

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Generalidades

Los aceites esenciales son mezclas de varias sustancias químicas que son obtenidas de las plantas por diversos métodos, el más conocido es la destilación por arrastre con vapor, tienen el aroma característico de algunas flores, árboles, frutos, hierbas y semillas. Son volátiles e insolubles en agua.

Normalmente son líquidos a temperaturas ambiente, y por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos. En general son los responsables del olor de las plantas.(Delgado V.M., 2016)

Se definen, según AFNOR (1998), como: productos obtenidos a partir de una materia prima vegetal, bien por arrastre de vapor, por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los Citrus, o bien por destilación seca. El aceite esencial se separa posteriormente de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros modos de obtención; puede sufrir tratamientos físicos que no originen cambios significativos en su composición. (Afnor, 1998)

Las plantas con aceites esenciales se ubican principalmente en las familias de labiadas (menta, lavanda, tomillo, espliego, romero) y las umbelíferas (anís, hinojo). (Moya F.M., 2015)

De manera general se puede decir que los aceites esenciales son antisépticos pero cada uno tiene propiedades específicas como ser analgésicos, expectorantes o diuréticos, entre otras. Por tanto tienen valor comercial y se usan en diferentes ramas de la industria: perfumes, jabones, alimentos, cosméticos, insecticidas, fármacos, etc.

La clasificación general separa a los aceites esenciales en dos grupos: Agrios, que son extraídos de cítricos como la naranja y el limón; y no Agrios, que comprende al resto de los aceites como ser de jazmín, menta y molle.

Aceite esencial de Menta: existe gran cantidad de especies diferentes de mentas. Cuando se desea un mayor contenido en mentol se utiliza la *Mentha arvensis*, la *Mentha piperita* en cambio es mucho más dulce. El aceite esencial se obtiene por diferentes métodos, aunque el más conocido es la destilación al vapor de hojas. Su rendimiento varía entre el 0,15% y el 0,4%. El uso principal de los aceites esenciales es en perfumería. También se los utiliza como conservantes para alimentos, especialmente cárnicos. Algunos aceites tienen propiedades insecticidas y acaricidas y se usan con el fin de controlar algunas plagas de manera natural. (Gross J.B., 2004)

1.2. Identificación de la idea del Proyecto

A pesar de todas las ventajas que brindan los recursos vegetales, estos no son totalmente aprovechados que promuevan un desarrollo económico sustentable, debido a que no se han planteado proyectos productivos tecnológicamente compatibles con el ambiente. Por ello, se da como alternativa la extracción de aceite esencial de menta, a través de un proceso que aprovecha las propiedades de la planta para obtener un producto el cual no contamina ni daña la salud y por tanto es muy bien valorado en el mercado local e internacional.

Para realizar el proceso de extracción de aceite esencial se emplea el método de arrastre de vapor.

Muchas industrias se ven obligadas a importar estos productos, debido a que en el Departamento de Tarija no se produce este tipo de aceite. Un ejemplo claro de esto es que las empresas de confitería utilizan aceite esencial de menta refinado, y a su vez las empresas farmacéuticas utilizan mentol puro que se obtiene del fraccionamiento del aceite esencial de menta. De esta manera se da valor agregado a este producto que proviene de materia prima producida en nuestra región y que en la actualidad solo es comercializada sin dar valor agregado ni trabajo adicional a la población.

En vista de lo anterior expuesto, se pone a consideración un estudio sobre la Extracción de aceite esencial de menta en la Provincia Cercado del Departamento de Tarija, de esta manera aportar al desarrollo económico de la provincia y del país, aprovechando recursos que no son explotados industrialmente en la actualidad.

1.3. Descripción general de los aceites esenciales

Los aceites esenciales son concentrados aceitosos que se extraen por medio de algún proceso de las hojas, flores, semillas, cortezas, raíces o frutas de diversas plantas. Así, la mayor parte de los aceites se obtienen de estas a través de procesos de destilación. La extracción por arrastre de vapor de agua es uno de los principales procesos utilizados para la extracción de aceites esenciales.

Están constituidos químicamente por terpenoides (monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, etc.) y fenilpropanoides, compuestos que son volátiles y por lo tanto arrastrables por vapor de agua.

La mayoría de los aceites se utilizan como saborizantes y aromatizantes en la industria alimenticia, en cosmética, en aromaterapia, artesanías o productos de limpieza. Otros son usados como repelentes de insectos y en medicina se aplican en el tratamiento de una amplia gama y diversidad de afecciones.

FAO estima que existen alrededor de 3000 aceites esenciales conocidos a nivel mundial, de los cuales aproximadamente el 10 % tiene importancia comercial.

1.3.1. Componentes principales del aceite esencial de Menta (*Mentha sp.*)

El aceite esencial de la Menta tiene una composición compleja y esta varía de acuerdo a las condiciones climáticas, el tratamiento post cosecha y el método de extracción.

Según un estudio realizado en B.R. Nahata college of Phatmacy de la universidad de Mandsaur, India, las principales sustancias que podemos encontrar en el aceite esencial de menta y sus proporciones son (Alankar S., 2009).

Tabla I-1: Componentes principales del aceite esencial de Menta

COMPONENTES	PORCENTAJE (%)
Mentol	30-55
Mentona	14-32
Acetato de metilo	2,8-10
Isomentona	1,5-10
Mentofurano	1-9
Cineol	3,5-14
Limoneno	1-5
Isopulegona hasta	0,2
Carvona	1

Fuente: Alankar S., 2009

1.4. Usos y Aplicaciones del Producto

El aceite esencial de Menta es ampliamente utilizado como materia prima en diferentes tipos de industria, cosmética, alimenticia, bebidas, textil, etc., mientras que otras industrias pueden usar productos aislados de esencias, como es el caso de la industria farmacéutica. En la siguiente tabla se proporciona una visión general de los usos y aplicaciones del aceite esencial de Menta en las diferentes ramas de la industria.

Tabla I-2: Usos y Aplicaciones del Aceite Esencial de Menta en Europa según Industria, Segmento

Industria	Segmentos
Industria de Cosmética y productos de aseo	<ul style="list-style-type: none"> • Detergentes.y jabones • Cuidado Dental • Perfumes • Productos de belleza
Industria alimenticia	<ul style="list-style-type: none"> • Bebidas • Dulces, confitería • Productos de goma mascar • Aromatizantes
Industria Farmacéutica	<ul style="list-style-type: none"> • Fitocosméticos, Fitofármacos • Productos.de cuidados personales

Fuente: (CBI Survey Market "Essential Oils"., 2010)"

1.5. Mercado

1.5.1. Perspectivas del mercado de los aceites esenciales

Las perspectivas del mercado de los aceites esenciales están dirigidas al potencial crecimiento del consumo de los mismos. Estudios realizados según datos del TRADE MAP Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas, datos comerciales mensuales, trimestrales y anuales, valores de importación y exportación, volúmenes, tasas de crecimiento, cuotas de mercado, etc., las exportaciones mundiales de aceites esenciales de menta para el 2017 fueron de 319.227 mil U\$. (TRADEMAP, 2017)

Tabla I-3: Porcentaje de principales exportadores de aceite de menta

Exportadores	2017
	TM
India	7.066
EE.UU.	1.178
China	883
Singapur	976
Alemania	315
Canadá	290
Brasil	5

Fuente: (TRADEMAP- Lista de los exportadores para el producto seleccionado: 330125 Aceites esenciales de menta., 2017).

En la tabla I-4 En relación a las importaciones mundiales, para el 2017 acumularon un total de 390.896 mil U\$, de los cuales el principal importador EE. UU con 2.856 TM.

Tabla I-4: Porcentaje de principales importadores de aceite esencial de menta

Importadores	2017
	TM
EE.UU	2.856
China	1.677
Alemania	1.143
Singapur	1.262
Reino Unido	811
Japón	676
Brasil	599
India	326

Fuente: (TRADEMAP- Lista de los exportadores para el producto seleccionado: 330125 Aceites esenciales de menta., 2017)

En la siguiente tabla I-5 se muestran datos económicos y la cantidad sobre las exportaciones de aceites esenciales de menta de las regiones y países más importantes del rubro, incluyendo los países de Sudamérica donde se observa que el principal exportador e importador de aceite esencial de menta de nuestra región sudamericana es Brasil.

Tabla I-5: Países exportadores de aceite esencial de menta

Exportadores	2013		2014		2015		2016		2017	
	Cantidad exportada (TM)	Valores (Miles U\$)								
India	14.074	286.816	12.759	199.784	8.488	142.154	8.286	159.617	5.268	169.137
EE.UU.	1.225	55.100	1.269	47.274	969	36.981	1.165	40.125	1.178	37.914
China	966	23.912	1.675	29.992	3.023	51.423	1.531	23.139	1.045	19.028
Singapur	1.046	37.135	544	15.940	120	3.308	1.451	12.225	883	19.049
Alemania	236	8.739	286	10.171	317	8.869	319	8.589	315	9.148
Canadá	247	10.794	142	6.950	213	8.307	167	6.545	290	8.650
Brasil	2	125	1	20	1	53	6	148	5	224
Argentina	0	22	0	15	1	28	1	68	1	48

Fuente: (TRADEMAP- Lista de los exportadores para el producto seleccionado: 330125 Aceites esenciales de menta., 2017)

En la tabla I-6 se presenta a los principales países importadores de aceites esenciales de menta, incluyendo países de Sudamérica.

Tabla I-6: Países importadores de aceite esencial de menta

Importadores	2013		2014		2015		2016		2017	
	Cantidad importada (TM)	Valor importado (Miles U\$)	Cantidad importada (TM)	Valor importado (Miles U\$)	Cantidad importada (TM)	Valor importado (Miles U\$)	Cantidad importada (TM)	Valor importado (Miles U\$)	Cantidad importada (TM)	Valor importado (Miles U\$)
EE.UU	3.779	94.247	4.236	81.364	3.419	66.869	2.551	53.684	2.878	61.174
China	6.076	125.855	5.771	79.656	4.447	60.033	2.783	38.229	1.677	28.450
Singapur	1.205	43.082	535	18.166	422	14.474	1.277	20.390	1.262	22.906
Alemania	1.191	29.973	922	20.600	993	21.075	967	19.797	1.143	24.558
Reino Unido	747	21.123	753	18.476	768	17.374	770	16.611	811	19.136
Japón	799	20.097	736	14.447	787	15.431	916	18.648	676	13.688
Brasil	793	20.850	597	10.447	542	8.588	589	10.265	599	9.367
India	22	1.281	31	1.484	88	14.005	76	26.388	290	71.536
Argentina	62	1.923	32	773	44	1.067	39	857	59	1.493

Fuente: (TRADEMAP- Lista de los exportadores para el producto seleccionado: 330125 Aceites esenciales de menta., 2017)

1.5.2. Evolución de la industria de aceites esenciales en Bolivia

La evolución de aceites esenciales en Bolivia arranca con el programa Agroquímico en el año 1983 con investigaciones relacionadas del aprovechamiento de los recursos vegetales existentes localmente con el fin de obtener aceites esenciales. Se detecta que la producción, en comparación a otro tipo de productos agroindustriales, ofrece algunas ventajas (SAIPA, 1996).

- Posibilidad de incorporar a los agricultores a las etapas primarias de los procesos, permaneciendo de esta manera parte del valor agregado generado en áreas rurales.
- Oferta de productores no perecibles con alto valor por unidad de peso, que tengan por este motivo posibilidades de acceder a mercados alejados.
- Perspectivas favorables por la demanda mundial por lo general ascendente de productos naturales.

En la localidad de Pairumani a 30 km de la ciudad de Cochabamba se instala una unidad de extracción de aceite esencial de menta y eucalipto en el año 1985, la primera unidad rural de este aceite, aprovechando la existencia de bosques en la zona.

Los factores principales que condicionan el desarrollo de una industria nacional de aceites esenciales son los siguientes:

- Desarrollo agrícola
- Capacidad tecnológica local
- Existencia de mercados

Bolivia en el año 2016 genera 4.103 mil U\$ según datos del TRADE MAP, exportando aceite esencial. El principal Mercado es EE. UU 43,6%, de la producción de aceites esenciales, le sigue Irlanda 32,8%, Países Bajos 22,5%, Francia 1%.

En la tabla I-7 se presenta a los países exportadores de aceites esenciales de Sudamérica, en ella se observa que el principal exportador de aceite esencial es Brasil.

Tabla I-7: Países exportadores de aceites esenciales de Sudamérica

EXPORTADORES	2013		2014		2015		2016	
	Cantidad exportada (TM)	Valores (Miles U\$)						
Brasil	68.915	202.937	56.348	228.609	55.916	256.877	52.655	339.048
Argentina	7.734	182.324	3.897	119.500	7.072	224.655	6.799	196.376
Perú	437	10.880	363	15.156	452	18.054	618	19.796
Bolivia	129	2.787	127	3.544	141	4.512	127	4.103
Colombia	19	317	18	306	21	302	13	236

Fuente: (TRADEMAP- Lista de los exportadores para el producto seleccionado: 3301 Aceites esenciales., 2016)

1.5.3. Producción agrícola de la menta en Bolivia

Dentro la producción agrícola de menta (objeto de estudio) se encuentra clasificado como cultivo de plantas con las que se preparan bebidas estimulantes, especias y plantas aromáticas.

En la tabla I-8 se presenta la superficie y producción de cultivos de plantas con las que se preparan bebidas estimulantes, especias y plantas aromáticas, comprendidos entre los años 2012 y 2013.

Tabla I-8: Superficie y producción de plantas estimulantes, especias y plantas aromáticas

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	PRODUCCIÓN (TM)
Café	22.685,9	13.298,0
Cacao	10.125,8	1.954,7
Achiote	2.799,3	1.267,5
Ají	2.504,7	1.587,3
Anís	510,3	393,7
Orégano	305,8	153,4
Té	274,1	434,4
Estevia	117,2	39,0
Manzanilla	93,8	76,8
Hierbabuena	54,6	801,5
Comino	34,3	11,4
Vainilla	23,2	64,4
Pimienta	8,9	10,7
Canela	6,6	4,5
Ruda	2,7	1,0
Hierba mate	1,6	0,2
Salvia	1,5	0,0
Menta (Objeto de estudio)	1,4	9,1

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas INE., 2013)

En la tabla I-9 se presenta el número de unidades de producción agropecuaria de plantas medicinales en el departamento de Tarija según especie, datos del año 2013.

Tabla I-9: Número de unidades de producción agropecuaria (UPA) de plantas medicinales en el departamento de Tarija

ESPECIE	TARIJA
Cedrón	2.198
Manzanilla	3.154
Menta	1.826
Sábila	1.422
Paico	601
Wirawira v.n.e	15
Muña	117
Hierbabuena	560
Coca	1
Toronjil	644
Otras especies	8.716
Total	22.095

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas INE., 2013)

El hecho de procesar y extraer los aceites esenciales presentes en las plantas o vegetales producidos en el departamento de Tarija, observa posibilidad de apertura a nuevos mercados, ya que se cuenta con la tecnología necesaria para la extracción de aceite esencial de Menta con la información necesaria sobre el método y la extracción, como también con el equipo, el cual se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6. Materia Prima

Menta (*Mentha* sp.) originaria de Europa, es una planta herbácea de hojas verdes y muy aromáticas y flores de color blanco o violeta, agrupadas en espiga. “la menta crece en las regiones templadas de la mayor parte del mundo”.

Esencia extraída de la planta de menta que se emplea para aromatizar diversos productos como caramelos, chocolates o licores. (Oxford living Dictionaries, 2018)

Figura 1-1 Menta

Fuente: Elaboración propia, 2018

En Tarija en la actividad agrícola existe el Programa de Fortalecimiento a la Medicina Tradicional (Profomet) con apoyo a los médicos tradicionales tiene en funcionamiento un vivero de producción herbolaria en San Andrés, entre las que se tiene manzanilla, romero, llantén, anís, **menta**, espinillo, caléndula y otras especies que fueron priorizadas por los naturistas (El País, 2013).

Actualmente se la puede encontrar en la comunidad el Rincón de la Victoria, San Andrés y en gran cantidad en la comunidad de San Mateo.

1.6.1. Taxonomía de la menta (*mentha sp.*)

Tabla I-10: Taxonomía de la Menta

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Subdivisión	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Metachlamideae
Grupo de Órdenes	Tetracíclicos
Orden	Escrophulariales
Familia	Labiatae
Nombre científico	<i>Mentha sp</i>
Nombre común	Menta

Fuente: (Herbario Universitario T.B., 2018)

1.7. Objetivos

Los objetivos que se persiguen durante la realización de la siguiente investigación son:

1.7.1. Objetivo general

Obtener a escala experimental Aceite Esencial de Menta (*Mentha sp.*) por destilación con arrastre de vapor.

1.7.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física y química de la materia prima Menta para la obtención de aceite esencial.
- Analizar y seleccionar el proceso tecnológico experimental, así como las variables de operación para la extracción de aceite esencial de Menta.
- Plantear y ejecutar la fase experimental de la extracción de aceite esencial de Menta.
- Determinar el rendimiento y eficiencia del proceso tecnológico experimental utilizado para la extracción de aceite esencial de Menta.
- Realizar la caracterización física y química del aceite esencial de Menta obtenida.

1.8. Justificación del proyecto

Bolivia cuenta con varios recursos vegetales que son poco explotados y algunos se comercializan en estado natural a bajo precio sin brindarles mayor valor agregado.

La menta (*Mentha sp.*) es una especie que crece sin algún problema en el valle central de Tarija y otras regiones del departamento. Su aprovechamiento es ornamental y de uso medicinal tradicional, es por eso que se busca darle un valor agregado a una materia prima local a través de la extracción de su aceite esencial.

Al tener disponible este recurso natural y conociendo que existe una demanda internacional siempre creciente de aceites esenciales, por las aplicaciones que se tiene, se concibe la idea del presente trabajo de investigación sobre la extracción del aceite esencial de menta (*Mentha sp.*).

A continuación se mencionan las razones más relevantes por las cuales este proyecto debe realizarse:

- **Aspecto socio-económico:** El proyecto plantea obtener aceite esencial de menta (*Mentha sp.*) con la finalidad dar valor agregado, generar trabajo e incentivar la producción, lo cual aportará al desarrollo económico de los agricultores que cultivan esta planta medicinal.
- **Aspecto tecnológico-industrial:** Se proporciona la técnica para el uso de esta materia prima para incentivar la producción futura de pequeñas industrias que aprovechen las propiedades del aceite esencial en industrias como el farmacéutico, productos agroquímicos, perfumería y otros.
- **Aspecto ambiental:** El proyecto no genera contaminación ya que se aplica tecnología ambientalmente sostenible. Mas al contrario, el residuo vegetal que se obtiene del proceso de extracción se puede utilizar como abono orgánico para la agricultura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

Los aceites esenciales son sustancias aromáticas de base lipídica encontradas prácticamente en todas las plantas; son muy numerosos y están ampliamente distribuidos en las distintas partes de la planta: raíces, tallos, hojas, flores y frutos. Los aceites esenciales son componentes heterogéneos de terpenos, sesquiterpenos, ácidos, ésteres, fenoles, lactonas; separables por métodos químicos o físicos, como la destilación, la refrigeración, la centrifugación, entre otros (Vásquez et al., 2001)

2.2. Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se clasifican en base a diferentes criterios los cuales son la consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

2.2.1. Consistencia de los aceites esenciales

De acuerdo a su consistencia los aceites esenciales se clasifican en:

- Esencias
- Bálsamos
- Resinas
- *Las esencias* son líquidos a temperatura ambiente.
- *Los bálsamos* son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol. Se caracterizan por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes ésteres. Son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización. (Guillermo E. Arias M., 2014)

Dentro de las resinas se presentan una serie de combinaciones y mezclas las cuales son:

- **Resinas**; son productos amorfos sólidos o semisólidos de naturaleza química compleja de origen fisiológico o fisiopatológico. Por ejemplo, la colofonia, obtenida por separación de la oleoresina trementina conteniendo ácidos abióticos y derivados.

Oleoresinas; son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales. Por ejemplo, la trementina, obtenida por incisión en los troncos de diversas especies de Pinos, contiene resina (colofonia) y aceite esencial (esencia de trementina) que se separa por destilación por arrastre de vapor. También se utiliza el término oleoresina para nombrar extractos vegetales obtenidos mediante el uso de solventes. Se usan para la sustitución de especias de uso alimenticio y farmacéutico por sus ventajas (estabilidad y uniformidad química y microbiológica, facilidad de incorporar al producto terminado). Éstos tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (oleoresina de pimentón, pimienta negra, clavo, etc.). (Guillermo E. Arias M., 2014)

Gomorresinas; son extractos naturales obtenidos de un árbol o planta, compuesta por mezclas de gomas y resinas.

2.3. Origen de los aceites esenciales

De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como:

- Naturales
- Artificiales
- Sintéticos
- **Los naturales**; se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas; debido al rendimiento bajo son de costos muy altos.
- **Los artificiales**; se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín enriquecida con linalol o la esencia de anís enriquecida con anetol. (Guillermo E. Arias M., 2014)

- **Los 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, como esencias de vainilla, limón, fresa, etc.

2.4. Propiedades químicas de los aceites esenciales

Los componentes de los aceites se clasifican en terpenoides y no terpenoides.

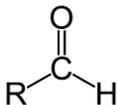
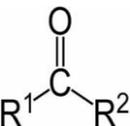
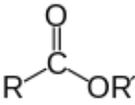
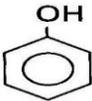
- No terpenoides: En este grupo tenemos sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. No son tan importantes como los terpenoides en cuanto sus usos y aplicaciones.
- Terpenoides: son los más importantes en cuanto a propiedades y comercialmente. Los Terpenos son una clase de sustancia química que se halla en los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de muchas plantas, como los pinos y muchos cítricos. Principalmente encontramos en los aceites monoterpenos (C10), aunque también son comunes los sesquiterpenos (C15) y los diterpenos (C20). Pueden ser alifáticos, cíclicos o aromáticos.

Según los grupos funcionales que tengan pueden ser:

- Alcoholes (mentol, bisabolol) y fenoles (timol, carvacrol).
- Aldehidos (geranial, citral) y cetonas (alcanfor, thuyona).
- Ésteres (acetato de bornilo, acetato de linalino, salicilato de metilo, compuesto antiinflamatorio parecido a la aspirina).
- Éteres (1,8 – cineol) y peróxidos (ascaridol).
Hidrocarburos (limoneno, α y β pineno).

En la tabla II-11 se presenta los grupos funcionales de cada compuesto de los aceites esenciales con sus ejemplos y propiedades

Tabla II-11: Propiedades químicas de los aceites esenciales.

Compuesto	Grupo funcional	Ejemplo	Propiedades
Alcohol	R-OH	Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico.
Aldehído		Citral, citronelal	Espasmolítico, sedante, antiviral.
Cetona		Alcanfor, tuyona	Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico.
Éster		Metil salicilato	Espasmolítico, sedativo, antifúngico.
Éteres	R - O - R	Cineol, ascaridol	Expectorante, estimulante.
Éter fenólico	Anillo-O-C	Safrol, anetol, miristicina	Diurético, carminativo, estomacal, expectorante.
Fenol		Timol, eugenol, carvacrol	Antimicrobiano, estimulante inmunológico.
Hidrocarburo	Solo contiene C y H	Pineno, limoneno	Estimulante, descongestionante, antivírico, antitumoral.

Fuente: (Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales., 2010)

2.5. Propiedades físicas de los aceites esenciales

Los aceites esenciales son aspectos oleosos, altamente volátiles, solubles en aceites, alcohol, éter de petróleo, tetracloruro de carbono y además solventes orgánicos; insolubles en agua, aunque le transmiten su perfume; son inflamables, responsables del aroma de la plantas, colores y sabores, a veces dulces o amargos, con densidad generalmente inferior a la del agua. Están compuestos en su mayor parte por

hidrocarburos de la serie de polimetálica del grupo de los terpenos que se encuentran con otros compuestos, casi siempre oxigenados.

2.6. Toxicidad de los aceites esenciales

Existen aceites que en usos inadecuados resultan tóxicos para el organismo. Los problemas que ha presentado son: (Hernández, 2005)

- Convulsiones
- Intoxicación
- Efectos narcóticos y estupefacientes
- Distorsión de la vista
- Despersonalización
- Depresión
- Espasmos y asfixia
- Abortos
- Lesiones cancerosas

2.7. Caracterización del aceite esencial de menta

2.7.1. Características organolépticas

El aceite esencial de menta obtenido por arrastre de vapor de agua según algunos estudios tiene las características organolépticas siguientes:

Las características o propiedades organolépticas de un cuerpo son todas aquellas que pueden percibirse de forma directa por los sentidos (todos ellos, no solo la vista), sin utilizar aparatos o instrumentos de estudio.

Tabla II-12: Características organolépticas del aceite esencial de menta en Ecuador

VEGETAL	COLOR	OLOR
Mentha	Verde-claro	Fuerte-característico
Mentha spicata	Verde- amarillo	Picante-agradable

Fuente: (Alcauzar, 2009)

2.7.2. Densidad de los aceites esenciales.

La densidad es una propiedad característica, significa que es específica de cada material y depende de sus características internas y no de la cantidad de ella; lo cual permite diferenciar a un material de otro con la ayuda de otras propiedades.

La densidad de una sustancia es una medida que nos dice cuánta materia hay de esa sustancia en cierto espacio. Para averiguar la densidad de una sustancia o de un objeto se divide la masa entre el volumen o espacio que ocupa esa sustancia u objeto. Usualmente se usan las unidades de g/cm^3 .

Tabla II-13: Densidad de los aceites esenciales en Ecuador

VEGETAL	NOMBRE CIENTÍFICO	DENSIDAD (g/ml)
Menta	Mentha sp	0,908
Hierba buena	Mentha spicata (N)	0,8907
Hierba buena	Mentha spicata (EESC)11	0,9190
Manzanilla	Matricaria Chamomilla	0,9018

Fuente: (Paredes D., 2010)

2.7.3. Rendimiento de los aceites esenciales

Es la cantidad de producto obtenido en una reacción química. El rendimiento absoluto puede ser dado como la masa en gramos o en moles (rendimiento molar).

El rendimiento fraccional o rendimiento relativo o rendimiento porcentual, que sirve para medir la efectividad de un procedimiento de síntesis, es calculado al dividir la cantidad de producto obtenido en moles por el rendimiento teórico en moles.

El rendimiento de esencia obtenido de una planta varía de unas cuantas milésimas por ciento de peso vegetal hasta 1-3 %. La composición de una esencia puede cambiar con la época de la recolección, el lugar geográfico o pequeños cambios genéticos.

Tabla II-14: Rendimiento de los aceites esenciales

NOMBRE CIENTÍFICO DEL VEGETAL	PARTE DEL VEGETAL UTILIZADA	RENDIMIENTO ESENCIA (%)
Mentha sp.	Planta	0,51
Mentha piperita	Planta	0,3
Mentha spicata (N)	Planta	0,32
Mentha spicata (EESC)	Planta	0,2

Fuente: (Aplicación en la industria cosmética de los aceites esenciales., 2009)

2.7.4. Índice de refracción

El índice de refracción en un aceite guarda una relación directa con su viscosidad, o sea, qué tan "espeso" se siente el aceite. Parte del control de calidad durante la producción de aceites es asegurar una viscosidad constante.

Medir la viscosidad directamente implica tomar una muestra del aceite, mientras que medir el índice de refracción es más rápido y se hace usando métodos ópticos sin siquiera tocar el aceite.

Tabla II-15: Índice de refracción

VEGETAL	ÍNDICE DE REFRACCIÓN a 20°C
Menta	1.459 a 1.471
Hierba buena	1,4638
Toronjil	1,6434
Eucalipto	1.458 a 1.470

Fuente: (Paredes D., 2010)

2.8. Métodos de extracción de aceites esenciales

Dado que los aceites esenciales son mezclas formadas por sustancias distintas, el método utilizado en su obtención puede influir en su composición causando la variación del perfil aromático del aceite esencial. De ahí la importancia de elegir un método adecuado al producto que se desea obtener.

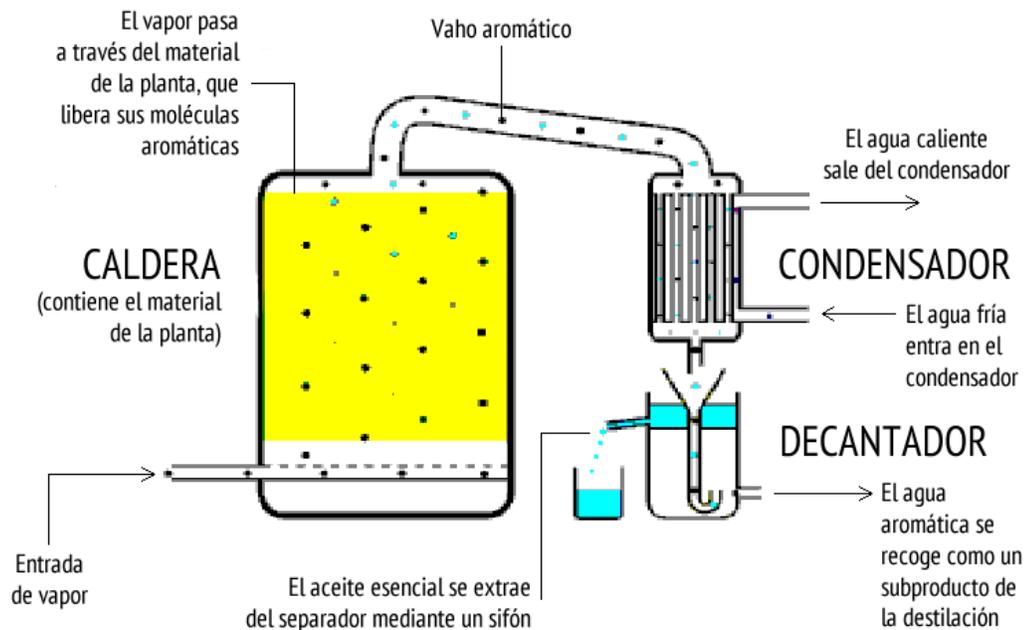
A continuación se describen de manera sintética los métodos de obtención de aceites esenciales.

2.8.1. Extracción por arrastre de vapor

Este proceso se lleva a cabo con un vapor seco sobrecalentado, generado usualmente por una caldera o calderín, que penetra el material vegetal a presión más alta que la atmosférica, la corriente de vapor rompe las células o canales oleíferos en la planta y arrastra la mezcla volátil, que se condensa luego de atravesar un refrigerante.

Generalmente los aceites son más livianos que el agua y muy poco solubles en ella; por ende, pueden ser separados por decantación. La excepción la presenta el aceite de clavo, que es más pesado que el agua y se recoge debajo de ella. El método de arrastre con vapor se usa para extraer aceites de rizomas, raíces, semillas (vetiver, valeriana, jengibre, anís, candomomo, etc.) y de hojas secas o fermentadas de algunas plantas por ejemplo el patchouli.

Figura 2-1: Diagrama de extracción por arrastre de vapor



Fuente: (Esenciales, 2018)

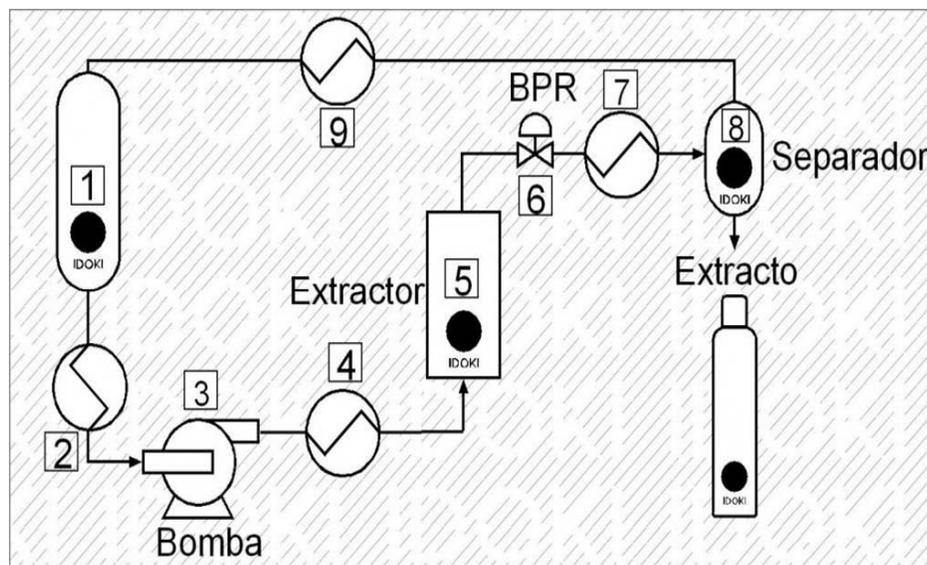
2.8.2. Extracción con dióxido de carbono en condiciones supercríticas

La extracción con dióxido de carbono supercrítico combina los mejores aspectos de la destilación con vapor de agua y la extracción con solventes derivados del petróleo. Cuando el CO₂ es puesto bajo presiones elevadas de por lo menos 72,9 atm y temperatura tan bajas como 31,1°C, se convierte en un fluido supercrítico con las propiedades de permeación de un gas, pero con las propiedades de solvatación de un líquido.

En consecuencia, este proceso extrae una gama más amplia de compuestos aromáticos volátiles que no se ven afectados por el calor ni interactúan químicamente con el CO₂ inerte. Luego de sumergir la materia vegetal en el gas licuado, este se devuelve a condiciones de presión atmosférica retornando a su estado gaseoso. (The Scents Works., 2010)

Esta técnica es de desarrollo reciente, tiene la ventaja de no alterar la composición del aceite esencial ni dejar ningún resto de disolvente, sin embargo los costos del equipo y operación son elevados debido al empleo de altas presiones y equipo herméticos para el trabajo con gases. (Ortuño M., 2006)

Figura 2-2: Esquema de extracción con fluidos supercríticos



Fuente: (Enrique C., 2015)

2.8.3. Extracción con disolventes orgánicos

En el método de extracción con disolventes volátiles, la muestra seca y molida se pone en contacto con disolventes orgánicos tales como alcohol y cloroformo, entre otros.

Estos disolventes solubilizan la esencia, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como grasas y ceras, obteniendo al final una oleoresina o un extracto impuro. Se utiliza a escala de laboratorio porque a nivel industrial resulta costoso por el valor comercial de los disolventes, porque se obtienen esencias contaminadas con otras sustancias, y además por el riesgo de explosión e incendio característicos de muchos disolventes orgánicos volátiles. (Peredo L.H.A y Col., 2009)

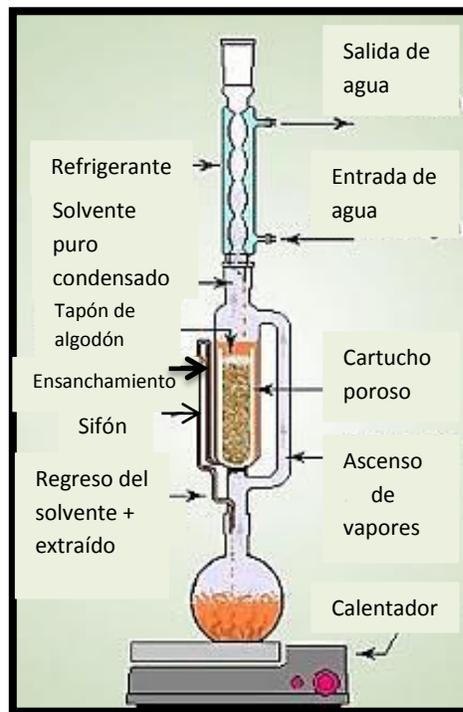
Algunos disolventes utilizados en este método de extracción tienen restricciones en cuanto a los residuos máximos que pueden dejarse cuando los aceites esenciales son la materia prima en las industrias de los perfumes o alimentos. Estos límites varían de acuerdo a las diferentes legislaciones. Los disolventes derivados del petróleo, como éter di etílico, ciclo hexano, hexano, acetato de metilo, propanol, etc., son tóxicos al inhalarlos y al contacto con la piel, y dependiendo del tiempo de exposición será la gravedad de los efectos. Los extractos obtenidos con este tipo de disolventes suelen ser más oscuros, ya que llegan a arrastrar algunos pigmentos, su solubilidad en alcohol diluido es menor y se recuperan muchos compuestos de tipo aromático. El disolvente con el aceite esencial se filtra y se evapora a presión atmosférica y/o vacía. Los restos de disolvente deben separarse a temperatura baja. (Peredo L.H.A y Col., 2009)

En este tipo de procedimientos se obtienen masas viscosas, según la materia prima, que contienen el aceite esencial, grandes cantidades de ceras, resinas y pigmentos, que se eliminan realizando extracciones con alcohol, enfriando a -13°C , filtrando y evaporando el alcohol. Los métodos más usados a nivel laboratorio son extracción por reflujo y mediante equipo Soxhlet. Otro tipo de extracción por disolventes mayormente usada a nivel laboratorio, es la maceración o extracción alcohólica, en la

cual la materia orgánica reposa en soluciones de alcohol por periodos de tiempo definidos. Los aceites esenciales son recuperados evaporando el alcohol, generalmente en rota-vapores.

La extracción con disolventes tiene importantes desventajas. Además de que requiere de periodos de tiempo relativamente largos, los aceites esenciales obtenidos contienen trazas de los disolventes utilizados; limitando su uso en la industria de los alimentos, la industria cosmética o farmacéutica. (Peredo L.H.A y Col., 2009)

Figura 2-3: Método de extracción con disolventes orgánicos (soxhlet)



Fuente: (Nuñez C.E., 2008)

2.8.4. Hidrodestilación

Es un proceso cuando el material vegetal se sumerge directamente al agua, que se calienta a hervor. Este método se usa para la destilación del material vegetal delicado, por ejemplo, flores, ylang ylang, rosas.

En la figura 2-4 aparece un destilador móvil con capacidad de 150 kg de material vegetal, construido en el Centro de Investigación de Excelencia, CENIVAM-UIS, para la extracción de aceites esenciales por los métodos de agua vapor e hidrodestilación.

Figura 2-4: Destilador de aceites esenciales móvil de material vegetal



Fuente: (Stashenko, 2009)

1. Cuerpo del destilador donde se deposita el agua y en una canasta, el material vegetal
2. Quemador de gas para calentar el agua
3. Cuello de ganso (o cisne)
4. Condensador, sistema de enfriamiento tipo radiador
5. Cilindro con gas
6. Plataforma para la ubicación y transporte del destilador

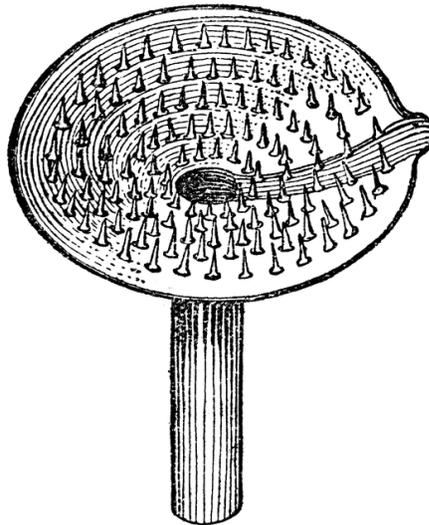
2.8.5. Prensado-raspado

Esta técnica se aplica a los cítricos, prensado o raspado su corteza, donde se encuentra el aceite esencial de estos frutos. (Ortuño M., 2006)

El método de la esponja consiste en exprimir manualmente las cáscaras con una esponja hasta que se empapa de aceite, luego se exprime esta esponja liberando el aceite esencial.

Otros métodos correspondientes a raspado como el de stilete o ecuélle, donde la fruta se pone a girar en un torno y con un estilete se raspa solo la corteza, permanentemente cae un rocío de agua que arrastra los detritos y el aceite esencial liberado. La mezcla detritos-agua-aceite se centrifuga a 5000 rpm durante 40 minutos y el aceite esencial recuperado se enfría a 3°C durante 4 horas para solidificar ceras y grasas superficiales. El aceite esencial se guarda en recipientes oscuros a 12°C

Figura 2-5: Ecuélle



Fuente: (Agricultura, 1899)

2.9. Selección del método a utilizar en el proceso de extracción de aceite esencial de menta

En la tabla II-16 se presenta la matriz de decisión que fue elaborada en base a datos bibliográficos referenciales; en la columna A se presentan los valores de ponderación de los factores evaluados del proyecto, que se identifican en la columna B, estos son evaluados para cada método con una calificación que se asienta en la columna C. Los métodos evaluados son:

- 1.-Destilación por arrastre de vapor
- 2.-Extracción con dióxido de carbono en condiciones supercríticas
- 3.-Extracción con disolventes orgánicos
- 4.-Hidrodestilación
- 5.-Prensado

La suma de los valores ponderados fijados en la columna A debe ser 100. En la columna C se evalúa cada factor de la columna B, al otorgar un valor de cero cuando el aspecto evaluado no aplique, 1 cuando el proceso cumpla con el aspecto en forma deficiente, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada y 5 cuando el proceso cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena o excelente.

En la columna D, la calificación asignada de cada método (columna C) se divide entre la calificación máxima que pueden obtener es decir 5.

En la columna E se multiplica el valor de cada renglón de la columna D por el valor ponderado de la columna A y finalmente se suman todos los renglones de la columna E para obtener la calificación global del proceso evaluado bajo las condiciones ponderadas en la columna A. El proceso que obtenga la mayor calificación será el seleccionado.

Tabla II-16: Matriz de decisión

	A	B	C					D					E				
			0=no aplica 1=deficiente 3=adecuado 5=muy bueno					C/5					D*A				
I	%	FACTOR EVALUADO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	20	Calidad del aceite	5	5	3	1	1	1	1	0,6	0,2	0,2	20	20	12	4	4
2	20	Rendimiento	5	5	3	1	1	1	1	0,6	0,2	0,2	20	20	12	4	4
3	15	Accesibilidad del método	3	1	3	3	3	0,6	0,2	0,6	0,6	0,6	9	3	9	9	9
4	15	Disponibilidad del equipo	5	1	5	3	3	1	0,2	1	0,6	0,6	15	3	15	9	9
5	15	Aplicación a las hojas de menta	5	3	3	5	0	1	0,6	0,6	1	0	15	9	9	15	0
6	15	Costo del equipo	3	1	3	5	5	0,6	0,2	0,6	1	1	9	3	9	15	15
7	100	TOTAL											88	58	66	56	41

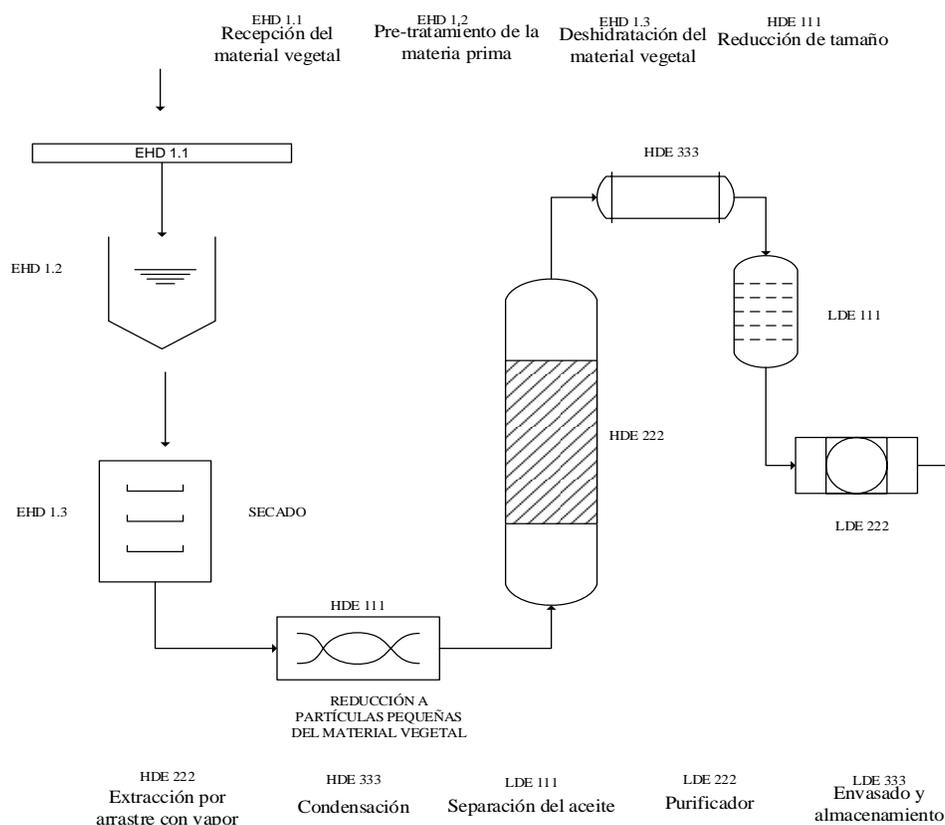
Fuente: Elaboración propia, 2018

El método seleccionado para la extracción de aceite esencial de menta basado en los criterios descritos anteriormente es “EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR” con una puntuación del 88%.

2.10. Diagrama de flujo del proceso a escala industrial

En la Figura 2-6 se presenta el diagrama de flujo del proceso de extracción de aceites esenciales por el método de destilación por arrastre de vapor de agua a escala industrial.

Figura 2-6: Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial



2.11. Factores que influyen y determinan la calidad del producto

Muchos factores influyen sobre la composición del aceite esencial, entre ellos figuran (Sáez V.A. y Col., 2012):

- **Condiciones geobotánicas del medio**

Se refiere al tipo de clima, a la altitud que se encuentran las plantas, el tipo de suelo y la cantidad de precipitaciones pluviales que pueden tener en el lugar donde se encuentran ubicadas las plantas o vegetales.

- **Método de cultivo**

Hace énfasis al uso de fertilizantes, tipos de abonos, pesticidas u otros químicos los cuales pueden alterar las características fisicoquímicas de los vegetales o plantas en cuanto a sus hojas, tallos, flores, raíces, etc.

- **Época de recolección y parte de la planta**

En el momento de la recolección de la planta o vegetales ya sean tallos, flores, raíces u hojas se debe tomar en cuenta que la cosecha se debe realizar en épocas donde se observa mayores precipitaciones pluviales y donde el clima sea favorable a las mismas para su posterior desarrollo vegetativo ya que de esa manera se podrá obtener buenos rendimientos en el procesado de estas plantas o vegetales.

- **Modo de manejo y almacenamiento del material vegetal**

Se refiere al manejo y almacenado del material vegetal en seco, fresco, fermentado teniendo en cuenta los parámetros de almacenado, evitando alteraciones y daños fisicoquímicos, conservando sus propiedades al proceso de elaboración que serán sometidas.

- **Método de obtención del aceite**

Consiste en realizar un análisis detallado de los métodos (destilación, maceración, prensado, extracción con solventes, extracción con fluidos supercríticos) al que será sometido el material vegetal para su posterior procesamiento de extracción priorizando en la obtención un producto con una pureza de alta calidad y rendimiento de la misma.

- **Edad de la planta y estado fenológico**

Consiste en cómo afectan las variables meteorológicas a las manifestaciones periódicas o estacionales de las plantas o vegetales (floración, aparición de frutos y su maduración, caída de hojas) con el fin de que hay que tener en cuenta la edad de la planta para no tener problemas en el proceso de extracción u otros tipos de procesamientos ya que el objetivo final es de obtener productos de buena calidad y con un alto rendimiento de pureza.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Caracterización física y química de la materia prima: menta

En el presente trabajo de investigación se utiliza como materia prima la Menta común que crece en lugares húmedos y sombreados. Se realiza una identificación de las especies de la menta a través de una aplicación (PlantNet Identificación Planta, 2019).

Se identifica como nombre científico (*Mentha Longifolia L.*) recolectada y cosechada en la estación de primavera entre los meses de septiembre y octubre del año 2018 de la comunidad San Mateo.

Se realiza una comparación con otra variedad de menta (*Mentha aquatica L.*) recolectada y cosechada en la estación de verano en el mes de Enero del año 2019 de la comunidad el Rincón de la Victoria.

Existen muchos factores que influyen en la calidad del aceite; entre dichos factores figura:

1) **Factores ambientales.** (Intensidad de la luz, duración de los periodos de iluminación, temperatura); tienen una influencia decisiva en la composición y calidad de ciertos aceites esenciales, como el de *Mentha piperita L.*, porque determinan que la biosíntesis fundamental siga una vía u otra diferente.

En el Género *Mentha* la riqueza de estos componentes (mentona, mentol, acetato de mentilo) aumenta la calidad de esta esencia. Por el contrario, una intensidad de luz baja, temperaturas nocturnas altas, días cortos y temperaturas diurnas muy variables, favorecen el proceso, la formación de mentofurano, provocando la disminución de la calidad de la esencia (García et al., 1987).

2) **Condiciones geobotánicas del medio.** Clima, altitud, tipo de suelo, cantidad de lluvias, etc. La concentración del aceite esencial en las plantas es más elevada durante el tiempo cálido y ésta es la mejor época de recolección (Figueiredo et al., 2008).

- 3) **Edad de la planta y estado fenológico.** En muchas especies en las que la biosíntesis del aceite esencial y su acumulación tienen lugar principalmente en las hojas, la composición del aceite esencial varía con la edad de éstas; como ejemplo tenemos la *Mentha piperita*.

Las hojas apicales (las más jóvenes) dan un aceite formado principalmente por mentona; mientras que las hojas basales (las más viejas) están constituidas fundamentalmente por mentol y acetato de mentilo. Para una calidad satisfactoria de este aceite esencial se requieren concentraciones equilibradas de mentol, mentona y acetato de mentilo. El contenido de estos compuestos debe ser por lo menos 45% de mentol y 15-18% de mentona e isomentona, mientras que la cantidad indeseable de mentofurano debe ser inferior al 1,5% (Aflatuni, 2005). Por este motivo, el material vegetal destilado debe estar formado por una mezcla equilibrada de hojas jóvenes y adultas y, a ser posible, con una cantidad mínima de flores.

- 4) **Época de recolección y parte de la planta.** Los aceites esenciales se encuentran localizados en determinados órganos del vegetal: flores, tallos, hojas, frutos o raíces. En ocasiones las diferentes partes de la misma planta suministran esencias distintas en su composición. La cantidad y composición del aceite varía de una especie a otra, y dentro de los mismos géneros de la planta.

Cuando se tiene el objetivo de estudiar o mejorar especies para su cultivo es determinante considerar que la variación química de los aceites esenciales está causada por factores genéticos y fisiológicos. Por lo tanto, caracterizar e identificar quimiotipos es un requisito fundamental cuando se trabaja con material vegetal para estudios químicos, agronómicos o farmacológicos,

3.1.1. Descripción física de la materia prima

La Menta (*Mentha sp.*), son de disposición opuesta, simples y de forma oblonga a lanceolada, a menudo, tienen el margen dentado.

Figura 3-1: Materia prima – Hojas de menta



Fuente: Elaboración propia, 2018

Las características consideradas en la descripción física de las hojas son la forma, color, aroma, sabor y textura. Los procedimientos empleados y valores obtenidos se muestran a continuación.

- **Forma:** se realiza una inspección visual de las hojas y se determina su forma. Se observa que las hojas son sentadas, ovales, alargadas, dentadas y acabadas en punta.
- **Color:** por simple inspección visual se determina el color de las hojas es color verde.
- **Aroma:** se acerca un puñado de hojas a la nariz y se siente un olor no muy aromático más o menos agradable a menta.
- **Textura:** se agarra una hoja y mediante el contacto directo con la piel se determina su textura. La hoja es blanda y lisa.

Todos estos resultados se muestran resumidos en la tabla IV-1 del capítulo IV: Resultados y Discusión, donde se realiza la comparación con datos bibliográficos.

3.1.2. Caracterización química de la materia prima

Se realiza una caracterización química por perfil cromatográfico gaseoso mediante GC/MS para la identificación de su componente mayoritario de la materia prima (Menta), se realiza en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

Todos estos resultados se muestran resumidos en la tabla IV-2 del capítulo IV: Resultados y Discusión.

3.1.3. Determinación del porcentaje de humedad en las hojas de menta

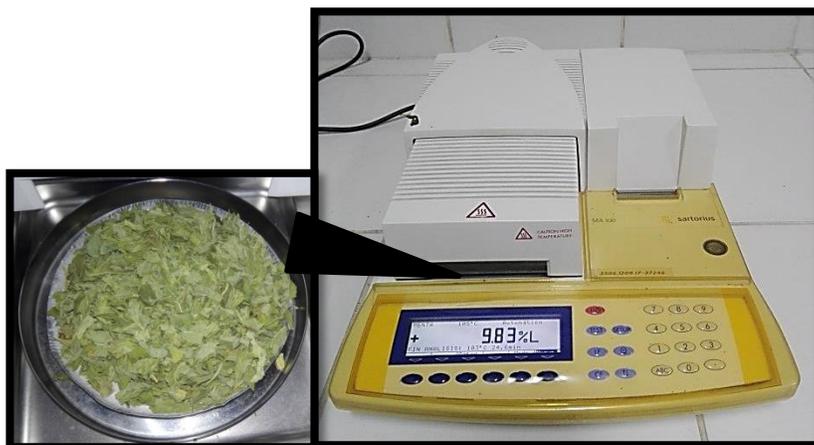
La determinación de humedad de la hoja de Menta se realiza en el equipo Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100; el cual se programa a una temperatura de 105°C para realizar el correspondiente secado.

El procedimiento de secado se detalla a continuación:

- Encendido del equipo de secado.
- Colocado del plato de aluminio y tarar.
- Pesar 5 gramos de hojas de Menta
- Iniciar el proceso de secado, anotar la variación de la humedad con el tiempo hasta que este sea constante.
- Registro del resultado final de porcentaje de humedad.

Al cabo de 21 min el peso se mantiene y la pérdida de peso no varía, siendo el resultado final 10,24 % de humedad en la muestra.

Figura 3-2: Secador infrarrojo SARTORIUS MA 100



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.2. Diseño factorial o experimental

El diseño experimental define el arreglo de los tratamientos sobre las unidades experimentales, de tal modo que se obtengan estimaciones de las opciones de interés para el investigador, con la mayor precisión posible.

Cuando se desea examinar el efecto simultáneo de varios factores, sobre una característica de estudio, se presenta el problema del diseño de tratamientos, o la experimentación factorial. Se experimentan dos tipos fundamentales de experimentos factoriales:

- **Factorial Completo**

Ensayas todas las combinaciones posibles de tratamientos que se generan con los distintos niveles de los factores de estudio

Dentro de estas factoriales, se distinguen las factoriales simétricas y los asimétricos; los primeros corresponden al mismo número de niveles de cada factor, los restantes ensayan números distintos de niveles de los factores de estudio.

- **Factorial Incompleto**

Ensayas algunas de las posibles combinaciones de tratamientos que pueden generarse

para el desarrollo del presente Trabajo de Investigación se plantea un diseño factorial de 2 niveles y 3 factores o variables (2^3) con sus respectivas réplicas.

3.2.1. Procedimientos y técnicas del diseño factorial

3.2.1.1 Diseño factorial a dos niveles 2^k

Estudia el efecto de la respuesta de “k” factores, cada uno en dos niveles, es por ello que se conocen como factoriales a dos niveles o 2^k , con frecuencia se califican a los niveles superior (+) e inferior (-).

El diseño factorial completo requiere que cada uno de los niveles de cada factor se dé en todos los niveles de todos los otros factores, lo que da un total de 2^k combinaciones de tratamientos. En base al proceso seleccionado para realizar la experimentación se eligen los siguientes parámetros o variables para la misma que se muestran en la tabla III-1.

Tabla III-1: Variables o parámetros de estudio

NIVEL	PARÁMETROS		
	Masa (g)	Tiempo de Extracción (minutos)	Tamaño de Partícula (cm)
Superior (+)	300	90	2
Inferior (-)	100	60	1

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tomando estos datos como punto de partida se realiza un diseño factorial de 2^3 (dos niveles, tres variables)

Nº de variables = 3

Niveles = 2

Nº de Experimentos = $2^3 = 8$

Nº de Experimentos = 8

Como se realizarán 2 repeticiones entonces:

N° de Experimentos = $8 * 2 = 16$

3.2.1.2 Diseño factorial para el proceso de extracción de aceite esencial de menta

En la tabla III-2 se muestra el diseño factorial y los datos para el proceso de extracción de aceite esencial de menta.

Tabla III-2: Diseño factorial para el proceso de extracción de aceite esencial de menta

PRUEBA	Masa (g)	Tiempo de Extracción (minutos)	Tamaño de Partícula (mm)	VARIABLE RESPUESTA
				VOLUMEN DEL AE (ml)
1	-1	-1	-1	
2	+1	-1	-1	
3	-1	+1	-1	
4	+1	+1	-1	
5	-1	-1	+1	
6	+1	-1	+1	
7	-1	+1	+1	
8	+1	+1	+1	

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.2.1.3. Datos del diseño factorial del proceso de extracción de menta

Tabla III-3: Datos del diseño factorial

PRUEBA	Masa (g)	Tiempo de Extracción (minutos)	Tamaño de Partícula (cm)	VARIABLE RESPUESTA
				VOLUMEN DEL AE(ml)
1	100	60	1	
2	300	60	1	
3	100	90	1	
4	300	90	1	
5	100	60	2	
6	300	60	2	
7	100	90	2	
8	300	90	2	

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.3. Pruebas preliminares

Para verificar el buen funcionamiento del equipo y observar el rendimiento del aceite esencial de menta que se obtiene, se realizan pruebas preliminares:

- **Prueba de funcionamiento:** Se carga el equipo de destilación con 4 litros de agua y se hace funcionar hasta obtener vapor condensado. Se pudo observar que el equipo no presenta fugas y funciona correctamente.
- **Prueba 1:** Se realiza pruebas con la materia prima en estado fresco y seco solo de hojas. En estado fresco se obtiene un volumen de aceite de 0,3 ml aproximadamente, en estado seco se obtiene un volumen considerado de aceite de 0,6-1 ml. Ambas se trabajan con una masa de 300 gramos y un tiempo de destilación de 90 minutos con un volumen de agua de 4 litros.
- **Prueba 2:** Se carga el equipo con un volumen de 4 litros de agua y una masa de 300 gramos de tallos; con un tiempo de 90 minutos y el resultado fue que se obtuvo 0,1 ml de aceite esencial.

Para las posteriores pruebas se determina el tamaño de partícula y el tiempo de extracción con una masa de 300 gramos para obtener un mejor rendimiento en la extracción de aceite esencial.

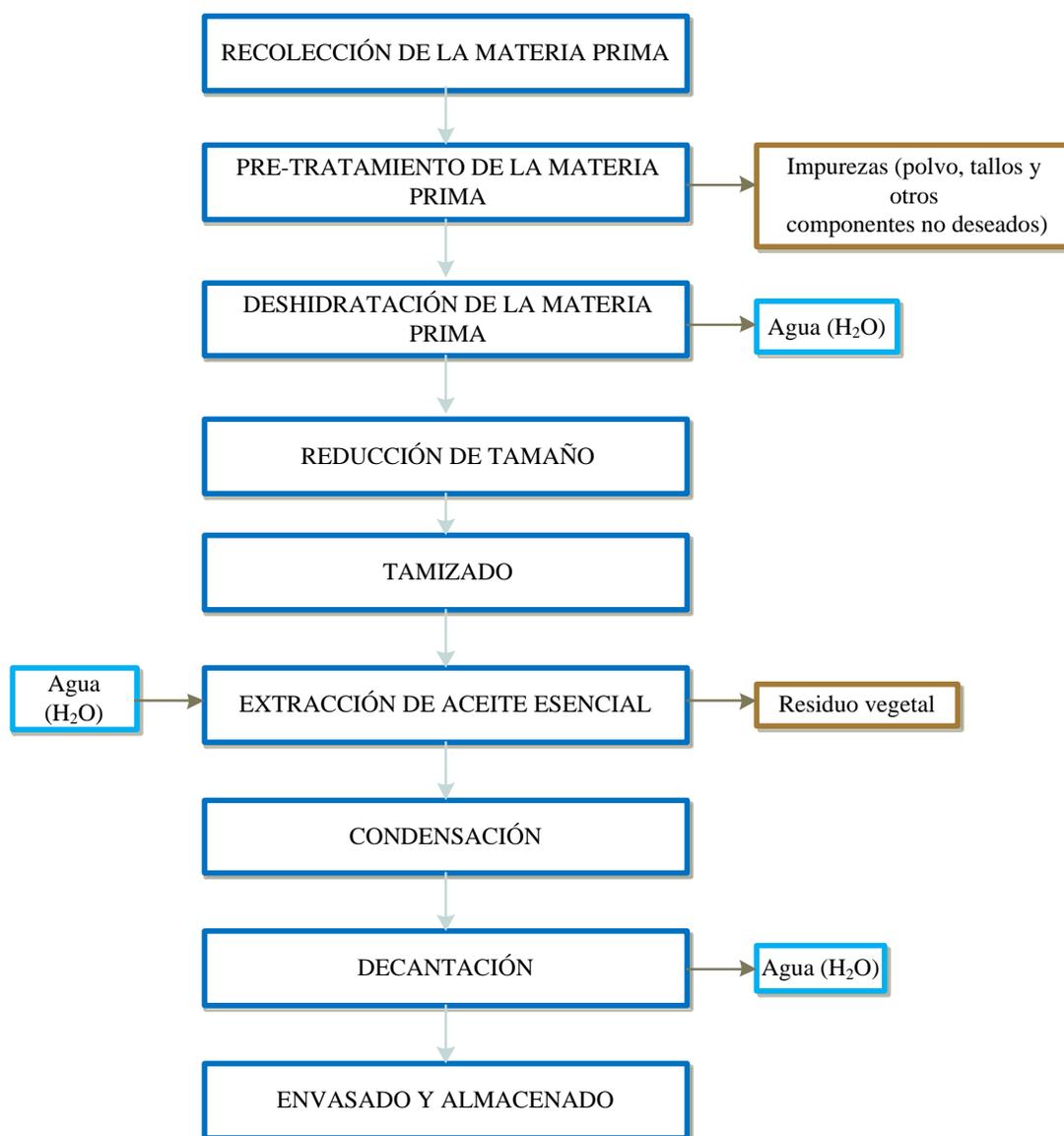
- **Prueba 3:** Se carga el equipo con un volumen de 4 litros de agua y una masa de 300 gramos de hojas; con un tiempo de 90 minutos y con un tamaño de partícula de 2 cm y el resultado fue que se obtuvo 0,4-0,6 ml de aceite esencial.
- **Prueba 4:** Se carga el equipo con un volumen de 4 litros de agua y una masa de 300 gramos; con un tiempo de 90 minutos y con un tamaño de partícula de 1cm y el resultado fue que se obtuvo 0,8-1,2 ml de aceite esencial.

Se concluye trabajar solo con hojas y no con tallos por lo que los tallos contienen una mínima cantidad de aceite esencial y la materia vegetal en estado seco (deshidratado) por el mayor rendimiento que se obtiene.

3.4. Descripción del proceso tecnológico experimental de extracción de aceite esencial de menta

El proceso de extracción de aceite esencial de Menta empleado para el presente trabajo se representa en el diagrama de bloques de la figura 3-3.

Figura 3-3: Diagrama de bloques en el proceso de extracción



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.1. Recolección de la materia prima

Se recolecta la materia prima de la comunidad San Mateo que se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas $64^{\circ}44'47.8''$ de Longitud Oeste y $21^{\circ}28'07.0''$ de Latitud Sur, la comunidad El Rincón de la Victoria localizada entre las coordenadas geográficas $64^{\circ}46'53.3''$ de Longitud Oeste y $21^{\circ}30'43.7''$ de Latitud Sur. (Ver mapa de localización).

Tabla III-4: Coordenadas de Localización

Comunidades	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	X	Y	Latitud Sur	Longitud Oeste
San Mateo	319028,7	7624978,7	$21^{\circ}28'07.0''$	$64^{\circ}44'47.8''$
Rincón de la Victoria	315469,5	7620120,2	$21^{\circ}30'43.7''$	$64^{\circ}46'53.3''$

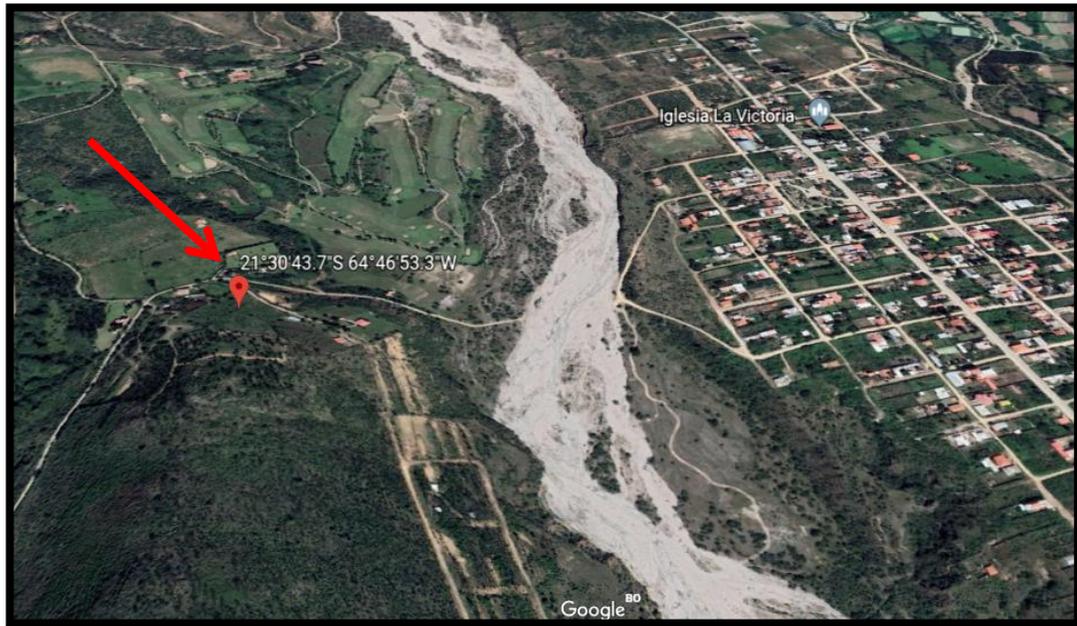
Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 3-4: Mapa de localización de la menta de la comunidad de San Mateo



Fuente: Google earth, 2018

Figura 3-5: Mapa de localización de la menta de la comunidad el Rincón de la Victoria



Fuente: Google earth, 2019

Figura 3-6: Recolección de la Menta



Fuente: Elaboración propia, 2018

Luego de su recolección es trasladado al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UAJMS (Cercado-Tarija), donde se realiza la recepción de la materia prima, verificando el buen estado (frescas) y que la misma no presente alteraciones ni daños físicos con el fin de obtener un producto de buena calidad.

Posteriormente se realiza la caracterización y la extracción del aceite esencial.

3.4.2. Pre-tratamiento de la materia prima

La limpieza de las especias vegetales consiste en separar materiales extraños como tierra, raíces, tallos y otros componentes no deseados que impidan o alteren la extracción del aceite esencial.

En la figura 3-7 se presenta la materia vegetal limpia y tratada.

Figura 3-7: Materia vegetal limpia y tratada



Fuente: Elaboración propia, 2018



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.3. Deshidratación de la materia vegetal

En caso de material fresco, es necesario realizar el deshidratado de la materia prima a temperatura ambiente previo hasta alcanzar un porcentaje de humedad óptimo; 8,12%-12,5% según bibliografía, con el objeto de obtener un mayor rendimiento en la extracción.

Después de la deshidratación de la materia vegetal, se procede a separar los tallos de las hojas, ya que se realizó la extracción del aceite esencial solo de hojas debido a las pruebas preliminares el tallo contiene solo 0,1ml; lo cual se descarta.

En la figura 3-8 se presenta la materia vegetal seca y separada de los tallos para su respectiva extracción.

Figura 3-8: Materia vegetal deshidratada



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.4 Reducción de tamaño

Para asegurar una mayor superficie de contacto y exposición de las glándulas de aceite, se procede a reducir la materia prima de (1 cm; 2cm), con ayuda de tijeras.

En la figura 3-9 se presenta la reducción de tamaño de la materia vegetal.

Figura 3-9: Reducción de tamaño de la Menta



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.5. Tamizado

Una vez realizada la reducción se procede al tamizado con el objetivo de separar el tamaño de partícula a usar en el experimento de las demás partículas que no son requeridas y están presentes.

El proceso se realiza de la siguiente manera:

- Pesar 100 gramos de materia prima.
- Cargar la materia prima pesada en el tamiz de madera de mayor tamaño de abertura de la malla y se trata la muestra en la zaranda durante 5 min.
- Pasado el tiempo indicado se selecciona el tamiz que contenga la partícula del tamaño requerido de 1 cm y 2 cm.
- Pesar en una bandeja la materia prima del tamaño requerido.
- Realizar el tamizado hasta completar la cantidad requerida de materia prima.

En la figura 3-10 se presenta el tamiz de madera con malla fina diámetro de 2x2cm y 1x1cm.

Figura 3-10: Tamiz de madera



Fuente: Elaboración propia, 2018

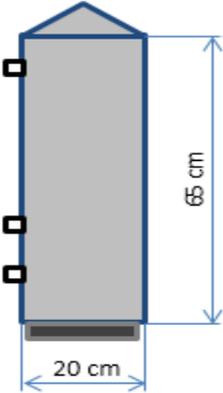
3.4.6. Extracción del aceite esencial

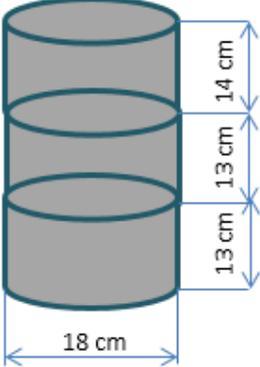
La extracción del aceite esencial de la materia vegetal se realiza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química. El método que se utiliza es del arrastre por vapor de agua o también llamado agua-vapor (torre de destilación).

Para la extracción del aceite esencial se realizan varias pruebas donde se presentan el volumen obtenido de aceite como factor respuesta, dependiendo de la masa, tiempo de extracción y tamaño de partícula en el proceso.

En la etapa de la extracción del aceite esencial se hace uso de los siguientes equipos:

Tabla III-5: Equipos utilizados

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
<p data-bbox="418 646 714 682">Equipo de destilación</p>  <p data-bbox="306 1392 824 1428">Dimensiones del equipo de destilación</p> 	<p data-bbox="857 667 1393 1354">Es el recipiente donde se carga el material vegetal que se destila por arrastre de vapor de agua, también es denominado extractor, torre de destilación o alambique, generalmente es de forma cilíndrica y es instalado de forma vertical. El equipo es utilizado en la presente investigación, perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química. El equipo es construido de acero inoxidable recubierto de un aislante (fibra de vidrio).</p> <p data-bbox="857 1381 1393 1854">La temperatura de operación del agua es de 92°C (temperatura de ebullición promedio del agua en Tarija en función a los días trabajados), es la temperatura a la cual empieza la extracción del aceite esencial de Menta siendo la temperatura constante. Esta es la temperatura en el interior de la cámara de extracción. La presión de trabajo durante el proceso de</p>

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
<p data-bbox="321 359 808 390">Canastillos del equipo de destilación</p> 	<p data-bbox="857 289 1393 426">extracción es de 0,94 atm que es la presión atmosférica promedio de Tarija, en función a los días trabajados.</p> <p data-bbox="857 453 1393 590">Cuenta con tres canastillos internos de acero inoxidable para el acopio de la materia prima.</p> <p data-bbox="857 617 1393 701">Dimensiones de los tres canastillos del equipo de destilación</p> 
<p data-bbox="435 1171 695 1203">Cocinilla y garrafa</p> 	<p data-bbox="857 1171 1393 1751">Se emplea una cocinilla de dos hornallas que es conectada a una garrafa (GLP), también puede ser usada con gas natural, este equipo suministra el calor requerido para que el agua alcance su punto de ebullición (p.e.). Realizando pruebas del equipo se observó que la presión de gas que llega al LOU es muy baja, por lo que se vio conveniente utilizar una garrafa para obtener una llama más potente y así obtener un mejor flujo de vapor.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.6.1. Análisis y selección de las variables y los parámetros de diseño de operación y control del proceso de extracción de aceite esencial de menta

De acuerdo a los factores o variables que influyen en el proceso de extracción de aceite esencial, las variables con las cuales se trabaja en la Investigación a escala laboratorio haciendo uso del equipo de destilación por arrastre de vapor de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) son:

- **Masa (g):** La cantidad de masa influye en la transferencia de calor del vapor hacia la materia vegetal; por lo tanto, el desprendimiento de los aceites esenciales.
- **Tiempo de Extracción (min):** El tiempo de extracción es importante en el proceso con el objeto de obtener un mayor rendimiento del producto; la cual dependerá de la cantidad de masa.
- **Tamaño de partícula (cm):** El vapor ejerce su acción extractora en el mayor número posible de partículas. Por ello se toma en cuenta el tamaño de partícula, por cuanto más pequeño es su tamaño, mayor es la superficie expuesta y habrá más contacto vapor-líquido aumentando la extracción del aceite.

3.4.6.2. Proceso de destilación

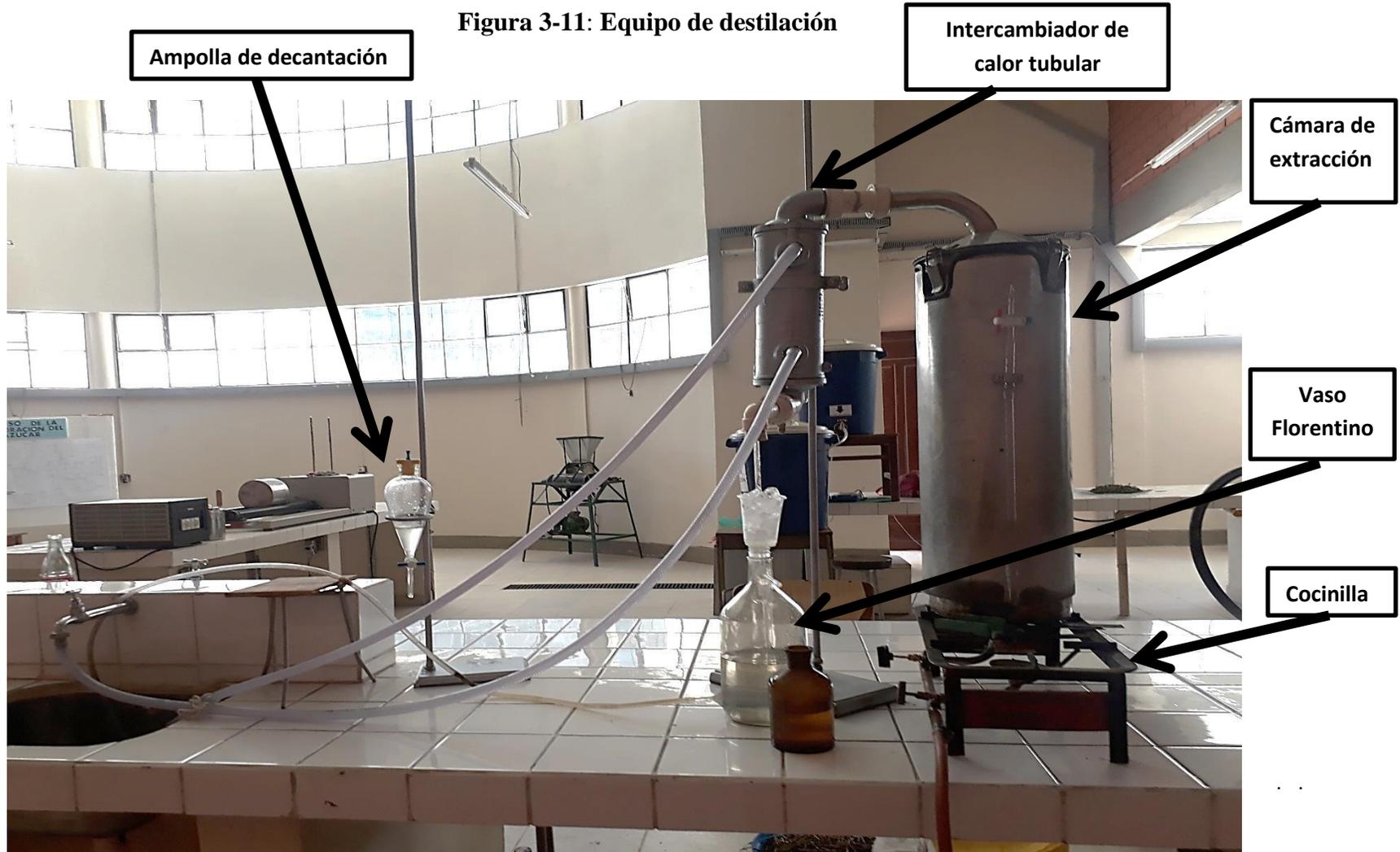
Fijadas las variables y condiciones de operación del equipo, se inicia la destilación. El procedimiento es el siguiente:

- Armar el equipo de destilación como se muestra en la figura 3-9.
- Llenar la cámara con 4 litros de agua.
- Pesar los tres canastillos vacíos registrando los resultados.
- En cada canastillo cargar 100 g. de hojas de menta seleccionadas según el tamaño requerido.
- Introducir los canastillos cargados en la cámara de extracción y cerrar la tapa.

- Encender la hornilla al nivel de potencia medio para iniciar el calentamiento del agua dentro de la cámara de extracción, registrando la hora de encendido. Controlar el aumento de la temperatura del agua inicial con el termómetro y registrar la hora cuando llega al punto de ebullición, que significa el fin de la etapa de acondicionamiento y el inicio de la etapa de extracción.
- Durante la etapa de extracción el vapor asciende por la cámara pasando a través de las hojas de menta y arrastra el aceite esencial.

El equipo de destilación se muestra en la siguiente figura 3-11.

Figura 3-11: Equipo de destilación



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.7. Condensación

Una vez que comienza la ebullición del agua dentro de la torre comienza la etapa de extracción, la mezcla de vapores de agua y el aceite esencial salen de la torre a temperaturas de 92°C-94°C. Para la condensación se hace uso del intercambiador de calor tubular de carcasa de Aluminio fundido/Bronce y para el flujo de agua y tubos de Cobre-Níquel para el condensado del aceite esencial (Ver anexo A).

En la tabla III-6: se presenta el equipo el intercambiador de calor tubular,

Tabla III-6: Intercambiador de Calor tubular

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">Intercambiador de calor tubular</p> 	<p>El fluido de enfriamiento del Intercambiador es agua por lo que se conecta por medio de mangueras de plástico a la pileta de agua.</p> <p>La mezcla de vapor de agua y aceite esencial hace un intercambio de calor con el metal frío de la corriente fría cambiando la fase de vapor a fase líquida.</p>

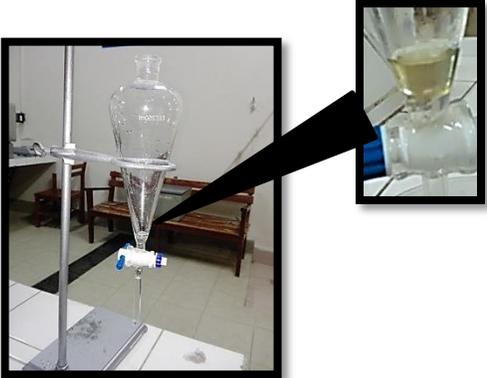
Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.8. Decantación

La mezcla condensada que sale del sistema de condensación es recolecta en un vaso florentino y posteriormente en una ampolla de separación debido a la diferencia de densidades ya que el aceite esencial es inmisible con el agua, la mezcla se va separando en dos fases, el aceite forma la capa superior y el agua la inferior.

En la tabla III-7 se presenta la etapa de decantación en un recipiente florentino y una ampolla de separación.

Tabla III-7: Ampolla de decantación

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">Vaso Florentino</p> 	<p>Recipiente de vidrio de 2 L. (vaso florentino) que se utilizó para recibir el hidrolato donde no se mezcla el agua con el aceite. Durante la extracción se va separando el aceite del agua, finalmente se recoge el aceite y posteriormente se pasa a la ampolla de separación para su completa decantación.</p>
<p style="text-align: center;">Ampolla de decantación o separación</p> 	<p>El aceite esencial obtenido se extrae de la ampolla de decantación de vidrio de 250 ml, midiendo su volumen para calcular el rendimiento.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4.9. Envasado y almacenado

El aceite esencial obtenido es muy volátil, sensible a la luz, al aire y al calor, al igual que los demás aceites esenciales, por lo que para su envasado se usa un frasco de vidrio oscuro color ámbar, y una tapa hermética a rosca, almacenándola en lugar fresco y oscuro.

En la figura 3-12 se presenta el envasado del aceite esencial de menta obtenido.

Figura 3-12: Envasado del aceite esencial de menta



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.5. Caracterización del tipo y calidad del producto obtenido: aceite esencial de menta (*mentha sp.*)

Los análisis de caracterización y controles de calidad que se realiza al producto obtenido son el organoléptico, las propiedades físicas y el perfil cromatográfico las cuales se detallan en el Capítulo IV del presente trabajo. A continuación se detallan la metodología para la obtención de los resultados.

3.5.1. Características organolépticas del aceite esencial de menta

Entre las características organolépticas a evaluar el producto obtenido son:

- **Color:** Por simple observación se registra el color del aceite, el cual es amarillo.
- **Olor:** Se acerca el frasco que contiene el aceite a la nariz para percibir el olor, este es un olor no muy aromático parecido a menta.
- **Sabor:** Se saca del frasco unas gotas de aceite con la ayuda de una varilla de vidrio y se toca levemente con un dedo para luego acercar a la punta de la lengua. El sabor que se percibe es astringente.
- **Aspecto:** En una probeta se observa el aspecto, el cual es líquido, límpido.

En el capítulo IV correspondiente a Resultados y Discusión se comparan estos resultados con los datos de bibliografía sobre aceite obtenido en otros lugares

3.5.2. Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de menta

Las propiedades fisicoquímicas a determinar el aceite esencial de Menta son la densidad, el índice de refracción y el perfil cromatográfico cualitativo.

3.5.2.1. Determinación de la densidad

La densidad del aceite esencial de Menta se determina en el Laboratorio de Operaciones Unitarias perteneciente a la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; para lo cual se detalla el procedimiento:

- Pesar la probeta vacía de 5 ml en una balanza analítica
- Medir el volumen de aceite esencial (5 ml)

- Pesar la probeta más el aceite esencial
- Calcular la densidad del aceite esencial usando la siguiente relación de masa y volumen:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

3.5.2.2. Determinación del índice de refracción

El índice de refracción es la relación de los senos de los ángulos de incidencia y refracción, el cual se expresa con un valor numérico. Para la determinación de esta propiedad física se utiliza un refractómetro tipo ABBE perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU).

El procedimiento es el siguiente:

- Limpiar el prisma del equipo con agua destilada.
- Colocar unas gotas de agua destilada en el prisma y calibrar el equipo.
- Una vez calibrado, secar el agua y colocar gotas de aceite para realizar la medición.
- Realizar tres mediciones y el resultado final es el promedio de las mismas.

3.5.2.3. Perfil cromatográfico

Los análisis de GC/MS se realizan en el CEANID con el fin de conocer cualitativamente los principales componentes del aceite esencial de menta obtenido en Tarija.

En el anexo F, G se presenta la ficha de análisis GC/MS y el informe con los resultados de composición del aceite de menta de Tarija,

Se reporta en el perfil cromatografico de la (*mentha longifolia* L.) de la comunidad de San Mateo 8 componentes mayoritarios: β -Pinene (prob. 56.6%), β -Myrcene (prob. 43.4%), D-Limonene, Eucalyptol, 1R- α -Pinene, Pulegone, Carvol, Isomero de Caryophyllene y Muurolene.

Se realiza una extracción con una variedad de especie de menta (*Mentha aquatica* L.) de la comunidad el Rincón de la Victoria en el cual se reportan 5 componentes mayoritarios: D-Limonene, Eucalyptol, Isomenthone, Menthone, Isomenthone, D-Menthone, Menthol.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la materia prima

4.1.1. Características de la materia prima

En la tabla IV-1 se presenta los resultados de la caracterización física de la hoja de menta de Tarija, comparando con datos bibliografía de Ecuador.

Tabla IV-1: Características de la materia prima menta

CARACTERÍSTICA FÍSICA	TARIJA (San Mateo) DESCRIPCIÓN	TARIJA (La Victoria) DESCRIPCIÓN	ECUADOR DESCRIPCIÓN
Forma	Sentadas, ovales, alargada, lanceolada	Ovado, lanceolado	Peciolada, lanceolada
Color	Verde	Verde	Verde-Claro
Aroma	Olor no muy aromático	Característico, olor a mentol	Fuerte-característico
Textura	Blanda, lisa	Suave, venada	Blanda

Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se puede observar en la tabla IV-1 tanto la forma, color y textura coincide con los datos del Ecuador ya que son del mismo género pero diferente especie ya que el aroma de la menta longifolia de San Mateo no es muy aromático. Esto se asimila que uno de los factores que influye en la calidad del aceite esencial es la especie de la menta que es utilizada.

En la tabla IV-2 se presenta la caracterización química de la menta recolectada en la Comunidad San Mateo (*Mentha Longifolia L.*) y (*Mentha aquatica L.*) recolectada en la comunidad el Rincón de la Victoria, presentado al laboratorio CEANID.

Tabla IV-2: Resultados del perfil cromatográfico de la materia prima

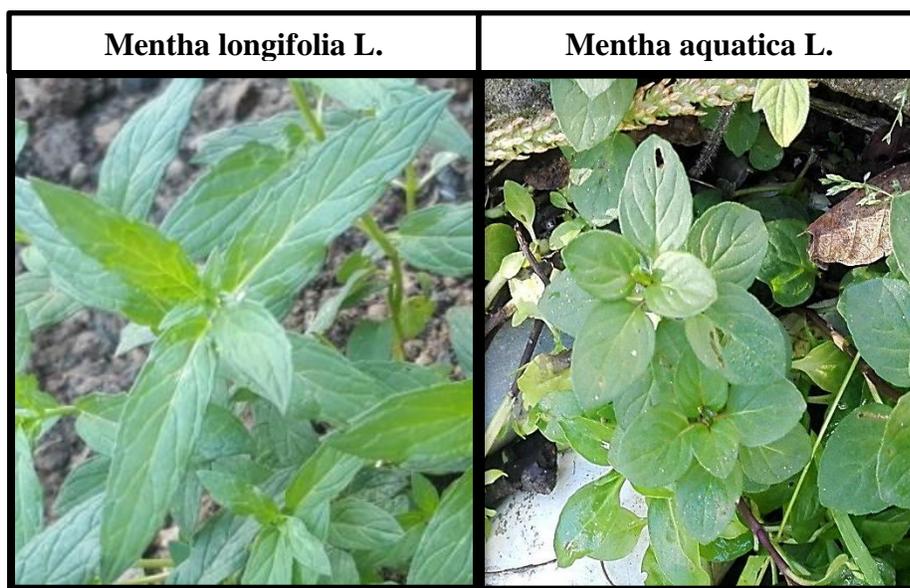
ESPECIE	COMPUESTO	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	ABUNDANCIA (%)
<i>Mentha longifolia L.</i>	Pulegone	22,20	76,00
<i>Mentha aquatica L.</i>	Menthol	19,81	47,79

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2019

En la tabla IV-2 se identifica el componente mayoritario y demás componentes (**Ver anexo C**), de ambas especies de diferentes lugares. El perfil cromatográfico fue realizado por el CEANID mediante extracción con solventes orgánicos e identificando los componentes principales que se asemejan a los resultados de la extracción por arrastre de vapor que se realizó en LOU.

En la figura 4-1 se observa dos especies del género menta del Departamento de Tarija de diferentes comunidades (*Mentha longifolia* L.) de San Mateo y (*Mentha aquatica* L.) del Rincón de la Victoria. Identificando las especies con la Aplicación PlantNet Identificación Planta.

Figura 4-1: Hoja de menta



Fuente: Elaboración propia, 2019

4.1.2. Determinación de la humedad de la materia prima

Se determina la humedad de la materia prima en estado fresco (recién recolectada) y la misma en estado seco (secado al ambiente).

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{m_i - m_{ss}}{m_i} * 100 \quad \text{Ec. (4-1)}$$

Donde:

ss = Sólido seco

mi = Masa inicial

Por ejemplo:

Para el secado natural a temperatura ambiente, se tiene:

SS = 2,01 g

m_i = 10,02g

$$\text{Humedad} = \frac{10.02 - 2.01}{10.02} * 100 = 79,94\%$$

Este cálculo de porcentaje de humedad nos indica cuanto de humedad contenía la muestra al momento de iniciar el secado y la humedad que tiene al final del mismo.

4.1.2.1. Secado de la materia prima (Secado natural)

Para determinar la humedad de la materia prima secada de forma natural, se dejó secar bajo temperatura ambiente. El lote a analizar tenía una masa inicial de 10,02 g, teniendo en cuenta los siguientes datos:

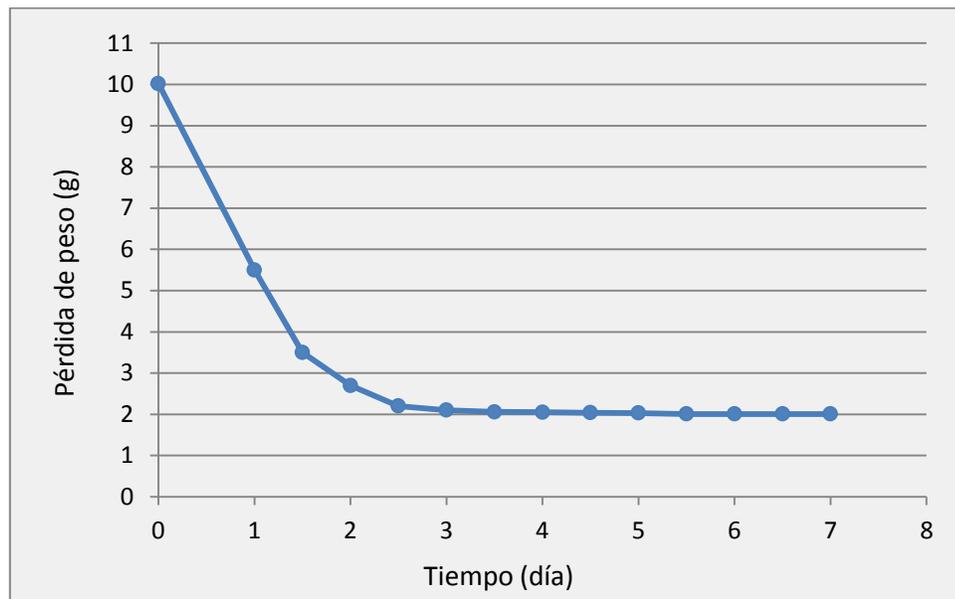
Tabla IV-3: Datos de la pérdida de peso respecto a tiempo

Tiempo (día)	Pérdida de peso (g)	Humedad (%)
0	10,02	79,94
1	5,50	63,45
1,5	3,50	42,57
2	2,70	25,56
2,5	2,20	8,64
3	2,10	4,29
3,5	2,06	2,43
4	2,05	1,95
4,5	2,04	1,47
5	2,03	0,99
5,5	2,01	0,00
6	2,01	0,00
6,5	2,01	0,00
7	2,01	0,00

Fuente: Elaboración propia, 2018

Utilizando la ecuación 4-1 se determina el porcentaje de humedad que entra con 79,94% de humedad y según van pasando los días va disminuyendo su porcentaje hasta que es constante

A continuación, tenemos la curva de secado natural:

Gráfico 4-1: Pérdida de peso Vs tiempo de secado (natural)

Fuente: Elaboración propia, 2018

En el gráfico 4-1 se puede apreciar que la mayor pérdida de humedad se realiza en el primer día y a partir del quinto día y medio la pérdida de peso disminuye linealmente con el tiempo de secado formando una sola pendiente recta donde la velocidad de secado permanece constante.

4.1.2.2. Determinación de la cinética de secado

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en una unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ($-dX/dt$) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperaturas, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

$$X_s = \frac{m_i - SS}{SS} \quad \text{Ec. (4-2)}$$

Dónde:

X_s = Humedad en base seca, (kg H₂O/kg sólido seco).

m_i = Cantidad de masa, (kg).

SS = Cantidad de sólido seco, (kg).

Con los datos de la tabla IV-3 se reemplazan las ecuaciones, (4-4), (4-5) y (4-6), para hallar los cálculos de la cinética de secado con el método de los tres puntos, con un intervalo de tiempo, el mismo que sirve para encontrar la pendiente en cada uno de los puntos observados, por lo que para determinar la cinética de secado se plantea la ecuación:

$$-\frac{dX}{dt} = k X^n \quad \text{Ec. (4-3)}$$

Dónde:

k = Constante para la cinética

n = Número de orden de la cinética

h = Intervalo de tiempo, h

y_0, y_1, y_2 = datos tomados de las tablas.

$h = 0.5$ día

$$y_0 = \frac{-3y_0 + 4y_1 - y_2}{2h} \quad \text{Ec. (4-4)}$$

$$y_1 = \frac{-y_0 + y_2}{2h} \quad \text{Ec. (4-5)}$$

$$y_2 = \frac{y_0 - 4y_1 + 3y_2}{2h} \quad \text{Ec. (4-6)}$$

Posteriormente las pendientes deben correlacionarse con la variación de la humedad, linealizando la ecuación potencial planteada, de la siguiente forma:

$$\ln -\frac{dX}{dt} = \ln k + n \ln X$$

$$y = a + bX \quad \text{Ec. (4-7)}$$

Dónde:

$$n = b \quad K = e^a$$

De donde se obtienen los datos de K y el orden n de la ecuación cinética.

Reemplazando los datos tenemos:

$$y = -0,31 + 0,814X$$

$$a = -0,31$$

$$b = 0,814$$

$$r = 0,98$$

$$\text{Dónde: } n = b = 0,814$$

$$k = e^a = e^{-0,31} = 0,741$$

Se realizó solo los cálculos para hallar la cinética de secado, lo demás cálculos que se realizaron se encuentran en el anexo H.

Se reemplaza los datos en la ecuación cinética 4-3:



Reemplazando los valores en X en la ecuación de cinética se confirma los valores de velocidad de secado.

4.1.2.3. Determinación de humedad de la menta en estado fresco

En la tabla IV-4 se presenta los datos de la pérdida de peso y el porcentaje de humedad evaporada de la materia prima en estado fresco (recién recolectada), realizado en el equipo Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100.

Tabla IV-4: Datos de la pérdida de peso y humedad evaporada

Tiempo (min)	Pérdida de peso (g)	Humedad (%)
0	5,035	81,331
2	4,486	79,046
4	4,009	76,553
6	3,539	73,439
8	3,068	69,361
10	2,633	64,299
12	2,210	57,466

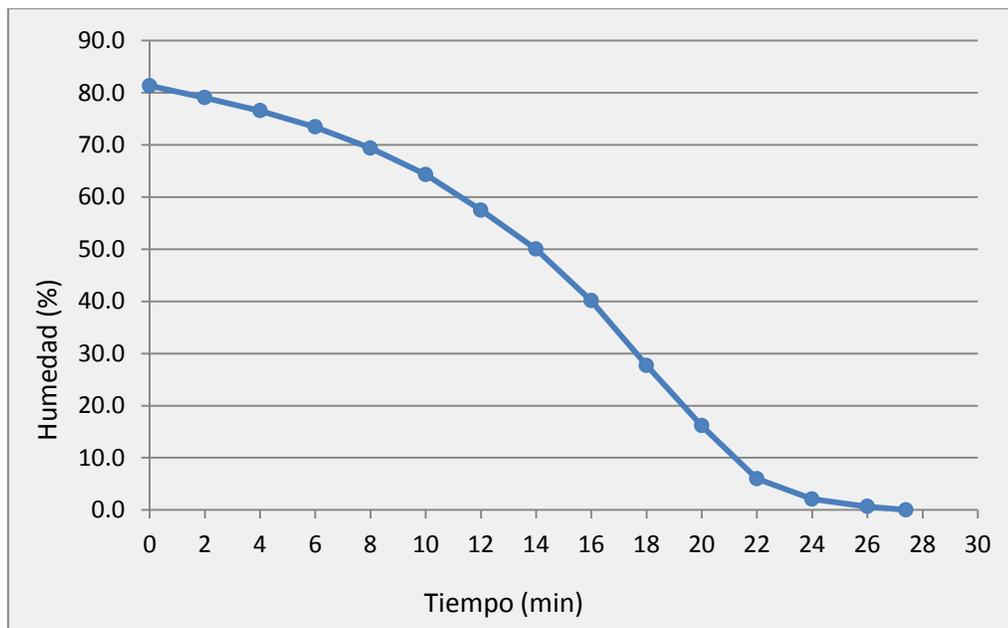
Tiempo (min)	Pérdida de peso (g)	Humedad (%)
14	1,880	50,000
16	1,570	40,127
18	1,300	27,692
20	1,121	16,146
22	1,000	6,000
24	0,960	2,083
26	0,946	0,634
27	0,940	0,000
27,4	0,940	0,000

Fuente: Elaboración propia, 2018

Utilizando la ecuación 4-1 se determina el porcentaje de humedad que inicia con 81,33%, la pérdida de peso ya no se incrementa a partir de los 27 min llegando a su porcentaje constante.

En el gráfico 4-2 se presenta la curva del porcentaje de humedad evaporada con respecto al tiempo de secado con los datos de la tabla IV-4.

Gráfico 4-2: Porcentaje de Humedad Vs tiempo de secado



Fuente: Elaboración propia, 2018

En el gráfico 4-2 se observa que la humedad de la muestra va disminuyendo conforme se va secando el sólido hasta alcanzar un equilibrio donde ya no puede perder más humedad de la que contiene la muestra; esta es la humedad de equilibrio. Para determinar la ecuación cinética se reemplaza los datos que fueron obtenidos de la tabla IV-4 y las tablas, cálculos que se encuentran en el anexo H.

Tenemos:

$$y = -1,866 + 0,60X$$

$$a = -1,866$$

$$b = 0,60$$

$$r = 0,98$$

$$\text{Dónde: } n = b = 0,60$$

$$k = e^a = e^{-1,866} = 0,154$$

Se realizó solo los cálculos para hallar la cinética de secado, lo demás cálculos que se realizaron se encuentran en el anexo H.

Se reemplaza los datos en la ecuación cinética 4-3:



Reemplazando los valores en X en la ecuación de cinética se confirma los valores de velocidad de secado.

4.1.2.4. Determinación de humedad de la menta en estado seco

En la tabla IV-5 se presenta los datos de la pérdida de peso y el porcentaje de humedad evaporada de la materia prima en estado seco (deshidratado a temperatura ambiente), realizado en el equipo Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100.

Tabla IV-5: Datos de pérdida de peso y humedad evaporada

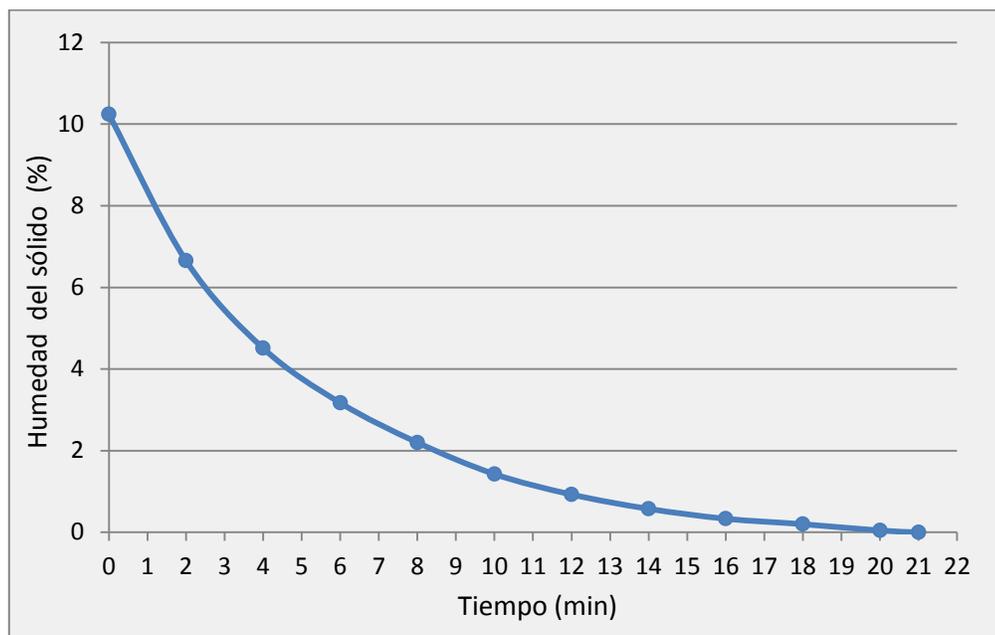
Tiempo (min)	Pérdida de peso (g)	Humedad (%)
0	5,000	10,240
2	4,808	6,656
4	4,700	4,511
6	4,635	3,172
8	4,589	2,201
10	4,553	1,428
12	4,530	0,927
14	4,514	0,576
16	4,503	0,333
18	4,497	0,200
20	4,490	0,045
21	4,488	0,000

Fuente: Elaboración propia, 2018

Utilizando la ecuación 4-1 se determina el porcentaje de humedad que inicia con 10,24%, la pérdida de peso ya no se incrementa a partir de los 21 min llegando a su porcentaje constante.

En el gráfico 4-3 se presenta el porcentaje de humedad evaporada con respecto al tiempo de secado con los datos de la tabla IV- 5.

Gráfico 4-3: Porcentaje de humedad Vs tiempo de secado



Fuente: Elaboración propia, 2018

En el gráfico 4-3 se observa que la humedad de la muestra va disminuyendo conforme se va secando el sólido hasta alcanzar un equilibrio donde ya no puede perder más humedad de la que contiene la muestra; esta es la humedad de equilibrio.

Para determinar la ecuación cinética se reemplaza los datos que fueron obtenidos de tabla IV-5 y las tablas, cálculos que se encuentran en el anexo H.

Reemplazando en la ecuación 4-7 tenemos:

$$y = -1,276 + 0,735X$$

$$a = -1,276$$

$$b = 0,735$$

$$r = 0,98$$

Dónde:

$$n = b = 0,735$$

$$k = e^a = e^{-1,276} = 0,278$$

Se realizó solo los cálculos para hallar la cinética de secado, los demás cálculos que se realizaron se encuentran en el anexo H.

Se reemplaza los datos en la ecuación cinética 4-3:

Reemplazando los valores en X en la ecuación de cinética se confirma los valores de velocidad de secado.

En la tabla IV-6 se presenta los resultados de los porcentajes de humedad y el tiempo que se llevó a cabo.

Tabla IV-6: Resultados de Porcentajes de humedad

VEGETAL	PORCENTAJE (%)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	MÉTODO O EQUIPO
ESTADO NATURAL	79,94	79200	18-22	Secado a temperatura ambiente
ESTADO FRESCO	81,33	27	105	Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100
ESTADO SECO	10,24	21	105	Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla IV-6 se observa los resultados por ambos métodos la humedad son casi los mismos, el porcentaje de humedad en el equipo infrarrojo es 81,33% a una temperatura de 105°C y el de secado natural a temperatura ambiente de 22°C es de 79,94%. El método de secado que se utilizó para la parte experimental del aceite esencial de menta es el de secado natural a temperatura ambiente, el cual consiste en la pérdida de peso hasta un peso constante, como se observa en la tabla IV-5 que

llegó a un valor de 10,24%. Con pocas excepciones, el contenido de agua en los vegetales debe variar entre 8y14%. (Osorio E.J., 2009)

4.2. Resultados obtenidos en la fase experimental

El diseño factorial realizado ayuda a encontrar las variables más significativas para llevar a cabo el proceso de extracción y el tratamiento que da mejores resultados.

Para el diseño realizado se toma como rendimiento el volumen obtenido como la variable respuesta de cada combinación (masa, tiempo, tamaño).

En la tabla IV-7 se presenta los resultados de las variables del proceso de extracción, tomando en cuenta como variable respuesta el volumen obtenido.

Tabla IV-7: Resultados experimentales obtenidos en base al diseño factorial vs resultados del modelo aplicado en el programa spss

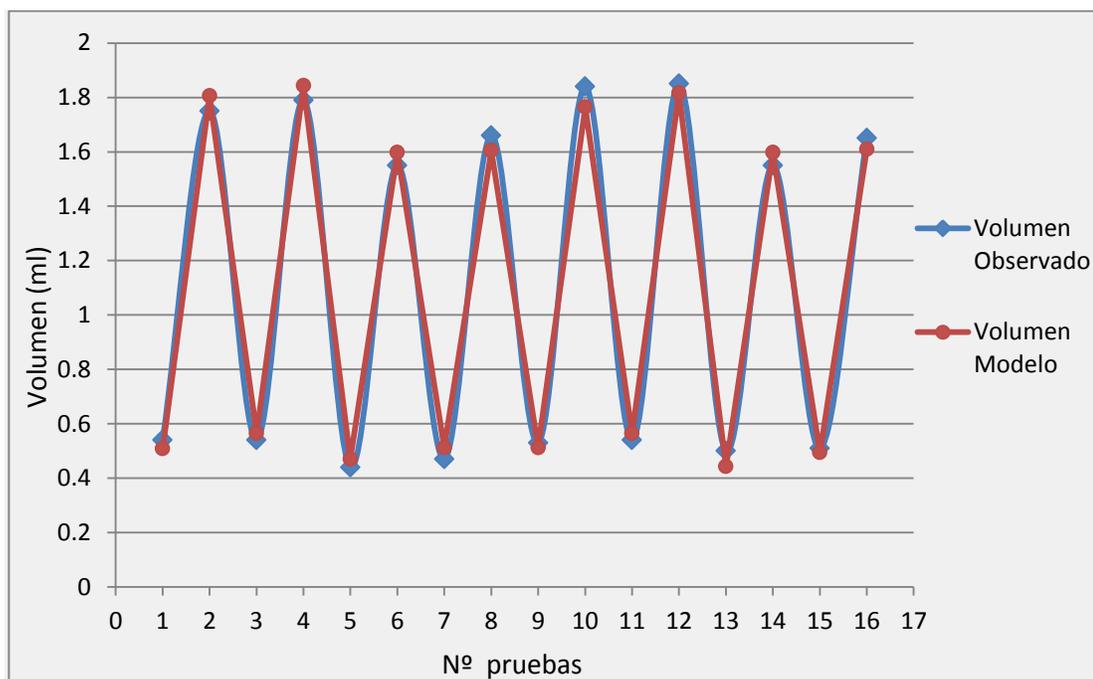
N° Prueba	Masa (g)	Tiempo (min)	Tamaño de Partícula (cm)	Variable respuesta	Volumen del modelo	Error
				Volumen (ml)		
1	100,312	60	1	0,54	0,51	0,03
2	300,630	60	1	1,75	1,81	-0,06
3	100,551	90	1	0,54	0,56	-0,02
4	300,446	90	1	1,79	1,84	-0,05
5	100,345	60	2	0,44	0,47	-0,03
6	300,073	60	2	1,55	1,60	-0,05
7	100,551	90	2	0,47	0,51	-0,04
8	300,069	90	2	1,66	1,60	0,06
RÉPLICA						
9	100,953	60	1	0,53	0,51	0,02
10	300,034	60	1	1,84	1,76	0,08
11	100,123	90	1	0,54	0,56	-0,02
12	300,329	90	1	1,85	1,82	0,03
13	100,013	60	2	0,50	0,44	0,06
14	300,546	60	2	1,55	1,60	-0,05
15	100,624	90	2	0,51	0,49	0,02
16	300,797	90	2	1,65	1,61	0,04

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla IV-7 se presenta los volúmenes de las dos repeticiones del modelo obtenido experimental, donde se observa que se obtuvo el mayor volumen de aceite esencial en la segunda repetición que es en la prueba 12 con 1,85ml; según los volúmenes del modelo el mayor volumen es en la cuarta prueba de la primera repetición con volumen de 1,84 ml; también podemos observar el error que existe entre los volúmenes obtenidos experimental y los volúmenes del modelo.

A continuación, en el gráfico 4-4, se presenta las oscilaciones que se obtienen en el proceso de extracción para las distintas variables del diseño factorial con respecto a la variable respuesta Volumen (ml).

Gráfico 4-4: Volumen (ml) Vs n° prueba

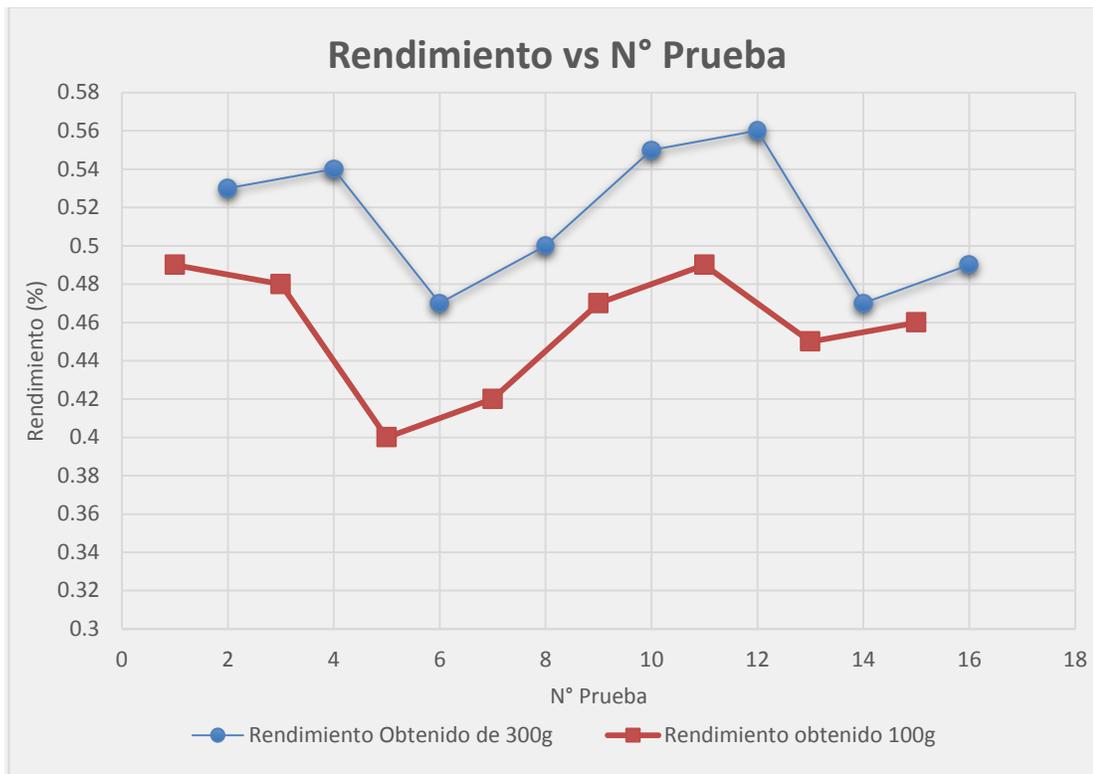


Fuente: Elaboración propia, 2018

En el gráfico 4-4 se puede observar mejor la varianza entre el Volumen Experimental obtenido y el Modelo aplicado en las 16 pruebas realizadas, en la cual se observa que ambos siguen una ruta paralela, se puede concluir que los factores aplicados para el método dieron los resultados adecuados.

A continuación, en el gráfico 4-5, se presenta el rendimiento que se obtiene en el proceso de extracción para diferentes masas de 300 g y 100 g con respecto a las 16 pruebas.

Gráfico 4-5: Rendimiento (%) Vs n° prueba



Fuente: Elaboración propia, 2018

En la gráfica 4-5 se observa que los mayores rendimientos se obtuvieron con la masa de 300 g, alcanzando un rendimiento de 0,56 %, mientras que el menor rendimiento 0,47 % se obtiene para la masa de 100 gr. Esto supone que mientras tengamos una mayor cantidad de masa en los canastillos de extracción, obtenemos un mayor rendimiento. También se observa que en la segunda repetición se encuentra el rendimiento mayor eso es debido a que se incrementó la corriente de enfriamiento a la salida del condensador, lo cual mejoró el rendimiento por cuanto se supone que existe una retención de los volátiles. En la medida que la temperatura de condensación es menor, se obtiene una mayor cantidad de aceite esencial y de mayor calidad; con la masa de 100 g se obtuvieron menores rendimientos, siendo el mayor

rendimiento 0,49%, el menor de 0,40% esto se debe a la influencia de la masa, el rendimiento es significativamente diferente en la cantidad de la materia prima utilizada.

4.2.1. Cálculo del análisis de varianza ANOVA

En análisis de varianza muestra las variables principales que influyen en el proceso de extracción, en función de la variable respuesta (volumen). Asimismo, también se observa la influencia de todas las posibles interacciones en el rendimiento y la significancia de los mismos.

En la tabla IV-8 se presenta los datos con los cuales se realiza el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) de un diseño 2^3 .

Tabla IV-8: Datos para el cálculo de análisis de varianza para el proceso de extracción de aceite esencial de menta

Muestra	Masa(g)	Tiempo (min)	Tamaño (cm)	Variable respuesta
				Volumen (ml)
1	-1	-1	-1	0,54
2	1	-1	-1	1,75
3	-1	1	-1	0,54
4	1	1	-1	1,79
5	-1	-1	1	0,44
6	1	-1	1	1,55
7	-1	1	1	0,47
8	1	1	1	1,66
9	-1	-1	-1	0,53
10	1	-1	-1	1,84
11	-1	1	-1	0,54
12	1	1	-1	1,85
13	-1	-1	1	0,50
14	1	-1	1	1,55
15	-1	1	1	0,51
16	1	1	1	1,65

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla IV-9 se detalla en Análisis de varianza, aplicado en el diseño experimental para probar la significancia estadística de cada factor sobre el rendimiento

Tabla IV-9: Análisis de Varianza (ANOVA)

Origen	Suma de cuadrados Tipo III	Gl	Media Cuadrática	F	Significancia
Modelo Corregido	5,826	6	0,971	909,679	0,000
Intersección	19,603	1	19,603	1.8365,627	0,000
Masa	5,724	1	5,724	5.362,811	*0,000
Tiempo	0,006	1	0,006	5,627	*0,042
Tamaño	0,069	1	0,069	64,558	*0,000
Masa*Tiempo	0,003	1	0,003	2,582	0,143
Masa*Tamaño	0,022	1	0,022	20,383	*0,001
Tiempo*Tamaño	0,002	1	0,002	2,114	0,180
Error	0,010	9	0,001		
Total	25,438	16			
Total Corregida	5,835	15			

Fuente: Elaboración propia, 2019

Nota: Variable dependiente: Volumen.

(a) R cuadrado= 0,998 (R cuadrado corregido =0,997)

Todos los marcados son los significativos (*)

Análisis de la tabla ANOVA

- Para la variable “*masa*”, los valores de significancia son menores a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza del 95%.
- Para la variable “*tiempo*”, los valores de significancia son menores a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza de 95%.

- Para la variable “*tamaño*”, los valores de significancia son menores a 0,05; por lo que se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza de 95%.
- Para la intersección “*masa-tamaño*”, los valores de significancia son menores a 0,05; por lo que se acepta la hipótesis planteada ya que se comprueba estadísticamente la variación en el factor para un límite de confianza de 95%.
- Para las intersecciones “*masa-tiempo*”, “*tiempo-tamaño*”, se tiene que los valores de significancia son mayores a 0,05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para el límite de confianza del 95%.

Por lo tanto, en el análisis de varianza, un nivel de significancia menor a 0,05; expresa que la variable influye en la variable respuesta. En la tabla IV-8 las variables Intersección, Masa, Tiempo, Tamaño y Masa*Tamaño son significativas porque tienen una significancia aproximada a 0 para un nivel de confianza de 95%.

Cuando los factores son significativos se procede al cálculo del modelo matemático que represente la mejor experiencia realizada, para ello se hace una regresión lineal y se introducen las variables significativas y la interacción entre ellas, y el programa calcula los coeficientes para el modelo matemático; a continuación, se presenta estos datos.

En consecuencia, la tabla IV-10, muestra los coeficientes del modelo matemático que genera el programa SPSS 17.0 con el diseño experimental realizado.

Tabla IV- 10: Coeficientes del modelo

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
	B	Error tip.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	1,107	0,009		0,99	0,000	1,087	1,127
Masa	0,598	0,009	0,990	0,032	0,000	0,578	0,618
Tiempo	0,019	0,009	0,032	-0,109	0,057	-0,001	0,039
Tamaño	-0,066	0,009	-0,109	-0,061	0,000	-0,086	-0,046
Masa tamaño	-0,037	0,009	-0,061		0,002	-0,057	-0,017

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Nota: (a) Variable dependiente: Volumen.

De la tabla IV-9 se obtiene que el modelo matemático es el siguiente:

$$\text{Volumen} = 1,107 + 0,598\text{Masa} + 0,019\text{Tiempo} - 0,066\text{Tamaño} - 0,037\text{masa} * \text{tamaño}$$

Este modelo matemático nos sirve para poder determinar las interacciones significativas de las variables para la extracción de aceite esencial de menta.

Del análisis estadístico se concluye que las variables *masa*, *tiempo*, *tamaño* y *masa-tamaño de partícula* son significativas en el proceso de extracción de aceite.

4.3. Volúmenes obtenidos en el diseño experimental

Se realiza un análisis de los volúmenes obtenidos en el diseño experimental en relación al tamaño de la partícula y de la masa de las muestras utilizadas en el proceso.

4.3.1. Tamaño Vs volumen obtenido

En el desarrollo de la parte experimental se trabaja con dos tamaños de muestra de 1 cm y 2 cm, tal como se ha previsto en el Diseño factorial.

A continuación, en la tabla IV-11, se presenta los datos de volumen obtenido y el tiempo de extracción del aceite esencial de Menta tomando en cuenta los dos tamaños de muestra, usando los datos de las mejores extracciones con 300 gr.

Tabla IV-11: Datos de rendimiento a los dos tamaños de muestra

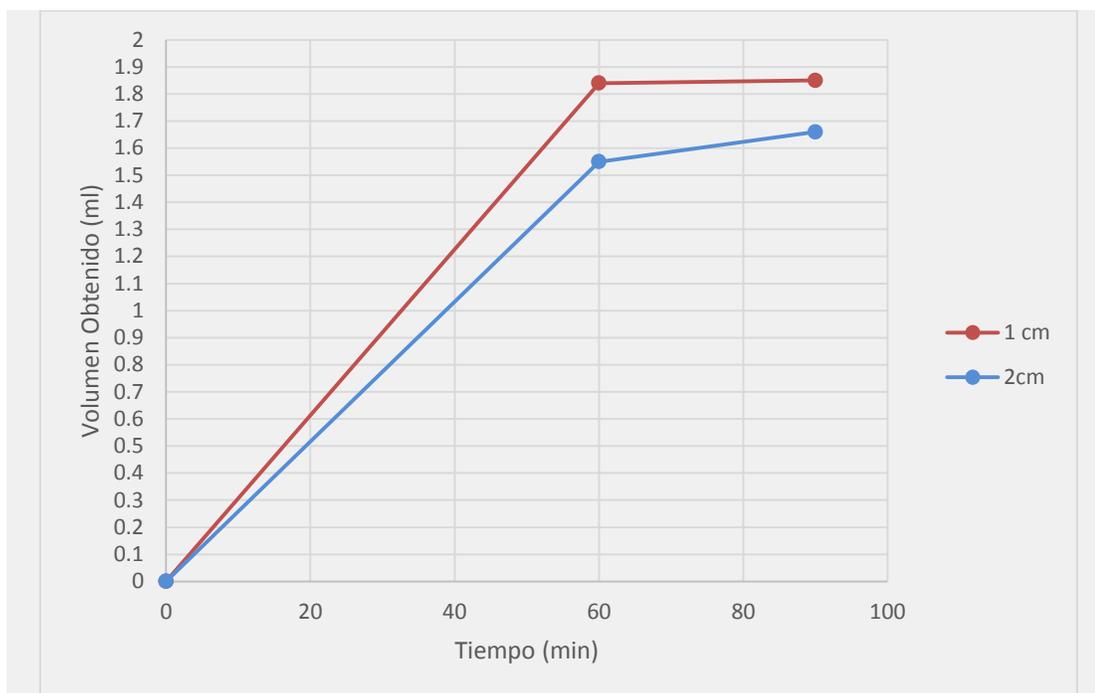
Tamaño Partícula (cm)	Tiempo (min)	Volumen obtenido (ml) (por 300 g de muestra)	Volumen obtenido(ml) (por 100 g de muestra)
1	0	0	0
	60	1,84	0,53
	90	1,85	0,54
2	0	0	0
	60	1,55	0,50
	90	1,66	0,51

Fuente: Elaboración propia, 2018

Como puede observarse en la tabla IV-11, en ambos ensayos se tiene que la mayor cantidad de aceite fue extraída en los primeros sesenta minutos, siendo que en los siguientes treinta minutos se tiene un mínimo de aporte de aceite. Por otra parte, es importante hacer notar que por las deficiencias del tipo de refrigerante se tenía una mayor pérdida de los aceites más volátiles, hecho este que se percibía todo el ambiente odorizado por los aromas dispersos de los volátiles producidos durante la extracción por arrastre de vapor.

Posteriormente se presenta la gráfica 4-6 realizando una comparación del volumen obtenido Vs tiempo con relación al tamaño de partícula.

Gráfico 4-6: Volumen Obtenido Vs Tiempo (con relación al Tamaño de Partícula)



Fuente: Elaboración propia, 2018

En la gráfica 4-6 se observa que para el tamaño de partícula de 1 cm, el volumen obtenido para un tiempo de 90 minutos es de 1,85 ml, mientras que para el tamaño de partículas de 2 cm un tiempo de 90 minutos se obtiene un volumen de 1,66 ml, lo cual indica que las partículas de menor tamaño ofrecen una mejor superficie de contacto que las partículas de mayor tamaño y se alcanza un mayor volumen de aceite, por lo que es recomendable trabajar con partículas de menor tamaño con mayor cantidad de masa y si es posible a tiempos de sesenta minutos, por cuanto para las partículas de tamaño 1 cm a los sesenta minutos obtenemos mayor volumen, tal como se muestra en la tabla IV-11 donde se obtiene 0,54 ml de aceite por cada 100 g de muestra.

4.3.2. Masa Vs volumen obtenido

Esta variable presenta dos niveles que son 100 g y 300 g y con las cuales se realiza el proceso de extracción.

Tomando los datos de mayor volumen de 1 cm de tamaño de muestra se construye la tabla IV-12.

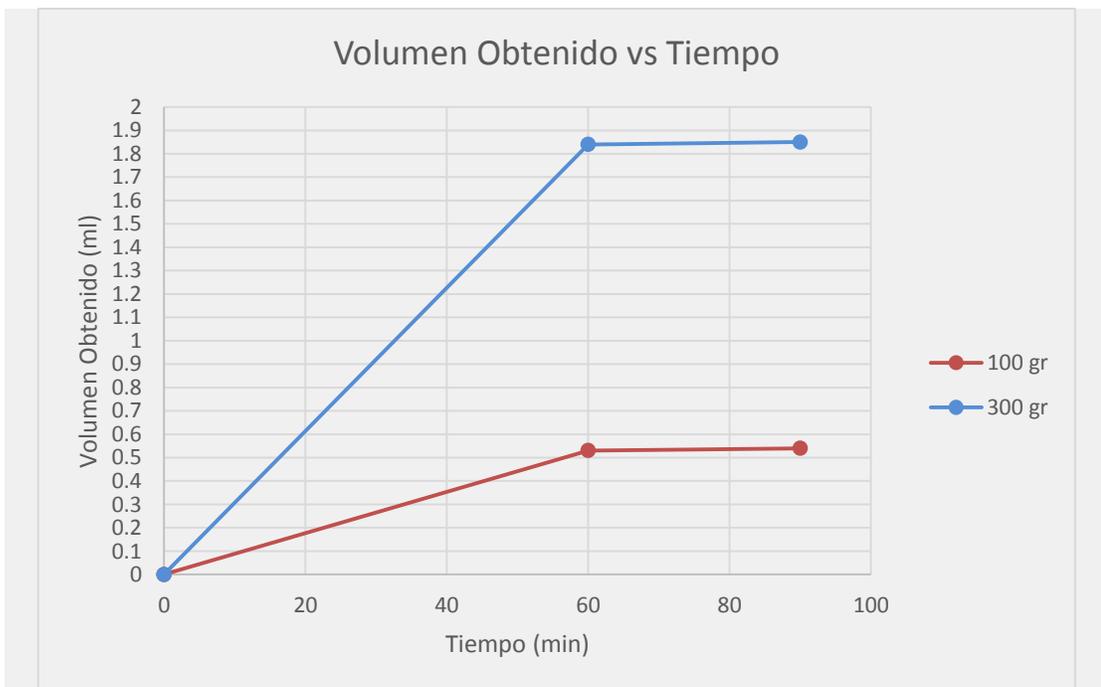
Tabla IV-12: Datos de volumen obtenido con relación a las masas

Masa (g)	Tiempo (min)	Volumen obtenido (ml) (a 1 cm de tamaño)
100	0	0
	60	0,53
	90	0,54
300	0	0
	60	1,84
	90	1,85

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la gráfica 4-7 se presenta el volumen obtenido vs tiempo en relación con la masa

Gráfico 4-7: Volumen obtenido Vs tiempo (con relación a la masa)



Fuente: Elaboración propia, 2018

En la gráfica 4-7 se observa que hay mayores volúmenes obtenidos con una masa de 300g, en cualquiera de los intervalos de tiempo de 60 o 90 min., el cual alcanza un volumen de 1.85 ml mientras que para la masa de 100 g, con un tiempo de 60-90

minutos se obtiene un volumen de menor cantidad que es de 0,54 ml, lo cual indica y se recomienda trabajar con masa de mayor cantidad y con una partícula de menor tamaño (1cm) y tiempos de sesenta minutos para evitar el mayor consumo energético, que por supuesto implica un costo económico, para que funcione el equipo de destilación por 30 minutos adicionales, ya que solo se extrae 0,01 ml de aceite lo cual no cubriría los costos para este tiempo adicional de extracción.

4.3.3. Cálculo del rendimiento de obtención del aceite esencial de menta

Para el cálculo del rendimiento del aceite esencial de Menta se aplica la siguiente expresión:

$$R = \frac{\text{masa}_{\text{aceite esencial}}}{\text{masa}_{\text{menta}}} * 100$$

Para el cálculo del rendimiento se toma en cuenta la mejor extracción de aceite esencial de Menta obtenida la cual se presenta en la tabla IV-13.

Tabla IV-13: Datos para el cálculo de rendimiento

Masa (g)	Densidad del aceite (g/ml)	Volumen de aceite obtenido (ml)
300,329	0,9070	1,85

Fuente: Elaboración propia, 2018

Con estos datos se obtiene la masa del aceite esencial, obtenida con la siguiente relación:

$$m = \rho * V = (0,9070 \text{ g/ml}) * 1,85 \text{ ml} = 1,68 \text{ g}$$

Con este dato de masa de aceite se procede al cálculo del rendimiento.

$$R = \frac{1,68 \text{ g}}{300,329 \text{ g}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{masa}_{\text{aceite}}}{\text{masa}_{\text{menta}}} * 100\%$$

$$R = 0,56\%$$

A continuación, en la tabla IV-14, se presenta los rendimientos obtenidos por otros trabajos del aceite esencial de Menta comparados con el obtenido en la ciudad de Tarija.

Tabla IV-14: Comparación de resultados de rendimiento por otros autores

AUTORES	Guerra C.S., 2018 (Tarija- Bolivia)	Paredes P.D.,2010 (Riobamba- Ecuador)	Del Valle H.Z., 2015 (Manabí- Ecuador)
RENDIMIENTO (%)	0,56	0,51	0,28

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla se observa que el rendimiento obtenido en la presente investigación es 0,56 % que es mayor al reportado por otros autores o trabajos elaborados.

Esto posiblemente se debe a varios factores, como ser, la procedencia de la planta (país y su posición sobre el nivel del mar), la abundancia, el hábitat, época de la cosecha, edad de la planta y el tipo de suelo en donde fueron cultivados. (Naveda G.F., 2010).

También influye la especie de la planta, el método que se utiliza y el tipo de material de los equipos.

En el presente trabajo, la Menta ha sido recolectada y cosechada en la estación primaveral entre los meses de septiembre y octubre del año 2018 en el inicio de la floración de la planta.

4.4. Relación del tiempo de extracción con respecto al volumen de aceite esencial obtenido

Dentro del proceso de extracción se observa que la relación tiempo/masa influye en la cantidad de volumen obtenido, razón por la cual se hace un análisis del tiempo de extracción y la masa contenida con respecto al volumen de aceite esencial extraído.

En la tabla IV-15 se presenta los datos del tiempo con relación al volumen obtenido con una masa de 300 gr. y a 1 cm. de tamaño de partícula de la primera repetición.

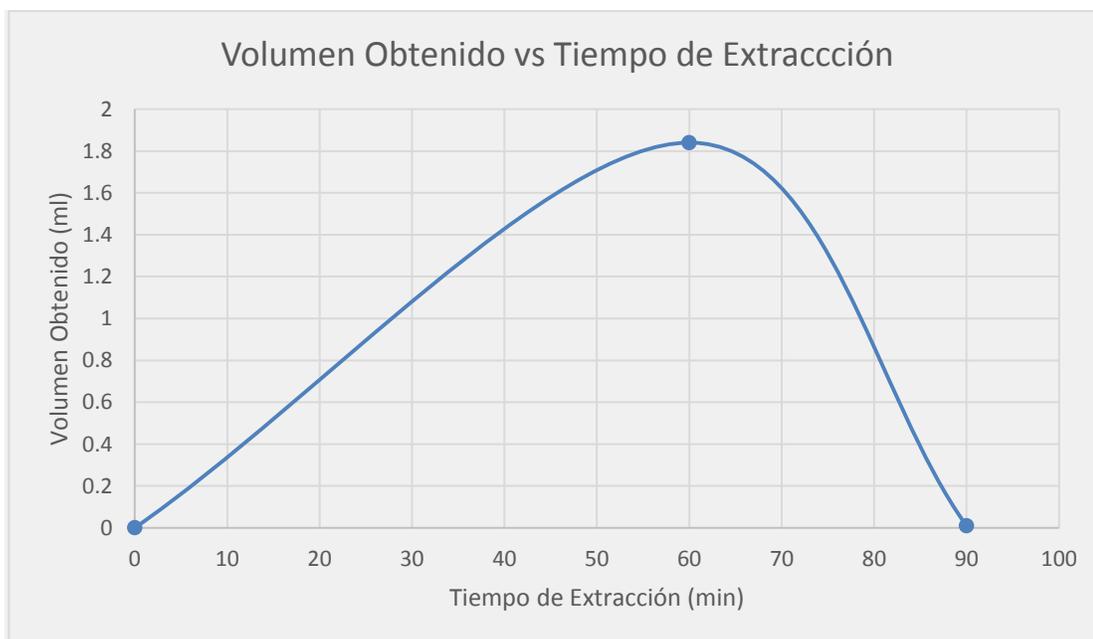
Tabla IV-15: Relación de los tiempos con respecto a volúmenes obtenidos

Tiempo (min)	Masa de menta (g)	Volumen de aceite (ml)	Volumen acumulado (ml)
0	0	0	0
60	300	1,84	1,84
90	300	0,01	1,85

Fuente: Elaboración propia, 2018

En el minuto 60 se obtiene un volumen mayor de aceite esencial, pero al minuto 90 la cantidad de extracción disminuye, lo que significa que la materia prima presenta un agotamiento a la hora y media de iniciado el proceso.

A continuación, se presenta la gráfica 4-8 con los datos de la tabla IV-15.

Gráfico 4-8: Volumen de aceite extraído Vs tiempo de extracción

Fuente: Elaboración propia, 2018

De la curva de volumen de aceite extraído se concluye que hasta el minuto 60 se extrae 1,85 ml de aceite esencial lo que representa un 98 % del total extraído. Del minuto 60 hasta el minuto 90 se extrae 0,01 ml el cual representa un 2 %; obteniéndose un mayor volumen desde el minuto cero hasta ese momento: 98 % del

total extraído, hasta alcanzar un volumen de extracción total de 1,84 ml al minuto 90, lo que indica que el mayor volumen de aceite obtenido es a los 60 min.

4.5. Resultados analíticos del producto obtenido

4.5.1 Análisis organoléptico

En la tabla IV-16 se presenta los resultados organolépticos del aceite esencial de menta obtenidos en el proceso de extracción

Tabla IV-16: Análisis organoléptico

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	VALOR	RESULTADO <i>Mentha longifolia</i> L.	RESULTADO <i>Mentha aquatica</i> L.
Color	Sensorial	-	Amarillento	Incoloro
Olor	Sensorial	-	No muy aromático parecido a mentol	Característico, olor a mentol
Aspecto	Sensorial	-	Líquido, límpido	Líquido, límpido

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla-16 se observa que el aceite esencial de la Comunidad San Mateo (*Mentha Longifolia* L.) tiene un color amarillo, olor no muy aromático parecido al mentol el cual se confunde con la menta, este aceite contiene un compuesto (Pulegone), el cual es tóxico, dañino para la salud ya que es cancerígeno y abortivo, comparando con el aceite esencial de la comunidad el Rincón de la Victoria (*Mentha aquatica* L.) de color incoloro, olor fuerte característico a mentol y aspecto líquido límpido el cual se asemeja el olor y aspecto con los resultados de la tabla II-12 del aceite esencial del Ecuador. La cantidad y composición del aceite varía de una especie a otra, y dentro de los mismos géneros de la planta. Por este motivo, el material vegetal destilado debe estar formado por una mezcla equilibrada de hojas jóvenes y adultas. Otro factor que influye es el material del equipo y el método a utilizar.

4.5.2 Análisis fisicoquímico

En la tabla IV-17 se presentan los datos del análisis fisicoquímico del aceite esencial.

Tabla IV-17: Análisis fisicoquímico

DENSIDAD			
PARÁMETRO	UNIDAD	RELACIÓN DE CÁLCULO	RESULTADO
Densidad	g/ml	$\rho = m/V$	0,818
ÍNDICE DE REFRACCIÓN			
PARÁMETRO	UNIDAD	LECTURAS	RESULTADO
Índice de refracción a 20 °C	--	1,4820	1,4818
		1,4818	
		1,4817	

Fuente: Elaboración propia, 2019

Se realizaron los ensayos para determinar la densidad y el índice de refracción en el Laboratorio de operaciones unitarias, habiéndose determinado que la densidad es 0,818 g/ml, y el índice de refracción es 1,4818 utilizando una T= 20°C.

Para la validación de los datos obtenidos se realiza un análisis en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), siendo este el Laboratorio Oficial del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG) los cuales nos dieron como resultado lo siguiente:

Tabla IV-18: Análisis fisicoquímico-CEANID

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
Densidad (20°C)	NB 34021:07	g/ml	0,9070
Índice de Refracción (20°C)	NB 34003:06	--	1,4840
<i>NB: Norma Boliviana</i>			

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2018

Observando los resultados de la tabla IV-17 y tabla IV-18 y comparando con los datos bibliográficos de la tabla II-13, tabla II-15, la densidad es 0,818 g/ml, comparando con el resultado del CEANID 0,9070 g/ml, existe una pequeña diferencia ya que es debido a la temperatura en la que se trabaja y materiales volumétricos exactos que se utiliza, el índice de refracción que se midió en el LOU es 1,4818;

comparando con el resultado del CEANID 1,4840 utilizando un temperatura igual de T= 20°C, se muestra similitud y se determina que se encuentran dentro de los rangos.

4.5.3 Perfil cromatográfico

El perfil cromatográfico para el aceite esencial de Menta obtenido, se realiza en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S.), a objeto de determinar la composición química del aceite esencial.

En la tabla IV-19 se presenta los resultados del análisis de los principales compuestos del aceite esencial de la menta recolectado de la comunidad “San Mateo”, presentado al laboratorio CEANID.

Tabla IV-19: Resultados del perfil cromatográfico

ITEM	COMPUESTO	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	ABUNDANCIA (%)
1	β -Pinene (prob. 56.6%) β -Myrcene (prob. 43.4%)	12.84	8.58
2	D-Limonene	14.25	4.23
3	Eucalyptol	14.34	4.15
4	1 R-à-Pinene	14.68	1.02
5	Pulegone	22.14	65.89
6	Carvol	22.82	4.89
7	Isomero de Caryophyllene	28.19	7.77
8	Muurolene	30.12	3.47
TOTAL			100

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2018

Como observamos en la tabla IV-19, realizando un perfil cromatográfico se asimila que el mayor componente en abundancia es el pulegone con 65,89 % y según referencias bibliográficas el responsable del olor característico de este aceite esencial es el Mentol, realizando una extracción por solvente el CEANID obteniendo el mismo compuesto Pulegone con 77,00 % se supone que es debido a la especie de la menta ya que la composición de este aceite esencial es compleja, esta varía de acuerdo a las condiciones climáticas, el tratamiento post cosecha y el método de extracción.

En la tabla IV-20 muestra a modo de ejemplo, la composición bibliográfica del aceite esencial de (*Mentha Pulegium*) de Uruguay, (*Mentha Longifolia L.*) de Túnez y (*Mentha Longifolia L.*) de Tarija procedentes de 3 orígenes distintos y posteriormente se realiza una comparación.

Tabla IV-20: Comparación de especies de menta

ITEM	COMPUESTO	(%) (<i>Mentha pulegium</i> (Uruguay))	(%) (<i>Mentha Longifolia L.</i> (Tarija))	(%) (<i>Mentha Longifolia L.</i> Túnez)
1	a-Pinene	0,5		
2	b-Pineno	0,5	8,58	
3	1 R-á-Pinene		1,02	
4	Mirceno	0,3	8,58	
5	Borneol			6,85
6	Alcanfor			1,67
7	Limoneno	0,5		
8	D-Limonene		4,23	
9	1,8 cineol	0,1		7,41
10	b-felandreno	0,2		
11	Eucalyptol		4,15	
12	3-octanol	1,8		
13	Pulegone	65,4	65,89	54,41
14	Mentona	16,0		
15	Muuroleone		3,47	
16	Isomentona	2,5		12,02
17	Isomer de caryophyllene		7,7	
18	Carvona	1,5		
19	Carvol		4,89	
20	Terpinen-4-ol	0,6		1,52
21	b-cariofileno	0,6		2,04
22	a-humuleno	0,7		2,97
23	Germacieno D	0,4		
24	Oxido de piperitenona			3,19
25	Óxido de linalool			1,17
26	Otros	8,4		6,75
TOTAL		100	100	100

Fuente: Gustavo A. Fester, 2010

En tabla IV-20 se realiza una comparación bibliográfica de la (*mentha longifolia L.*) de otro origen y también se compara con otra especie *Mentha Pulegium* la cual

también tiene en alta cantidad el compuesto pulegone, se asimila que esta planta existe en mayor cantidad en la Comunidad de San Mateo es (*Mentha Longifolia L.*), con ayuda de la aplicación de identificación de especies PlanNet y su componente mayoritario pulegone que es una cetona terpenica cíclica que se encuentra en algunas Lamiaceas se sintetiza a partir de la 3-metil-ciclohexanona. Líquido oleoso, miscible etanol, éter y cloroformo, de olor parecido a la menta (Badui, 1998).

Este tipo de especies (*Mentha Longifolia L.*) y (*Mentha Pulegium*) no es recomendable para la extracción del aceite esencial ya que este contiene el compuesto pulegone que es tóxico, abortivo, cancerígeno, el cual es dañino para la salud.

Se realiza una extracción de aceite esencial con otra variedad de especie de la comunidad el Rincón de la Victoria y posteriormente se realiza el perfil cromatográfico en el CEANID para comparar los resultados, variando la especie de menta y el lugar recolectado.

En la tabla IV-21 se presenta los resultados del análisis de los principales compuestos del aceite esencial de la menta recolectado de la comunidad “el Rincón de la Victoria”, presentado al laboratorio CEANID.

Tabla IV-21: Resultados del perfil cromatográfico

ITEM	COMPUESTO	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	ABUNDANCIA (%)
1	D-Limonene	14.260	5.88
2	Eucalyptol	14.354	21.243
3	Isomenthone	19.039	14.859
4	Menthone (Prob. 54.43%) Isomenthone (Prob. 24.38%) D-Menthone (Prob. 18.18%)	19.433	12.016
5	Menthol	19.779	45.995
TOTAL			100

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2019

En la tabla IV-21 se observa que el mayor componente de mayor abundancia es el Menthol con 45,995 % que es el olor característico de la Menta, en la tabla IV-19 se observa que el mayor componente en abundancia es el pulegone con 65,87%,

Según referencia bibliográfica se halla pulegona, llimonen, alfa, beta - pinene pero en pequeñas cantidades de 1-3 %, entonces es necesario determinar en qué medida los taxones vegetales corresponden con una determinada composición química antes de realizar una extracción de aceite esencial, ya que no son tan fáciles de distinguir a partir de rasgos morfológicos.

4.6. Balance de materia y energía

Los balances de materia y energía son una contabilidad de entradas y salidas de materia y energía de un proceso. Los balances, se basan en las leyes de la conservación de la masa y energía.

Los cálculos a realizar a continuación son estimados con los mejores resultados obtenidos en la prueba experimental, las cuales se presentan en la tabla IV-22.

Tabla IV-22: Datos para el balance de materia y energía

DATOS	VALOR	UNIDAD
Densidad del H ₂ O (20 °C)	0,9978	g/ml
Densidad del aceite (20 °C)	0,9070	g/ml
Volumen de H ₂ O inicial	4.000	ml
Tiempo de calentamiento	15	min
Tiempo de extracción	90	min
Masa de la materia vegetal inicial	300,329	g
Masa de la materia vegetal (después del destilado)	311,561	g
Tamaño de partícula (mayor rendimiento)	1	cm
Temperatura Inicial del H ₂ O	20	°C
Temperatura de vapor	92	°C
Temperatura en la entrada del condensador	20	°C
Temperatura en la salida del condensador	22,5	°C
Temperatura de condensados	23	°C
Volumen de H ₂ O condensado (Florentino)	2.500	ml
Volumen de aceite condensado	1,85	ml
Caudal de H ₂ O refrigeración	111,23	ml/s
Calor específico del H ₂ O	1	kcal/kg °C

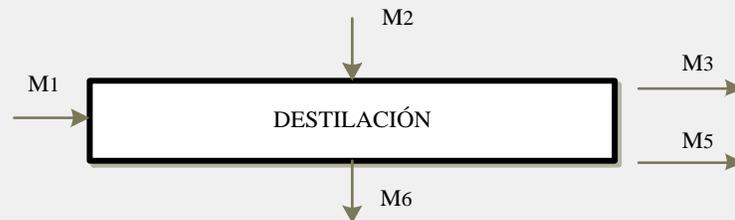
Fuente: Elaboración propia, 2019

4.6.1 Balance de materia en la obtención de aceite esencial de menta

4.6.1.1 Balance de materia en la torre de destilación

En la figura 4-2 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de destilación.

Figura 4-2: Balance de materia en la etapa de destilación



Donde:

M_1 = Masa de agua inicial cargado a la torre (kg)

M_2 = Masa de materia vegetal cargada a la torre (kg)

M_3 = Masa residual vegetal (kg)

M_5 = Masa de agua residual en la torre (kg)

M_6 = Masa de vapor y aceite (kg)

Balance Global:

$$M_1 + M_2 = M_3 + M_5 + M_6 \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Masa de agua inicial cargado a la torre de destilación

$$m_{\text{agua cargado a la torre}} = V_{\text{agua cargado a la torre}} * \rho_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua cargado a la torre}} = 4.000 \text{ ml} * 0,9978 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{agua cargado a la torre}} = \mathbf{3.991,20 \text{ g} = M_1}$$

Masa de agua condensada

Se procede a calcular la masa de agua condensada donde:

M_8 = Masa de agua condensada (kg)

$$m_{\text{agua condensada}} = V_{\text{agua condensada}} * \rho_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua condensada}} = 2.500 \text{ ml} * 0,9978 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{agua condensada}} = \mathbf{2.494,50 \text{ g} = M_8}$$

Masa de aceite esencial condensado

Se procede a calcular la masa de aceite esencial condensado donde:

M_9 = Masa de aceite esencial condensado (kg)

$$m_{\text{aceite condensado}} = V_{\text{aceite condensado}} * \rho_{\text{aceite}}$$

$$m_{\text{aceite condensado}} = 1,85 \text{ ml} * 0,9070 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{aceite condensado}} = \mathbf{1,68 \text{ g} = M_9}$$

Se procede a calcular la masa de agua que queda en la torre después del proceso de destilación, donde:

MR = Masa de agua retenida en el residuo (kg) después del proceso de destilación

Su valor de $MR = 11,23 \text{ g}$.

$$M_1 = M_5 + M_8 + M_9 + MR \quad \text{Ec. (4.9)}$$

$$M_5 = M_1 - M_8 - M_9 - MR$$

$$M_5 = 3.991,20 \text{ g} - 2.494,50 \text{ g} - 1,68 \text{ g} - 11,23 \text{ g}$$

Masa de agua residual que queda en la torre de destilación:

$$M_5 = 1483,79 \text{ g}$$

Teniendo el dato M_5 se calcula el M_6 (masa de vapor y aceite) de la ecuación Ec. (4.8), la masa residual vegetal después del destilado es de 311,56.

$$M_6 = M_1 + M_2 - M_3 - M_5$$

$$M_6 = 3.991,20 \text{ g} + 300,33 \text{ g} - 311,56 \text{ g} - 1.483,79 \text{ g}$$

Masa de vapor y aceite esencial a la salida de la torre de destilación:

$$M_6 = 2496,18 \text{ g}$$

4.6.1.2 Balance de materia en la condensación

En la figura 4-2 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de condensación.

Figura 4-3: Balance de materia en la etapa de condensación



Donde:

M_6 = Masa de vapor y aceite (kg)

M_7 = Masa del condensado (agua + aceite esencial) (kg)

En esta etapa no se gana ni se pierde masa; por lo que la cantidad de M_6 es igual a la de M_7 ya que no existen otras corrientes de ingreso, por lo tanto, se cumple la “ley de la conservación de la materia”, todo lo que entra sale respecto a la masa.

Por tanto:

$$M_6 = M_7$$

Masa de condensados después de la condensación:

$$M_7 = 2.496,18 \text{ g}$$

4.6.1.3 Balance de materia en la decantación

En la decantación se realiza una separación de fases; en la figura 4-3 se presenta el diagrama de bloques en la etapa de decantación.

Figura 4-4: Balance de materia en la etapa decantación



Donde:

M_7 = Masa del condensado (agua + aceite esencial) (kg)

M_8 = Masa de agua condensada (kg)

M_9 = Masa de aceite esencial condensado (kg)

Balance Global:

$$M_7 = M_8 + M_9 \quad \text{Ec. (4.10)}$$

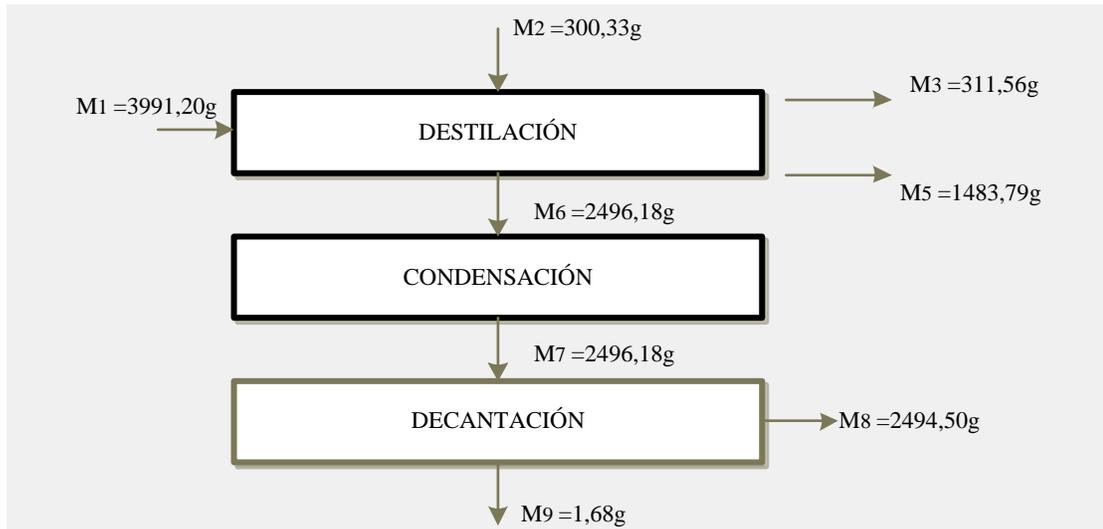
Masa de agua condensada:

$$M_8 = M_7 - M_9 = 2496,118 \text{ g} - 1,68 \text{ g}$$

$$M_8 = 2.494,50 \text{ g}$$

En la figura 4-5 se presenta el resumen del balance de materia de la obtención de aceite esencial de la Menta.

Figura 4-5: Resumen del balance de materia



Fuente: Elaboración propia, 2019

La masa de vapor generada en la torre de destilación es el siguiente:

$$V_{\text{vapor}} = V_{\text{agua inicial cargado a la torre}} - V_{\text{agua residual en la torre}} \quad \text{Ec. (4.11)}$$

$$V_{\text{agua residual en la torre}} = \frac{m_{\text{agua residual en la torre}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$V_{\text{agua residual en la torre}} = \frac{1.483,79 \text{ g}}{0,9978 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 1.487,06 \text{ ml}$$

$$V_{\text{vapor}} = 4.000 \text{ ml} - 1.487,06 \text{ ml}$$

$$V_{\text{vapor}} = 2.512,94 \text{ ml}$$

$$m_{\text{vapor}} = V_{\text{vapor}} * \rho_{\text{agua}} = 2.512,94 \text{ ml} * 0,9978 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 2.507,41 \text{ g} = 2,51 \text{ kg}$$

La masa de vapor generado en la torre de destilación es de 2.507,41 g, donde 11,23 g de masa de vapor se retiene en el residuo vegetal después de la destilación.

El flujo de vapor en la torre de destilación es el siguiente:

$$F_{vapor} = \frac{m_{vapor}}{t} \quad Ec. (4.12)$$

$$F_{vapor} = \frac{2,51 \text{ kg}}{90 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} = \frac{2,51 \text{ kg}}{5.400 \text{ s}}$$

$$F_{vapor} = 4,64 * 10^{-4} \text{ kg/s}$$

4.6.2. Balance de energía en la obtención de aceite esencial de menta

En el proceso de extracción de aceite esencial de Menta existen tres etapas: la de calentamiento, la de generación de vapor y la condensación, a las cuales se realiza un balance de energía.

4.6.2.1 Balance de energía en la torre de destilación

Etapas de calentamiento

En esta etapa existe un cambio de temperatura, pero no de fase; por tanto, se trata de un calor sensible.

$$Q_{sensible} = m_{agua \text{ cargada torre}} * Cp * T_{vapor} - T_{inicial} \quad Ec. (4.13)$$

$$Q_{sensible} = 3,99 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (92^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{sensible} = 287,28 \text{ kcal}$$

Etapas para la generación de vapor

Se realiza un cálculo de la potencia térmica de la hornalla a gas GLP.

$$P_{térmica} = \frac{Q_{sensible}}{t_{acondicionamiento}} \quad Ec. (4.14)$$

$$P_{t\acute{e}rmica} = \frac{287,28 \text{ kcal}}{15 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}}$$

$$P_{t\acute{e}rmica} = 1.149,12 \text{ kcal}_h$$

Calor latente para la generaci3n de vapor:

$$Q_{latente} = P_{t\acute{e}rmica} * t_{extracci3n} \quad Ec. (4.15)$$

$$Q_{latente} = 1.149,12 \frac{\text{kcal}}{h} * 1.5 \text{ h}$$

$$Q_{latente} = 1.723,68 \text{ kcal}$$

Calor total requerido en la destilaci3n para la extracci3n:

$$Q_{total} = Q_{sensible} + Q_{latente} \quad Ec. (4.16)$$

$$Q_{total} = 287,28 \text{ kcal} + 1.723,68 \text{ kcal}$$

$$Q_{total} = 2.010,96 \text{ kcal}$$

Calor latente de vaporizaci3n del agua a 92° C:

$$\lambda_{vaporizaci3n} = \frac{Q_{latente}}{m_{vapor}} \quad Ec. (4.17)$$

$$\lambda_{vaporizaci3n} = \frac{1.723,68 \text{ kcal}}{2,51 \text{ kg}}$$

$$\lambda_{vaporizaci3n} = 686,73 \text{ kcal}_kg$$

4.6.2.2. Balance de energ3a en el condensador

Caudal de agua refrigerante

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{1000ml}{9,375seg} = 106,66 \frac{ml}{s}$$

Volumen de agua refrigerante

$$V_{\text{agua refrigerante}} = \varphi_{\text{agua refrigerante}} * t_{\text{extracción}}$$

$$V_{\text{agua refrigerante}} = 106,66 \frac{\text{ml}}{\text{s}} * 90 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 576000 \text{ ml}$$

El volumen de agua que se consume en el refrigerante es elevado ya que por cada extracción se consume 576 L y en el tema de costos es bastante elevado, se recomienda emplear una recirculación de agua para disminuir el consumo y el costo de agua.

Masa de agua refrigerante

$$m_{\text{agua refrigerante}} = V_{\text{agua refrigerante}} * \rho_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua refrigerante}} = 576000 \text{ ml} * 0,9978 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 574732,8 \text{ g} = 574,73 \text{ kg}$$

Calor cedido

Es el calor que cede la mezcla de vapores de agua y aceite esencial al agua de refrigeración en la etapa de condensación, esto es, la suma del calor latente y sensible.

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{latente}} + Q_{\text{sensible}} \quad \text{Ec. (4.18)}$$

$$Q_{\text{cedido}} = m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vaporización}} + m_{\text{vapor}} * Cp * (T_{\text{condensado}} - T_{\text{vapor}})$$

$$Q_{\text{cedido}} = 2,51 \text{ kg} * 686,73 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 2,51 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} (23 - 92)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{cedido}} = 1.550,50 \text{ kcal}$$

Calor ganado

El calor ganado por el agua de refrigeración, es el calor sensible debido a que no existe cambio de fase, solo de temperatura.

$$Q_{ganado} = m_{agua\ refrigeración} * Cp * T_{salida} - T_{entrada} \quad Ec. (4.19)$$

$$Q_{ganado} = 574,73 \text{ kg} * 1 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} * (22,5 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_{ganado} = 1.436,83 \text{ kcal}$$

Porcentaje de transferencia de calor:

$$\% \text{ de transferencia de calor} = \frac{Q_{ganado}}{Q_{cedido}} * 100 \quad Ec. (4.20)$$

$$\% \text{ de transferencia de calor} = \frac{1.436,83 \text{ kcal}}{1.550,50 \text{ kcal}} * 100 = 92,66 \%$$

$$\% \text{ de transferencia de calor} = 92,66 \%$$

La eficiencia del destilador es 92,66% ya que existe una pérdida de calor en la torre de destilación y no se tiene una eficiencia del 100%.

Volumen de combustible consumido:

Estándar 40% propano 60% butano

Poder calorífico del gas GLP = 11.440 kcal/kg

$$t_{total} = t_{calentamiento} + t_{extracción} \quad Ec. (4.21)$$

$$t_{total} = 0,25 \text{ h} + 1,5 \text{ h} = 1,75 \text{ h}$$

$$V_{comb} = \frac{P_{térmica} * t_{total}}{\text{Poder calorífico}} \quad Ec. (4.22)$$

$$V_{comb} = \frac{1.149,12 \frac{kcal}{h} * 1,75 \text{ h}}{11.440,00 \frac{kcal}{kg}} = 0,18 \text{ kg} \text{ Por extracción}$$

En la tabla IV-23 se presenta los resultados del balance de energía

Tabla IV-23: Resultados del balance de energía

DATOS	VALOR	UNIDAD
Calor sensible	287,28	Kcal
Calor latente	1.723,68	Kcal
Calor total	2.010,96	Kcal
Calor latente de vaporización del agua a 92 °C	683,73	kcal/kg
Calor cedido	1.550,50	kcal
Calor ganado	1.436,83	kcal
% de transferencia de calor	92,66	%
Potencia térmica	1.149,12	kcal/h
Volumen de combustible consumido para la extracción	0,18	Kg

Fuente: Elaboración propia, 2019