calentamiento.

$$Q_T = P * (t_{TC} + t_v) \quad (4.1.10)$$

Donde:

P : Potencia = 15 Kw (resistencia eléctrica externa)

t_{TC} : tiempo total de calentamiento = 0.5h = 30 min

t_v : tiempo de vaporización = 1.5h

$$Q_T = 15 \text{ Kw} * (0.5 + 1.5)h$$

$$Q_T = 30 \text{ Kw} - h * \left(\frac{860.4206 \text{ Kcal}}{1 \text{ Kw} - h} \right)$$

$$Q_T = 25812.618 \text{ Kcal}$$

b) Cálculo de calor consumido por el agua

El calor consumido por el agua se determina según la ecuación mencionada por (Cengel, 2011).

$$Q_{H_2O} = mC_P\Delta T + m_v h_v \quad (4.1.11)$$

Donde:

m : Masa de agua = 10 Kg = 10L

C_P : Calor específico del agua = $1.00604 \frac{Kcal}{Kg}$

ΔT : variación de temperatura ($T_2 - T_1$)

T_2 : Temperatura de salida de vapor de agua = 87 °C

T_1 : Temperatura de entrada del agua = 14°C

m_v : vapor generado en una corrida = 6.4 Kg

h_v : Calor latente de vaporización del agua a 87 °C = $634.06 \frac{Kcal}{Kg}$

$$Q_{H_2O} = 10 \text{ Kg} * 1.00604 \frac{Kcal}{Kg} * (87 - 14)^\circ C + 6.4 \text{ Kg} * 634.06 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$Q_{H_2O} = 4792.3932 \text{ Kcal}$$

c) Cálculo del calor disipado

Para calcular el calor disipado en el generador de vapor de agua se reemplaza los valores de las ecuaciones.

$$Q_D = Q_T - Q_{H_2O}$$

$$Q_D = (25812.618 - 4792.3932) \text{ Kcal}$$

$$Q_D = 21020.2248 \text{ Kcal}$$

4.1.4.2 Balance de energía en el recipiente extractor

Se calcula según la ecuación siguiente (Kern, 2009)

$$Q_V = Q_E + Q_D + Q_{CE} \quad (4.1.12)$$

Donde:

Q_V : Calor total de vapor (Kcal)

Q_E : Calor consumido en el extractor (Kcal)

Q_D : Calor disipado (Kcal)

Q_{CE} : Calor necesario para calentar el lecho de extracción (Kcal)

a) Cálculo del calor que lleva el vapor

El calor que lleva el vapor se determina según la siguiente ecuación: (Romero, 2010)

$$Q_V = m_v * h_v \quad (4.1.13)$$

Donde:

m_v : Flujo de vapor = 6.4 Kg

h_v : Calor de vaporización del agua a 87°C = 634.06 $\frac{Kcal}{Kg}$

$$Q_V = 6.4 \text{ Kg} * 634.06 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$Q_V = 4057.98Kcal$$

b) Cálculo del calor consumido en el extractor

El calor consumido en el extractor se determina por la siguiente ecuación:

$$Q_E = m_d * h_v + m_M * C_{pM} * \Delta T \quad (4.1.14)$$

Donde:

m_d : masa de destilado = 4.2 Kg

h_v : calor de vaporización del agua a 87°C = 634.06 $\frac{Kcal}{Kg}$

m_M : masa total de la muestra = 4.5 Kg

T_1 : Temperatura de ingreso = 68 °C

T_2 : Temperatura de salida = 87 °C

C_{p_m} : Calor específico de la muestra (agua) = 4.186 $\frac{Kcal}{Kg^\circ C}$

Como la masa de vapor con relación a la del aceite esencial es superior, todos los cálculos se realizan como si se tratara vapor de agua.

Reemplazar en (4.14):

$$Q_E = 4.2 \text{ Kg} * 634.06 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} + 4.5 \text{ Kg} * 4.186 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (87 - 68)^\circ\text{C}$$

$$Q_E = 3020.955 \text{ Kcal}$$

c) Cálculo del calor necesario para calentar el lecho de extracción

El calor necesario para el calentamiento del extractor está dado por la siguiente ecuación.

$$Q_{CE} = m * Cp(T_2 - T_1) \quad (4.1.15)$$

Donde:

m : masa de extractor = 6.10 Kg

Cp : calor específico

T_2 : Temperatura de la pared = 87° C

T_1 : Temperatura de ingreso = 68° C

$$Q_{CE} = 6.10 \text{ Kg} * 4.186 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (87^\circ - 68)^\circ\text{C}$$

$$Q_{CE} = 485.157 \text{ Kcal}$$

d) Cálculo del calor necesario para calentar el lecho de extracción

Deduciendo el calor disipado según la ecuación tenemos:

$$Q_D = Q_V - (Q_E + Q_{CE}) \quad (4.1.16)$$

$$Q_D = 4057.98 \text{ Kcal} - (3020.955 + 485.157) \text{ Kcal}$$

$$Q_D = 551.868 \text{ Kcal}$$

4.1.4.3 Balance de energía en el condensador

Para determinar el balance de energía en el condensador se siguió el procedimiento empleado por (Cengel, 2011).

$$Q_a = m_r * Cp * \Delta T \quad (4.1.17)$$

Donde:

Q_a : Calor absorbido por el agua (Kcal/h)

m_r : Flujo de agua de refrigeración (Kg/h)

C_p : Capacidad calorífica del agua (Kcal/Kg°C)

$$Q_c = Q_s + Q_L \quad (4.1.18)$$

Donde:

Q_c : Calor cedido por el vapor (Kcal/h)

Q_s : Calor sensible (Kcal/h)

Q_L : Calor latente (Kcal/h)

$$Q_s = m_v * C_p * \Delta T \quad (4.1.19)$$

$$Q_L = m_v * h_v \quad (4.1.20)$$

Donde:

m_v : Flujo de vapor de agua (Kg/h)

h_v : Calor latente de vaporización del agua (Kcal/Kg)

Reemplazando las ecuaciones de calor sensible y latente en la ecuación (4.1.18)

$$Q_c = m_v * C_p * \Delta T + m_v * h_v$$

$$Q_c = m_v * (C_p * \Delta T + h_v) \quad (4.1.21)$$

Por balance:

$$Q_c = Q_a$$

Igualando:

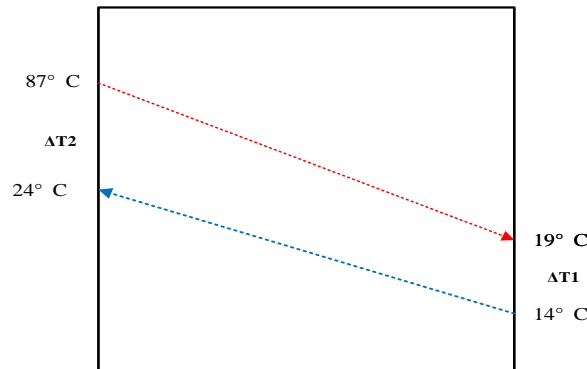
$$m_v * (C_p * \Delta T + h_v) = m_r * C_p * \Delta T \quad (4.1.22)$$

Despejando:

$$m_r = \frac{m_v * (C_p * \Delta T + h_v)}{C_p * \Delta T} \quad (4.1.23)$$

$$m_v = \frac{m_r * Cp * \Delta T}{Cp * \Delta T + h_v} \tag{4.1.24}$$

- **Calculo de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (MLDT)**



Considerando:

$$MLDT = \frac{\Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$MLDT = \frac{63 - 5}{\ln(\frac{63}{5})}$$

$$MLDT = 22.89^\circ C$$

- **Cálculo del área de transferencia**

Para calcular el área de transferencia se utilizará la ecuación siguiente:

$$Q_c = U_D * A * MLDT$$

$$A = \frac{Q_c}{U_D * MLDT} \tag{4.1.25}$$

Donde:

U_D : Coeficiente total de transferencia ($Kcal/hm^2 \text{ } ^\circ C$)

U_D Está en un rango de $850 - 1700 W/m^2 \text{ } ^\circ C$ (Anexo 4. A)

U_D : $1461,737 Kcal/hm^2 \text{ } ^\circ C$

- Cálculo de flujo de agua de refrigeración en el condensador

Se calcula según la ecuación (4.1.23)

$$m_r = \frac{m_v * (Cp * \Delta T + h_v)}{Cp * \Delta T}$$

Donde:

m_r : Flujo de agua de refrigeración (Kg/h)

m_v : Flujo de vapor de agua = 5.07 Kg/h

h_v : Calor latente de vaporización del agua 87 °C = 634.06 $\frac{Kcal}{Kg}$ (Anexo 4. B)

C_p : Capacidad calorífica del agua = 1.00604 Kcal/Kg°C

ΔT : Diferencia de temperaturas del fluido frío(°C)

T_1 : Temperatura de entrada del agua de refrigeración = 14 °C

T_2 : Temperatura de salida del agua de refrigeración = 24 °C

$$m_r = \frac{m_v * (Cp * \Delta T + h_v)}{Cp * \Delta T}$$

$$m_r = \frac{5.07 \frac{Kg}{h} * \left(1.00604 \frac{Kcal}{Kg^\circ C} * (24 - 14)^\circ C + 634.06 \frac{Kcal}{Kg} \right)}{1.00604 \frac{Kcal}{Kg^\circ C} * (24 - 14)^\circ C}$$

$$m_r = 324.608 \frac{Kg}{h}$$

- Cálculo de calor cedido por el vapor

Según la ecuación (4.1.21):

$$Q_c = m_v * (Cp * \Delta T + h_v)$$

Donde:

m_v : Flujo de vapor de agua = 5.07 Kg/h

h_v : Calor latente de vaporización del agua = 634.06 $\frac{Kcal}{Kg}$ (Anexo 4. B)

C_p : Capacidad calorífica del agua = 1.00604 Kcal/Kg°C

$$Q_c = m_v * (C_p * \Delta T + h_v)$$

$$Q_c = 5.07 \frac{Kg}{h} * \left(1.00604 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C} * (24 - 14)^{\circ}C + 634.06 \frac{Kcal}{Kg} \right)$$

$$Q_c = 3265.690 \frac{Kcal}{h}$$

Reemplazando valores en la siguiente ecuación (4.1.25) para hallar el área de transferencia experimental:

$$A = \frac{Q_c}{U_D * MLDT}$$

$$A = \frac{3265.690 \frac{Kcal}{h}}{1465.68 \frac{Kcal}{hm^2^{\circ}C} * 22.89^{\circ}C}$$

$$A = 0.097 m^2$$

- **Área de transferencia teórico**

$$A_T = 0.165 m^2 \text{ (Anexo 5)}$$

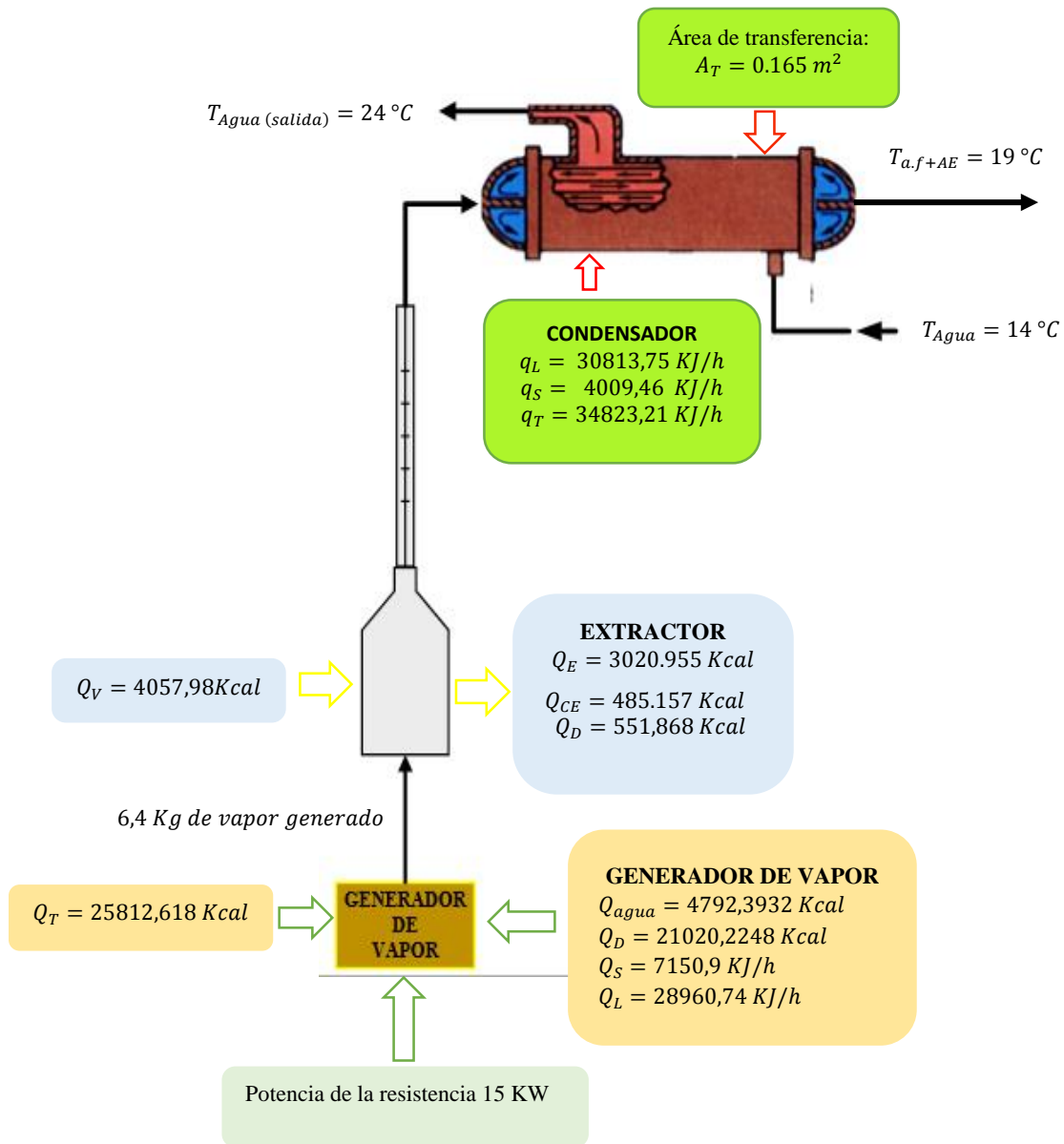
Donde:

A : A_E = Área de transferencia experimental (m^2)

A_T : Área de transferencia teórico (m^2)

$$A_E(0.097 m^2) \leq A_T(0.165 m^2)$$

Resumen de balance de energía en el equipo extractor de aceite esencial



Interpretación: El balance de energía es un principio físico tan fundamental para la generalización de los resultados. En el generador de vapor se obtuvo un $Q_T = 25812.618 \text{ Kcal}$ con un vapor generado de 6.4 Kg de vapor generado, por otro lado en el condensador el área de transferencia es de $A_T = 0.165 \text{ m}^2$, lo que indica que las condiciones son óptimas para realizar la extracción del aceite esencial de matico.

4.1.5 Propiedades Físicas del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*)

4.1.5.1 Densidad del aceite esencial de Matico

Tabla 3. Determinación de la Densidad

ANÁLISIS	RESULTADO
DENSIDAD (g/mL a 20° C) Método gravimétrico	0.9278

La densidad del aceite esencial de Matico es de 0.9278 g/mL según resultados obtenidos del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María. Donde el valor de la densidad se encuentra menor a 1g/mL estos aceites esenciales son generalmente ricos en hidrocarburos, alcoholes, esterés y cetonas, tales como los resultados que se pueden corroborar con la información obtenida del aceite esencial de Chachacoma (Mamani, 2012) como los de naranja, coriandro, limón, romero y trementina. (Domínguez, 1988; Güenther, 1948)

La densidad del aceite esencial de Matico es baja, el cual correspondería a la presencia de un elevado porcentaje de hidrocarburos terpénicos o compuestos alifáticos y al bajo contenido de compuestos oxigenados. (Domínguez, 1973). (Anexo 6)

4.1.5.2 Determinación del pH en el aceite esencial e Matico

Tabla 4. Determinación del pH

CARACTERÍSTICA FÍSICA	RESULTADO
pH	5.15

El resultado se obtuvo por observación directa, el análisis fue realizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química, referente al pH 5.15 nuestro pH está dentro de las referencias de la extracción de aceite esencial de Muña (obtenido de frutos maduros) en Latinoamérica.

4.1.5.3 Índice de Refracción

Tabla 5. Determinación del Índice de Refracción

CARACTERÍSTICA FÍSICA	RESULTADO
DETERMINACION DE INDICE DE REFRACCIÓN	
Método de determinación de índice de refracción.	1.4872

El valor obtenido de Índice de Refracción es de 1.4872 realizado en el laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María. Este resultado nos sugiere la posibilidad de encontrar componentes oxigenados y alifáticos (Domínguez, 1973).

El índice de refracción no varía mucho en los diferentes aceites esenciales, los valores oscilan entre 1.46 y 1.61 a 20°. Sin embargo, en algunos casos la determinación puede revelar la presencia de productos extraños. En general los índices de refracción menores de 1.47, poseen un alto porcentaje de hidrocarburos terpénicos o compuestos alifáticos. Por el contrario, un índice de refracción mayor a 1.47, indica la posible presencia de compuestos alifáticos oxigenados. Esta determinación debe hacerse a 20°C con excepción del aceite de rosas, que se hace a 30°C. (Domínguez, 1988). (Anexo 6)

4.1.5.4 Determinación de la Humedad

Este se determina por medio del secado de la planta fresca en un desecador por bandejas a una temperatura máxima de 40 °C. Se basa principalmente en la diferencia del peso de la muestra problema, luego de ser sometido a la deshidratación y eliminado el agua de su composición.

$$\%Humedad = \frac{P_H - P_S}{P_T} * 100$$

Donde:

$$P_H = \text{Peso humedo} = 200g$$

$$P_S = \text{Peso seco} = 40g$$

$$P_T = \text{Peso total}$$

$$\%Humedad = \frac{200g - 40g}{200g} * 100$$

$$\%Humedad = 80$$

4.1.5.5 Determinación de la viscosidad aparente del aceite esencial de Matico

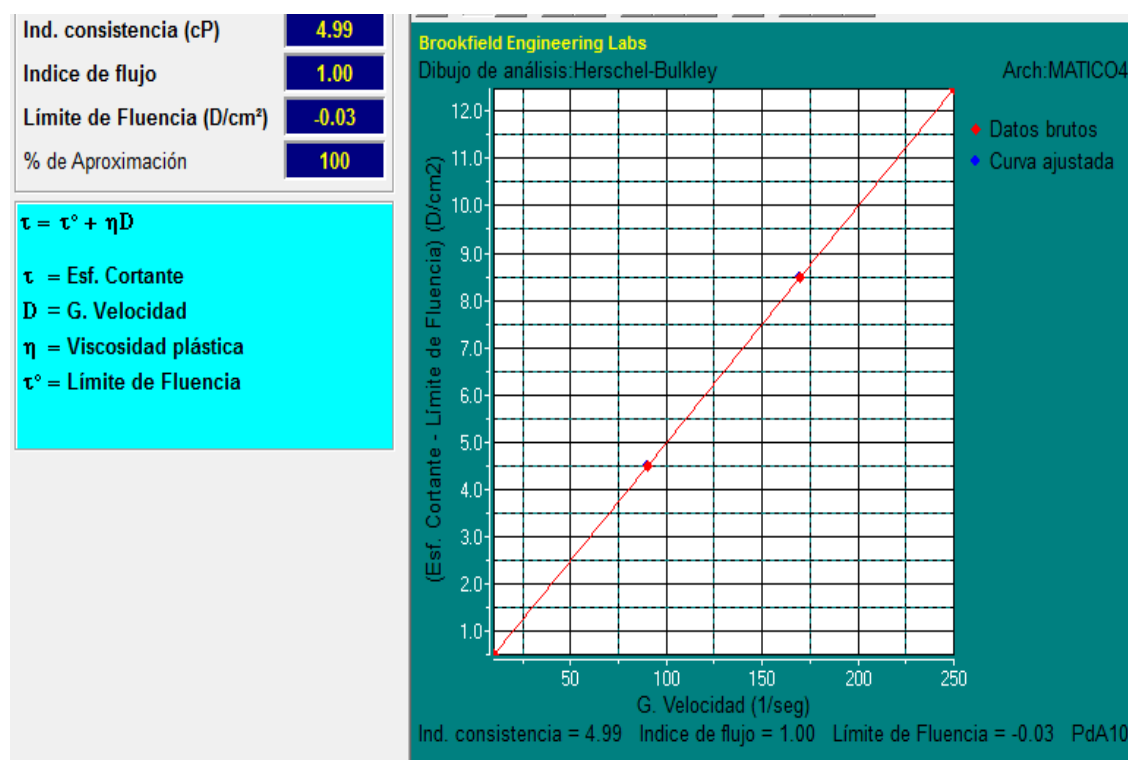


Figura 17. Determinación de la viscosidad

La figura 4.3 muestra un ajuste de los datos experimentales del esfuerzo cortante (τ) respecto al gradiente de velocidad con el Modelo de Herschel-Bulkley, donde el ajuste de los datos tiene una aproximación del 100 %, de acuerdo a la programación que se efectuó en el Programa Rheocalc V3.1 – 1, Reometer # 1, del viscosímetro rotacional Brookfield RVD 3 ultra; donde se puede apreciar que el aceite esencial de Matico es un fluido **Dilatante** que tiene un índice de consistencia de 4.99, un índice de flujo de 1, un límite fluencia de -0.03, resultados que se pueden corroborar con la información bibliografía existente.

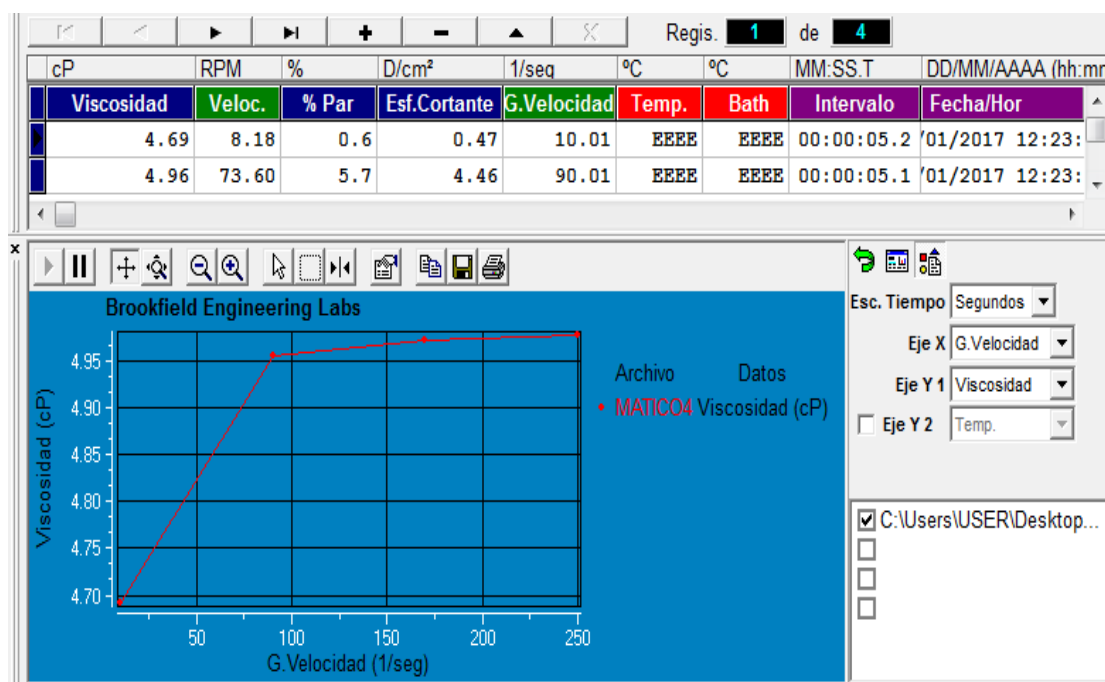


Figura 18. Variación de la viscosidad

En la figura 4.4 obtenido del viscosímetro rotacional Brookfield, se puede apreciar la variación de la viscosidad aparente calculadas a diferentes gradientes de velocidad en (1/s) para el aceite esencial de Matico. Así se puede afirmar que el rango de variación de la viscosidad aparente de este aceite es de 4.69 cP a 4.96 cP para un rango de variación del gradiente de velocidad de 10.01 a 90.01 (1/s), por lo tanto al aplicar un mayor esfuerzo cortante y un mayor gradiente de velocidad su viscosidad aumenta, por lo que se puede afirmar que se trata de un Fluido Dilatante, entonces la dilatancia es evidencia de la muestra, dando como resultado un aumento en la resistencia al aplicar una fuerza.

4.1.6 Caracterización del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*) por su análisis químico

Los componentes del aceite esencial se separaron e identificaron utilizando la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS).

En la tabla 6 se enumeran los compuestos químicos característicos del aceite esencial. Por ello, la elección de los compuestos se realizó sobre la base de estudios previos del análisis químico por GC/MS.

Tabla 6. Composición química del aceite esencial usando el GC/MS.

COMPONENTES	(%)
1S-.alpha.-Pinene	1.26
.alpha.-Pinene	2.82
.beta.-Myrcene	3.61
1,3,6-Octatriene,3,7-dimethyl-	6.7
3-cyclohexene-1-methanol,.alpha.,.alpha.,4-tr	1.5
Bicyclo(7.2.0)undec-4-ene,4,11,11-trimethyl-	4.15
1,6-Cyclodecadiene,1-methyl-5-methylene-8-	7.11
1,3,6-heptatriene,2,5,6-trimethyl-	2.1
Eucalyptol	49.96
Asarone	20.78

Se observa en la tabla 6 componentes del aceite esencial de matico que son: Eucalyptol, el (Asarone), (1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-), y (Bicyclo (7.2.0) undec-4-ene,4,11,11-trimethyl-) componentes mayoritarios. Estos resultados nos permiten conocer la composición del aceite esencial y tener el conocimiento de que composición química tiene este aceite, por ejemplo el componente Asarone es un éter fenólico cristalino, encontrado en aceites esenciales de plantas como artemisa vulgar y cálamo. Como fragancia de aceite volátil se utiliza para matar plagas y bacterias. El componente Asarone es un precursor posible de la feniletilamina TMA-2. Las enfermedades que pueden ser tratadas con medicamentos mezclados con este compuesto son la difteria, la fiebre tifoidea y la tuberculosis, es por ello que el aceite esencial de matico es usado también como bactericida.

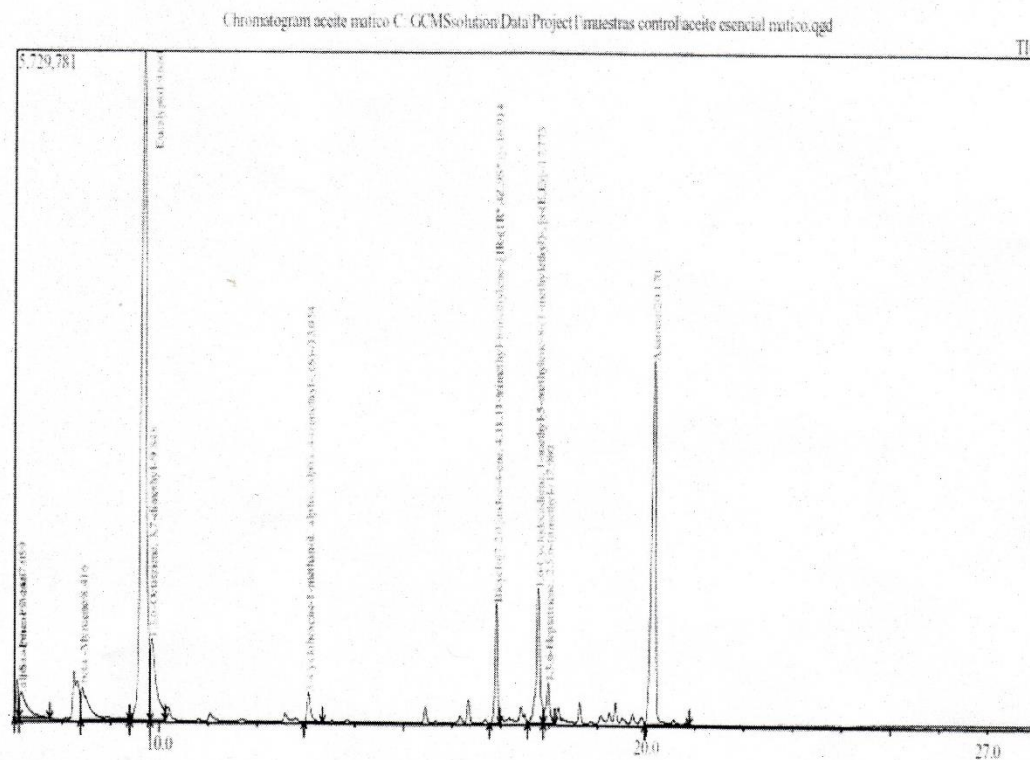


Figura 19. Cromatograma del aceite esencial de Matico.

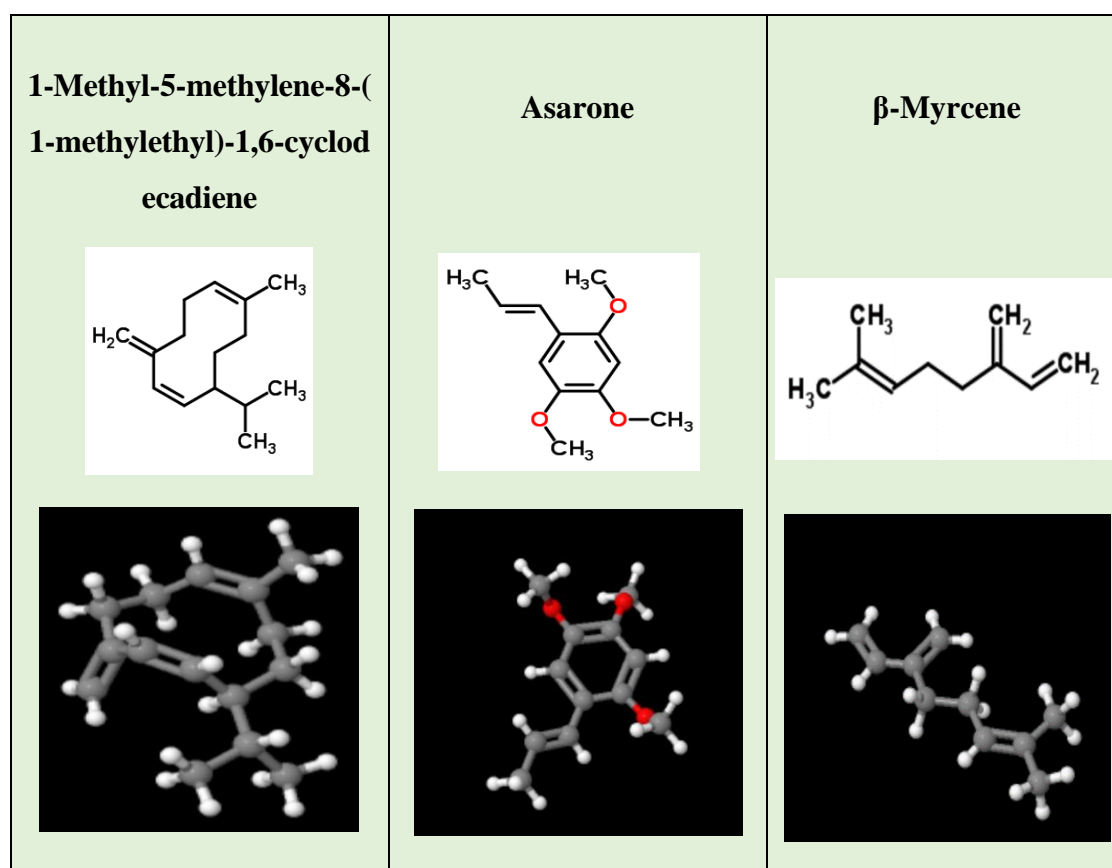
El análisis químico usando el GC/MS, permitió discriminar e identificar con menor incertidumbre, los compuestos característicos de este aceite esencial. (Anexo 7). Para la identificación de los componentes del AE mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM), se emplea la comparación de sus tiempos de retención con los de los patrones analizados bajo las mismas condiciones operacionales. Sin embargo, los tiempos de retención dependen de numerosas variables, por ejemplo, el modo de inyección, las variaciones de temperatura o flujo de los gases, el diseño del equipo, entre otras.

Puede observarse el cromatograma para la muestra de AE de matico que no presentó picos representativos correspondientes a los compuestos generales del *Piper aduncum*, los compuestos presentados (Eucalyptol, tiempo de retención: 9:39min; Asarone tiempo de retención: 17:46min). Sin embargo se identificó el alpha-pinene en un tiempo de retención de 7:14 minutos, en un pico muy pequeño con un porcentaje aproximado de 2.82%, y beta-myrcene en un pico pequeño con un porcentaje aproximado de 3.61%, componentes que también se hallaron en resultados que se pueden corroborar con la información bibliografía existente. (Anexo 7).

4.1.7 Determinación de la estructura molecular de componentes puros del sistema de aceite esencial de hojas de Matico (*Piper aduncum*)

Estimar mediante modelos matemáticos empíricos y semi-empíricos del aceite esencial obtenidos de la extracción por destilación en corriente de vapor de las hojas frescas de Matico (*Piper aduncum*). Para el cual, del análisis químico por CG-MS, Tabla 6, se ha seleccionado a componentes más abundantes, esto es: Asarone, 1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-, y Bicyclo (7.2.0) undec-4-ene, 4, 11,11-trimethyl-.

En la Figura 20 se muestra la estructura molecular en 2D y 3D, de los constituyentes mayoritarios del aceite esencial de hojas de *Piper aduncum*, así mismo, en la tabla 7, algunas propiedades de componentes puros, que se han obtenido mediante el uso de correlaciones de contribución de grupos UNIFAC.



(Elaboración propia utilizando ADC Chem Sketch)

Figura 20. Estructura molecular en 2-D y 3-D de los componentes mayoritarios en el aceite esencial de *Piper aduncum*.

Las propiedades críticas de los componentes de aceite esencial de las hojas de *Piper aduncum*, se calculan utilizando correlaciones de contribución de grupos (GC), método de Elliott o UNIFAC, respectivamente. El en cuadro 4, se presenta los resultados. Estos valores son de importancia para el cálculo de equilibrio líquido – vapor en el diseño de una columna de destilación.

Tabla 7. Propiedades Físico-químicas de los componentes mayoritarios en el aceite esencial de *Piper aduncum*

Componentes	1-Methyl-5-methylen e-8-(1-methylethyl)-1, 6- cyclodecadiene	Asarone	β -Myrcene
Formula Molecular	$C_{15}H_{24}$	$C_{12}H_{16}O_3$	$C_{10}H_{16}$
Densidad	$0.9 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$	$1.0 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$	$0.8 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$
Punto de ebullición	$279.7 \pm 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ at 760 mmHg	$296.0 \pm 0.0 \text{ }^\circ\text{C}$ at 760 mmHg	$167.0 \pm 0.0 \text{ }^\circ\text{C}$ at 760 mmHg
Vapour Pressure:	$0.0 \pm 0.3 \text{ mmHg}$ at 25°C	$0.0 \pm 0.6 \text{ mmHg}$ at 25°C	$2.3 \pm 0.1 \text{ mmHg}$ at 25°C
Enthalpy of Vaporization:	$49.8 \pm 0.8 \text{ kJ/mol}$	$51.4 \pm 3.0 \text{ kJ/mol}$	$38.7 \pm 0.8 \text{ kJ/mol}$
Flash Point:	$111.9 \pm 16.6 \text{ }^\circ\text{C}$	$107.7 \pm 23.8 \text{ }^\circ\text{C}$	$39.4 \pm 0.0 \text{ }^\circ\text{C}$
Index of Refraction:	1.483	1.526	1.450
Molar Refractivity:	$68.5 \pm 0.4 \text{ cm}^3$	$62.2 \pm 0.3 \text{ cm}^3$	$47.6 \pm 0.3 \text{ cm}^3$
Polar Surface Area:	0 \AA^2	28 \AA^2	0 \AA^2
Polarizability:	$27.2 \pm 0.5 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$	$24.6 \pm 0.5 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$	$18.9 \pm 0.5 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$
Surface Tension:	$28.3 \pm 5.0 \text{ dyne/cm}$	$31.7 \pm 3.0 \text{ dyne/cm}$	$23.0 \pm 3.0 \text{ dyne/cm}$
Volumen Molar	$240.2 \pm 5.0 \text{ cm}^3$	$202.4 \pm 3.0 \text{ cm}^3$	$177.0 \pm 3.0 \text{ cm}^3$

Elaboración propia utilizando ADC Chem Sketch. Teoría de Contribución de Grupos UNIFAC.

Los resultados obtenidos en esta tabla permiten comparar el valor del índice de refracción obtenido en el laboratorio del aceite esencial de matico cuyo valor es de 1.4872 y con el software empleado se tiene un promedio de 1.483 confirmando la veracidad del resultado. Hallar la estructura molecular permite obtener datos tan

esenciales como la densidad, siendo el valor de 0.9278 (g/mL a 20°C) en el laboratorio y el valor promedio obtenido en el software es de 0.9 siendo casi iguales en resultados.

4.1.8 Caracterización de la materia prima por Micro-histología

El análisis micro-histológico se realizó en un microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss modelo: Evo/LS10.

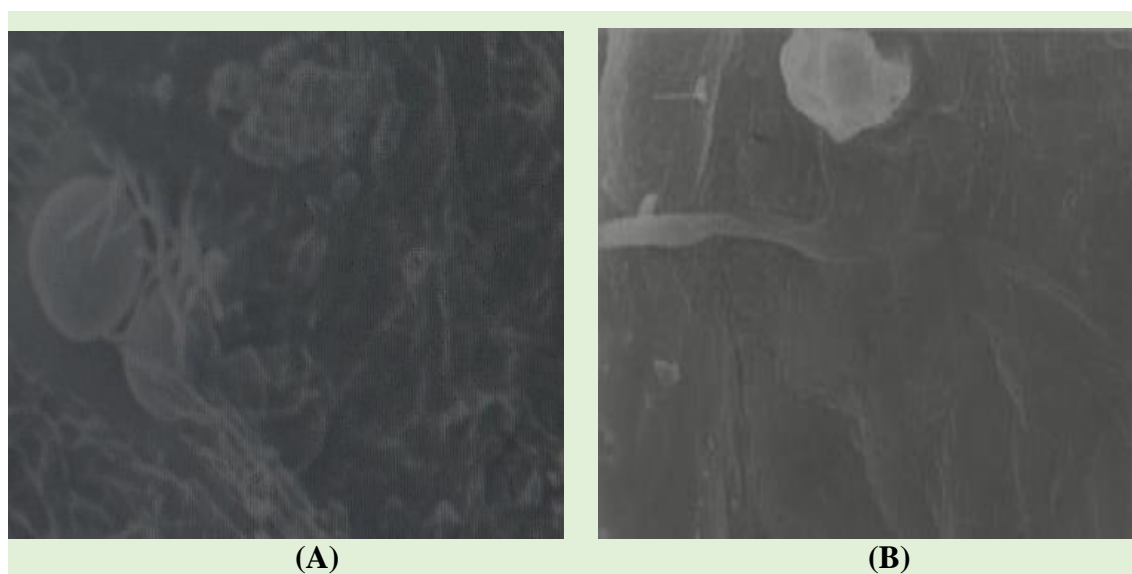


Figura 21. Caracterización Micro-histológica

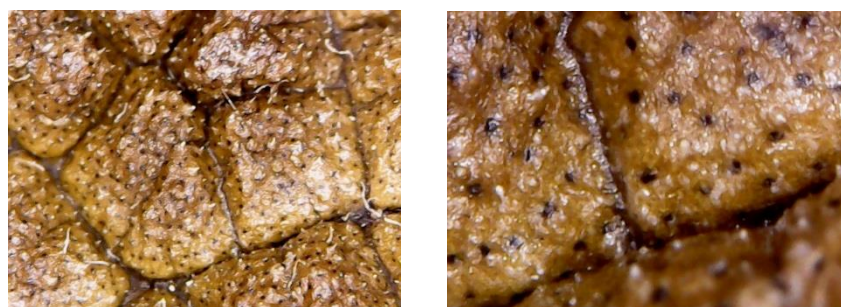
La imagen por el Microscopio Electrónico de Barrido (A) muestra una distribución uniforme de los tricomas glandulares peltados, que contienen el aceite esencial. Éstos poseen una forma esferoide achatada. Después de la extracción por el método de arrastre con vapor de agua, se observa que los tricomas peltados disminuyeron su volumen o implosionaron (B). Esto es debido a que liberaron el aceite esencial contenido, conforme fueron envueltos por el vapor caliente.

Estos resultados de análisis micro-histológico también pueden determinar: la eficiencia del contacto entre el agua y la matriz herbácea, al no detectarse tricomas intactos; la abundancia y ubicación asimétrica de los tricomas glandulares; la ausencia de poros en la superficie de la matriz, lo cual descarta la hipótesis de una difusión del vapor saturado a través de ella.

Mediante un microscopio digital 500X 8-LED, Figura 22 se observa la microestructura de las hojas de Matico frescas y las hojas después de la extracción de aceite esencial, obteniendo las siguientes imágenes.



(a) Hoja fresca de matico observado en el microscopio



(b) Hoja después de la extracción de aceite esencial

Figura 22. Microestructura de las hojas de Matico

Estos resultados nos permiten comparar la microestructura de las hojas mediante dos tipos diferentes de microscopios. En el microscopio digital 500X 8-LED nos permite identificar una microestructura más superficial con dimensiones más pequeñas bajo las que la vista humana no puede apreciar.

4.1.9 Rendimiento de la extracción del aceite esencial

De la investigación se obtuvo que el porcentaje de extracción de aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*) mediante la técnica de destilación por arrastre de vapor en el condensador coraza-tubos las primeras gotas de aceite comenzaron a salir entre los 20 a 30 minutos, y en el condensador serpentina, las primeras gotas de aceite comenzaron a salir entre los 30 a 40 minutos, inmediatamente se dio la separación de fases, quizás se debe a que la parte vegetativa contiene glándulas, conductos, sacos, u otros reservorios.

El tiempo de destilación se determinó durante los primeros experimentos observando que inicialmente se obtenía el mayor volumen de aceite esencial a las dos horas el cual llegaba a su límite, por lo tanto, se estandarizó el método especificando dos horas para todas las réplicas realizadas, lo cual concuerda con (Durling *et al* 2006), quien sugiere que el tiempo de extracción para los aceites esenciales no sea mayor de tres horas.

La destilación se llevó a cabo a una temperatura constante de 87.5 °C para el agua en ebullición, la temperatura del agua de enfriamiento máxima fue de 12 °C. Para determinar la cantidad óptima de muestra se realizaron tres corridas cada una en el condensador de serpiente y en el condensador de tubo y coraza, con 4.5 Kg de hojas frescas de matico con tamaño de partícula igual para cada prueba, con porcentaje de vapor de 80% y 100% de flujo de agua refrigerante. Se presenta el rendimiento promedio de aceite esencial de Matico con el siguiente cálculo.

- ***Cálculo del rendimiento del aceite esencial extraído en el condensador del equipo modular diseñado y construido (coraza y tubo):***

Datos:

$$\rho_{A.E} = 0.9278 \text{ g/mL}$$

$$P_p = 25 \text{ mL}$$

$$P_m = 4500 \text{ g}$$

Donde:

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.9278 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 25 \text{ mL}$$

$$m = 23.195 \text{ g de aceite esencial}$$

Cálculo del rendimiento:

%R: *Porcentaje de rendimiento de la extracción*

$$\%R = \frac{23.195 \text{ g}}{4500 \text{ g}} * 100$$

$$\%R = 0.515$$

- **Cálculo del rendimiento del aceite esencial extraído en el condensador de fábrica (condensador de serpentín):**

Datos:

$$\rho_{A.E} = 0,9278 \text{ g/mL}$$

$$P_p = 13 \text{ mL}$$

$$P_m = 4500 \text{ g}$$

Donde:

$$m = \rho * v$$

$$m = 0.9278 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 13.5 \text{ mL}$$

$$m = 12.5253 \text{ g de aceite esencial}$$

Calculo del rendimiento:

$\%R$: Porcentaje de rendimiento de la extracción

$$\%R = \frac{12.5253 \text{ g}}{4500 \text{ g}} * 100$$

$$\%R = 0.278$$

Tabla 8. Rendimiento del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*)

Tipo de Condensador	Rendimiento (%)
Tubo y coraza (construido y diseñado)	0.515
Serpentín	0.278

En la Tabla 8 se muestra los porcentajes de rendimientos de aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*) por el método de arrastre de vapor. La extracción del aceite esencial en el condensador del equipo modular construido y diseñado (tubo y coraza) el rendimiento es de 0.515 %, mientras que el porcentaje de rendimiento de aceite esencial de Matico en el condensador de serpentín es de 0.278 %, obteniendo más cantidad de aceite en el condensador de tubo y coraza.

V. CONCLUSIONES

- Se extrajo aceite esencial de Matico de un total de 4.5 kg de hojas frescas mediante el método de arrastre de vapor obteniéndose un total de 25 mL de aceite esencial en el condensador diseñado y construido (tubo y coraza) y de 13.5 mL de aceite esencial de matico en un condensador de serpentín.
- El análisis de los componentes del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*) por cromatografía de gases nos permite determinar los porcentajes relativos de los mismos en la fracción volátil, obteniendo como componentes mayoritarios el Asarone, 1,6-Cyclodecadieno, 1-methyl-5-methylene-8-, y Bicyclo (7.2.0) undec-4-ene, 4, 11, 11-trimethyl-.
- Se determinó las características fisicoquímicas del aceite esencial de Matico cuyos valores son: Índice de refracción de 1.4872, densidad de 0.9278 g/mL a 20 °C, pH de 5.15 y viscosidad de 4.69 cP a 4.96 cP.
- La imagen por el Microscopio Electrónico de Barrido muestra que el aceite esencial está situado en los tricomas glandulares peltados de las hojas. En contacto con el vapor saturado, los tricomas liberan el aceite esencial contenido e implosionan, disminuyendo su volumen y cambiando su forma. Éstos poseen una forma esferoide achatada.
- El porcentaje de rendimiento promedio de aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*) por el método de arrastre de vapor, de la cantidad de 4.5 Kg de hojas en el condensador diseñado y construido (tubo y coraza) es de 0.515 %, y el porcentaje de rendimiento promedio de aceite esencial de Matico de la cantidad de 4.5 Kg de hojas en el condensador de serpentín es de 0.278 %.

VI. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar una segunda extracción con mayores tiempos, tamaño de partículas, flujo de vapor, altura de carga para observar un mejor rendimiento del aceite extraído, ya que las variables influyen en el proceso de extracción de aceite esencial.
- Se sugiere el análisis cromatográfico por intervalos de tiempo de extracción para la construcción de la curva de equilibrio liquido-vapor que permita en futuro realizar modelamientos matemáticos y cálculos de composición química de aceite esencial de Matico en determinado tiempo de extracción.
- Se sugiere la recolección de las hojas de matico antes de que exista contacto solar porque hay evidencia que influye en el rendimiento, como también el grado de madurez, ya que las hojas más frescas y tiernas son las que poseen más aceite esencial, esto según lo observado en las extracciones realizadas en el laboratorio.
- Ampliar el estudio de aplicación de aceite esencial de matico en campos de bioinsecticidas, farmacológicos, cosmética y otros para dar mayor valor agregado al aceite esencial de matico.
- Antes de poner en funcionamiento el equipo de extracción de aceites esenciales leer el manual de instrucciones de manejo y también se recomienda verificar el caudal de agua de refrigeración adecuado ya que la diferencia de temperatura calculada permite regular y así no desperdiciar agua.

VII. REFERENCIAS

IIAP. (2010). Base de datos de plantas medicinales. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Disponible en: [umentos/pdf/piba/pu/22.pdf](http://www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/doc.umentos/pdf/piba/pu/22.pdf). Consultado. www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/doc.

Aenor, (1992). UNE 84-225-92. Aceites esenciales. Cromatografía en fase gaseosa. Método general para columnas capilares.

Araújo MJ, Câmara CA, Born FS, Moraes MM, Badji CA. (2012). Acaricide and repellent activity of essential oil of *Piper aduncum* its components against *Tetranychus urticae*. *Exp Appl Acarol.*; 57:139-55.

Ascensao, L. Mota, L. and Castro M. de M. Glandular, (1999). Trichomes on the leaves and flowers of *Plectranthus ornatus*: Morphology, Distribution and Histochemistry. *Annals of Botany*, 84:437-447.

Bandoni, Arnaldo. (2000). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Argentina. Editorial Universidad Nacional de la Plata.

Bandoni, Arnaldo. (2002). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. (2ª. Ed.). La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad de la Plata.

Berger R. G., (2007). *Flavours and Fragrances Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

Bernard, C.B; Chauret, D y otros. (1995) Insecticidal defenses of piperaceae the neotropics. En: *Journal of Chemical Ecology*. Vol 21. No 6, Pag. 801-811.

Bowers-WS; Ortego-F; You-XQ; Evans-PH. (1993). Insect repellents from the Chinese prickly ash *Zanthoxylum bungeanum*. *Journal of natural products*. Vol 56. N° 6. pág: 935-938.

Castro - Silva, W., De Souza, J., Meneses, H., Heinzen, H., Cesio, M., Mato M., Albrecht, F., De Azevedo, J. y Monteiro N. (2009). Toxicity of *Piper aduncum* L.

(Piperales: Piperaceae) from the Amazon forest for the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology* 64: 267-274.

Castillo, D., Estévez, Y., Pisango, M., Arévalo, J., Rojas, R., Albán, J. *et al.* (2007). Evaluation of the leishmanicidal activity of plants used by Peruvian Chayahuita ethnic group. *Journal of Ethnopharmacology* 114(2): 254-259.

Cengel, Yunus A. & Ghajor, Afshin J. (2011). “Transferencia de Calor y Masa Fundamentos y Aplicaciones” Mc Graw- Hill/Interamericana Editores, S.A. De. C.V. cuarta edición, México, D.F.

Ciccío, Jose F. y Cynthia M. Ballester. (2006). Centro de Investigaciones en Productos Naturales (CIPRONA), (2006). Constituyentes volátiles de las hojas y espigas de *Piper aduncum* (Piperaceae), Escuela de Química, Universidad de Costa Rica.

Cerpa, M. G. Hidrodestilación de Aceites Esenciales (2007): Modelado y Caracterización. Tesis doctoral presentada para optar al grado de doctor de la Universidad de Valladolid.

Cerpa Chávez Manuel Guillermo (2005). Hidrodestilacion de Aceites Esenciales: modelado y caracterizacion. Memoria para optar al grado de Doctor por la Universidad de Valladolid presentada por el Ingeniero Químico

Chato, J. C. (1962). Department of Mechanical Engineering. MIT. Cambridge, MA. Laminar Condensation inside Horizontal and Inclined Tubes. ASHRAEJ

Christie J. Geankoplis, (Ed.) (2013). Procesos de Transporte y principios de procesos de separación. México: Editorial Patria.

Da Costa Araujo Everaldo, C. (2012). Trocadores de calor, série apontamentos. Editora da Universidade Federal de São Carlos.

De Almeida RR, Souto RN, Bastos CN, da Silva MH, Maia JG. (2009). Variación química en *Piper aduncum* y propiedades biológicas de su dillapiole rico en aceite esencial, 6(9):1427-34.

Díaz, P.P; Maldonado, E; Ospina, E. (1984). Aceite esencial de piper aduncum. En: Revista Latinoamericana de Química. Vol 15. No 3. Pág 136-138.

Doherty Peter, Kate. D. (2010), Aromaterapia: Utilización de los aceites esenciales para el bienestar físico y emocional. 2, 63-65.

Gersbach, P.V. (2002). The Essential Oil Secretary Structures of Prostanthera ovalifolia (Lamiaceae). Annals of Botany, 89:255-260.

Gomez Aristizabal, Alvaro. (1987). Descripción de malezas en plantaciones de Centro nacional de investigaciones del café CENICAFE. Chinchina, Caldas.

Granados, C., Yáñez, X. & Acevedo, D. (2013). Evaluación de la Actividad Antioxidante del Aceite Esencial Foliar de Myrcianthes leucoxylla de Norte de Santander (Colombia). La Serena 25(3). ISSN 0718-0764.

Guerrini A, Sacchetti T, Rossi D, Paganetto T, Muzzoli M, Andreotti E, et al. (2009). Bioactivities of Piper aduncum L. and Piper obliquum Ruiz & Pavon (Piperaceae) essential oils of eastern Ecuador. Environ Toxicol Pharmacol.; 27:39-48.

Gupta, M.P. (1995). 270 plantas medicinales iberoamericanas. Convenio Andrés Bello CYTED-SECAB. Santafé de Bogotá. Colombia.

Günther, E. (1948). *The Essential Oils*. Vol. 1, Vol. 3: History and origin in Plants Production Analysis. Krieger Publishing: New York, USA.

Kern Donald Q. (Ed.) (2013). Procesos de transferencia de calor, México: Editorial Pátria.

León, B. (2006). *Piperaceae* endémicas Del Perú. Revista peruana de Biología. 13(2): 492-563.

Lichtenstein, E. Paul y otros. (1974). Insecticidal and synergistic components isolated from dill plants. Journal of agriculture and food chemistry. Vol 22. N° 4. pág. 68-664.

Macbride, J. (1936). Flora of Peru, Piperaceae. Publications of the Field Museum of Natural History, Botanical Series 13(2)1. Chicago.

Maia, J.G.S., M.G.B. Zohhbi, E.H.A. Andrade, A.S. Santos, M.H.L. da Silva, A.I.R. Luz, C.N. Bastos, and M.H.L. da Silva. (1998). Constituents of the essential oil of *Piper aduncum* L. Growing wild in the Amazon region. Flavour and Fragrance Journal Vol 13. N°4. Pág 269-272.

Orjala, J., Wright, A., Behrends, H., Folker, G. y Sticher, O. (1994). Cytotoxic and antibacterial dihydrochalcones from *Piper aduncum*. Journal of Natural Products 57:18-26.

Peredo-Luna, H.A., Palou-García., E., y López-Malo, A. (2009). Aceites esenciales: métodos de extracción. *Temas Seleccionados de Ingeniería de Alimentos*, 3, 24-32.

Pino Benitez, Nayibe. (2002). Compuestos químicos mayoritarios en esencia de *Piper auritum* H.B.K. Revista Institucional Universidad tecnológica del Chocó. No 16. Pág 1317.

Ramírez, J. E. Largo, Luz Adriana. (1995). Estudio y extracción de un aceite esencial a partir de la manzanilla. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

Robert E. Treybal, (Ed.) (2006). Operaciones de transferencia de masa, Mexico DF, miembro de la cámara nacional de la industria editorial.

Ruiz Candy, Camilo Díaz, Rosario Rojas (2015). Composición Química de Aceites Esenciales de 10 plantas aromáticas Peruanas. Rev. Soc. Quím. Perú.

Saxena-DB; Tomar-SS; Singh-RP. (2000). Fungitoxicity of chemical components and some derivatives from *Anethum sowa* and *Acorus calamus*. Indian perfumer. Vol 34 N° 3. pág 199-203

Shimabukuro Diana, Edelina R. Torres. (1992). Estudio técnico de la extracción de aceite esencial de Piper Aduncum (Matico) y Diseño de planta Piloto. Para obtener el grado de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Singh-SP; Rao-GP; Upadhyaya-PP. (2000). Fungitoxicity of essential oils of some aromatic plants against sugarcane pathogens. Sugar-Cane., No. 2, 14-17.
Singh, Y. y Blumenthal, M. 1997. Herbalgram, Special Review.

Steyermark, J. (1984). Piperaceae. Flora de Venezuela. Vol. II, 2da parte. Instituto Nacional de Parques de Venezuela, Dirección de Investigaciones Biológicas. 619 pp.

Trelease, W. y Yuncker, T. (1950). The Piperaceae of Northern South America. University of Illinois Press. 838 pp.

Ulloa, C., Zarucchi, J. y León, B. (2004). Diez años de adiciones a la flora de Perú: 1993-2003. Arnaldoa, Ed. Especial (noviembre 2004): 1-242.

Vianna, J.S. (2009). Caracterizacáo anatomica, morfologica e quimica de quimiotipos de ocimum gratissimum L. Mestrado en ciencias Agrarias Facultade de Agronomia y Medicina Veterinaria Universidades de Brasilia.

Wimalaratne-PDC; Slessor-KN; Borden-JH; Chong-LJ; Abate-T. (1996) Isolation and identification of house fly, Musca domestica L., repellents from pepper tree, Schinus molle L. Journal of chemical ecology. Vol 22. N° 1. pág: 49-5.

WC, Evans. Farmacología. 13° edición. Editorial Mc Graw Hill. (1991).
<http://www.fs.fed.us/global/iitf/pdf/Piper%20aduncum.pdf>

Zuzarte, M.R.; Denis, A. M.; Cavaleiro, C; SalgueiroC.R. ; Canmoto J. M. (2010). Trichones essential oils and in vitro propagation of lavandula pedunculata (Laminacea). Industrial crop and product n 32 p. 580 587.

ANEXOS

Anexo 1. Composición del Aceite Esencial de Matico (<i>Piper aduncun</i>)	116
Anexo 2. Matéria Prima Matico (<i>Piper aduncum</i>)	117
Anexo 3. Instalación del condensador construido	117
Anexo 4. Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones	119
Anexo 5. Calculo de los coeficientes convectivos:.....	124
Anexo 6. Resultados de las Propiedades Físicas del aceite esencial de Matico (<i>Piper aduncum</i>)	134
Anexo 7. Resultado del análisis de Cromatografía de gases del aceite esencial de Matico (<i>Piper aduncum</i>)	135
Anexo 8. Constancia de megalaboratorio ambiental de investigación de la una - puno	137

ANEXO 1.

Composición del Aceite Esencial de Matico (*Piper aduncun*)

Compuesto	Porcentaje en las muestras		Método de identificación
	Hojas	Espigas	
Hidrocarburos monoterpénicos	(15.5%)	(24.8%)	
α-tujeno	0.7	1.1	GC/MS
α-pineno	2.0	2.9	GC/MS, S
canfeno	0.1	0.2	GC/MS, S
sabineno	0.1	0.1	GC/MS
β-pineno	1.3	1.9	GC/MS, S
β-mirceno	0.7	1.4	GC/MS, S
α-felandreno	0.9	2.6	GC/MS
3-careno	0.1	0.1	GC/MS
α-terpineno	0.8	2.0	GC/MS
p-cimeno	1.8	1.2	GC/MS, S
limoneno + β-felandreno	2.4	5.4	GC/MS, S
cis-β-ocimeno	0.6	0.3	GC/MS
trans-β-ocimeno	1.2	0.7	GC/MS
γ-terpineno	2.1	3.7	GC/MS, S
α-terpinoleno	0.7	1.2	GC/MS, S
Monoterpenos oxigenados	(18.5%)	(24.0%)	
cis-p-ment-2-en-1-ol	0.2	0.5	GC/MS
óxido de linalol (furanóide)	0.2	0.1	GC/MS
1,8-cineol	0.1	-	GC/MS, S
linalol	0.8	2.5	GC/MS, S
alcohol monoterpénico (?)	0.7	1.0	GC/MS
alcohol monoterpénico (?)	0.5	0.7	GC/MS
alcanfor	0.1	0.1	GC/MS
4-terpineol	4.4	5.4	GC/MS, S
α-terpineol	0.2	0.1	GC/MS, S
cis-piperitol	0.1	0.1	GC/MS
trans-piperitol (?)	0.1	-	GC/MS
piperitona	11.1	13.5	GC/MS, S
Hidrocarburos sesquiterpénicos	(13.9%)	(10.9%)	
δ-elemeno	<0.1	0.1	GC/MS
ylangeno	0.1	<0.1	GC/MS
α-copaeno	1.1	1.6	GC/MS
β-bourboneno	<0.1	-	GC/MS
β-elemeno	0.2	0.1	GC/MS
β-cariofileno	5.3	4.0	GC/MS, S
β-cubebeno	0.1	0.1	GC/MS
bergamoteno	0.1	0.1	GC/MS
α-humuleno	2.9	2.4	GC/MS, S
germacreno D	1.2	1.5	GC/MS, S
γ-elemeno	0.2	0.1	GC/MS
α-muurojeno (?)	0.1	-	GC/MS
α-farneseno	1.6	0.6	GC/MS
δ-cadineno	0.8	1.1	GC/MS
cadina-1,4-dieno	<0.1	0.1	GC/MS
Sesquiterpenos oxigenados	(4.5%)	(0.7%)	
cis-nerolidol	0.6	0.3	GC/MS, S
espatulenol (?)	2.6	-	GC/MS
6,7-epoxihumuleno (?)	1.3	0.4	GC/MS
Fenilpropanoides y otros	(38.3%)	(33.9%)	
miristicina	0.7	1.0	GC/MS
dilapiol	37.1	32.9	GC/MS, NMR
apiol	0.1	<0.1	GC/MS
hexanal	0.1	-	GC/MS
(E)-2-hexenal	0.2	-	GC/MS, S
3-hexen-1-ol	0.1	-	GC/MS, S

GC= Cromatografía de gases. MS= Espectrometría de masas. S = Sustancia de referencia. (?) = Identificación tentativa. (-) = no se encontró en la muestra. NMR = ¹H-NMR y ¹³C-NMR

Fuente: Ciccío, Jose F. y Cynthia M. Ballester. (2006). Centro de Investigaciones en Productos Naturales (CIPRONA) y Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Constituyentes volátiles de las hojas y espigas de *Piper aduncun* (Piperaceae) de Costa Rica.

ANEXO 2.

Materia Prima matico (*Piper aduncum*)

Fotografía 1: Identificación de la materia prima matico

ANEXO 3.

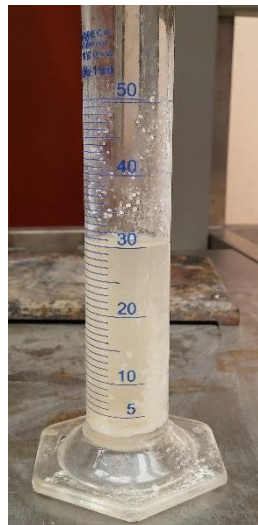
Instalación del condensador construido



Fotografía 2: Instalación del condensador construido reemplazando al condensador de LOPU



Obtención del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*)



ANEXO 4.

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg, K	
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor vaporiz.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.
		$v_f \times 10^3$	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_g
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648
50	0.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	8.0763
55	0.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.9913
60	0.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.9096
65	0.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	7.8310
70	0.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	7.7553
75	0.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824
80	0.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122
85	0.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445
90	0.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791
95	0.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

Presión bar	Temp. °C	Volumen específico m ³ / kg		Energía interna kJ / kg		Entalpía kJ / kg			Entropía kJ / kg , K	
		Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor vaporiz,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,
		$v_f \times 10^3$	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_g
0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
7,00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628
9,00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226
10,0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863
15,0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448
20,0	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409
25,0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575
30,0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869
35,0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253
40,0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701
45,0	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199
50,0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734
60,0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892
70,0	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133
80,0	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432
90,0	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772
100	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141
110	318,2	1,4886	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527
120	324,8	1,5267	0,01426	1473,0	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	5,4924
130	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323
140	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717
150	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098
160	347,4	1,7107	0,009306	1622,7	2431,7	1650,1	930,6	2580,6	3,7461	5,2455
170	352,4	1,7702	0,008364	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777
180	357,1	1,8397	0,007489	1698,9	2374,3	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	5,1044
190	361,5	1,9243	0,006657	1739,9	2338,1	1776,5	688,0	2464,5	3,9388	5,0228
200	365,8	2,036	0,005834	1785,6	2293,0	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	4,9269
220,9	374,1	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3		2099,3	4,4298	4,4298

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^b		Volumen específico (m^3/kg)		Entalpía de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad ($N \cdot s/m^2$)		Conductividad térmica ($W/m \cdot K$)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\alpha_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K^{-1})	Temperatura $T(K)$
	$v_f \cdot 10^3$	v_g	$c_{p,f}$	$c_{p,g}$		$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g					
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15	
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275	
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280	
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285	
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290	
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295	
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300	
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305	
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310	
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315	
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320	
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325	
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330	
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335	
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340	
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345	
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350	
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355	
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360	
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365	
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370	
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15	
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375	
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380	
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385	

390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	—	430
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1	—	440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9	—	450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7	—	460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5	—	470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	36.2	—	480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9	—	490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6	—	500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3	—	510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.33	621	47.5	0.84	1.35	26.9	—	520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5	—	530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1	—	540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7	—	550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.43	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3	—	560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0	—	570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8	—	580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5	—	590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4	—	600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3	—	610
620	159.1	1.705	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5	—	620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5	—	625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	412	130	2.0	4.8	2.6	—	630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.6	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5	—	635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	4.2	9.6	0.8	—	640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.1	—	645
647.3 ^c	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0	—	647.3 ^c

^aAdaptada de la referencia 19.

^b1 bar = 10⁵ N/m².

^cTemperatura crítica.

A. Valores representativos de los coeficientes totales de transferencia de calor en los intercambiadores de calor.

Tipo de intercambiador de calor	$U, \frac{W}{m^2 \cdot C}$
Agua hacia agua	850-1700
Agua hacia aceite	100-350
Agua hacia gasolina o queroseno	300-1000
Calentadores de agua de alimentación	1000-8500
Vapor de agua hacia combustóleo ligero	200-400
Vapor de agua hacia combustóleo pesado	50-200
Condensador de vapor de agua	1000-6000
Condensador de freón (agua enfriada)	300-1000
Condensador de amoniaco (agua enfriada)	800-1400
Condensador de alcohol (agua enfriada)	250-700
Gas hacia gas	10-40
Agua hacia aire en tubos con aletas (agua en los tubos)	30-60 ⁺ 400-850 ⁺
Vapor de agua hacia aire en tubos con aletas (vapor de agua en los tubos)	30-300 ⁺ 400-4000 [±]
⁺ Con base en el área superficial del lado del agua	
[±] Con base en el área superficial del lado del agua o del vapor de agua	

Fuente: Cengel, (2011)

B. Capacidad calorífica del agua líquida a 101,325 KPa (1 atm)

Temperatura		Capacidad calorífica, Cp	
°C	K	Cal/g°C	KJ/KgK
0	273,15	1,0080	4,220
10	283,15	1,0019	4,195
20	293,15	0,9995	4,185
25	298,15	0,9989	4,182
30	303,15	0,9987	4,181
40	313,15	0,9987	4,181
50	323,15	0,9992	4,183
60	333,15	1,0001	4,187
70	343,15	1,0013	4,192
80	353,15	1,0029	4,199
90	363,15	1,0050	4,208
100	373,15	1,0076	4,219

Fuente: Geankoplis, (2009)

ANEXO 5.

Calculo de los coeficientes convectivos:

Calculo de (h_i) Condensación en película en el interior de la tubería (Chato,J.C; 1962)

$$h_i = 0,555 \left[\frac{g * \rho_L (\rho_L - \rho_V) * Kl^3 * h'_{fg}}{\mu_i (T_{sat} - T_S) D} \right]^{1/4} \quad (4.15)$$

Para determinar las propiedades, se establece la temperatura fílmica:

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2} \quad (4.16)$$

Se asume: $T_w = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura de ebullicion en Puno)

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{87.96 + 85}{2}$$

$$T_f = 86.48 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Realizamos las respectivas iteraciones para determinar la temperatura del agua asumida

Primera iteración:

Propiedades del agua a $T_f = 86.48 \text{ }^\circ\text{C}$ (Anexo 4)

$$\rho_L = 996.7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_L = 674 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$\mu_L = 324 \times 10^{-6} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$C_{PL} = 4.203 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$h_{fg} = 2291 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\rho_V = 0.378 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} C_{PL} (T_{sat} - T_w) \quad (4.17)$$

$$h'_{fg} = 2291 \frac{KJ}{Kg} + \frac{3}{8} (4.203 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}) (87.96 - 85)^\circ C$$

$$h'_{fg} = 2.298 \times 10^6 \frac{J}{Kg}$$

Reemplazando en (4.15) se tiene:

$$h_i = 0,555 \left[\frac{g * \rho_L (\rho_L - \rho_V) * Kl^3 * h'_{fg}}{\mu_i (T_{sat} - T_S) D} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 0,555 \left[\frac{9.8 * 966.7 * (966.7 - 0.378) * (64 \times 10^{-3})^3 * 2.298 \times 10^6}{(324 \times 10^{-6}) * (89.7 - 85) * (0.0127 * 13)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 7021.63 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculo de la temperatura real de la pared del condensador:

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left(T_W - \frac{T_e + T_S}{2} \right) \quad (4.18)$$

$$10646.42 W = 7021.63 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} * (0.0127 * 13) m * 0.505 m * \pi \left(T_W - \frac{87.96 + 19}{2} \right)$$

$$T_W = 60.14^\circ C$$

Como $T_W = 60.14^\circ C \neq T_{asumido} = 85^\circ C$, entonces se realiza otra iteración.

Segunda iteración:

Con $T_W = 60.14^\circ C$

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2} = ^\circ C = ^\circ K$$

$$T_f = \frac{87.96 + 60.14}{2} = 74.92^\circ C$$

Propiedades del agua a $T_f = 74.92^\circ C$ (Anexo 4)

$$\rho_L = 974.695 \frac{Kg}{m^3}$$

$$K_L = 668 \times 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$\mu_L = 374.264 \times 10^{-6} \frac{Ns}{m^2}$$

$$C_{PL} = 4.193 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$$

$$h_{fg} = 2321.632 \frac{KJ}{Kg}$$

$$\rho_V = 0.244 \frac{Kg}{m^3}$$

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} C_{PL} (T_{sat} - T_w)^{\circ}C$$

$$h'_{fg} = 2321.632 \frac{KJ}{Kg} + \frac{3}{8} (4.193 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}) (87.96 - 60.14)^{\circ}C$$

$$h'_{fg} = 2.368 \times 10^6 \frac{J}{Kg}$$

Reemplazando:

$$h_i = 0,555 \left[\frac{g * \rho_L (\rho_L - \rho_V) * Kl^3 * h'_{fg}}{\mu_L (T_{sat} - T_s) D} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 0,555 \left[\frac{9.8 * 974.695 * (974.695 - 0.244) * (668 \times 10^{-3})^3 * 2.368 \times 10^6}{(374.264 \times 10^{-6}) * (89.7 - 60.14) * (0.0127 * 13)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 4298.11 \frac{W}{m^2^{\circ}K}$$

Calculo de la temperatura real de la pared del condensador:

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left(T_w - \frac{T_e + T_s}{2} \right)$$

$$10646.42 W = 4298.11 \frac{W}{m^2^{\circ}K} * (0.0127 * 13) * 0.505 m * \pi \left(T_w - \frac{87.96 + 19}{2} \right)$$

$$T_w = 63.80^{\circ}C$$

Como $T_w = 60.14^{\circ}C \neq T_{asumido} = 63.80^{\circ}C$, entonces se realiza otra iteración.

Tercera iteración:

Con $T_w = 63.80 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2} = \text{ } ^\circ\text{C} = \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_f = \frac{87.96 + 63.80}{2} = 76.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propiedades del agua a $T_f = 76.75 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Anexo 4)

$$\rho_L = 973.653 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_L = 668 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$\mu_L = 365.432 \times 10^{-6} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$C_{PL} = 4.194 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$h_{fg} = 2317.22 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\rho_V = 0.265 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} C_{PL} (T_{sat} - T_w) ^\circ\text{C}$$

$$h'_{fg} = 2317.22 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + \frac{3}{8} (4.194 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}) (87.96 - 63.8) ^\circ\text{C}$$

$$h'_{fg} = 2.357 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$$

Reemplazando:

$$h_i = 0,555 \left[\frac{g * \rho_L (\rho_L - \rho_V) * Kl^3 * h'_{fg}}{\mu_L (T_{sat} - T_S) D} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 0,555 \left[\frac{9.8 * 973.653 * (973.653 - 0.265) * (668 \times 10^{-3})^3 * 2.357 \times 10^6}{365.432 \times 10^{-6} (89.7 - 63.8) * (0.0127 * 13)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 4461.49 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

Calculo de la temperatura real de la pared del condensador:

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left(T_W - \frac{T_e + T_S}{2} \right)$$

$$10646.42 \text{ W} = 4461.49 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°K}} * (0.0127 * 13)\text{m} * 0.505\text{m} * \pi \left(T_W - \frac{89.7 + 19}{2} \right)$$

$$T_W = 63.45^\circ\text{C} \cong 63.80^\circ\text{C}$$

Luego de varias iteraciones se logra determinar que T_W calculado es aproximadamente igual a T_W asumido, por lo que las propiedades del fluido anteriormente obtenidas serán utilizadas en el proceso de cálculo.

Calculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor por subenfriamiento (h_e), convección natural en superficies interiores.

Para determinar las propiedades, se calcula la temperatura promedio del fluido para el enfriamiento.

$$T_b = \frac{T_{sat} + T_S}{2}$$

$$T_b = \frac{87.96 + 19}{2} = 54.35^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{(54.35 + 63.45)^\circ\text{C}}{2} = 58.9^\circ\text{C}$$

Propiedades del fluido a temperatura fílmica: (Anexo 4)

$$\rho_L = 983.70 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_L = 0.652 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$\mu_L = 474.24 \times 10^{-6} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$Pr = 3.04$$

Calculo del número de Grashof.

$$G_r = \frac{\rho^2 g \beta}{\mu^2} (T_w - T_b) L_c^3 \quad (4.19)$$

$$\beta = 516.915 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ K}$$

$$G_r = \frac{(983.70 \frac{Kg}{m^3})^2 * 9.8 \frac{m}{s^2} * 516.915 \times 10^{-6}}{(503.95 \times 10^{-6} \frac{Ns}{m^2 K})^2} (63.45 - 54.35)^\circ C * (0.0127 * 13)^3$$

$$G_r = 892599833.5$$

$$R_a = G_r * P_r \quad (4.20)$$

$$R_a = 892599833.5 * 3.04$$

$$R_a = 2713503494$$

Entonces:

$$N_u = 0.36 + \frac{0.518 R_a^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{P_r}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad (4.21)$$

$$N_u = 0.36 + \frac{0.518 * (2713503494)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{3.04}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$N_u = 102.628$$

Utilizando N_u , encontramos h_e . coeficiente externo

$$N_u = \frac{h_e * L_c}{K} \quad (4.22)$$

$$h_e = \frac{N_u * K}{L_c} = \frac{102.628 * 0.652 \frac{W}{m^2 K}}{(0.0127 * 13) m}$$

$$h_e = 405.29 \frac{W}{m^2 K}$$

Calculo de h_o del refrigerante (agua), convección forzada en superficies interiores.

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (4.23)$$

$$T_b = \frac{14 + 24}{2} = 19^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2} \quad (4.24)$$

$$T_f = \frac{(19 + 63.45)^\circ\text{C}}{2} = 41.225^\circ\text{C}$$

Propiedades del agua a temperatura fílmica. (Anexo 4)

$$\rho_L = 991.74 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_L = 0.633 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$\mu_L = 6.39 \times 10^{-4} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$C_{PL} = 4.178 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} = 4178 \frac{\text{Ws}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$Pr = 4.22$$

Asumimos las dimensiones del tubo de acero, por donde va a circular el refrigerante (agua).

Tubo exterior de 4 pul

$$\phi_{ext} = 106.8 \text{ mm}$$

$$A_{ext} = \frac{\pi (0.1068\text{m})^2}{4} = 8.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{evap} = \frac{\pi (0.0127\text{m})^2}{4} = 1.266 \times 10^{-4} * 13 = 1.65 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Área de circulación del refrigerante:

$$A_{circ} = A_{iref} - A_{evap} \quad (4.25)$$

$$A_{circ} = (8.96 \times 10^{-3} - 1.65 \times 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_{circ} = 7.31 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = A * \rho * V \quad (4.26)$$

$$V = \frac{\dot{m}}{A * \rho} = \frac{915.08 \frac{Kg}{h}}{7.31 \times 10^{-3} m^2 * 991.74 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V = 149.06 \frac{m}{h} = 2.48 \frac{m}{s}$$

Debido a que el agua circula a través de la carcasa se utiliza la expresión siguiente: (ASHRAE).

$$\frac{h}{C_p G} \left(\frac{C_p \mu}{K} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0.14} = \frac{0.023}{\left(\frac{D_e G}{\mu} \right)^{0.2}} \quad (4.27)$$

Donde:

h = Coeficiente convectivo de transferencia de calor

C_p = Calor específico

μ = Viscosidad dinámica

μ_s = Viscosidad dinámica a temperatura de pared

G = Flujo másico

K = Conductividad térmica

D_e = Diámetro hidráulico

Con $T_W = 63.45 \text{ }^\circ\text{C}$, encontramos $\mu_s = 4.56 \times 10^{-4} \text{Ns/m}^2$

El diámetro hidráulico se determina con la siguiente expresión:

$$D_h = D_{icarga} - D_{ext.tubo} \quad (4.28)$$

$$D_h = (0.1016 - 0.0127)m$$

$$D_h = 0.0889 m = 88.9 mm$$

El flujo másico se determina mediante:

$$G = \rho * V \quad (4.29)$$

$$G = 991.74 \frac{Kg}{m^3} * 2.48 \frac{m}{s}$$

$$G = 40.66 \frac{Kg}{m^2s}$$

$$\frac{0.023}{\left(\frac{D_e G}{\mu}\right)^{\frac{2}{3}}} = \frac{0.023}{\left(\frac{0.0889m * 40.66 \frac{Kg}{m^2s}}{6.39 \times 10^{-4} \frac{Kg}{ms}}\right)^{0.2}} = 0.00179$$

Reemplazando en (4.27):

$$\frac{h}{C_p G} \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{0.14} = 0.00179$$

$$h = \frac{0.00179 C_p G}{\left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{0.14}}$$

$$h = \frac{0.00179 * 4180 \frac{Ws}{Kg \cdot ^\circ K} * 40.66 \frac{Kg}{m^2s}}{\left(\frac{4178 \frac{Ws}{Kg \cdot ^\circ K} * 6.39 \times 10^{-4} \frac{Kg}{ms}}{0.63 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{4.56 \times 10^{-4} \frac{Ns}{m^2}}{6.39 \times 10^{-4} \frac{Ns}{m^2}}\right)^{0.14}}$$

$$h = 7363.75 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculo del coeficiente de transferencia de calor U

Coefficiente global de transferencia de calor por condensación.

$$U_c = \frac{h_c * h_0}{h_c + h_0} \tag{4.30}$$

$$U_c = \frac{(4461.49 * 7363.75) \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)^2}{(4461.49 + 7363.75) \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}$$

$$U_c = 2778.23 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = 9993.63 \frac{KJ}{m^2 h \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente global de transferencia de calor por su enfriamiento.

$$U_e = \frac{h_e * h_0}{h_e + h_0} \tag{4.31}$$

$$U_e = \frac{(405.29 * 7363.75) \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)^2}{(405.29 + 7363.75) \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}$$

$$U_e = 384.15 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = 1381.83 \frac{KJ}{m^2 h \cdot ^\circ C}$$

Áreas de transferencia de calor:

Área de transferencia de calor para condensación.

$$A_c = \frac{q_l}{U_c * DMLT_c * F} \tag{4.32}$$

$$A_c = \frac{30889.53 \frac{KJ}{h}}{9993.63 \frac{KJ}{m^2 h \cdot ^\circ C} * 65.46 \text{ } ^\circ C * 1}$$

$$A_c = 0.047 \text{ m}^2$$

Área de transferencia de calor para sub-enfriamiento:

$$A_e = \frac{q_s}{U_e * DMLT_e * F} \tag{4.33}$$

$$A_e = \frac{3896.99 \frac{KJ}{h}}{1381.83 \frac{KJ}{m^2 h \cdot ^\circ C} * 23.88 \text{ } ^\circ C * 1}$$

$$A_e = 0.118 \text{ m}^2$$

Área Total.

$$A_T = A_c + A_e \tag{4.34}$$

$$A_T = 0.047 \text{ m}^2 + 0.118 \text{ m}^2$$

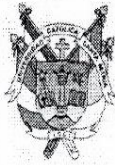
$$A_T = 0.165 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A_T}{\pi * D_{ext}} = \frac{0.165 \text{ m}^2}{\pi * 0.1016 \text{ m}}$$

$$L = 0.516 \text{ m} \cong 0.5 \text{ m}$$

ANEXO 6.

Resultados de las Propiedades Físicas del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*)



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
 LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Apdo. 1350
 AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO
 N° DE INFORME: ANA16L16.002517

Nombre del Cliente	: SIVELY KAREN MOROCCO QUISPE
Dirección del Cliente	: AV. SESQUICENTENARIO 101 BARRIO SAN JOSE PUNO
RUC	: -
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: ACEITE ESENCIAL DE MATICO
Tamaño de muestra	: 40 mL
Fecha de Recepción	: 16/12/2016
Fecha de Ejecución del ensayo	: 16/12/2016
Fecha de Emisión de Informe	: 29/12/2016
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANALISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE INDICE DE REFRACCION NTP 209.121:1975, ACEITES Y GRASAS. Método de determinación del índice de refracción	1,4872
DETERMINACION DE DENSIDAD (g/mL a 20 °C) Metodo gravimetrico	0,9278

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del laboratorio de ensayo y control de calidad.



Dr. Jaime Cárdenas García
 C.D.F.P. 01575 - C.Q.F.D.A. 00562
 Director Técnico
 Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

ANEXO 7.

Resultado del análisis de Cromatografía de gases del aceite esencial de Matico (*Piper aduncum*)



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD



Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA16L16.002517B

Nombre del Cliente : SIVELY KAREN MOROCCO QUISPE
Dirección del Cliente : AV. SESQUICENTENARIO 101 BARRIO SAN JOSE PUNO
RUC : -
Condición del Muestreado : POR EL CLIENTE
Descripción : ACEITE ESENCIAL DE MATICO
Tamaño de muestra : 3 mL
Fecha de Recepción : 16/12/2016
Fecha de Ejecución del ensayo : 16/12/2016
Fecha de Emisión de Informe : 29/12/2016
Página : 1 de 2

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO																						
DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE METABOLITOS SECUNDARIOS CROMATOGRAFÍA GASEOSA CON DETECCIÓN DE MASAS (DENOMINACION NIST)	<table border="0"> <tr><td>Name</td><td></td></tr> <tr><td>1S-.alpha.-Pinene</td><td></td></tr> <tr><td>.alpha.-Pinene</td><td></td></tr> <tr><td>.beta.-Myrcene</td><td></td></tr> <tr><td>Eucalyptol</td><td></td></tr> <tr><td>1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-</td><td></td></tr> <tr><td>3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-tr</td><td></td></tr> <tr><td>Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-</td><td></td></tr> <tr><td>1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-</td><td></td></tr> <tr><td>1,3,6-Heptatriene, 2,5,6-trimethyl-</td><td></td></tr> <tr><td>Asarone</td><td></td></tr> </table>	Name		1S-.alpha.-Pinene		.alpha.-Pinene		.beta.-Myrcene		Eucalyptol		1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-		3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-tr		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-		1,3,6-Heptatriene, 2,5,6-trimethyl-		Asarone	
Name																							
1S-.alpha.-Pinene																							
.alpha.-Pinene																							
.beta.-Myrcene																							
Eucalyptol																							
1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-																							
3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-tr																							
Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-																							
1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-																							
1,3,6-Heptatriene, 2,5,6-trimethyl-																							
Asarone																							
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METABOLITOS SECUNDARIOS (%) CROMATOGRAFÍA GASEOSA CON DETECCIÓN DE MASAS, MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN, POR NORMALIZACIÓN INTERNA (ÁREA)	<table border="0"> <tr><td>Name</td><td>Area%</td></tr> <tr><td>1S-.alpha.-Pinene</td><td>1,26</td></tr> <tr><td>.alpha.-Pinene</td><td>2,82</td></tr> <tr><td>.beta.-Myrcene</td><td>3,61</td></tr> <tr><td>Eucalyptol</td><td>49,96</td></tr> <tr><td>1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-</td><td>6,7</td></tr> <tr><td>3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-tr</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-</td><td>4,15</td></tr> <tr><td>1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-</td><td>7,11</td></tr> <tr><td>1,3,6-Heptatriene, 2,5,6-trimethyl-</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>Asarone</td><td>20,78</td></tr> </table>	Name	Area%	1S-.alpha.-Pinene	1,26	.alpha.-Pinene	2,82	.beta.-Myrcene	3,61	Eucalyptol	49,96	1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-	6,7	3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-tr	1,5	Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-	4,15	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-	7,11	1,3,6-Heptatriene, 2,5,6-trimethyl-	2,1	Asarone	20,78
Name	Area%																						
1S-.alpha.-Pinene	1,26																						
.alpha.-Pinene	2,82																						
.beta.-Myrcene	3,61																						
Eucalyptol	49,96																						
1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-	6,7																						
3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-tr	1,5																						
Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-	4,15																						
1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-	7,11																						
1,3,6-Heptatriene, 2,5,6-trimethyl-	2,1																						
Asarone	20,78																						





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

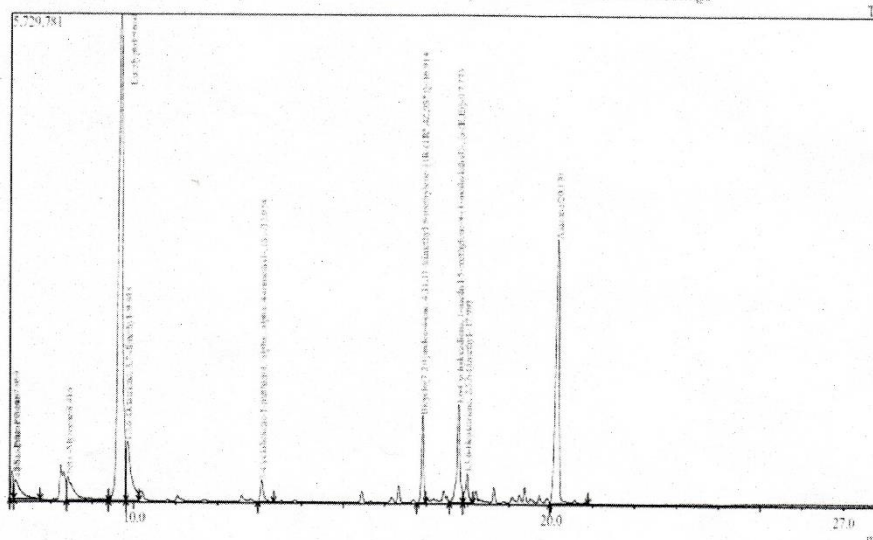
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
 AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA16L16.002517B

Nombre del Cliente : SIVELY KAREN MOROCCO QUISPE
Dirección del Cliente : AV. SESQUICENTENARIO 101 BARRIO SAN JOSE PUNO
RUC : -
Condición del Muestreado : POR EL CLIENTE
Descripción : ACEITE ESENCIAL DE MATICO
Tamaño de muestra : 3 mL
Fecha de Recepción : 16/12/2016
Fecha de Ejecución del ensayo : 16/12/2016
Fecha de Emisión de Informe : 29/12/2016
Página : 2 de 2

Chromatogram aceite matico C:\GCMS\Solution Data Project 1\muestras control aceite esencial matico.qgd



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Height%	AH	Mark	Name
1	7.059	7.005	7.100	1098591	1.26	321996	2.46	3.41		1S- α -Pinene
2	7.146	7.100	7.240	2463875	2.82	213644	1.63	11.53	SV	α -Pinene
3	8.416	8.380	9.390	3152753	3.61	268813	2.05	11.73	SV	β -Pinene
4	9.660	9.390	9.810	43598239	49.96	5712279	43.67	7.63	V	Exaltolol
5	9.848	9.810	10.125	5849580	6.70	691056	5.28	8.46	V	1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-
6	13.054	12.960	13.340	1307326	1.50	255321	1.95	5.12	SV	3-Cyclohexene-1-methanol, α , α -4-tr
7	16.914	16.775	16.985	3622110	4.15	1023492	7.82	3.54	V	Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-
8	17.771	17.555	17.880	6203079	7.11	1147206	8.77	5.41	V	1,6-Cyclododecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-
9	17.980	17.880	18.115	1831272	2.10	340411	2.62	5.34	V	1,3,6-Heptatriene, 2,5,6-trimethyl-
10	20.170	19.970	20.885	18131594	20.78	3104111	23.73	5.84	SV	Asarone
				87258469	100.00	13081043	100.00			

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Ricardo A. Abril Ramírez
Ricardo A. Abril Ramírez
 QOPDA 00824
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



ANEXO 8.

Constancia de Megalaboratorio Ambiental de Investigación de la UNA - PUNO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

Vicerrectorado de Investigación
Megalaboratorio de Investigación Ambiental-Suelos y Aguas
Espectroscopia ICP - Microscopia Electrónica de Rayos X



"Año del buen servicio al ciudadano"

CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, JEFE (e) "MEGALABORATORIO AMBIENTAL DE INVESTIGACIÓN DE LA UNA - PUNO"

HACE CONSTAR:

Que la señorita estudiante, Sively Karen, MOROCCO QUISPE, identificado con DNI N° 70405143, egresada de la facultad de Ingeniería Química, de la UNA-PUNO, ha realizado el trabajo de investigación titulado "CARACTERIZACION MICRO-HISTOLOGICO, FISICO Y QUIMICO DEL ACEITE ESENCIAL DE LAS HOJAS DE MATICO (*Piper aduncum*), EXTRAIDO POR ARRASTRE DE VAPOR EN UN EQUIPO MODULAR. Mediante el equipo de microscopio electrónico de barrido, Carl Zeiss EVO LS10, con resultados de imágenes en el megalaboratorio de investigación.

Por lo cual se expide el presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que estime por conveniente.

Puno, 06 abril del 2017.



MSc. Martín Choque Yucra
MSc. Martín Choque Yucra
Analista Ambiental
Megalaboratorio UNA-Puno