

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

1.1 ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales han estado en el mundo por siglos y siglos, pero hoy en día se han vuelto más relevantes que nunca. Muchos se han dado cuenta que pueden ser usados para reestablecer el bienestar físico y emocional del cuerpo.

Estos aceites esenciales son mezclas complejas de sustancias contenidos en los vegetales, se caracterizan por presentar un olor aromático intenso, por lo general son líquidos volátiles. Muchas son las especies que los contienen y este puede estar presente en todos los órganos de la planta, sus flores, corteza, semillas, raíces, hojas, tallo, etc.

Aun dentro de la misma especie las composiciones tanto cualitativa como cuantitativa varían de acuerdo al órgano considerado, así como de las condiciones ambientales en que la especie fue desarrollada y la época del año en que fue cultivada. Debido a sus múltiples propiedades son utilizados en una gran variedad de productos comerciales (Burt, 2004).

La mayoría de las plantas contienen de 0,01 a 10% de contenido de aceite esencial. La cantidad media que se encuentra en la mayoría de las plantas aromáticas es alrededor de 1 a 2%. Regularmente el contenido de aceites esenciales aumenta después de la lluvia y alrededor del mediodía, cuando se ha eliminado el agua de rocío depositada sobre la planta, y ha comenzado una deshidratación antes de la humedad relativa alta de la noche; la excepción a este comportamiento se presenta en la manzanilla que alcanza una mayor concentración de aceite esencial durante la noche.

Sus usos van desde malestares menores como una cortada hasta enfermedades mayores como el cáncer. Es importante consultar un terapeuta cuando se quiera hacer uso de las propiedades de la aromaterapia. Al igual que cualquier medicina, los aceites tienen su propósito particular y sus efectos dañinos cuando no se administran de manera responsable. El aromaterapeuta debe verificar contraindicaciones como epilepsia o alta presión sanguínea y discutir los usos de cada aroma.

Para las personas que compran aceites y experimentan por sí mismos, la terapeuta Marci Cervone, recomienda comprar aceites de calidad de compañías que prueban sus productos en CG/EM (Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas). Este test químico da el resultado de los ingredientes en una tanda de aceite. Algunas compañías menos éticas producen “aceites” que pueden ser sólo 20% aceite y 80% relleno.

La Asociación Nacional de Aromaterapia Holística (NAHA) tiene una base de datos para informarse sobre cada aceite. Tomando en cuenta lo mencionado antes, puedes literalmente hacer que los aceites sean tu compañía desde que despiertas hasta que vuelves a dormir y con ello mejorar tu calidad de vida significativamente. Combinarlos con un poco de medicina *ayurvédica* podría ser la mejor forma de consentir al cuerpo y clarificar la mente.

1.1.1 PROPIEDADES DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son generalmente líquidos a temperatura ambiente. Una de las diferencias con respecto a los aceites (lípidos) radica en su volatilidad o capacidad de evaporación al contacto con el aire a temperatura ambiente. Para que los compuestos aromáticos puedan volatilizarse su peso molecular debe ser menor a 250 gr/grmol. (Pauli, 2001)

Estos son sensibles a la oxidación, no se enrancian como los aceites fijos, son fácilmente alterables y presentan una tendencia a polimerizarse formando así productos resinosos incrementándose esta tendencia en aquellos que contiene alcoholes terpénicos insaturados, es decir, aquellos que se auto-oxidan, variando su viscosidad, color y olor, solubles en aceites, alcohol, éter de petróleo, tetracloruro de carbono y demás solventes orgánicos; insolubles en agua aunque le transmiten su perfume; son inflamables, responsables del aroma de las 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 polimetilénica del grupo de los terpenos que se encuentran con otros compuestos, casi siempre oxigenados.

La calidad y la intensidad de los aceites esenciales varían debido a: Variedad de la planta, condiciones de cultivo, época de recolección, parte cosechada de la planta, manejo del material vegetal, métodos de extracción, otros. La cantidad de principios activos (productividad) de las plantas medicinales y aromáticas están determinadas por los siguientes factores:

- ✓ **Genético.** Se le considera el factor principal (metabolismo secundario).
- ✓ **Ontogenético.** Varía de acuerdo con la edad y el estado de desarrollo de la planta.
- ✓ **Ambiental.** Los genes responsables de la producción de principios activos pueden ser activados o desactivados de acuerdo con las condiciones climáticas, nutricionales, y de ataque de plagas a que haya sido sometido el material vegetal.

Cuando el almacenamiento de los aceites esenciales es el ideal, la mayoría se pueden preservar de 2 a 5 años. Los aceites de las frutas cítricas son muy susceptibles a la oxidación.

1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

1.1.2.1 POR SU CONSISTENCIA

Las Esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

- ✓ **Los Bálsamos.** Son de consistencia más espesa, son poco volátiles contienen principalmente sesquiterpenoides y propensos a sufrir reacciones de polimerización. (bálsamos de Copaiba, bálsamo de Perú, bálsamo de Tolú).
- ✓ **Las Oleorresinas.** Tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, chicle, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavero, etc.). se subdividen en; concretos, y absolutos.
- ✚ **Los Concretos:** Se obtienen de plantas aromáticas frescas por extracción con solventes apolares (hidrocarburos). Tienen forma de semi-sólidos coloreados, libres del solvente original.

Estos componentes no son muy solubles en las bases para perfumes siendo así necesaria su conversión en absolutos.

- ✚ **Los Absolutos:** Son productos de conversión de concretos por la extracción con etanol absoluto. Una vez completa la disolución, los absolutos se refrigeran a temperaturas de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$

A estas temperaturas las ceras se precipitan y se pueden remover por filtración. El rendimiento de absolutos a partir de concretos varía de 1 a 65 %.

1.1.2.2 POR SU ORIGEN

Los aceites esenciales se clasifican como naturales, artificiales y sintéticos.

✓ Naturales

Se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas.

✓ 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 enriquecidas con linalool, o la esencia de anís enriquecida con anetol.

✓ Sintéticos

Como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.).

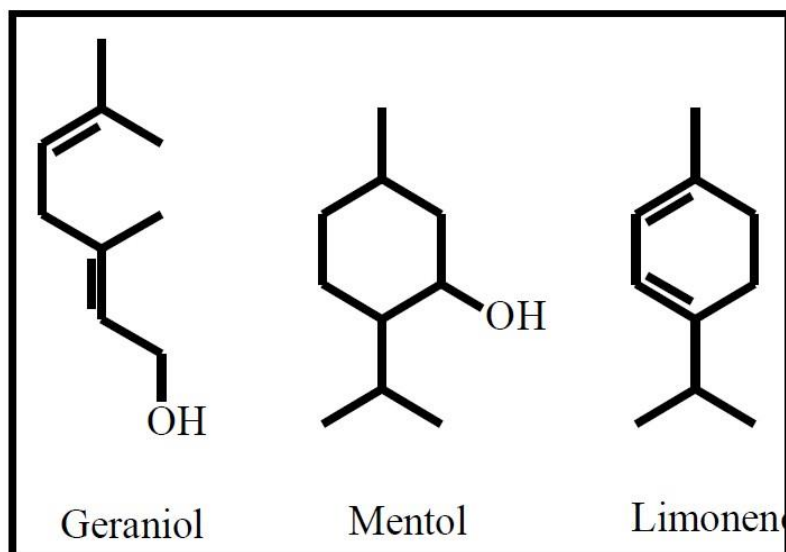
1.1.2.3 POR LA NATURALEZA QUÍMICA

Desde el punto de vista químico y a pesar de su composición compleja con diferentes tipos de sustancias, los aceites esenciales se pueden clasificar de acuerdo al tipo de sustancias que son los componentes mayoritarios. Se denominan aceites esenciales:

- ✓ **Monoterpenoides** (linalool, nerol, 1-8 cineol, geraniol).
- ✓ **Sesquiterpenoides** (farnesol, nerolidol).
- ✓ **Fenilpropanoides** (alcoholes, aldehídos, cetonas).

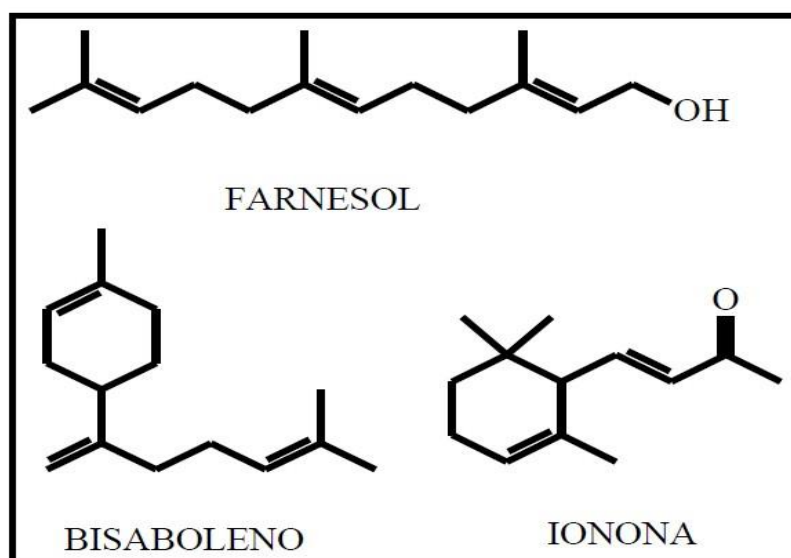
Los monoterpenos y sesquiterpenos son terpenos de 10 y 15 átomos de carbonos derivados biosintéticamente de geranilpirofosfato (GPP) y farnesilpirofosfato (FPP) respectivamente. A continuación, se muestra ejemplos:

Figura I-1: Monoterpenos.



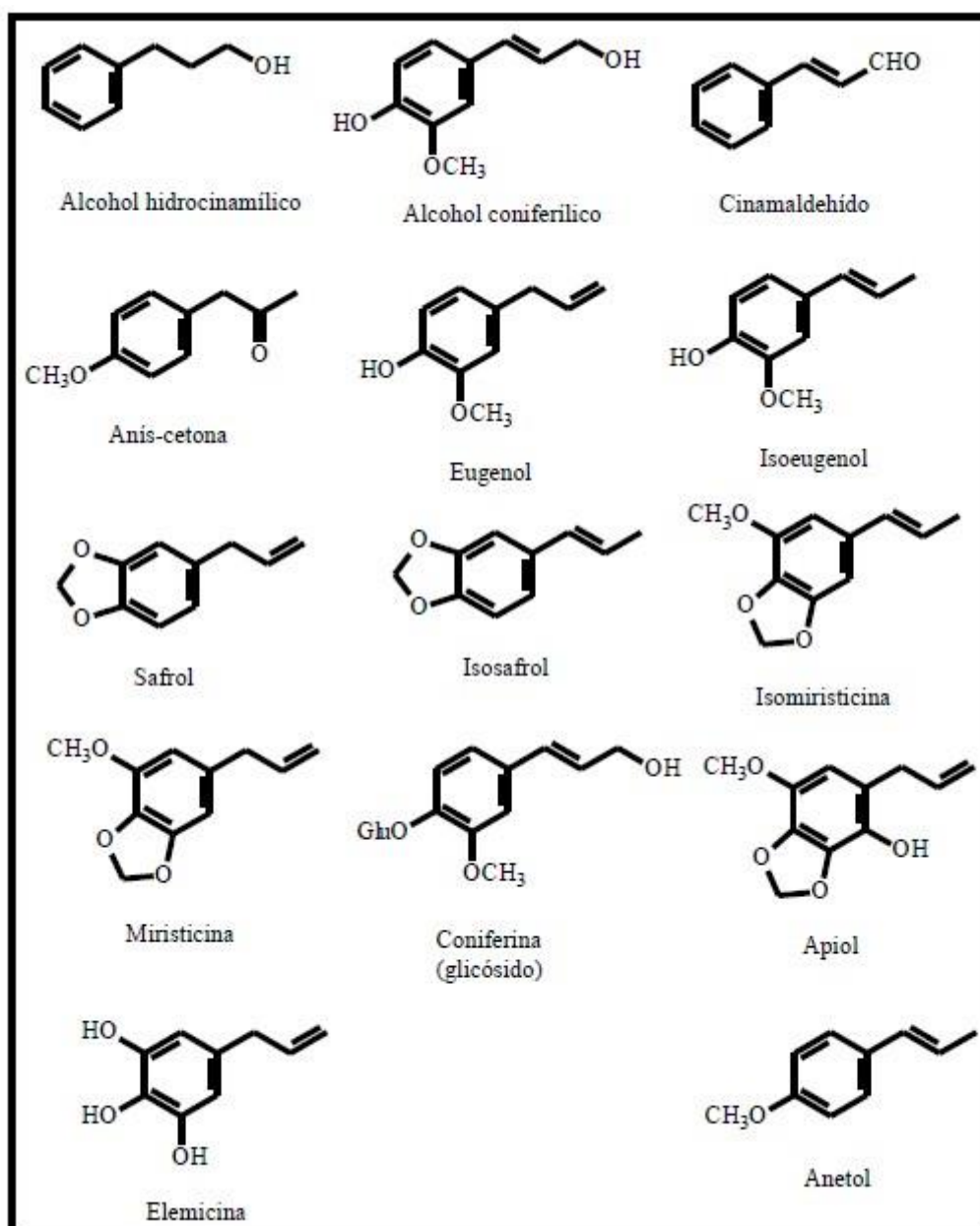
Fuente: Facultad Química Farmacéutica Medellín, 2003. (ANEXO 11)

Figura I-2: Sesquiterpenos.



Fuente: Facultad Química Farmacéutica Medellín, 2003. (ANEXO 11)

Figura I-3: Fenilpropanos.



Fuente: Facultad Química Farmacéutica Medellín, 2003. (ANEXO 11)

Los Fenilpropanos son sustancias naturales ampliamente distribuidas en los vegetales caracterizadas por un anillo aromático unido a una cadena de 3 carbonos y derivados biosintéticamente del ácido shikímico.

1.1.3 MERCADO DE ACEITES ESENCIALES

Los principales países exportadores e importadores a nivel mundial de aceites esenciales se los presenta en la siguiente tabla:

Tabla I-1: Principales países exportadores de Aceites Esenciales en el Mundo.

Exportadores	2013	2014	2015	2016	2017
	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$
Francia	16.675.952	17.446.714	15.148.432	15.558.785	17.761.220
EEUU	11.133.099	11.551.622	11.808.302	12.048.707	12.948.114
Alemania	11.132.478	11.118.643	9.708.132	10.058.472	10.603.645
Irlanda	8.214.654	9.138.349	8.802.210	8.628.709	8.459.601
Singapur	4.499.254	4.570.667	4.554.698	5.173.229	6.504.764
Reino Unido	6.129.798	6.389.094	5.504.745	5.501.126	5.841.263
Italia	4.382.151	4.619.725	4.382.316	4.941.976	5.513.092

Fuente: Elaboración propia basada en datos de TRADE MAP, 2017.

Tabla I-2: Principales países importadores de Aceites Esenciales en el Mundo.

Importadores	2013	2014	2015	2016	2017
	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$
EEUU	10.774.901	11.546.996	12.083.750	12.423.458	13.569.643
Alemania	7.104.746	7.266.717	7.047.991	7.233.821	8.092.190
China	2.384.842	3.372.164	4.509.560	5.506.877	7.633.644
Reino Unido	6.164.369	6.618.062	6.428.265	6.231.304	6.572.104
Francia	5.641.755	5.789.100	5.303.547	5.494.111	5.857.699
Hong Kong, China	3.447.344	3.711.598	4.013.205	4.606.782	5.300.091
Países Bajos	3.105.731	3.336.530	3.212.238	3.647.672	3.868.772

Fuente: Elaboración propia basada en datos de TRADE MAP, 2017.

Según los datos publicados en TRADE MAP Bolivia genero 5.372 mil US\$, exportando aceites esenciales. Su principal mercado es EEUU. con un 77.9% de la producción de aceites esenciales de Bolivia, le siguen los países bajos con 20.6% y Francia con 1.4%. A continuación, se muestra una tabla de los principales exportadores e importadores de aceites esenciales en Latinoamérica y una comparación con Bolivia.

Tabla I-3: Principales países Exportadores de aceites esenciales en Latinoamérica.

Exportadores	2013	2014	2015	2016	2017
	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$
México	2.544.886	2.494.936	2.356.864	2.330.044	2.304.888
Brasil	697.604	728.914	705.909	743.296	864.292
Argentina	790.165	733.769	763.395	632.222	635.374
Colombia	564.876	483.486	438.295	395.277	444.943
Guatemala	139.641	142.382	169.529	165.231	168.986
República Dominicana	78.291	93.934	93.389	104.229	101.932
Perú	134.296	132.069	114.682	99.593	92.899
Bolivia, Estado Plurinacional	3.336	4.727	7.012	6.694	5.372

Fuente: Elaboración propia basada en datos de TRADE MAP, 2017.

Tabla I-4: Principales países Importadores de aceites esenciales en Latinoamérica.

Importadores	2013	2014	2015	2016	2017
	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$	Miles US\$
México	2.133.988	2.590.061	2.666.440	2.779.923	3.039.450
Chile	820.108	784.482	780.079	760.933	839.990
Brasil	1.047.915	961.584	823.564	643.049	721.108
Colombia	604.394	625.540	613.346	564.517	571.386
Argentina	574.722	457.778	465.351	480.784	507.620
Perú	464.211	451.393	437.892	425.440	444.662
Panamá	540.621	547.868	451.538	423.006	437.526
Bolivia, Estado Plurinacional	138.276	134.373	129.239	136.203	142.338

Fuente: Elaboración propia basada en datos de TRADE MAP, 2017.

Según estos datos presentados por TRADE MAP (Estadísticas de Comercio para el desarrollo de las Empresas) la demanda de aceites esenciales va en aumento, creando un mercado fijo para los aceites esenciales que puedan ser producidos en varias partes

del mundo que cuenten con la climatología y suelos que requieren cada materia prima para ser procesadas con el fin de producir aceites esenciales de calidad.

En Bolivia se importan varios productos de cosmética, perfumes, enjuagues bucales y hasta aceites esenciales entre otros, cada año estas demandas van en aumento (**ANEXO 1**), estos productos son producidos con aceites esenciales, los cuales pueden ser producidos en el territorio boliviano, generar nuevas empresas, empleos y abastecer la demanda nacional.

1.2 ORIGEN DEL JENGIBRE

El nombre del género Zingiber y el nombre común jengibre, provienen del hindú zingibil o zengibil, nombre común dado a esta planta.

El jengibre es originario del este de Asia, las culturas hindúes y Chinas lo han utilizado por milenios como un alivante digestivo. Los chinos consideran el jengibre como el yang, o comida picante, la cual equilibra la comida fría ying para crear armonía. Los griegos romanos, también lo utilizaban para este propósito. Impactó en Europa y América cuando se estableció a sí mismo como una hierba medicinal y se convirtió en popular como una bebida suave para alivios estomacales.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL JENGIBRE (MATERIA PRIMA)

Se trata de una planta que tiene mucho que ofrecernos a todos los niveles, su rizoma es usado en la medicina natural, gracias a que es muy rico en aceites esenciales, vitaminas, minerales, antioxidantes y aminoácidos que otorgan muchos beneficios al cuerpo humano, incluso a nivel estético, ya que si tenemos la suerte de verla en directo en época de floración seguramente quedemos gratamente sorprendidos de los espectaculares colores y tamaño de sus flores que, dependiendo de la especie, pueden ser rojas, amarillas, moradas, lilas e incluso algunas con colores mezclados.

La planta puede llegar a medir hasta 1 metro de altura, aunque lo habitual es entre 60 y 90 centímetros. Sus hojas son alargadas, de un verde intenso y el rizoma es grueso carnoso, nudoso, ramificado en un solo plano, flores sésiles, amarillas y labios purpúreos de los cuales se destaca un labelo trilobulado con manchas de color amarillo-

violeta-pardo; las flores están reunidas en una espiga densa al extremo del tallo cubierto de brácteas. En otras latitudes también es conocido como “kión”. Se desarrolla mejor en suelos fértiles, sueltos, con riego abundante y expuesto a la luz directa a temperatura cálida (entre 25°C y 30°C). La plantación debe realizarse a finales del invierno y la raíz se debe arrancar a los diez meses de la plantación, cuando la planta ha acumulado las reservas y se puede extraer una mayor cantidad de principios activos de la misma.

Figura I-4: Planta de jengibre



Fuente: Plantas medicinales aprobadas en Colombia, 2da. Edición, 2007.

Se consume su raíz (rizoma), de sabor picante, en muchos formatos: fresca, desecada o en polvo como condimento en muchas cocinas, desde la oriental a la repostería

anglosajona o alemana donde se ha utilizado en platos dulces, galletas o tartas típicas. En la gastronomía oriental es habitual su incorporación como ingrediente en platos de arroz, de pescado y sobre todo en salsas, como por ejemplo la salsa gari que acompaña al sushi y al sashimi. Este rizoma es usado en la medicina natural, rico en aceites esenciales, vitaminas, minerales, antioxidantes y aminoácidos.

1.3.1 RIZOMA

Un rizoma se define como un eje que se desarrolla al ras del suelo o subterráneamente. Una característica principal de los rizomas es su crecimiento plagiotropo. Los entrenudos son cortos, lo que causa que las inserciones de las hojas estén muy juntas en muchas especies que presentan rizomas, estos son catafilos incoloros y membranosos, su vida es muy corta. Mientras el rizoma crece gracias a la formación de nuevas partes del eje, muere la parte vieja de atrás, con un continuo proceso de traslado de aquellas sustancias que fueron almacenadas a partes más jóvenes (Muller, 2000).

Figura I-5: Rizoma de jengibre.



Fuente: Monaco Nature Encyclopedia, 2017.

1.3.2 COMPOSICIÓN DEL RIZOMA DE JENGIBRE

1.3.2.1 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL RIZOMA DE JENGIBRE

La composición Nutricional es muy importante porque el desecho del aceite esencial de jengibre puede ser utilizada para alimento de animales o como parte para la formulación de alimento balanceado.

Tabla I-5: Composición Nutricional del rizoma de jengibre.

COMPOSICION	CONTENIDO DE 100gr DE PARTE COMESTIBLE
Calorías	47 gr.
Carbohidratos	9 gr.
Grasa total	1.6 gr.
Cenizas	1 gr.
Fibra	0.9 gr.
Fósforo	66 mg.
Calcio	44 mg.
Ácido ascórbico	2 mg.
Hierro	1.8 mg.
Niacina	0.7 mg
Riboflavina	0.06 mg.
Tiamina	0.02 mg.

Fuente: Muller, 2005.

1.3.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RIZOMA DE JENGIBRE

La composición química del rizoma de jengibre es tomada en cuenta al determinar niveles de toxicidad en el aceite esencial de jengibre (CODEX STAN 193-1999). A continuación, se presenta una tabla con los porcentajes de los componentes del rizoma de jengibre:

Tabla I-6: Composición química del rizoma de jengibre.

COMPOSICION	PORCENTAJE
Agua	10
Materias Nitrogenadas	7.5
Materias grasas	3.5
Aceites Esenciales	2
Almidón	54
Otras materias extractivas no nitrogenadas	13
Celulosa	4.5
Ceniza	5.5
TOTAL	100

Fuente: Maestre, J, Las plantas de especias, 2012.

1.4 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Son procesos que son aplicados a los aceites esenciales y otros extractos vegetales aromáticos, sirven para separar y concentrar los componentes, para facilitar su procesamiento industrial o simplemente para homogenizar la calidad.

Los aceites son en extremo delicados por lo que requieren para su obtención una atención y cuidado muy especiales (Romero M, 2004).

Existen varios métodos de extracción de los aceites, son los siguientes:

Tabla I-7: Tipo de Métodos

Tipo de Método	Procedimiento	Productos obtenidos
Métodos Directos	Prensado	Aceites esenciales cítricos
	Exhudación	Gomas, resinas, bálsamos
Destilación	Arrastre con vapor de agua	Aceites esenciales y aguas aromáticas
	Destilación-maceración (liberación enzimática de agliconas en agua caliente)	
Extracción con solventes	Solventes volátiles	Infusiones y resinoídes alcohólicos
		Concretos y Absolutos
	Solventes fijos (grasas y aceites)	Absolutos de pomadas
		Absolutos de enflorados
Extracción con fluidos en estado supercrítico		

Fuente: Introducción a la Industria de los aceites esenciales de plantas Medicinales y aromáticas, 2000.

1.4.1 MÉTODOS DIRECTOS

Los métodos directos se aplican principalmente a los cítricos, porque sus aceites están presentes en la corteza de la fruta, y el calor de los métodos de destilación puede alterar su composición.

El aceite de los cítricos está contenido en numerosas celdas del epicarpio. Al exprimir la corteza tales celdas se rompen y liberan el aceite, el cual se recoge inmediatamente para evitar que sea absorbido por la corteza esponjosa que resulta después de este tipo de procesos.

Los fenómenos que ocurren durante la extracción del aceite se clasifican en varias etapas:

- ✚ Laceración de la epidermis y de las celdas que contienen la esencia.
- ✚ Generación en la cáscara de áreas con presión mayor que sus circundantes a través de las cuales el aceite fluye al exterior.
- ✚ Abrasión de la cáscara, con la formación de pequeñas partículas de la raspadura.

1.4.1.1 PRENSADO

Este procedimiento es utilizado para la extracción de esencias cítricas, raspando o prensando la corteza de los frutos cítricos que es donde contienen su aceite esencial.

El material vegetal es exprimido mecánicamente para liberar el aceite esencial y este es recolectado y filtrado.

En la actualidad se usan maquinas especializadas que ejercen presión sobre la corteza de estos frutos.

Los aceites esenciales de cítricos obtenidos por prensado tienen características odoríferas superiores a los obtenidos por cualquier método de destilación. Esto es debido a la ausencia de calor durante el proceso y a la presencia de componentes que no serían volátiles en el vapor. Son también más estables a la oxidación, ya que contiene sustancias antioxidantes naturales, con tocoferoles, las cuales no son volátiles en el vapor. La ausencia de daño térmico en el aceite es significativa.

Los aceites obtenidos por prensado en frio, se extraen de pericarpio de la piel del cítrico, raspando o rompiendo los sacos de aceite cercanos a la superficie de la fruta. Este proceso involucra la abrasión de la piel (Sistema de Bibliotecas SENA)

1.4.1.2 EXHUDACIÓN

Este procedimiento se utiliza básicamente para aislar las gomorresinas de árboles y arbustos. Este método directo consiste en hacer una incisión a la planta mediante un corte, donde la propia planta exuda una sustancia, que posteriormente se recoge. De este método se obtienen notas amaderadas, balsámicas.

1.4.2 DESTILACIÓN

Consiste en separar por calentamiento, en alambiques u otros vasos, sustancias volátiles que se llaman esencias, relativamente inmiscibles con el agua, de otras más fijas, enfriando luego su vapor para reducirlas nuevamente a líquido.

Como la mayor la de los aceites esenciales son una mezcla de compuestos volátiles, que cumplen la ley de Raoult, lo que representa que, a una temperatura dada, la presión

total del vapor ejercida por el aceite esencial, será la suma de las presiones del vapor de sus componentes individuales, por lo que, durante el proceso de la destilación de vapor, la vaporización del aceite ocurre a una temperatura menor que la del punto de ebullición del agua.

En general los componentes del equipo de destilación para extraer aceite esencial son:

- ✚ Fuente de energía.
- ✚ Destilador.
- ✚ Intercambiador de calor.
- ✚ Decantador.

Fuentes de energía: Se deben considerar dos tipos básicos de fuente de energía en la destilación de los aceites esenciales comerciales: En primer lugar, la combustión de la madera, la cual una vez iniciada, se mantiene con el material vegetal desgastado de una destilación anterior, por otro lado, el vapor generado en una caldera.

Destilador: Es el recipiente donde se carga el material vegetal que se destila, también se le llama extractor o alambique, generalmente es de forma cilíndrica y se instala verticalmente. Su capacidad depende de la escala de operación.

Intercambiador de calor: También se le conoce como condensador, su función involucra la remoción de calor para transformar al estado líquido la mezcla de vapor de agua y aceite esencial que emerge del destilador. Los dos diseños más populares son el de tipo serpentín, tipo coraza y tubo o tipo tubular.

Decantador: Popularmente se le conoce como separador del aceite o vaso florentino, su función consiste en separar la mezcla de agua y aceite esencial proveniente del intercambiador de calor.

Si el aceite esencial es más ligero que el agua se ubicará en la capa superior o en la capa inferior, sí es más pesado.

1.4.2.1 DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR DE AGUA

Es el proceso más común para extraer aceites esenciales, más no es aplicable a flores ni a materiales que se apelmazan. En esta técnica se aprovecha la propiedad que tienen

las moléculas de agua en estado de vapor de asociarse con moléculas de aceite.

La extracción se efectúa cuando el vapor de agua entra en contacto con el material vegetal y libera la esencia, para luego ser condensada. Con el fin de asegurar una mayor superficie de contacto y exposición de las glándulas de aceite, se requiere picar el material según su consistencia.

Descripción del proceso: La materia prima se coloca sobre un fondo perforado o criba ubicado a cierta distancia del fondo de la cámara llamado alambique. La parte más baja de esta contiene agua hasta una altura algo menor que el nivel de la criba. El calentamiento se produce con vapor saturado que se provee de una fuente de calor, fluye mojado y a presión media, penetrando a través del material vegetal, el vapor de agua provoca que los aceites esenciales se difundan desde las membranas de la célula hacia fuera. Los componentes se volatilizan, y condensan en un refrigerante, siendo recogidos en una ampolla de separación, donde se separa el agua del aceite por diferencia de densidad.

Figura I-6: Equipo de Destilación por arrastre de vapor.



Fuente: Elaboración propia.2017.

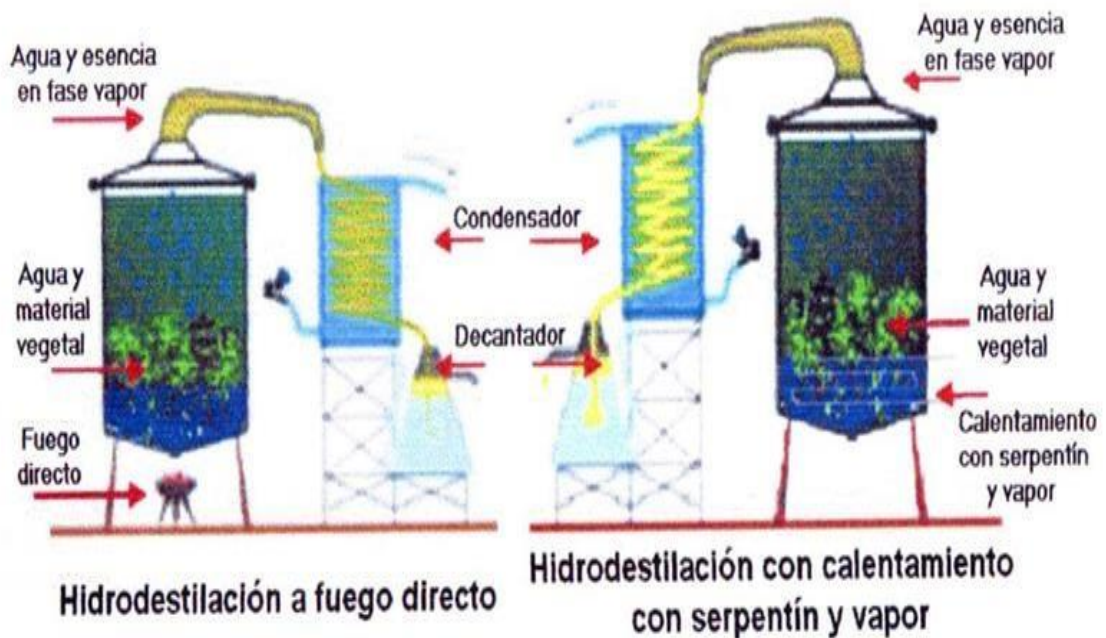
Desventaja: Pueden ocurrir procesos colaterales como polimerización y resinificación de los terpenos; así como hidrólisis de ésteres y destrucción térmica de algunos componentes.

Ventajas: Energéticamente es más eficiente, se tiene un mayor control de la velocidad de destilación, existe la posibilidad de variar la presión del vapor, y el método satisface mejor las operaciones comerciales a escala, al proveer resultados más constantes y reproducibles.

1.4.2.2 DESTILACIÓN CON AGUA O HIDRODESTILACIÓN

Consiste en poner a hervir agua, bien sea por fuego directo, camisa de vapor o camisa de aceite, en la cual se ha sumergido previamente el material vegetal, preferiblemente en polvo, con el objeto de que el vapor de agua ejerza su acción en el mayor número posible de partículas vegetales.

Figura I-7: Hidrodestilación a fuego directo/con calentamiento con serpentín y vapor.



Fuente: Márquez D., 2011.

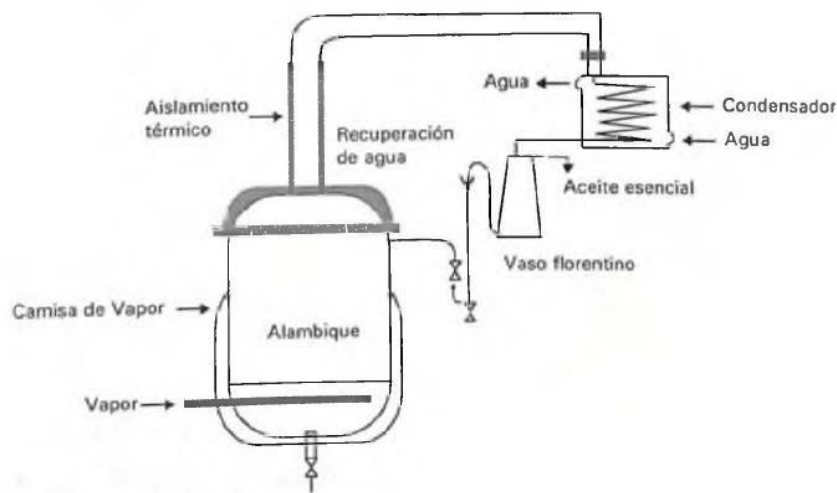
Similar al arrastre con vapor, el vapor producido arrastra los aceites esenciales hasta otro recipiente donde se condensan y se separan.

Este sistema de extracción tiene el inconveniente de que la temperatura que se emplea provoca que algunos compuestos presentes en las plantas se degraden y se pierdan.

El material vegetal aromático siempre debe encontrarse en contacto con el agua, para así evitar el sobrecalentamiento y la carbonización del mismo. Debe mantenerse en constante agitación para evitar que se aglomere o sedimente al adherirse a las paredes del recipiente, lo cual puede provocar también su degradación térmica.

Dado que generalmente no es posible colocar suficiente agua para sostener todo el ciclo de destilación, se han diseñado equipos que presentan un tubo de cohobación lateral que permite el retorno de agua hacia el recipiente de destilación.

Figura I-8: Hidrodestilación



Fuente: Introducción a la Industria de los aceites esenciales de plantas Medicinales y aromáticas, *BANDONI, A.*, 2000.

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

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

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

Desventajas:

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

- Por ser un sistema particularmente empleado en zonas rurales, se realiza como un arte y normalmente no se opera bajo condiciones óptimas de tiempo y temperatura.

1.4.2.3 DESTILACIÓN AGUA - VAPOR O VAPOR HÚMEDO

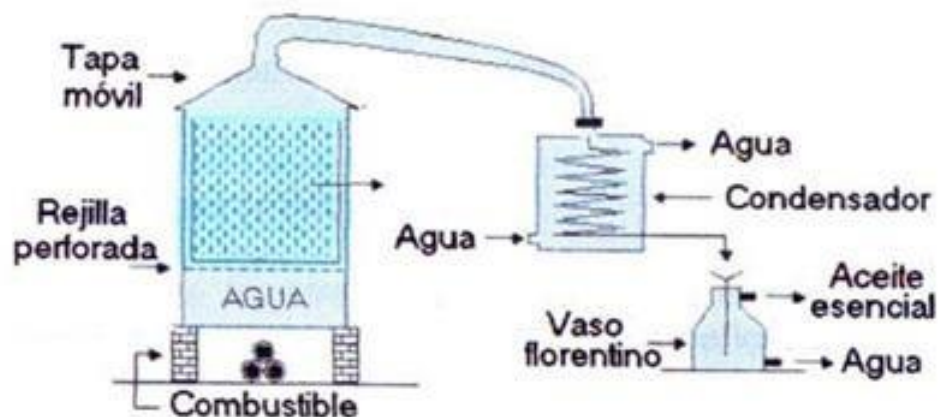
Este procedimiento comúnmente se utiliza en el agro para destilar especialmente hierbas y hojas. El material se coloca sobre una parrilla, y luego, entre el fondo y la parrilla se coloca el agua, hasta un nivel un poco inferior a la parrilla.

Cuando se dispone de poca agua, el agua que sale con el aceite esencial en la primera extracción, se recircula al extractor para sostener el proceso de destilación (cohobación).

El calentamiento se puede efectuar desde una fuente externa o dentro del propio cuerpo del extractor. El vapor de agua producido, se satura, atraviesa el material que se encuentra sobre la parrilla y provoca el arrastre de la esencia, no existiendo peligro de sobrecalentamiento del material vegetal, tal como ocurre en la hidrodestilación.

Se debe prevenir el recalentamiento que produce un olor desagradable en el aceite, y acanalar el vapor generado, de manera que se distribuya uniformemente en el alambique. Aunque este sistema mejora la calidad del aceite obtenido por hidrodestilación, y además tiene aplicación en el trabajo experimental, no es conveniente para ninguna destilación comercial.

Figura I-9: Destilación en agua-vapor húmedo



Fuente: Introducción a la Industria de los aceites esenciales de plantas Medicinales y aromáticas, *BANDONI, A*, 2000.

1.4.2.4 DESTILACIÓN PREVIA MACERACIÓN

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

1.4.2.5 DESTILACIÓN AL VACÍO

La destilación al vacío es un método de destilación realizado a presión reducida, esta técnica separa los compuestos en función de las diferencias en los puntos de ebullición, se usa cuando el punto de ebullición del compuesto deseado es difícil de lograr o causará que el compuesto se descomponga. Una presión reducida disminuye el punto de ebullición de los compuestos. La mayor ventaja de este método, es la mínima probabilidad de descomposición de los aceites esenciales y formación de compuestos no deseados, debido a las bajas temperaturas de trabajo.

La destilación al vacío permite que esta técnica de purificación se use en compuestos

con altos puntos de ebullición o que sean sensibles al aire. Los compuestos con un punto de ebullición inferior a 150°C se pueden destilar normalmente sin presión reducida. El uso de una columna de fraccionamiento en la configuración mejora la separación de las mezclas y puede permitir la separación de compuestos con puntos de ebullición similares.

1.4.2.6 DESTILACIÓN MOLECULAR

La destilación molecular es un tipo de destilación al vacío de corto recorrido, caracterizada por una presión de vacío extremadamente baja. Este proceso se caracteriza por la exposición a corto plazo del líquido destilado a altas temperaturas en alto vacío.

En la destilación molecular, los fluidos se encuentran en el régimen de flujo molecular libre, es decir, la trayectoria libre media de las moléculas es comparable al tamaño del equipo. La fase gaseosa ya no ejerce una presión significativa sobre la sustancia a evaporar, y en consecuencia, la velocidad de evaporación ya no depende de la presión. El movimiento de las moléculas está en la línea de visión, porque ya no forman un gas continuo. Por lo tanto, es necesario un camino corto entre la superficie caliente y la superficie fría, típicamente suspendiendo una placa caliente cubierta con una película de alimentación junto a una placa fría con una línea de visión en el medio, tiene las ventajas de evitar el problema de toxicidad que se produce en las técnicas que utilizan disolventes como agente de separación, y también de minimizar las pérdidas debidas a la descomposición térmica. y se puede usar en un proceso de alimentación continua para recolectar el destilado sin tener que romper el vacío como solventes orgánicos, que luego se separan y recuperan, obteniendo en cada fase orgánica compuestos determinados del aceite esencial según su afinidad frente al solvente. Este método se utiliza industrialmente para la purificación de aceites, enriquecer el aceite de borraja en ácido γ -linolénico (GLA) y también para recuperar los tocoferoles del destilado desodorizante del aceite de soja

1.4.3 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTES

1.4.3.1 MACERACIÓN EN GRASA

La maceración es un proceso de extracción sólido-líquido. El producto sólido (materia prima) posee una serie de compuestos solubles en el líquido extractante que son los que se pretende extraer. En este caso el agente extractante (la fase líquida) grasa, es un método de extracción con grasa caliente basado en sumergir los pétalos de flores en la grasa, y luego extraer las esencias con alcohol. Este método se ha reemplazado por completo por la extracción con disolventes orgánicos.

1.4.3.2 EXTRACCIÓN CON SOLVENTES VOLÁTILES

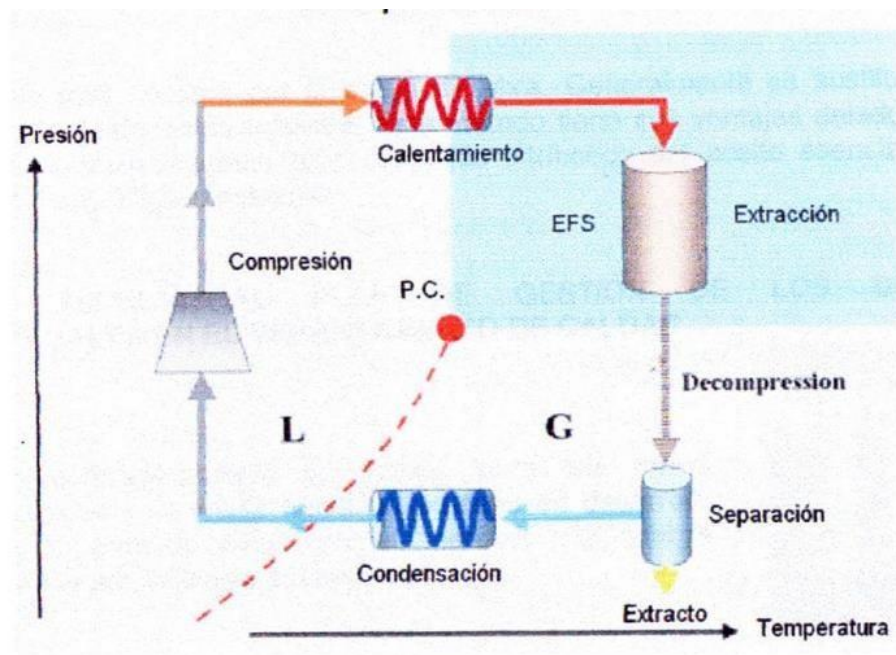
Este método se basa en la facilidad de los disolventes orgánicos para penetrar en el material vegetal y disolver sus aceites volátiles, debido a las diferencias de punto de ebullición entre el aceite esencial y el solvente. En esta técnica, la muestra seca y molida se pone en contacto con solventes tales como éter de petróleo, pentano, éter etílico, alcohol, cloroformo, etc. Estos solventes solubilizan la esencia, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como ácidos grasos, ceras y pigmentos, que se pueden separar por destilación controlada. Las extracciones que se realizan se emplean básicamente en la industria de perfumes.

Este método tiene la ventaja de trabajar a temperaturas bajas, por lo que no provoca la termo destrucción ni alteración química de los componentes del aceite, ofrece la posibilidad de separación de componentes individuales y presentes en poca cantidad. Sin embargo, se utiliza a escala laboratorio pues a escala industrial resulta costoso por el valor comercial de los solventes, por requerir instalaciones fijas y personal especializado; además, porque se obtienen esencias impurificadas con otras sustancias y por el riesgo de explosión e incendio característicos de muchos solventes orgánicos volátiles.

1.4.3.3 EXTRACCIÓN POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS (EFS)

Consiste en utilizar como material de arrastre sustancias químicas en condiciones especiales de temperatura y presión. El material vegetal se corta en trozos pequeños, se licua y se empaqueta en una cámara de acero inoxidable por donde se hace circular un líquido supercrítico. Los aceites esenciales se solubilizan y el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente. Finalmente se obtiene un aceite puro.

Figura I-10: Principios de la Extracción SCF



Fuente: Introducción a la Industria de los aceites esenciales de plantas Medicinales y aromáticas, I.S.A.S.F., Francia, 2000.

El proceso se inicia de la siguiente manera: La alimentación, generalmente un sólido molido, se carga al extractor. El dióxido se alimenta al extractor a través de una bomba de alta presión (100 a 400 bar). El dióxido comprimido se calienta de a un 1°C hasta la temperatura de extracción (30ª 60°). Luego ingresa al extractor y procede a extraer la esencia de la matriz herbácea cargada. La mezcla de dióxido extracto se envía a un separador con un previo paso a través de una válvula de reducción (150 a 50 bar). A la

temperatura y presión reducidas, el extracto precipita espontáneamente en el separador, mientras el dióxido, libre de cualquier extracto, se recicla al proceso, con pasos previos de enfriamiento y compresión.

Ventajas:

Alto rendimiento, ecológicamente limpio, el solvente se elimina fácilmente y se puede reutilizar, se utilizan para la extracción bajas temperaturas, químicamente no se modifican los componentes de la esencia, reduce los requerimientos de energía de la destilación.

Desventajas:

- Ácidos grasos, pigmentos y ceras también pueden ser extraídos junto con el aceite esencial.

- El equipo requerido es relativamente costoso, ya que se requieren bombas de alta presión y sistemas de extracción que también sean resistentes a las altas presiones.

De todos los solventes supercríticos, el dióxido de carbono es el más investigado, debido a que no es un elemento tóxico ni inflamable, no perjudica la naturaleza y no requiere de un equipo demasiado sofisticado para cumplir su misión de arrastre de aceites esenciales; presenta propiedades fisicoquímicas propias de los gases y los líquidas, lo que lo convierte en un solvente muy versátil en procesos de separación; es posible realizar extracciones selectivas a temperaturas menores de 20 °C y presiones fluctuantes entre 60 y 350 bar.

El extracto supercrítico del romero, exento de clorofila, contiene carnosol y ácido carnosólico, antioxidantes naturales por excelencia; es ideal para alargar la vida útil del salami, pepperoni, mayonesa, mantequilla y otros alimentos grasos. Los extractos supercríticos de especias naturales son innovación que repercute favorablemente en el binomio calidad/costo de los alimentos, siendo por tanto de gran utilidad en la industria alimentaria.

1.4.3.4 ENFLORACIÓN O ENFLEURAGE

La técnica de enflorado se ha empleado para la extracción de esencias de flores delicadas, sensibles al calor y costosas como: rosa, jazmín, azahar, acacia, violeta, y resinas como la mirra.

Los pétalos frescos se ponen en contacto con una delgada capa de grasa y el perfume emitido por las flores se absorbe. Después de dos o tres meses, muchas capas de grasa se saturan con las moléculas perfumadas del aceite de la flor, el cual se trata con alcohol y luego se destila para obtener la esencia.

Es un procedimiento muy costoso por la mano de obra. Generalmente se sustituye por la extracción con hexano ligero como solvente. Este método tiene sus ventajas debido a que la extracción de algunas plantas tiene bajo contenido intrínseco del aceite esencial, y otros métodos destruirían estas frágiles

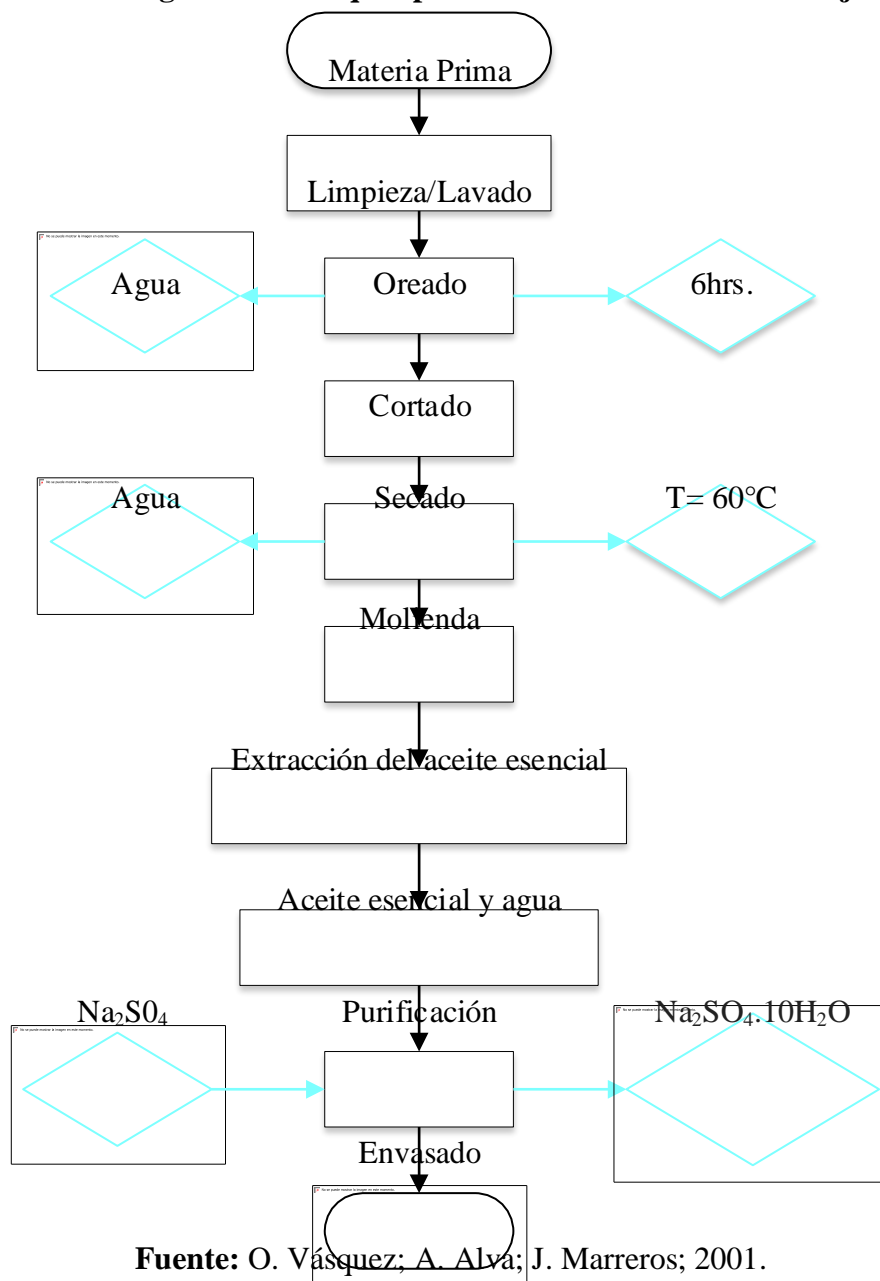
Figura I-11: Método de enfleurage



Fuente: Pearlstine E., 2011.

1.5 ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DEL RIZOMA DE JENGIBRE

Figura I-12: Diagrama de Bloques para la extracción del aceite de jengibre.



- **Limpieza**, se eliminan cuidadosamente las raíces y la tierra adherida, de preferencia se utilizan cuchillos de acero inoxidable de hoja roma con el fin de separar también las escamas que cubren el rizoma.
- **Lavado**, tiene por finalidad eliminar los últimos vestigios de tierra y se realiza mediante un flujo continuo de agua potable a temperatura ambiente y luego se deja escurrir.
- **Oreado**, por seis (06) horas para eliminar el exceso de humedad.
- **Cortado o troceado**, debido a que la muestra debe ser secada, se recomienda cortarlas en hojuelas de 1 cm de espesor para facilitar la operación de secado. En forma manual con ayuda de cuchillos de acero inoxidable.
- **Secado**, se realiza para facilitar el proceso de extracción y así mismo lograr un mayor tiempo de almacenaje si es que no se va a extraer de forma inmediata. En este caso se debe utilizar un secador de bandejas a 60 °C.
- **Molienda**, se utiliza un molino de martillos, para obtener un mayor número de partículas que harán más eficiente la extracción al aumentar la superficie de contacto.
- **Extracción de aceite esencial**, se deja el equipo funcionando por un tiempo de tres a cuatro horas, pues durante las primeras horas se extrae alrededor de 80% del aceite esencial, mientras que el otro 20% se extrae dentro de las dos horas siguientes. Una vez transcurridas las tres a cuatro horas se apaga y se deja enfriar cuando ya se encuentra a temperatura ambiente, se abre la llave y se deja caer en un vaso de precipitación el agua que está sosteniendo al aceite esencial y que toma el nombre de “hidrolato”, esta podría ser aprovechada pues contiene las mismas propiedades y fragancias del aceite esencial, en un frasco se recoge luego el aceite esencial todavía emulsionado, este debe permanecer en reposo por alrededor de 24 horas que es el tiempo aproximado en que la emulsión se rompe y se puede separar el resto del agua.
- **Separación**, para separar el aceite esencial se necesita una ampolla de separación. En este caso se coloca el aceite esencial que esta junto al agua en el mismo recipiente, debe dejarse en reposo unos minutos más debido a la agitación que se

provocó. Se recoge en un frasco el agua y en otro el aceite esencial con un porcentaje mayor de pureza.

- **Purificación**, para tener un aceite esencial con mayor pureza es necesario añadir un secante (Sulfato De Sodio, Na_2SO_4) con el fin de que absorba el agua que queda encapsulada en medio del aceite esencial. (Sulfato de Sodio Decahidratado, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

1.5.1 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA EXTRACCIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR

Los factores que influyen en la extracción por arrastre de vapor son los siguientes:

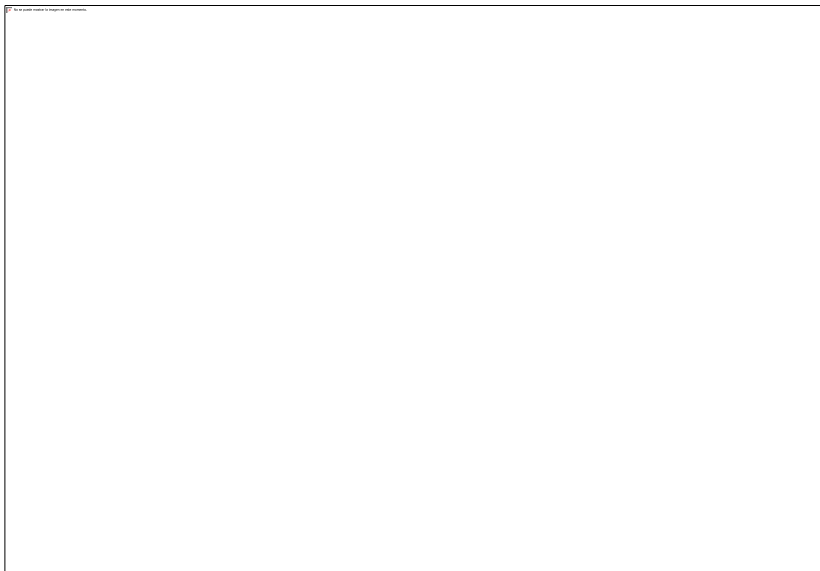
- **Tipo de secado de la materia prima:** Se realiza para conservar sus propiedades del jengibre con secado indirecto al aire libre bajo techo, secado forzado con estufa a 60°C para conservar las propiedades de las mismas.
- **Tiempo de extracción:** Pasado un tiempo ya no sale más aceite esencial y el vapor posterior causa arrastre por solubilidad o emulsión del aceite, presentando una disminución en el rendimiento.
- **Factor de empaquetamiento:** Si el material queda muy suelto, el proceso termina muy pronto, presentando un alto consumo energético; si queda muy apretado, el vapor se acanala disminuyendo el rendimiento del aceite, debe de estar entre el 0,15 a 25% distribución interior del vapor.
- **Eficiencia del condensador (Condensación interior):** Se evita realizando una purga previa a los 30 minutos iniciado el proceso y, además manteniendo el tanque bien aislado.
- **Tiempo de residencia en la cámara de extracción:** Sobre todo si el diámetro es muy pequeño se produce arrastre del aceite. (VERA, I. O., 2012).

1.6 DEFINICIÓN DE ACEITE DE JENGIBRE

El aceite esencial de jengibre es picante y energizante, en concentraciones bajas es inocuo, no es tóxico ni irritante, pero puede ser fototóxico, por tal motivo hay que evitar aplicarlo en las áreas de la piel que estarán expuestas al sol las 24 horas posteriores a la aplicación, proviene de la raíz del jengibre (*Zingiber officinale*). El aroma varía según la destilación y la calidad de jengibre.

Es un aceite esencial denominado caliente, lo que implica que es adecuado para tratar problemas que se agravan con el frío o humedad, se puede diluir el aceite esencial de jengibre en un aceite esencial como el aceite de oliva o de coco. También puede combinarse con aceites esenciales con esencia de picor, la bergamota, flor de cananga y sándalo.

Figura I-13: Aceite Esencial de jengibre.



Fuente: Asociación Nacional de Aromaterapia Holística, 2018.

1.7 CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE DE JENGIBRE

Maistre (1969) manifiesta que por el método arrastre con vapor obtuvo entre 1.5 y 3% de aceite volátil. Es importante indicar que el rendimiento en aceite esencial se ve afectado por el proceso de secado, debido a que durante el cortado se rompen células que contienen el aceite esencial y a que durante el secado se pierden debido a su alta volatilidad.

Tabla I-8: Principales componentes del aceite esencial de jengibre

SUSTANCIA	PORCENTAJE (%)
α -zingibereno	22,22
Ar-curcumeno	13,11
β -sesquifelandreno	9,44
Teraniol	3,33
β - mirceno	1,47
Citral	1,25
Geranial	1,10
No identificado	48,08

Fuente: O. Vásquez; A. Alva; J. Marreros, 2001.

Tabla I-9: Estudio Cromatográfico del Aceite Esencial de Jengibre, Italia.

COMPUESTO	%	COMPUESTO	%	COMPUESTO	%
Tricyclene	0,25	Geraniolo	1,11	Cis, β Farnesene	0,67
α Pinene	3,31	Geraniale	0,17	γ Muurolene	1,81
Canfene	9,98	Bornil acetato	0,29	Ar Curcumene	8,93
β Pinene	0,52	δ Elemene	0,25	γ Cadinene	3,82
Mircene	0,92	α Cubenene	0,44	α Zingiberene	23,94
α Phellandene	0,41	Copaene	0,84	β Bisabolene	11,4
1,8 Cineolo + α -	7,67	β Elemene	1,19	β Sesquiphellandrene	10,86
Ocimene	0,39	α Ylangene	0,68	Bisabolene trans, γ	0,61
Borneolo	1,02	β Cubebene	0,43	Nerolidol	0,51
α Terpeneolo	0,48	D Guaiene g Elemene	0,91	β Eudesmolo	0,23
Nerolo	0,63	α Bergamotene	0,36		
Citronellolo	0,37	Allo Aromandrene	0,53		

Fuente: Estudio GC-MS, Ficha Técnica, Fundación Chankuap.

Tabla I-10: Evaluación sensorial del aceite de jengibre

Aspecto	Líquido Cristalino brillante
Color	Verdoso amarillento
Olor	Característico a la materia prima
Sabor	Ligeramente picante

Fuente: O. Vásquez; A. Alva; J. Marreros, 2001.

El aceite esencial del jengibre se presenta en forma de líquido bastante móvil, de color verdoso o amarillo, que tiene el olor característico del jengibre, por lo que el sabor ardiente de la especia se debería a una serie de sustancias no volátiles presentes en la oleorresina mas no en el aceite esencial (Maistre, 1961). Esta oleorresina se acostumbra extraerla mediante solventes orgánicos como la acetona, alcohol o éter, posee color amarillo y sabor muy ardiente.

Tabla I-11: Características Físico-Químicas del Aceite Esencial de Jengibre

Densidad (20°C)	0,872 a 0,894 (gr/ml)
Índice de Refracción(20°C)	1,485 a 1,492
Potencia Rotativa (20°C)	-52° a -12°
Punto de destello	+65°C

Fuente: Compagnie des Sens,2017.

Tabla I-12: Características sensorial/fisicoquímicas del Aceite Esencial de Jengibre, Italia.

Dato de Análisis	Rango	Método
Apariencia visual	Líquido aceitoso transparente	Visual
Color	Ligeramente amarillo	Visual
Olor	Típica nota a especia	Olor
Densidad(g/ml)	0,890- 0,900	<841> USP
Índice de refracción	1,4700 -1,490	<831> USP
Índice de acidez (%)	2,0	Método interno
Solubilidad en alcohol	Completamente soluble	Método interno

Fuente: Estudio GC-MS, Ficha Tecnica, Fundación Chankuap, 2017.

1.8 APLICACIONES DE ACEITE DE JENGIBRE

El aceite esencial de jengibre es muy cotizado debido a las múltiples utilizaciones que se le puede dar a este producto, como en la industria alimenticia, farmacéutica y de uso medicinal.

1.8.1 ÁMBITO ALIMENTICIO FARMACÉUTICO

El uso de los aceites esenciales de condimentos y especias tanto en la industria de alimentos como en la industria farmacéutica es cada vez más generalizado, debido en parte a la homogeneidad del aroma y a la minimización de las posibilidades de contaminación microbiana, cuando se compara con el uso directo de tales especias y condimentos.

1.8.2 ÁMBITO MEDICINAL

Al consumir aceite esencial las personas están evitando enfermedades musculares y reumáticas, ayuda a prevenir enfermedades de arterias coronarias, artritis, úlceras estomacales, reduce el crecimiento de tumores, migraña, es un excelente antioxidante para el cuerpo humano, disuelve coágulos, reduce la presión arterial, ayuda a mejorar el funcionamiento del sistema digestivo eliminando de esta forma mareos y náuseas, combate la tos y relaja los músculos abdominales disminuyendo los dolores y diarrea, estimula los pulmones, previene el cáncer de piel, combate la fiebre y estimula el apetito.

El aceite de jengibre es adecuado para tratar y reducir la celulitis. Este aceite esencial se utiliza en cosmética natural como ingrediente en mezclas para masajes o baños, ya que tiene efectos antioxidantes y estimulantes. También se pueden realizar remedios caseros para combatir el cuero cabelludo irritado.

1.8.3 ÁMBITO INDUSTRIAL

Además de todos los usos naturales que podemos dar al jengibre, es utilizado en la formulación de numerosos enjuagues bucales, pastas dentales, medicamentos de uso dentario, bebida carbonatada, el ginger ale (Cerveza de jengibre), que está hecha a base

de jengibre, así también se utiliza en la fabricación de mantecas y jabones y en procesos oleo químicos.

Este aceite esencial es muy usado como sustancia saponífera en bebidas alcohólicas y no alcohólicas. El aceite esencial de jengibre genera productos como la oleína y estearina, que son materias primas necesarias para la fabricación de aceites puros o mezclados refinados.

1.9 SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DEL RIZOMA DE JENGIBRE

Para la elección del método más conveniente se elaboró la siguiente matriz de decisión:

Tabla I-13: Matriz de decisión del Método de Extracción

NECESIDADES		METODOS DE EXTRACCIÓN									
		Extracción por prensado		Extracción con fluido supercrítico		Extracción por arrastre con vapor		Extracción por Hidrodestilación		Extracción por Solvente	
Aplicable al rizoma de jengibre		NO	SI		SI		SI		SI		NO
Costo	40%	-	Muy alto	0	Bajo	6	Medio	4	Alto	2	-
Calidad de aceite obtenido	30%	-	Muy buena	8	Buena	6	Regular	4	Muy buena	8	-
Rangos de P y T accesibles	30%	-	NO	0	SI	10	SI	10	SI	10	-
TOTAL	100%	-		240		720		580		620	-

Fuente: Elaboración propia, 2017

Los rangos empleados en la matriz de decisión son los siguientes:

Tabla I-14: Valoración de la escala para la matriz de decisión

COSTO		CALIDAD DE ACEITE OBTENIDO		RANGOS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA	
Muy alto	0	Pésima	0	SI	10
Alto	2	Mala	2		
Medio	4	Regular	4		
Bajo	6	Buena	6	NO	0
Muy bajo	8	Muy buena	8		
Sin costo	10	Excelente	10		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El cálculo de la puntuación de cada método de extracción se calcula multiplicando el valor que se da a cada necesidad por el porcentaje de importancia que tiene cada una, luego sumar los resultados de la misma, por ejemplo:

Costo	:	40 x 6 = 240
Calidad de aceite obtenido	:	30 x 6 = 180
Rangos de T y P	:	30 x 10 = 300
TOTAL	:	300+180+240 = 720

Según estos parámetros y los resultados obtenidos en la matriz de decisión, el método más conveniente para extraer el aceite esencial de jengibre es el método de arrastre con vapor, con una puntuación de 720, debido a que este método es de bajo costo, se obtiene un aceite de buena calidad y los rangos de temperatura y presión son accesibles.

1.10 CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE DE JENGIBRE

La calidad de un aceite está determinada por una serie de características o propiedades físicas y químicas que dan indicios acerca de la pureza, conservación, usos y otras cualidades del aceite. Estas propiedades se determinan mediante análisis físico-químicos (Cabralés R.A., 2013).

Se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros analíticos en el control de calidad de los aceites esenciales:

Tabla I-15: Clasificación de los parámetros analíticos en control de calidad de aceite esenciales

Características Organolépticas	Olor Color Apariencia
Determinaciones Físicas	Densidad Poder rotatorio Índice de refracción Miscibilidad en etanol Punto de congelación Punto de inflamación Rango de destilación
Índices Químicos	Índice de acidez Índice de éster Índice de saponificación Índice de acetilo Índice de fenoles
Cromatografía Cualitativa y Cuantitativa	Perfil cromatográfico por CG Cuantificación de los componentes principales
Características Espectroscópicas	Ultravioleta-visible Infrarrojo
Otras determinaciones	Pesticidas Metales pesados

Fuente: Rodas, M., 2012. (ANEXO 15).

1.11 ESCALAMIENTO

El escalamiento, es una técnica de diseño para definir un sistema de mayor capacidad a partir de uno pequeño y viceversa, es decir, de una planta piloto se obtienen datos de diseño necesarios que, a través de una técnica adecuada de escalamiento, sirven para definir la planta industrial. También de una planta industrial existente se obtienen datos de diseño que nos ayuda a definir la planta industrial de diferente capacidad (USON,2013).

El paso fundamental en el escalamiento consiste en pasar los datos obtenidos en la planta piloto a un modelo que puede ser:

- **Fenomenológico:** este modelo se fundamenta en algunos razonamientos teóricos, pero de tipo microscópico. No involucra consideraciones moleculares y permite hacer predicción en rangos o intervalos de operación no estudiados experimentalmente.
- **Empírico:** se postula sin bases teóricas y se espera solamente que ajuste la interacción entre los datos en el rango o intervalo de experimentación.
- **De similaridad:** es obtenido a partir de un análisis de similaridad con respecto análogas físicas de tipo térmico, mecánico, geométrico, químico, etc.

El tipo de modelo de escalamiento depende tanto del proceso en cuestión como de la geometría de los equipos involucrados.

El escalamiento se basa en el “**Principio de Similaridad**”, que establece que “la configuración de un sistema físico está determinado por relaciones entre magnitudes del sistema”. En un proceso químico, esas relaciones son: proporciones geométricas, gradientes de velocidad, gradientes de temperatura y gradientes de concentración (USON, 2017).

El principio de similaridad hace referencia a la relación que existe entre sistemas físicos y el tamaño de los mismos, siendo básico en el escalamiento de procesos físicos y químicos. Los sistemas físicos se caracterizan por tres cualidades: tamaño, forma y composición. Las tres variables son independientes; por ejemplo, dos objetos pueden

ser diferentes en tamaño, pero tener la misma forma y composición (REDALYC, 2017).

Dentro de la Ingeniería Química son de interés cuatro tipos de similaridad:

1.11.1 SIMILARIDAD TÉRMICA

Involucra a los sistemas que presenta flujo de calor, por lo que se introduce la dimensión temperatura además de la longitud, fuerza y tiempo. El calor puede fluir por convección, conducción y radiación. La diferencia de temperaturas a tiempos correspondientes entre un par de puntos de un sistema y el par de puntos de otros se denominan temperaturas correspondientes. Sistemas que presentan similaridad geométrica son térmicamente similares cuando la diferencia de temperaturas presenta una relación constante entre ellos.

1.11.2 SIMILARIDAD MECÁNICA

Comprende en su área a la similaridad estática, cinemática y dinámica, las cuales se consideran como una extensión de la similaridad geométrica en sistemas fijos o en movimiento sujetos a fuerzas externas o internas.

1.11.3 SIMILARIDAD QUÍMICA

Se aplica a sistemas que presentan reacciones químicas donde la composición varía de un punto a otro, ya sea en procesos intermitentes o continuos, en diferentes instantes. No es necesario que las composiciones químicas de ambos sistemas sean las mismas, sólo debe existir una relación fija entre las concentraciones puntuales de algunos componentes de las cuales se realiza la comparación. Los sistemas con similaridad geométrica y térmica están en similaridad química cuando las diferencias correspondientes de concentración mantienen una relación constante entre uno y otro (REDALYC, 2017).

La aplicación del principio de similaridad implica que, en el sistema a diseñar, los fenómenos que ocurren en el sistema piloto, sean de la misma magnitud que en el sistema industrial, por lo tanto, es necesario obtener las relaciones de escalamiento,

para lo cual se divide la ecuación aplicada al sistema industrial por la misma ecuación aplicada al sistema piloto. De modo que:

$$\frac{L_{i,industrial}}{L_{i,piloto}} = \lambda \quad (Ec. 1-1)$$

Esta ecuación, puede ser un grupo adimensional, una correlación o bien la ecuación de diseño. A partir de la misma, pueden obtenerse las ecuaciones necesarias para definir el sistema industrial. Dentro del escalamiento se tiene cuatro tipos de ecuaciones (USON, 2017):

- ✓ Ecuaciones de similaridad, resultan de la igualdad de grupos adimensionales.
- ✓ Ecuaciones de extrapolación, resultan de la igualdad de correlaciones.
- ✓ Ecuaciones de diseño, resultan de la igualdad de ecuaciones de diseño.
- ✓ Las ecuaciones que resultan de la combinación de ecuaciones de escalamiento con técnicas de diseño tradicional.

1.11.4 SIMILARIDAD GEOMÉTRICA

La similaridad geométrica se define con mayor precisión en términos de correspondencia. Considerando dos cuerpos sólidos, cada uno provisto de tres ejes imaginarios en el espacio que los interceptan. Un punto en el primer cuerpo referido al prototipo, está dado por las coordenadas x, y, z, mientras que en el segundo cuerpo el punto correspondiente al equipo a la nueva escala está dado por las coordenadas X, Y, Z, ambos grupos de coordenadas están relaciones por la ecuación:

$$\frac{X}{x} = \frac{Y}{y} = \frac{Z}{z} = \lambda \quad (Ec. 1-2)$$

Donde:

λ_L = constante de relación de escalamiento lineal.

Estos dos puntos y todos los demás pares de coordenadas espaciales que están relacionados en términos de λ_L son conocidos como puntos correspondientes. Dos cuerpos son geoméricamente similares cuando para todo punto en el primer cuerpo existe un punto en el segundo, como se ilustra en la **FIGURA I-14**.

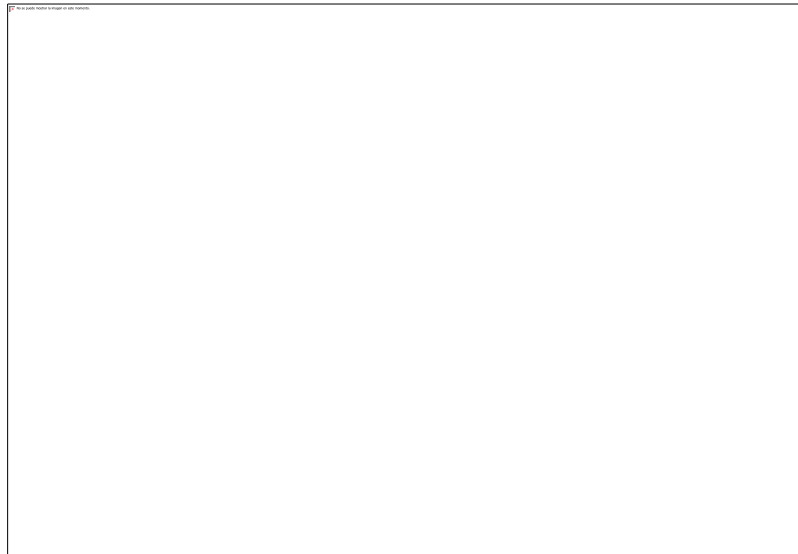
No es una condición necesaria que la relación de escalamiento sea la misma en cada uno de los ejes. Una definición más general acerca de los puntos correspondientes esta dada por:

$$\frac{x'}{x} = \lambda \quad \frac{y'}{y} = \lambda \quad \frac{z'}{z} = \lambda \quad (\text{Ec. 1-3})$$

donde:

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ = son relaciones de escalamiento constantes, pero no necesariamente iguales.

Figura I-14: Similaridad Geométrica



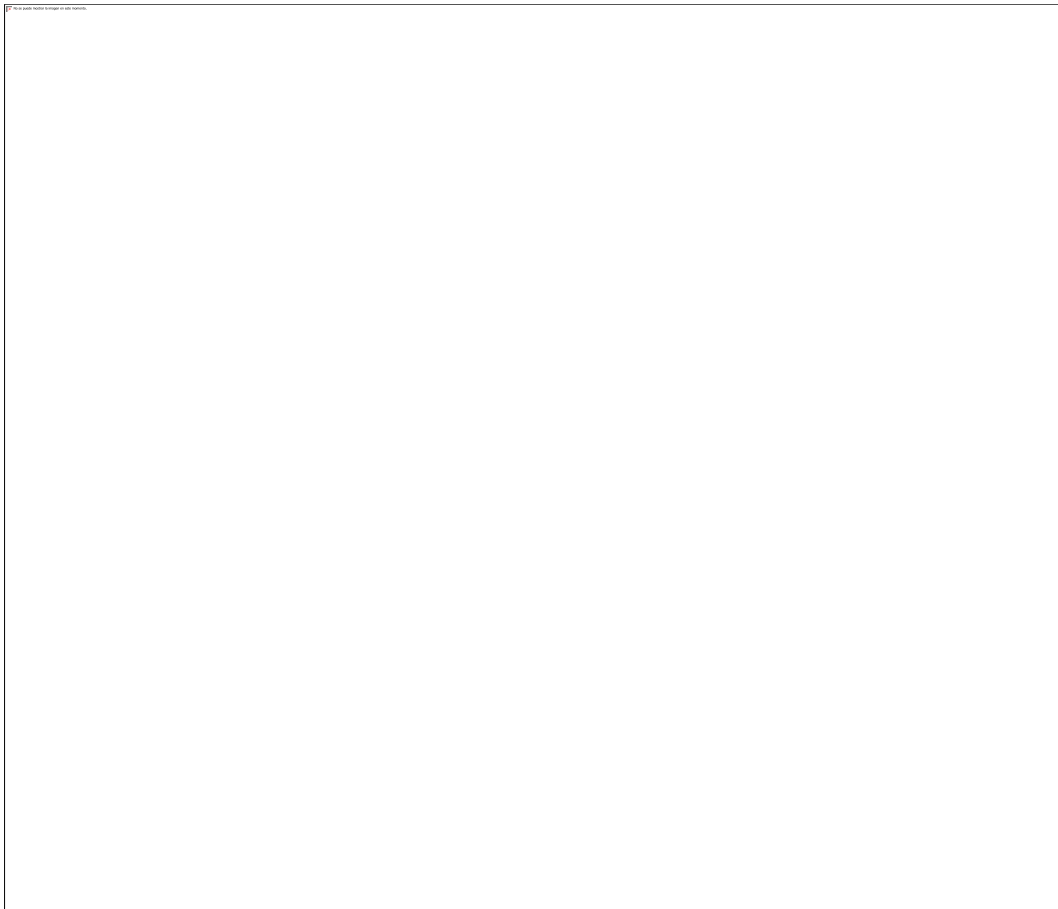
Fuente: REDALYC, 2017.

La relación entre dos cuerpos en los cuales las razones de escalamiento son diferentes en cada una de las direcciones, se denomina similaridad distorsionada.

CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL

La Parte Experimental se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias que está ubicada en el campus de la Universidad Juan Misael Saracho, con el equipo de destilación por arrastre de vapor de agua.

Figura II-1: Ubicación de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Fuente: Google Maps, 2018.

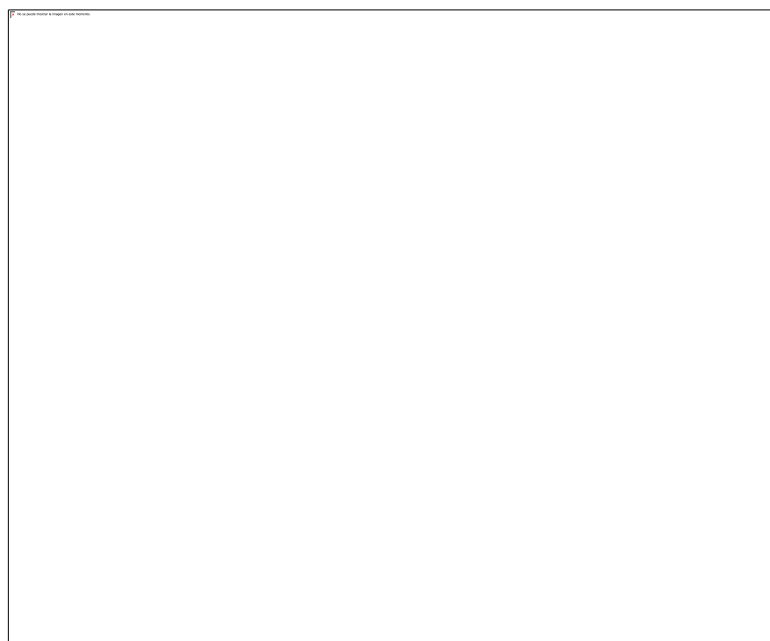
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En el presente trabajo de investigación se utilizó como materia prima el rizoma de jengibre, adquirido en el mercado, proveniente del Sector Cristal Mayu (Chapare) del departamento de Cochabamba.

El jengibre fue adquirido en el mercado local de Tarija, crece en suelos fértiles, sueltos, con riego abundante y expuesto a la luz directa a temperatura cálida. Para la extracción del aceite esencial se utilizó el rizoma con cáscara, ya que se observó que al ser pelado pierde bastante materia prima.

Los rizomas cultivados en territorio boliviano son grandes, aproximadamente unos 30 cm de largo, su crecimiento no es uniforme, tienen una piel lisa delgada, de un color mostaza claro, son picantes, la carne es de color amarillo, y se produce todo el año, presentando escases en épocas de lluvia, muchas veces se confunde con la cúrcuma debido a su parecido físico.

Figura II-2: Rizoma de jengibre



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.2 EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIAL UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

2.2.1 MATERIAL UTILIZADO

El material utilizado en la extracción de aceite esencial de jengibre se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II-1: Material de laboratorio para la extracción de aceite esencial

Material	Especificación	Cantidad
Mangueras		2
Soporte Universal		3
Pinza doble nuez		3
Matraz Erlenmeyer	500 ml	2
Espátula	Metal	1
Refrigerante	Grande	1
Termómetro	0-250°C	3
Probeta	5 ml	1
Jarra	1000 ml	2
Ampolla de Separación	de vidrio	1
Anillo		1
Frasco	de vidrio, color ámbar, 5ml	5
Tubos de ensayo	De vidrio	2
Malla de amianto		1

Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.2.2 MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

Se utilizó equipos e instrumentos existentes en el Laboratorio de Operaciones Unitarias compuesto por:

Tabla II-2: Equipos e Instrumentos utilizados

Equipo/Instrumento	Especificación	Cantidad
Cámara de Extracción	Acero Inoxidable	1
Calentador	A gas natural	1
Balanza Analítica	Marca. EUROPE Exactitud: 001 gr Potencia: 220W Capacidad máxima: 500 gr	1
Balanza triple Astil	Marca: AND(A&D WEIGHING) Capacidad máxima: 3110 gr	1
Estufa	Marca: Selecta Temperatura: 0 - 250°C	1
Tamiz	Marca: Orto-Alresa Accesorios: 1 juego de tamices Tensión: 220V y 110V. Frecuencia: 50-60 Hz. Velocidad: 2500rpm Consumo: 100W	1
Licuada	Marca: Mondial Modelo: L-95	1
Refractómetro	Marca: ABBE	1

Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

Los equipos utilizados para la extracción del aceite esencial se detallan a continuación:

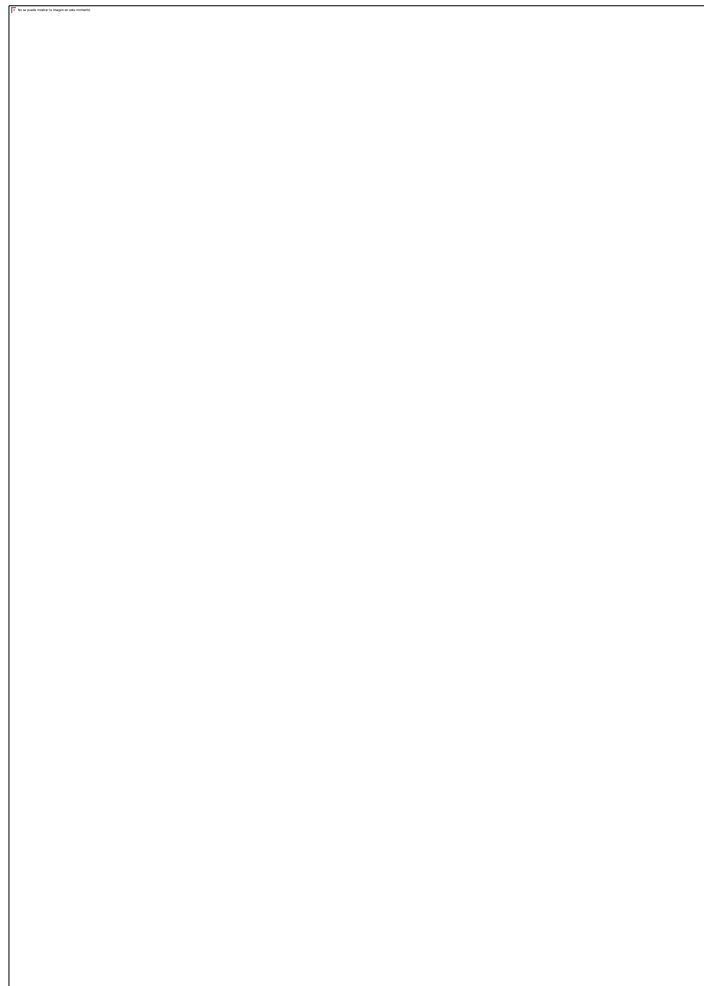
2.2.1.1 CÁMARA DE EXTRACCIÓN

La cámara de extracción es de acero inoxidable recubierta con una capa intermedia de lana de vidrio y una capa externa de calamina aluminizada para evitar pérdidas de calor hacia el ambiente. Tiene una tapa que se sujeta a la cámara de una bisagra y tres seguros

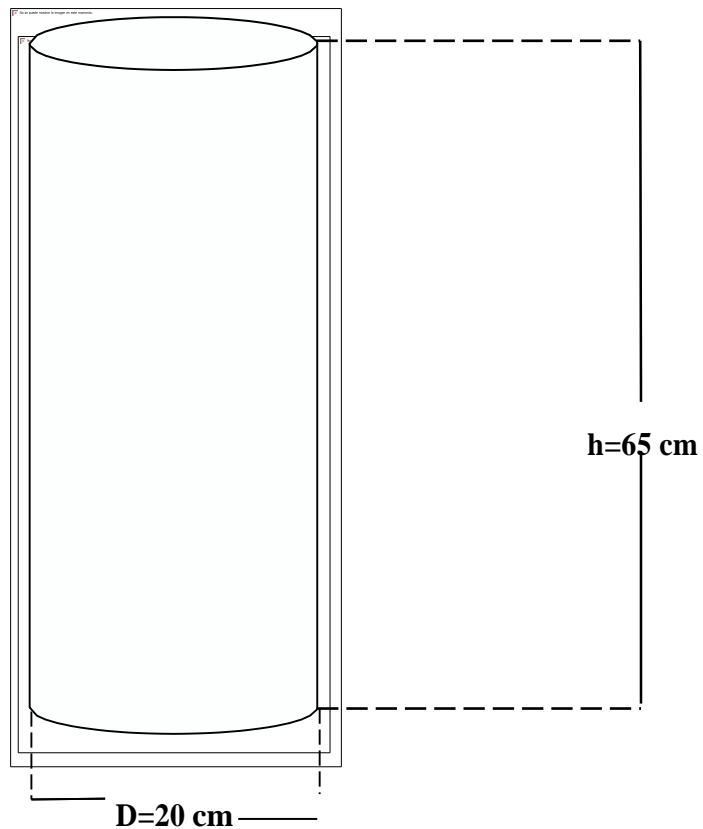
a presión para ajustarla y evitar fugas, en el cuerpo de la cámara hay tres entradas, dos de ellas son para introducir termómetros en la parte inferior y superior, el último es para introducir agua, en caso de que esta se agote, también cuenta con un tubo de vidrio para medir el nivel de agua.

Para cargar la materia prima en la cámara cuenta con tres fuentes de acero inoxidable con orificios en sus bases para permitir el paso del vapor, las fuentes se acomodan una sobre otra, la primera fuente se asienta sobre cuatro soportes ubicados a $\frac{1}{4}$ de la base de la cámara, de modo que se deje un espacio entre el nivel de agua y la base de la primera fuente.

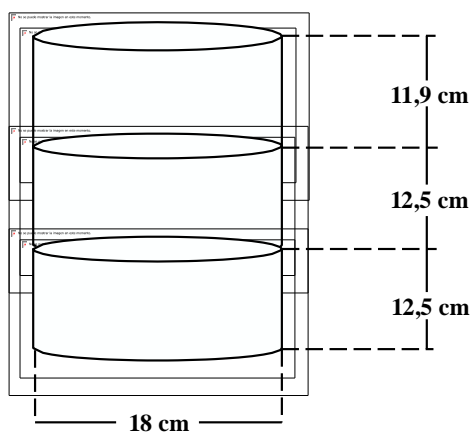
Figura II-3: Cámara de extracción y accesorios



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

Figura II-4: Dimensiones de la Cámara de extracción

Fuente: Elaboración propia, 2017.

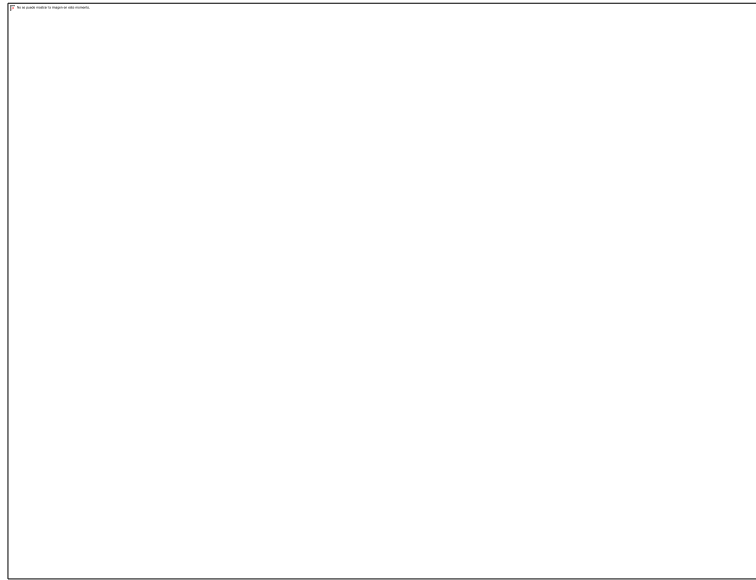
Figura II-5: Dimensiones de las fuentes

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.2.1.2 FUENTE GENERADORA DE ENERGÍA

Para calentar el agua y generar el vapor de arrastre en el interior de la cámara, se utilizó una cocinilla pequeña de una sola hornalla conectada al flujo de gas natural.

Figura II-6: Cocina pequeña conectada al tubo de gas natural



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU),2017.

2.2.1.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de condensación pertenece al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología, es un tubo refrigerante Graham de vidrio, que se usa para condensar vapores que se desprenden de la cámara de extracción. El tubo exterior consta de dos conexiones donde se ajustan mangueras de entrada y salida del líquido refrigerante en este caso agua, y la condensación tiene lugar dentro de la espiral. Esta configuración maximiza el recojo de condensados, ya que todos los vapores fluyen a través de toda la longitud de la espiral teniendo contacto prolongado con el agua.

Figura II-7: Refrigerante Graham



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE MATERIA PRIMA

2.3.1 DETERMINACIÓN POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO EN ESTUFA A 105° C

El análisis del contenido de humedad del rizoma de jengibre se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química (LOU), en el campus Universitario de Juan Misael Saracho.

Para determinar el contenido de humedad en el rizoma de jengibre, se calienta a una temperatura de 105°C hasta peso constante, y por diferencia de peso se calcula el porcentaje de materia seca y posteriormente el porcentaje de humedad.

El método usado es el gravimétrico (estufa a 105 °C), según Norma Boliviana NB 074 (ANEXO 2).

El procedimiento para la determinación de humedad es el siguiente:

1. Tara la cápsula durante 30 min a 105 °C.
2. Llevar al desecador y dejar enfriar por 45 min para luego pesar la cápsula.
3. Pesar 5 gramos de muestra, y llevar a la estufa a 105°C por un espacio de 5 a 6 horas.
4. Dejar enfriar en un desecador por 45 minutos.
5. Pesar la cápsula con la muestra seca.
6. Se lleva a la estufa, después al desecador y finalmente se pesa; se realiza este procedimiento hasta que el peso sea constante.

El resultado se expresa en porcentaje de humedad usando la siguiente fórmula:

$$\%H = \left[1 - \left(\frac{C_m - C_o}{C_m} \right) \right] * 100 \quad (\text{Ec. 2-})$$

1) $C_m - C_o$

Donde:

C_o = Masa de la cápsula vacía en gramos.

C_m = Masa de la cápsula con muestra húmeda en gramos.

C_F = Masa final de la cápsula con muestra seca en gramos.

2.3.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN EL SECADOR INFRARROJO SARTORIUS MA 100

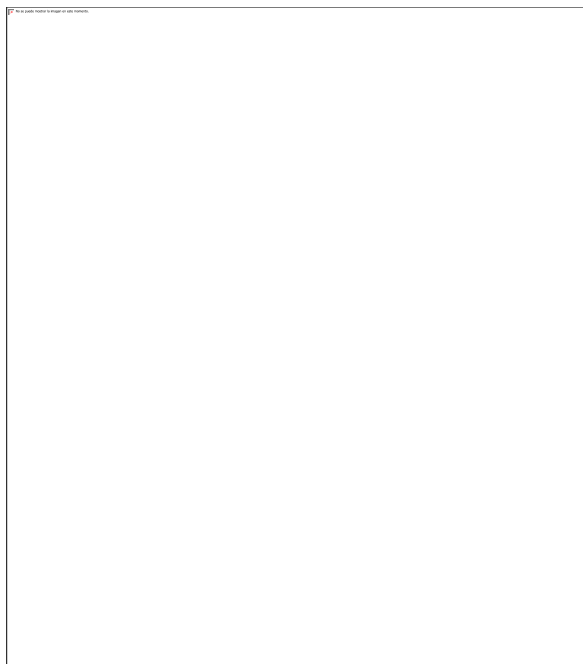
Se determina la humedad del rizoma de jengibre en un Analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100, que está en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, y se procede de la siguiente manera:

1. Picar el rizoma de jengibre.
2. Tara el patillo del analizador.
3. Pesar aproximadamente 5 gramos de la muestra en la balanza del analizador.
4. Iniciar el proceso de secado, anotar la variación de la Humedad con el tiempo hasta que este sea constante.

Los resultados dan directamente en porcentaje de humedad, no se necesita hacer ninguna clase de cálculo.

A continuación, se muestra en la figura el Analizador Infrarrojo, usado para la determinación del contenido de humedad del rizoma de jengibre.

Figura II-8: Analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.4 DISEÑO FACTORIAL

Un experimento diseñado, es una prueba o serie de pruebas en las cuáles se induce cambios deliberadores en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 1991).

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Uno de los diseños en la serie 2^k que tiene solo dos factores, A y B, cada uno con dos niveles. Este diseño se conoce como diseño factorial 2^2 . Arbitrariamente, los niveles del factor pueden llamarse “inferior” y “superior” (Montgomery, 1991).

$$2^k$$

2 = Número de niveles

k = Número de variables o factores

2.4.1 VARIABLES Y NIVELES DEL DISEÑO FACTORIAL

En el presente trabajo se realiza un diseño factorial, en el cual se tiene 3 factores, a 2 niveles cada uno, con 1 repeticiones, 2^3 .

Se eligió como una de las variables el tipo de secado ya que este influye en el porcentaje de aceite esencial obtenido, siendo forzado el cual se utiliza en muchas industrias ya que es menos complejo, y el natural que toma días en procesar la materia prima, pero se obtiene mejor rendimiento. El otro factor a analizar es la granulometría, ya que según investigaciones en la Revista Scientia et Technica (*Rendimiento y Composición Química del Aceite Esencial de Zingiber Officinale en función del diámetro de la partícula*), se dedujo que mientras más pequeña sea la partícula mejor el rendimiento, en un tiempo determinado obteniendo mejores rendimientos.

Factor S(F_S): Tipo de secado

Factor T(F_T): Tiempo

Factor M(F_M): Granulometría

$$N^{\circ}_{Exp.} = (2^{\circ} \cdot 2^{\circ} \cdot 2^{\circ}) \cdot 2^{\circ}$$

$$N^{\circ}_{Exp.} = 16$$

$$N^{\circ}_{Exp.} = 16$$

$$N^{\circ}_{Exp.} = 16$$

Se realizarán 16 experimentos elementales.

(+) = nivel o valor alto

(-) = nivel o valor bajo

Factor R(F_R): Factor Respuesta; Volumen (ml)

Los factores que influyen en el sistema se presentan en la siguiente tabla:

Tabla II-3: Factores que influyen en el sistema

FACTORES	NIVEL	
	BAJO (-)	ALTO (+)
Tipo de Secado	Natural	Forzado
Tiempo (min)	60	120
Granulometría (mm)	0.25-2	4-5

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los experimentos a realizarse incluyen todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores.

Tabla II-4: Matriz de diseño primera repetición

Muestra	Tipo de Secado	Tiempo (min)	Granulometría (mm)
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla II-5: Matriz de diseño segunda repetición

Muestra	Tipo de Secado	Tiempo (min)	Granulometría (mm)
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla II-6: Plan de experimentación primera repetición.

Muestra	Tipo de Secado	Tiempo (min)	Granulometría (mm)	Volumen (ml)
1	Natural	60	0.25-2	y ₁
2	Forzado	60	0.25-2	y ₂
3	Natural	120	0.25-2	y ₃
4	Forzado	120	0.25-2	y ₄
5	Natural	60	4-5	y ₅
6	Forzado	60	4-5	y ₆
7	Natural	120	4-5	y ₇
8	Forzado	120	4-5	y ₈

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla II-7: Plan de experimentación segunda repetición.

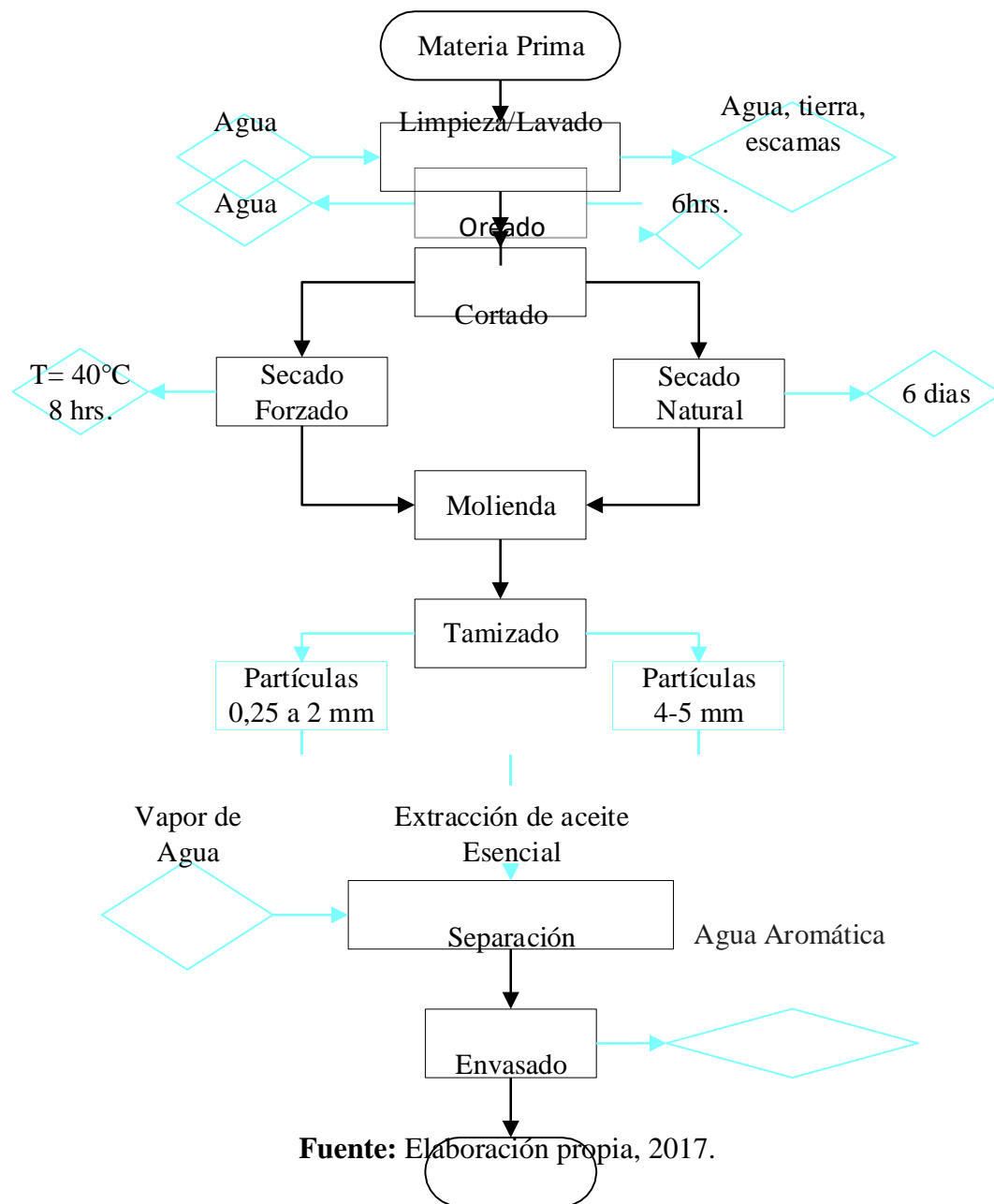
Muestra	Tipo de Secado	Tiempo (min)	Granulometría (mm)	Volumen (ml)
1	Natural	60	0.25-2	y ₁
2	Forzado	60	0.25-2	y ₂
3	Natural	120	0.25-2	y ₃
4	Forzado	120	0.25-2	y ₄
5	Natural	60	4-5	y ₅
6	Forzado	60	4-5	y ₆
7	Natural	120	4-5	y ₇
8	Forzado	120	4-5	y ₈

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.5 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DEL RIZOMA DE JENGIBRE

Para la obtención de aceite esencial del rizoma de jengibre se elaboró el siguiente diagrama de flujo:

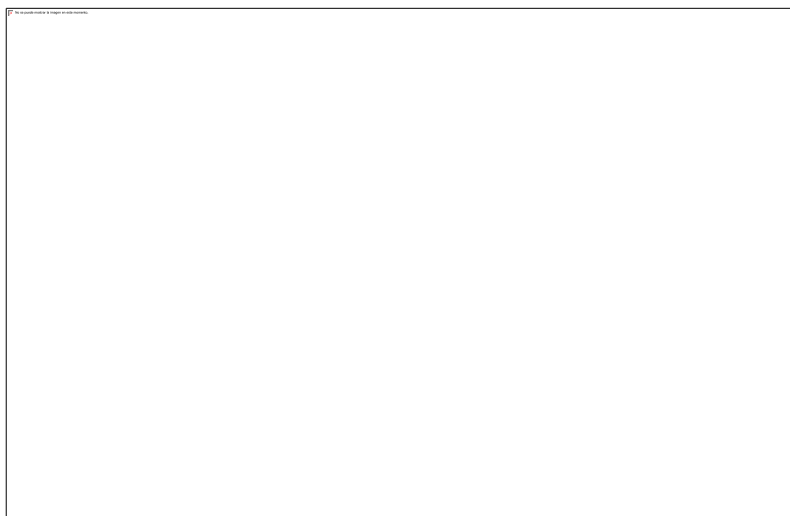
Figura II-9: Diagrama de Bloques para extracción de aceite esencial de jengibre.



2.5.1 ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima fue adquirida en el mercado campesino de la ciudad de Tarija, importada de la ciudad de Cochabamba, cultivada en el chapare sector CRISTAL MAYU con clima tropical, tuvo un costo de 130 bs arroba. La cual llego previamente lavada, pero aun así presentaba rastros de tierra adherida a su piel.

Figura II-10: Adquisición de la materia prima



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

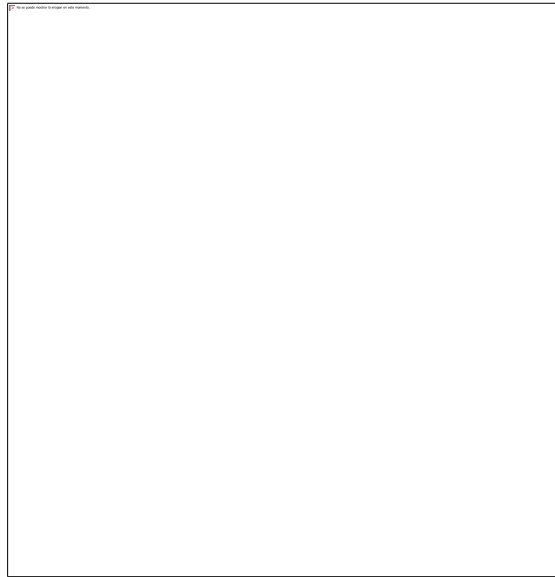
2.5.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Para extraer aceite esencial del rizoma de jengibre se acondiciona la materia prima de manera que se logre un proceso eficiente, para esto se realiza pruebas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias perteneciente a la carrera de Ingeniería Química, de las que se concluyó que la mejor manera de obtener aceite esencial de jengibre es secando el rizoma. El procedimiento es el siguiente:

- 1. Limpieza,** se eliminan cuidadosamente las raíces y la tierra adherida, de preferencia se utilizan cuchillos de acero inoxidable de hoja roma con el fin de separar también las escamas que cubren el rizoma.

- Lavado**, tiene por finalidad eliminar los últimos vestigios de tierra y se realiza mediante un flujo continuo de agua potable a temperatura ambiente y luego se deja escurrir.

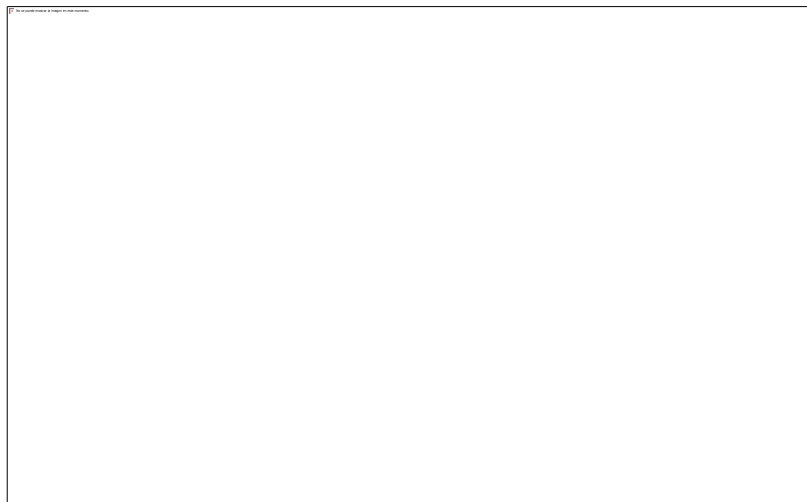
Figura II-11: Lavado del rizoma de jengibre



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

- Oreado**, por seis horas para eliminar el exceso de humedad.

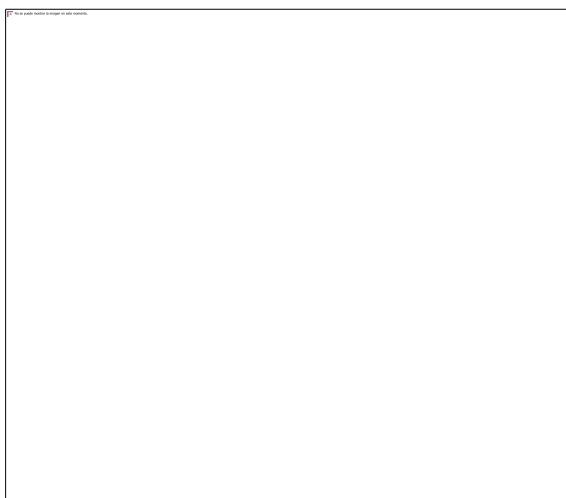
Figura II-12: Oreado del rizoma de jengibre



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

- 4. Cortado o troceado**, debido a que la muestra debe ser secada, se corta en hojuelas para facilitar la operación de secado. En forma manual con ayuda de cuchillos de acero inoxidable.

Figura II-13: Cortado o troceado del rizoma de jengibre



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.5.3 SECADO DEL RIZOMA DE JENGIBRE

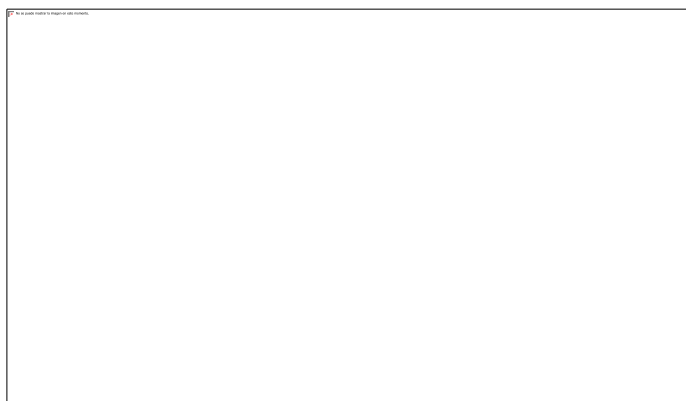
Se realiza el proceso de secado para facilitar el proceso de extracción y así mismo lograr un mayor tiempo de almacenaje si es que no se va a extraer de forma inmediata.

- **Secado Natural**, bajo cobertizo por 6 días, sin contacto de luz solar.

Procedimiento para Secado Natural es el siguiente:

1. Lavar, picar la muestra.
2. Dejar secar bajo cobertizo sin contacto directo de luz solar.
3. Recoger la muestra en bolsas herméticas y guardar.

Figura II-14: Secado natural de la materia prima



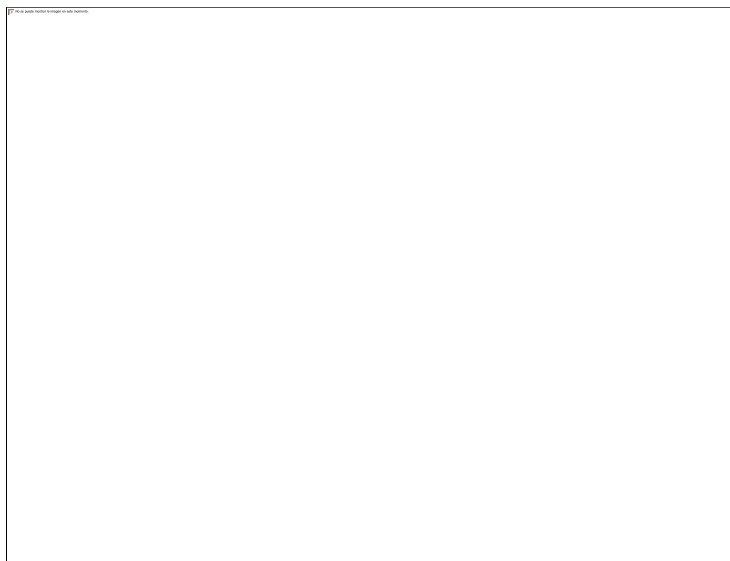
Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

➤ **Secado Forzado**, se utiliza una estufa a 40 °C por 8 horas.

Procedimiento para Secado Forzado, se utiliza una estufa (SELECTA):

1. Lavar, cortar en rodajas.
2. Encender la estufa, programar 40 °C.
3. Colocar la muestra por 8 horas.
4. Recoger la muestra en bolsas herméticas y guardar.

Figura II-15: Secado el rizoma de jengibre en estufa



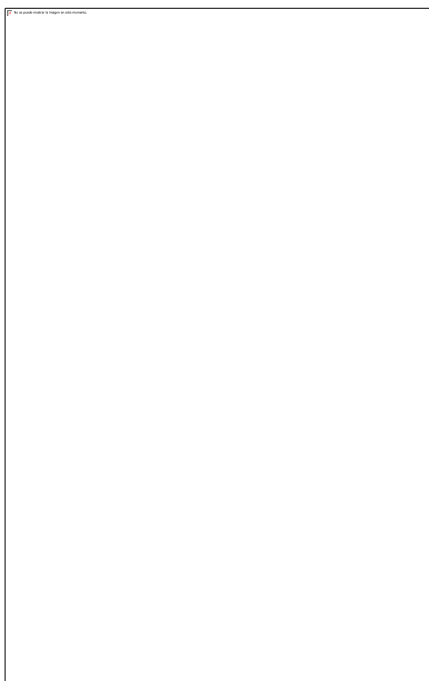
Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.5.4 MOLIENDA DEL RIZOMA DE JENGIBRE

Se utiliza una Licuadora marca MONDIAL modelo L-95, para obtener un mayor número de partículas que harán más eficiente la extracción al aumentar la superficie de contacto y también libera las propiedades del rizoma que quedan encapsuladas después del secado. El proceso de molienda es el siguiente:

1. Se llena la jarra con hojuelas de jengibre hasta la cuarta parte de su volumen y se tapa.
2. Se da inicio a la molienda girando hacia la primera velocidad apretamos pulsar durante 15 segundos para disminuir el tamaño y no forzar el motor de la licuadora.
3. Se tritura unos 5 segundos para obtener partículas mayores a 5 mm.
4. Se deja unos 10 segundos las hojuelas jengibre para obtener partículas de jengibre menores a 5 mm de diámetro aproximadamente.

Figura II-16: Licuadora marca Mondial



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

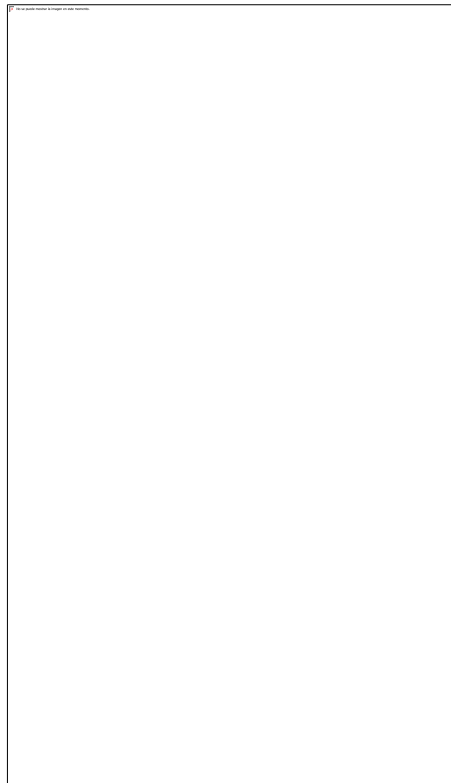
2.5.5 TAMIZADO DEL RIZOMA DE JENGIBRE

El equipo a utilizar para realizar la granulometría de rizoma de jengibre es un tamiz vibratorio marca Orto Alresa, Norma española UNE, con tamices de 5; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,063 mm

El procedimiento para el análisis granulométrico del rizoma de jengibre molido es el siguiente:

1. Pesar tamices.
2. Pesar muestra de rizoma de jengibre picado.
3. Introducir muestra de rizoma de jengibre picada al tamizador.
4. Programar tiempo de tamizado y la intensidad (rpm).
5. Puesta en marcha del tamizador.
6. Pesaje de rechazos contenidos en los tamices.

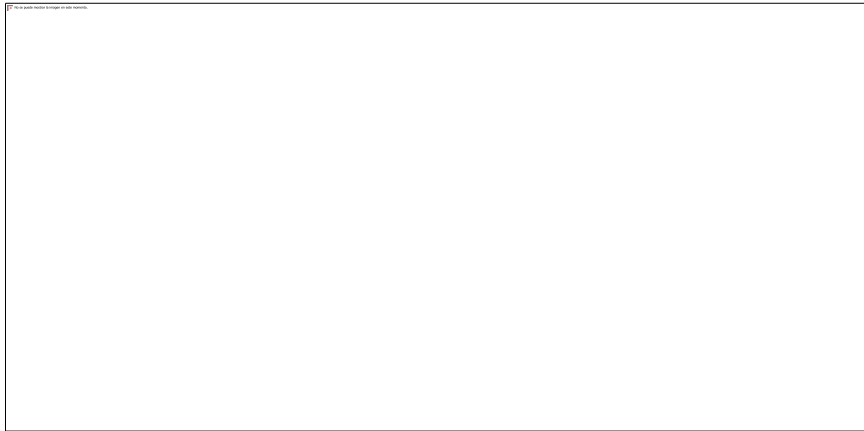
Figura II-17: Tamiz Vibratorio



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

Para pesar la serie de tamices en el análisis granulométrico e las muestras de jengibre se utilizó una balanza triple astil(brazo) Marca AND (A6D WEIGHING), con la capacidad máxima de 3110 gr.

Figura II-18: Balanza triple Astil



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.5.6 OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

2.5.6.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN

Las condiciones de trabajo con las que se realiza la investigación son las siguientes:

2.5.6.1.1 TEMPERATURA

La temperatura de trabajo durante todas las pruebas de extracción es de 93°C, siendo esta la temperatura de ebullición de agua en Tarija, que es a la cual empieza la extracción de aceite esencial de jengibre, registrándose en ambos termómetros las mismas temperaturas durante el proceso, siendo la temperatura constante.

2.5.6.1.2 PRESION

La presión de trabajo durante todo en proceso de extracción de aceite esencial de jengibre es de 0.94 atm siendo esta la presión atmosférica de Tarija.

2.5.6.1.3 POTENCIA DE LA FUENTE GENERADORA DE CALOR

Para obtener un mejor rendimiento de aceite esencial se determinó la potencia de trabajo, ya que afecta directamente sobre el flujo de vapor y este a su vez al rendimiento. Por este motivo se realizó pruebas a tres niveles de potencia; bajo, medio y alto. Teniendo como conclusión lo siguiente:

- ✓ En potencia baja se observa que el rendimiento es menor y el tiempo usado mayor, esto se debe a que el flujo de vapor es insuficiente.
- ✓ En potencia media presenta un flujo de calor moderado, el tiempo es óptimo y el rendimiento, ya que no presenta pérdidas ni maceraciones.
- ✓ En potencia alta generan mayor flujo de calor y el tiempo usado menor, pero las pérdidas eran altas, disminuyendo el rendimiento. La cámara de extracción no es completamente hermética y presenta pérdidas en la parte de los tapones en donde se introducen los termómetros y en la misma tapa de la cámara.

Por lo planteado se concluye que la potencia media es la más adecuada para la extracción del aceite esencial por este método.

2.5.6.1.4 VOLUMEN DE AGUA CARGADA EN LA CÁMARA

El volumen de agua cargada en la cámara de extracción en cada repetición es de 4 litros, ya que en trabajos realizados anteriormente el agua gastada en una prueba de extracción es de aproximadamente 2 litros en un tiempo de 2 horas, pero para controlar el nivel de agua se usarán 4 litros. La cámara cuenta con un nivel máximo de agua, el cual debe estar 5 cm debajo de la primera fuente, debe contar con espacio para la generación de vapor, y para que la materia prima no se compacte, y permita el flujo de vapor para la extracción.

2.5.6.1.5 CONDENSACIÓN

El condensador se encarga de cambio de fase de los vapores de aceite esencial a líquido, el cual toma agua fría de un grifo mediante una manguera y descarga agua a una mayor temperatura por otra. Para enfriar el agua antes de recircular por el refrigerante se usa un enfriador marca LAUDA PROLINE RP 180, a base de alcohol con el fin de disminuir la temperatura del agua extraída del grifo.

2.5.6.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

El procedimiento de destilación de aceite esencial de jengibre es el siguiente:

1. Se arma el equipo de destilación.
2. Se carga la cámara de extracción 4 litros de agua.
3. Se introduce los canastillos que contiene el rizoma de jengibre seco. Cada canastillo contiene 100 gramos de rizoma de jengibre siendo una masa total de 300 gramos para cada extracción y con distinta granulometría ya que es una variable como se mostró en el diseño factorial.
4. Una vez cargada la cámara de extracción se tapa con cuidado para evitar pérdidas, colocar los termómetros en la torre.
5. Se conecta la cámara al equipo de destilación.
6. Se procede a encender la fuente generadora de calor, registrar la hora de inicio.
7. Una vez que se prende la fuente generadora de calor se inicia la etapa de calentamiento, se controla el tiempo hasta que el termómetro inferior registra la temperatura de ebullición, es cuando termina la etapa de calentamiento y empieza la etapa de extracción para la cual también se controla el tiempo.
8. Hacer circular el agua por el refrigerante.
9. Se recibe el hidrolato directamente en la ampolla de separación, en la cual el aceite esencial se queda en la parte superior y el agua en la parte inferior, siendo así que el agua se puede ir desechando en un vaso de precipitación, mientras la ampolla se llena.
10. Se deja reposar unos 10 minutos más en la ampolla de separación, cubierta con papel aluminio para evitar la proyección de la luz. Luego se mide el aceite esencial obtenido con ayuda de una probeta.
11. Envasar y almacenar el aceite esencial.
12. Finalmente se mide el agua que queda en la cámara de extracción.

Figura II-19: Equipo de Destilación



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.5.7 DECANTACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

La mezcla obtenida se la recibe directamente en la ampolla de separación la cual se va separando el agua del aceite esencial continuamente, debido a una diferencia de densidades ya que el aceite esencial es inmisible con el agua, la mezcla se va separando en dos fases, el aceite esencial forma una capa en la parte superior y el agua en la parte inferior. La ampolla de separación fue cubierta con papel aluminio para evitar la emisión de luz solar, blanca.

Figura II-20: Separación de fases

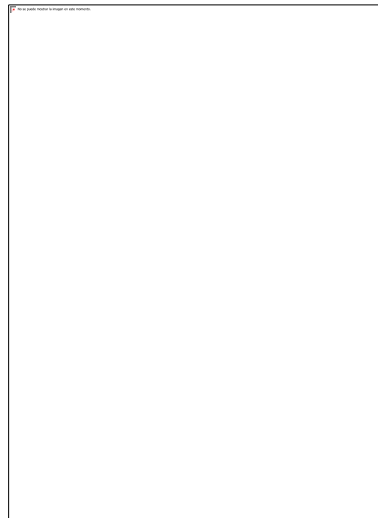


Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.5.8 ENVASADO, ETIQUETADO Y ALMACENAJE DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

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

Figura II-21: Envasado de aceite esencial de jengibre



Fuente: Elaboración propia, U.A.J.M.S. (LOU), 2017.

2.6 ANÁLISIS DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

2.6.1 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Las características organolépticas del aceite esencial de jengibre color, olor y aspecto se determinó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, teniendo lo siguiente:

- **Color.**
- **Aspecto.**
- **Olor.**
- **Sabor.**

2.6.2 ANÁLISIS FÍSICOS

2.6.2.1 DENSIDAD

La densidad del aceite esencial de jengibre se determinó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias; para tal efecto se pesó la muestra de aceite en una Balanza Analítica marca EUROPE y el volumen se midió con una probeta de 5 ml, el procedimiento se detalla a continuación:

1. Pesar probeta de 5ml, y tara la balanza.
2. Medir el volumen de aceite esencial con la probeta anteriormente pesada.
3. Pesar el aceite contenido en la probeta.
4. Calcular la densidad empleando la fórmula:

$$D = \frac{P}{V} \quad (\text{Ec. 2-2})$$

El aceite esencial de jengibre no debe poseer una densidad baja ya que esto indicaría que el aceite es ligero por motivo de una destilación incompleta, así mismo una densidad alta indicaría una destilación muy prolongada, un aceite muy viejo o el uso de rizomas muy maduros, la densidad debe ser la adecuada.

2.6.2.2 ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción es el valor numérico que se expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción, para la presente investigación se realizó la determinación de esta propiedad física en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de

la Carrera de Ingeniería Química, se utilizó un refractómetro ABBE. El procedimiento para la medición es el siguiente:

1. Se limpió el equipo con agua destilada, donde se coloca la muestra a ser analizada.
2. Se calibra el equipo con agua destilada.
3. Se limpió el agua y se colocó unas gotas del aceite esencial de jengibre en el prisma para realizar la medición.

Se repite este procedimiento tres veces y se toma como resultado final el promedio de estas tres mediciones.

2.6.2.3 CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía de gases es una técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografías, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

Para la presente investigación el análisis cromatográfico se realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”.

2.7 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

En el proceso de extracción del aceite esencial de jengibre, es necesario realizar un balance de materia y energía, con la finalidad de tener conocimiento de los caudales másicos de todas las corrientes que intervienen en el proceso de extracción, así como las necesidades energéticas del mismo.

Durante los 16 experimentos propuestos en el diseño factorial se registraron una serie de datos que nos sirvió para el balance de materia y energía. Pero se utilizó solo los datos del experimento en el que se obtuvo mayor rendimiento de aceite esencial, con el fin obtener resultados óptimos.

El experimento de mayor rendimiento fue el de 1,7 ml de aceite esencial obtenidos con 300 gr de jengibre seco molido de partículas de 0,25 a 2 mm de diámetro en un tiempo de 120 minutos.

Tabla II-8: Datos de la extracción de aceite esencial con mayor rendimiento

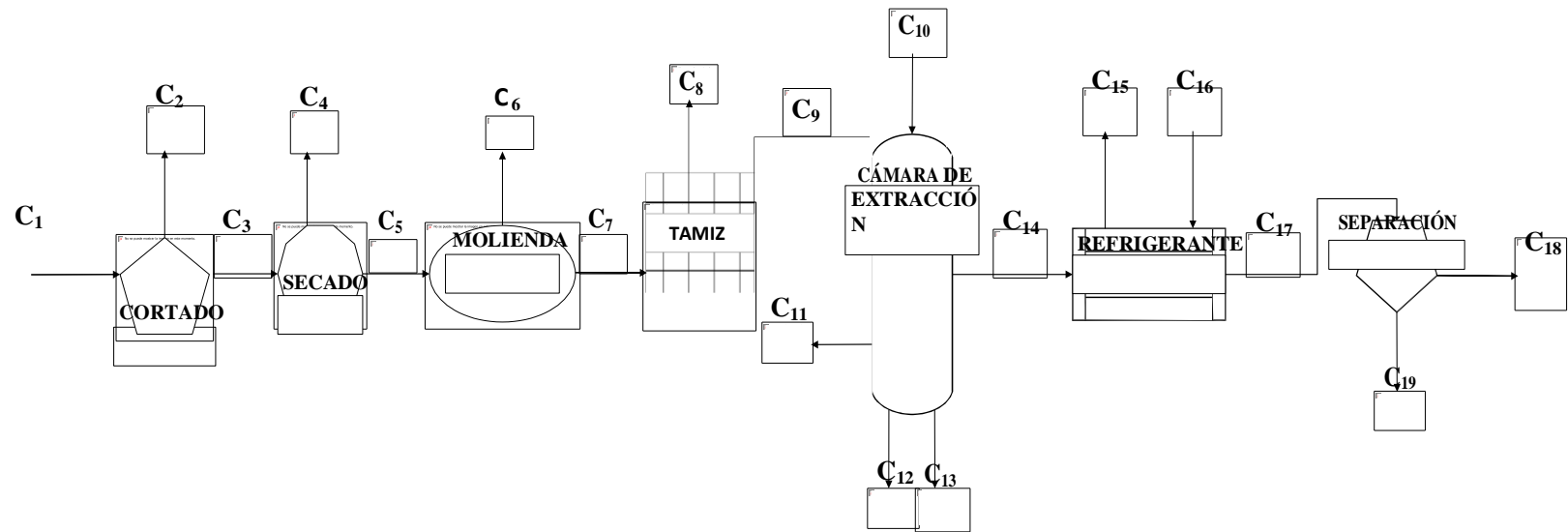
Datos registrados en la Cámara de extracción		
Masa de agua cargada en la cámara de extracción	3982,4	gr
Masa de jengibre seco cargado en la cámara de extracción	300	gr
Masa de residuos de jengibre	356,415	gr
Masa de agua no evaporada	1732,344	gr
Temperatura Inicial de agua en la cámara de extracción	20	°C
Temperatura del vapor en la torre	93	°C
Datos registrados en el condensador		
Flujo másico del agua de refrigeración	109,406	gr/s
Masa de agua condensada	2190,32	gr
Masa de aceite obtenido	1,442	gr
Temperatura del condensado	25	°C
Temperatura de entrada del agua de refrigeración	20	°C
Temperatura de salida del agua de refrigeración	22	°C
Datos registrados de los equipos		
Rendimiento del rechazo de partículas de 0.25 a 2 mm	57,6	%
Tiempo de calentamiento	37	min
Tiempo de extracción	120	min
Otros datos a considerar		
Densidad del agua	0,9956	gr/ml
Densidad del aceite esencial	0,8483	gr/ml
Calor específico del agua	1	cal/gr °C

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.7.1 BALANCE DE MATERIA

El balance de materia del proceso de extracción se realiza para poder determinar el valor de las corrientes que no se conocen. A continuación, se presenta un diagrama de flujo del proceso, que ayudara a identificar y calcular los valores para cada corriente:

Figura II-22: Diagrama de Flujo del proceso de extracción de aceite esencial de jengibre



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Con el diagrama de flujo del proceso (**FIGURA II-22**) se identifica las corrientes que intervienen en el proceso y se las describe en la Tabla II-9.

Tabla II-9: Corrientes del proceso de extracción

Corrientes del Proceso	
Corriente	Nombre
C ₁	Masa de rizoma de jengibre
C ₂	Masa de perdida en el cortado
C ₃	Masa de jengibre cortado
C ₄	Masa de agua en el jengibre
C ₅	Masa de jengibre seco
C ₆	Masa de perdida en la molienda
C ₇	Masa de jengibre molido
C ₈	Masa de jengibre rechazado
C ₉	Masa de jengibre seco que entra a la cámara de extracción
C ₁₀	Masa de agua cargada en la cámara de extracción
C ₁₁	Masa de agua no evaporada
C ₁₂	Masa de perdida de vapor de agua
C ₁₃	Masa de residuo hidratado
C ₁₄	Masa de mezcla de vapores
C ₁₅	Masa de agua de refrigeración que sale
C ₁₆	Masa de agua de refrigeración que entra
C ₁₇	Masa de mezcla de condensados
C ₁₈	Masa de agua Condesada
C ₁₉	Masa de Aceite esencial obtenido

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las corrientes a calcular son las siguientes:

Tabla II-10: Corrientes a calcular

Corrientes a calcular	
Corriente	Nombre
C ₇	Masa de jengibre molido
C ₈	Masa de jengibre rechazado
C ₁₄	Masa de mezcla de vapores
C ₁₂	Masa de perdida de vapor de agua
C ₁₆	Masa de agua de refrigeración que entra
M _t	Masa Total de agua en la cámara extracción
M _o	Masa de agua que queda en los residuos
M _v	Masa de vapor generado en la cámara de Extracción
F _{mv}	Flujo másico de vapor

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.7.2 BALANCE DE ENERGÍA

Se realiza un balance de energía en la cámara de extracción y en el sistema de refrigeración, para determinar cuánto de energía se requiere para la extracción del aceite esencial, cuantificar el calor intercambiado entre los vapores y el agua de refrigeración y cuanto de gas natural consume.

2.7.2.1 BALANCE DE ENERGÍA EN LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN

En la cámara de extracción se presentan dos tipos de calores, el calor sensible que es el encargado de calentar el agua hasta el punto de ebullición y el calor latente el cual se requiere para evaporar el agua. La energía requerida es la suma de estos calores.

$$Q_{\text{sensible}} = Q_{\text{latente}} + Q_{\text{refrigeración}}$$

(Ec. 2-3)

Para el cálculo del calor sensible se usan datos de la Tabla II-8, calculando el calor latente multiplicando la potencia de la hornilla con el tiempo de extracción, la potencia de la hornilla se calcula dividiendo el calor sensible entre el tiempo de acondicionamiento. Los cálculos se presentan en el CAPÍTULO III del presente trabajo.

2.7.2.2 BALANCE DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

En el sistema de refrigeración hay transferencia de calor, desde la mezcla de vapores hacia el agua de refrigeración, esto quiere decir que hay calor cedido y calor recibido.

Para calcular el calor cedido es necesario el dato de calor de vaporización del agua a 93°C, para obtenerlo se divide el calor latente calculado en el balance de energía de cámara de extracción entre la masa de vapor generada en la misma.

2.7.2.3 GAS CONSUMIDO

Para el cálculo de gas consumido se multiplica la potencia de la hornilla por el tiempo que se utiliza el gas, luego se divide el resultado entre el poder calorífico del gas natural.

CAPÍTULO III RESULTADOS

Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS DE LA MATERIA PRIMA: RIZOMA DE JENGIBRE

Se realizan los análisis a la materia prima, rizomas de jengibre los cuales se detallan a continuación:

3.1.1 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DE LA MATERIA PRIMA

Este análisis se hace en base a los indicadores que se muestran en la siguiente tabla (ANEXO 3):

Tabla III-1: Análisis Organoléptico del jengibre

Características	Evaluación
Forma	Plagiotropa
Tamaño	Grande
Color	Amarillo claro
Textura	Lisa
Sabor	Picante

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se puede apreciar en la **Tabla III-1** que las características de la materia prima realizadas de forma visual.

3.1.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA

Los Análisis Físicoquímicos de la materia prima fueron realizados 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 III-2: Informe de Análisis Físicoquímicos del Rizoma de Jengibre.

Parámetro	Técnica y/o Método de ensayo	Unidad	Resultado
Ceniza	NB 39034:10	%	0,74
Fibra	Gravimétrico	%	0,09
Grasa	NB 313019:06	%	0,10
Hidratos de Carbono	Calculo	%	12,73
Humedad	NB 313010:05	%	85,30
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	1,04
Valor energético	Calculo	Kcal/100g	55,98

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

Estas características identificadas de la materia prima, se pueden apreciar en la bibliografía en la **Tabla I-5; Tabla I-6 (CAPITULO I)**.

3.1.2.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO EN ESTUFA A 105° C

Realizado el procedimiento correspondiente y obteniendo los datos necesarios para los cálculos, se emplea la siguiente ecuación matemática para el cálculo de porcentaje de humedad. Según a Norma Boliviana NB074 (**ANEXO 2**):

$$\%H = \left[1 - \left(\frac{P_1 - P_2}{P_3 - P_2} \right) \right] * 100 \quad (\text{Ec.2-})$$

$$1) \quad \frac{P_1 - P_2}{P_3 - P_2}$$

$$\%H_1 = \left[1 - \left(\frac{35,0956 - 33,8592}{38,8445 - 33,8592} \right) \right] * 100$$

$$\%H_2 = 75,199, 75,203$$

$$\%H_2 = \left[1 - \left(\frac{33,8327 - 32,5982}{37,5767 - 32,5982} \right) \right] * 100$$

$$\%H_2 = 75,199, 75,203$$

El promedio de ambas es:

$$\%H = \frac{75,199 + 75,203}{2}$$

$$\%H = 75,201$$

75,201

3.1.2.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN EL SECADOR INFRARROJO SATORIUS MA 100

El analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100 permite registrar la variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo. En la tabla siguiente se muestran los datos registrados de humedad evaporada respecto al tiempo.

Tabla III-3: Variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo del rizoma de jengibre

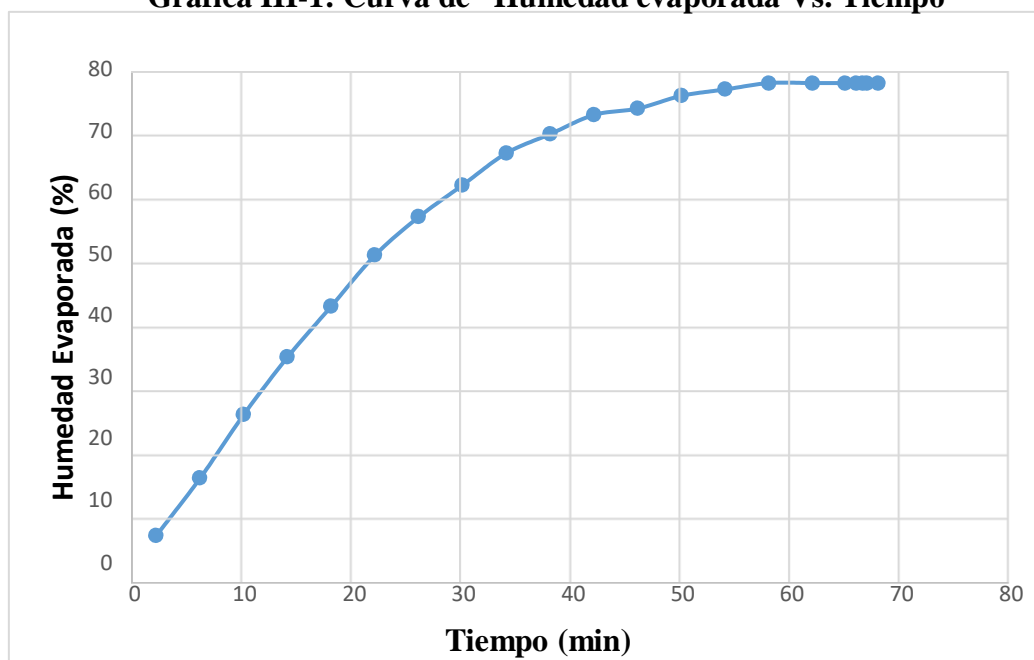
Tiempo (min)	Humedad Evaporada (%)
2	4.028
6	13.128
10	22.693
14	32.174
18	40.405
22	47.791
26	54.108
30	59.460
34	63.783
38	67.260
42	69.978
46	71.241
50	73.107
54	74.092
58	74.736
62	75.140
65	75.344
66	75.404
66.6	75.424
67	75.424
68	75.424

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Según los datos de la **Tabla III-3** el porcentaje de humedad evaporada del rizoma de jengibre se hace constante a los 66.6 min con un porcentaje de humedad evaporada de 75.424 %, la masa de la muestra fue 4.952 gr.

A continuación, se muestra la curva de humedad evaporada versus tiempo realizado con los datos de **Tabla III-3**.

Gráfica III-1: Curva de “Humedad evaporada Vs. Tiempo”



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la **Gráfica III-1** se observa que al minuto 66.6 disminuye de pendiente, volviéndose una línea recta ya que a ese tiempo se vuelve constante, cuando esto sucede finaliza el proceso de secado. Al minuto 2 el agua evaporada es de 4.028%.

Los resultados obtenidos con este método muestran que por ambos métodos la humedad es casi la misma. Según la siguiente tabla:

Tabla III-4: Resultados de humedad

Método	% Humedad	T(°C)
Gravimétrico en estufa	75,201	105
Secador Infrarrojo	75,424	105

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2 SECADO DE LA MATERIA PRIMA

3.2.1 SECADO NATURAL

Para determinar la humedad de la materia prima secada de forma natural, se cortaron en rodajas el rizoma de jengibre y se dejó secar bajo cobertizo. El lote a analizar tenía una masa inicial de 68.150gr, teniendo en cuenta los siguientes datos:

Tabla III-5: Variación de masa vs tiempo para secado natural

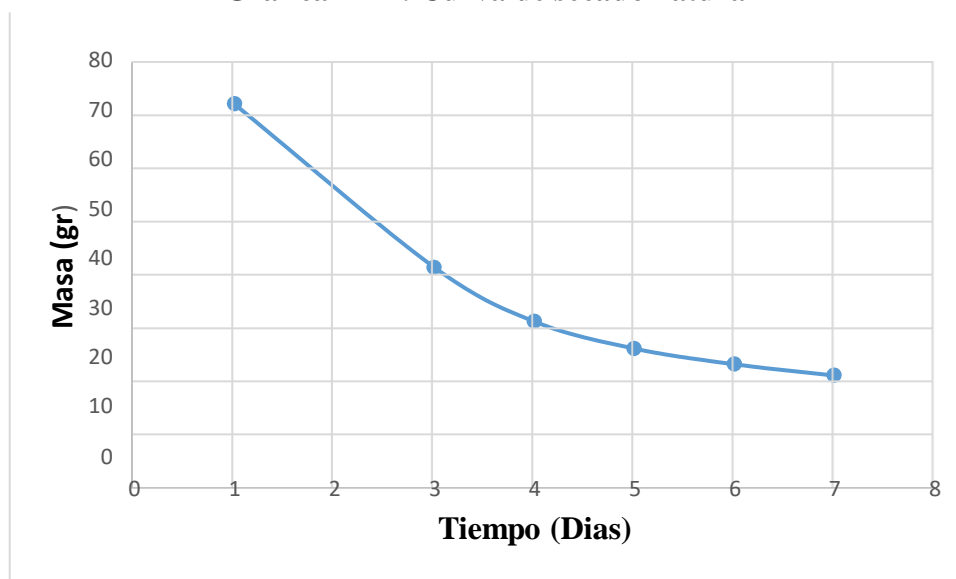
Tiempo (día)	Masa(gr)
1	68.150
3	37,333
4	27,141
5	22,045
6	19,092
7	16,949

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La cual después del secado se determinó que su porcentaje de humedad es de 75,130%.

A continuación, tenemos la curva de secado natural:

Gráfica III-2: Curva de secado natural



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2.2 SECADO FORZADO

La materia prima se sometido a un secado forzado en la estufa de marca Selecta por un tiempo de 8 horas a 40°C, con una masa inicial de 417,609 gramos, teniendo los siguientes datos:

Tabla III-6: Variación de Masa vs. Tiempo para secado forzado

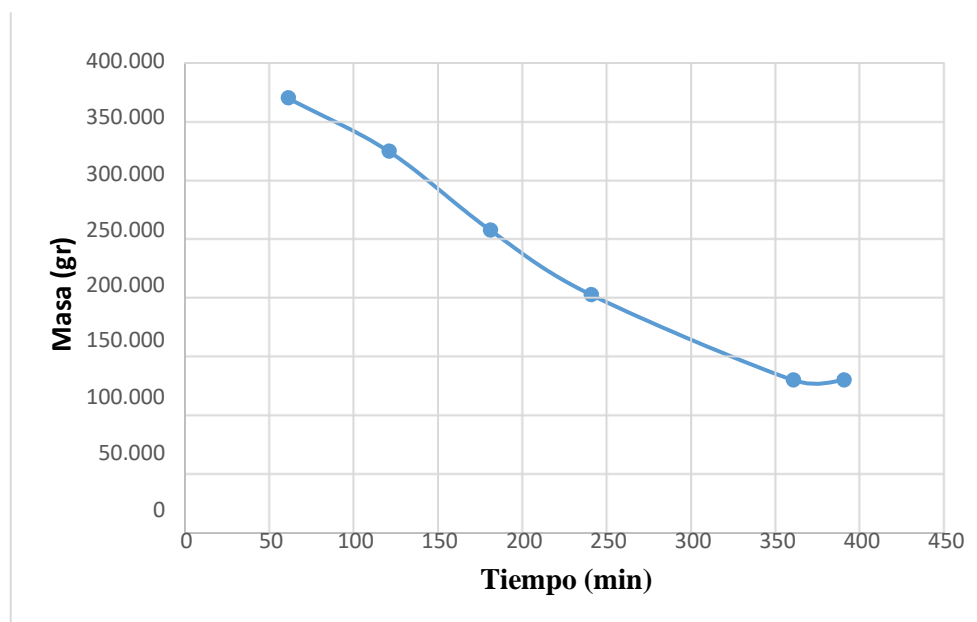
Tiempo(min)	Masa(gr)
60	351,519
120	305,968
180	238,976
240	183,846
360	111,107
390	111,107

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La cual después del secado se determinó que su porcentaje de humedad es de 73,394%.

A continuación, tenemos la curva de secado forzado:

Gráfica III-3: Curva de secado forzado



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.3 GRANULOMETRÍA DEL RIZOMA DE JENGIBRE

Los resultados de granulometría del rizoma de jengibre molido, determinados en Laboratorio de Operaciones Unitarias, se detalla a continuación:

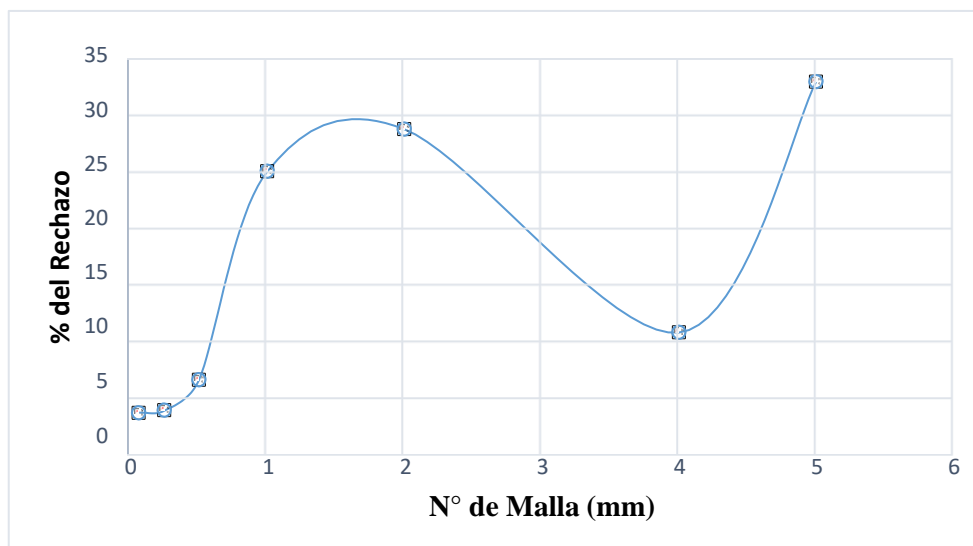
Tabla III-7: Resultados de granulometría de jengibre molido

N° de Malla (mm)	Peso (gr)			% del Rechazo
	Vacío	con rechazo	del Rechazo	
5	493,1	524,4	31,3	31,3
4	455,5	464,6	9,1	9,1
2	434,8	461,9	27,1	27,1
1	433,5	456,9	23,4	23,4
0,5	443,8	448,7	4,9	4,9
0,25	417,4	419,6	2,2	2,2
0,063	389,1	391,1	2	2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se cargaron 100 gr de jengibre molido, los datos expuestos en la **Tabla III-7** para la cantidad de masa rechazada en los diferentes tamices vs. el tamaño de tamiz se representan en una gráfica a continuación:

Gráfica III-4: Granulometría de rizoma de jengibre molido



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la **Gráfica III-4** se puede observar que la malla con un mayor porcentaje de rechazo fue 5mm seguidas de la 2mm y 1mm. Para la extracción de aceite esencial se utilizó todos los rechazos de cada tamiz como parámetro partículas de 4-5mm a un nivel y partículas menores a 2 mm a otro nivel como se muestra en el diseño factorial.

3.4 CARACTERÍSTICAS Y PRINCIPALES COMPONENTES DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

3.4.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

El aceite esencial de jengibre muestra los siguientes resultados al análisis organoléptico:

Tabla III-8: Características Organolépticas del aceite esencial de jengibre

Características	Evaluación
Color	Ligeramente amarillo
Aspecto	Líquido
Olor	Característico del jengibre
Sabor	Picante

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los resultados mostrados en la **Tabla III-8** muestran similitud con los reportados en la bibliografía **Tabla I-10 y Tabla I-12 (CAPITULO I), (ANEXO 3)**.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

A continuación, se detallan los análisis fisicoquímicos realizados al aceite esencial de jengibre.

3.4.2.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD

Los datos para calcular la densidad del aceite esencial de jengibre se obtienen en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, teniendo los siguientes datos:

Tabla III-9: Datos de densidad

N° Prueba	Volumen (ml)	Masa (gr)
1	3	2,460
2	3	2,629
3	3	2,547
PROMEDIO	3	2,545

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Empleando la siguiente relación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ec.2-2})$$

$$\rho = \frac{2,545}{3} = \frac{g}{ml}$$

$$\rho = 0,8483 \frac{g}{ml}$$

La densidad de los aceites esenciales generalmente es menor al del agua siendo esta de 0,9956 gr/ml en la ciudad de Tarija. (ANEXO 3).

3.4.2.2 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El resultado de Índice de Refracción realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias es el siguiente:

Tabla III-10: Resultado de la medición del índice de refracción

N° Repetición	Parámetro	Resultado
1	Índice de Refracción(20°C)	1.4822
2		1.4811
3		1.4812
Índice de Refracción Promedio		1,4815

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Según la **Tabla III-10** el Índice de Refracción a 20°C es de 1,4815, es resultado obtenido se asemeja al reportado en la bibliografía **Tabla I-11** y **Tabla I-12** del **CAPITULO I, (ANEXO 3)**.

3.4.2.3 RESULTADOS DE CROMATOGRAFÍA DE GASES

El resultado de Cromatografía de Gases realizado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” es el siguiente:

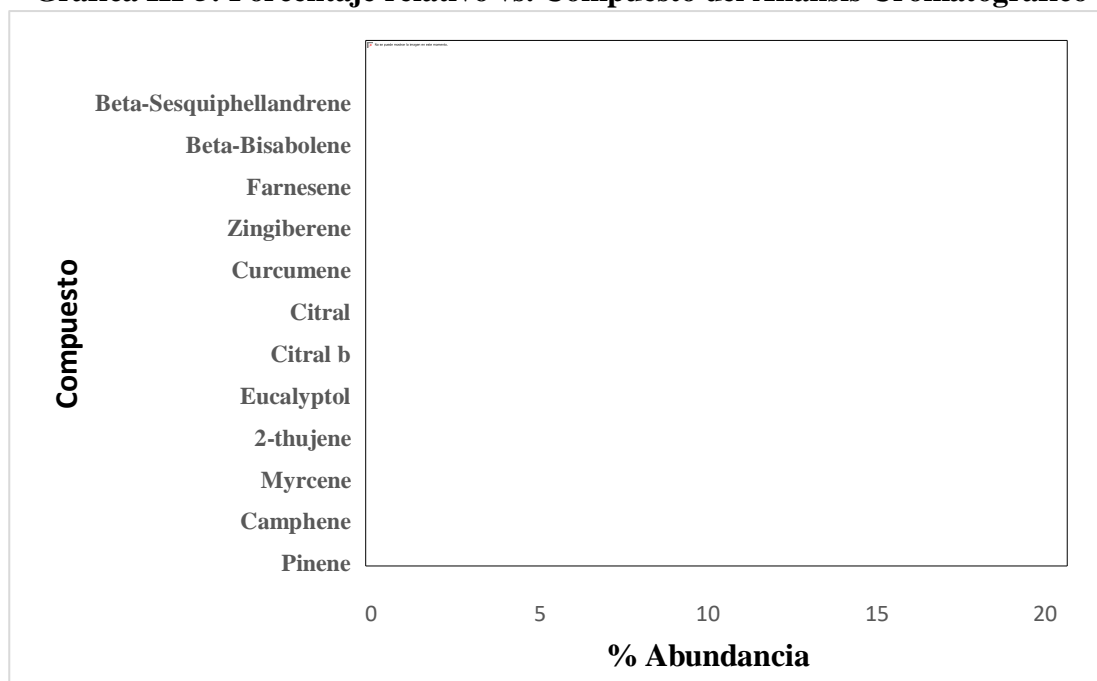
Tabla III-11: Resultados del Análisis Cromatográfico

Ítem	Compuesto	Tiempo Retención(min)	% Abundancia
1	Pinene	8,267	5,165
2	Camphene	8,602	13,982
3	Myrcene	9,558	3,284
4	2-thujene	10,384	18,020
5	Eucalyptol	10,436	6,013
6	Citral b	14,544	8,182
7	Citral	15,063	11,745
8	Curcumene	18,619	2,879
9	Zingiberene	18,809	15,812
10	Farnesene	18,957	5,558
11	Beta-Bisabolene	19,019	2,974
12	Beta-Sesquiphellandrene	19,261	6,387
TOTAL			100

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2017.

En la **Tabla III-11** se observan los resultados obtenidos a través del Análisis Cromatográfico donde el mayor porcentaje es de 2-thujene un Monoterpeno seguido del Zingiberene con un 15,812% el cual aporta el aroma al aceite esencial de jengibre (**ANEXO 4**).

Gráfica III-5: Porcentaje relativo vs. Compuesto del Análisis Cromatográfico



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la **Gráfica III-5** se puede apreciar mejor el porcentaje que contiene cada compuesto encontrado en el aceite esencial de jengibre, así también se observa que hay 4 compuestos identificados en los datos bibliográficos **Tabla I-8**, **Tabla I-9** (**CAPITULO I**) que son isómeros de los compuestos de aceite esencial obtenido, también se puede apreciar en las tablas ya indicadas que hay compuestos que no se presentan en el aceite esencial obtenido, esto se debe a que la composición del aceite esencial de jengibre es complejo y varía según el lugar donde proviene, de la materia prima, características de la mismas y la variedad entre otros aspectos.

3.5 RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

3.5.1 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

El rendimiento de aceite esencial de jengibre se calcula con la siguiente expresión:

$$\% = \frac{\text{Masa del aceite esencial}}{\text{Masa de materia prima}} * 100$$

(Ec.3-1)

Para los cálculos se toma en cuenta la extracción en la que se obtiene el volumen más alto de aceite esencial.

Volumen de aceite esencial = 1,7 ml

Masa del aceite esencial = 1,442 gr

Masa de materia prima = 300 gr

$$\% = \frac{1,442}{300} * 100$$

$$\% = 0,481$$

%

Por lo tanto, de cada 100 gramos de jengibre seco se obtiene 0,481gr que significa 0,567 ml de aceite esencial de jengibre en un tiempo de 120 minutos.

3.5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Para realizar el análisis se emplea el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciencis), el cual es un programa estadístico con la capacidad de trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interface para la mayoría de los análisis.

Los datos introducidos al programa son las variables del diseño factorial independientes: tiempo de extracción, tipo de secado, granulometría y la variable respuesta o dependiente es el rendimiento de aceite esencial.

Tabla III-12: Datos obtenidos de todos los experimentos

Muestra	Tipo de Secado	Tiempo (min)	Granulometría (mm)	Volumen (ml)
1	Natural	60	0.25-2	1.5
REP.	Natural	60	0.25-2	1.3
2	Forzado	60	0.25-2	1.2
REP.	Forzado	60	0.25-2	1.1
3	Natural	120	0.25-2	1.7
REP.	Natural	120	0.25-2	1.5
4	Forzado	120	0.25-2	1.3
REP.	Forzado	120	0.25-2	1.3
5	Natural	60	4-5	0.9
REP.	Natural	60	4-5	0.9
6	Forzado	60	4-5	0.9
REP.	Forzado	60	4-5	0.9
7	Natural	120	4-5	1.1
REP.	Natural	120	4-5	1.2
8	Forzado	120	4-5	1.1
REP.	Forzado	120	4-5	1.2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III-13: Datos para el Análisis Estadístico

Muestra	Tipo de Secado	Tiempo (min)	Granulometría (mm)	Volumen (ml)
1	-1	-1	-1	1.5
REP.	-1	-1	-1	1.3
2	+1	-1	-1	1.2
REP.	+1	-1	-1	1.1
3	-1	+1	-1	1.7
REP.	-1	+1	-1	1.5
4	+1	+1	-1	1.3
REP.	+1	+1	-1	1.3
5	-1	-1	+1	0.9
REP.	-1	-1	+1	0.9
6	+1	-1	+1	0.9
REP.	+1	-1	+1	0.9
7	-1	+1	+1	1.1
REP.	-1	+1	+1	1.2
8	+1	+1	+1	1.1
REP.	+1	+1	+1	1.2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

A continuación, en la **Tabla III-14** se muestran las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable registradas por el programa y que son realizadas en la parte experimental de la investigación para un diseño 2^3 con dos repeticiones y un total de 16 experimentos.

Tabla III-14: Factores Inter-sujetos

		N°
TSecado	-1	8
	1	8
Tiempo	-1	8
	1	8
Granulometría	-1	8
	1	8

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la **Tabla III-15** se detalla en Análisis de varianza, aplicado en el diseño experimental para probar la significancia estadística de cada factor sobre el rendimiento.

Tabla III-15: Análisis de Varianza (ANOVA)

Variable dependiente: Volumen.

Origen	Suma de cuadrados Tipo III	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Modelo Corregido	0,794 ^a	6	0,132	21,404	0
Intersección	22,801	1	22,801	3689,09	0
TSecado	0,076	1	0,076	12,236	0,007
Tiempo	0,181	1	0,181	29,225	0
Granulometría	0,456	1	0,456	73,719	0
TSecado*Tiempo	0,001	1	0,001	0,101	0,758
TSecado*Granulometría	0,076	1	0,076	12,236	0,007
Tiempo *Granulometría	0,006	1	0,006	0,91	0,365
Error	0,056	9	0,006		
Total	23,65	16			
Total Corregida	0,849	15			

a, R cuadrado= 0,935 (R cuadrado corregido =0,891)

Fuente: Elaboración propia, 2017.

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 III-15** las variables TSecado, Tiempo, Granulometría y TSecado*Granulometría son significativas porque tienen una significancia aproximada 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:

Tabla III-16: Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes Tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95% para B		
	B	Error Típ.	Beta			Límite Inferior	Límite Superior	
1	(Constante)	1,194	0,019		63,667	0	1,152	1,235
	TSecado	-0,069	0,019	-0,298	-3,667	0,004	-0,11	-0,027
	Tiempo	0,106	0,019	0,461	5,667	0	0,065	0,148
	Granulometría	-0,169	0,019	-0,732	-9	0	-0,21	-0,127
	TSecado* Granulometría	0,069	0,019	0,298	3,667	0,004	0,027	0,11

a, Variable dependiente: Volumen.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

De la **Tabla III-16** se obtiene que el modelo matemático es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \hat{Y} &= 1,194 - 0,069 \text{ TSecado} + 0,106 \text{ Tiempo} - \\
 &\quad 0,169 \text{ Granulometría} \\
 &\quad + 0,069 \text{ TSecado} * \text{ Granulometría}
 \end{aligned}$$

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

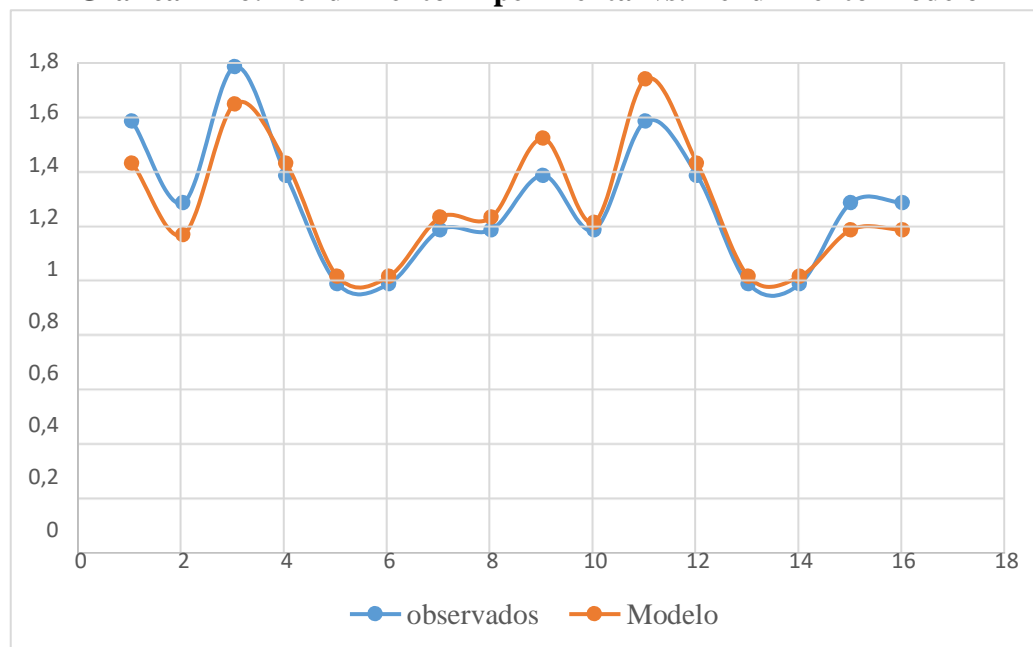
A continuación, se muestra en la **Tabla III-16** la variable respuesta (Volumen) experimental y la del Modelo.

Tabla III-17: Resultados Variable Respuesta

Muestra	Tipo de Secado	Tiempo (min)	Granulometría (mm)	Volumen (ml)	Modelo
1	-1	-1	-1	1,5	1,34545
2	1	-1	-1	1,2	1,08182
3	-1	1	-1	1,7	1,56364
4	1	1	-1	1,3	1,34545
5	-1	-1	1	0,9	0,92727
6	1	-1	1	0,9	0,92727
7	-1	1	1	1,1	1,14545
8	1	1	1	1,1	1,14545
9	-1	-1	-1	1,3	1,43636
10	1	-1	-1	1,1	1,12727
11	-1	1	-1	1,5	1,65455
12	1	1	-1	1,3	1,34545
13	-1	-1	1	0,9	0,92727
14	1	-1	1	0,9	0,92727
15	-1	1	1	1,2	1,1
16	1	1	1	1,2	1,1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se puede apreciar que los resultados obtenidos por el modelo son aproximados a los obtenidos en la parte experimental.

Gráfica III-6: Rendimiento Experimental vs. Rendimiento Modelo

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la **Gráfica III-6** se puede observar mejor la varianza entre el Rendimiento Experimental obtenido y el Modelo aplicado, 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.

3.5.3 TIPO DE SECADO VS RENDIMIENTO

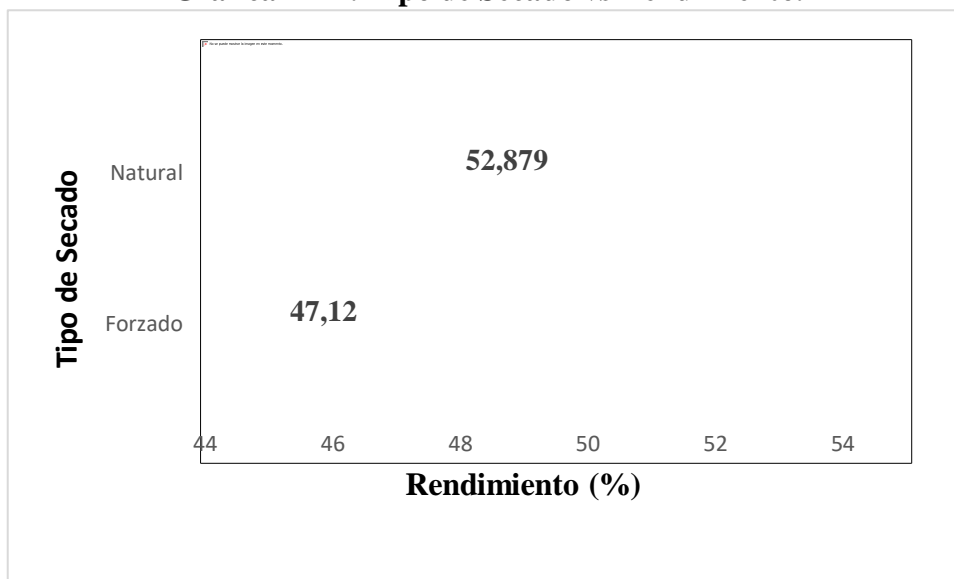
En la siguiente tabla se reportan los datos del volumen de aceite esencial obtenido para cada tipo de secado empleado en todos los experimentos:

Tabla III-18: Datos de Rendimiento vs. Tipo de Secado

Tipo de Secado	Granulometría (mm)	Tiempo de Extracción (min)	Volumen de aceite esencial (ml)	Volumen total de aceite esencial (ml)	% de Rendimiento (gr/100gr de jengibre seco)
Natural	0.25-2	60	1,5	10,1	0,424
	0.25-2	60	1,3		0,368
	0.25-2	120	1,7		0,481
	0.25-2	120	1,5		0,424
	4-5	60	0,9		0,254
	4-5	60	0,9		0,254
	4-5	120	1,1		0,311
	4-5	120	1,2		0,339
Forzado	4-5	60	0,9	9	0,254
	4-5	60	0,9		0,254
	0.25-2	60	1,2		0,339
	0.25-2	60	1,1		0,311
	0.25-2	120	1,3		0,368
	0.25-2	120	1,3		0,368
	4-5	120	1,1		0,311
	4-5	120	1,2		0,339

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Con el fin de observar el predominio del rendimiento de aceite esencial de jengibre se construye una gráfica de datos donde muestra la influencia de tipo de secado.

Gráfica III-7: Tipo de Secado vs Rendimiento.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

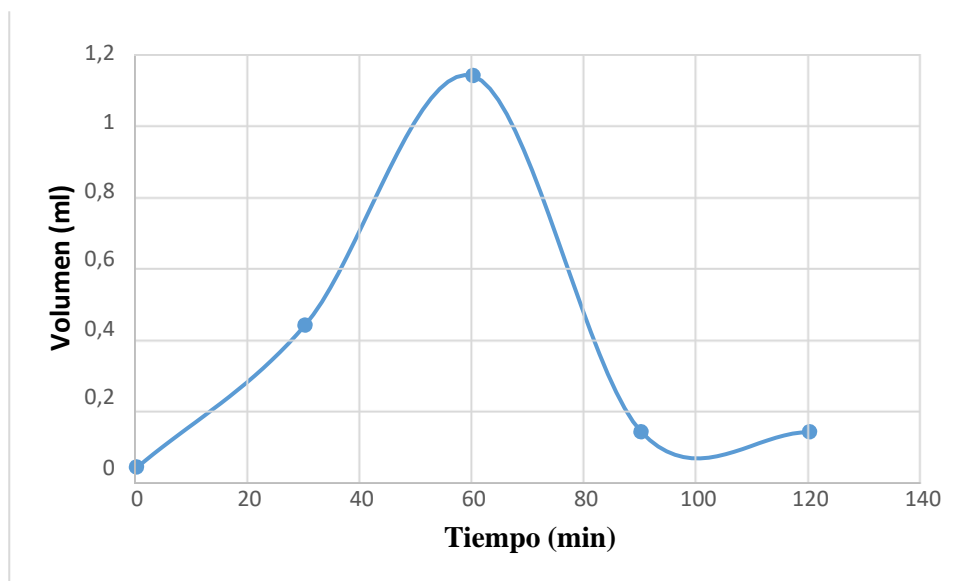
En la **Gráfica III-7** se observa que se obtiene un mayor rendimiento con el tipo de secado al Natural representando un volumen del 52,88% del aceite total obtenido en total de todos los experimentos realizados y el secado Forzado representa un 47,12%.

Por lo que el mejor tipo de Secado es al Natural ya que se obtiene un mayor porcentaje de aceite obtenido. Esto se debe a que las partículas de jengibre no están sometidas a altas temperaturas ya que estos se volatilizan con facilidad.

3.5.4 TIEMPO DE EXTRACCIÓN VS. VOLUMEN

Se construye una gráfica para observar la variación del volumen obtenido de aceite esencial con el tiempo, los datos a emplear pertenecen al experimento con mayor rendimiento de aceite esencial, estos datos se obtuvieron en intervalos de 60 minutos.

Gráfica III-8: Tiempo vs Rendimiento



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la **Gráfica III-8** se puede observar que en a los 60 minutos se alcanza el mayor nivel de destilación alcanzándose un volumen de 1,1 ml de aceite esencial, posteriormente la velocidad de destilación va disminuyendo hasta los 120 minutos se obtienen 0,2 ml en total, por lo tanto, se determinó que el mejor tiempo de extracción es de 60 minutos, pues las cantidades destiladas posteriormente son mínimas hasta los 120 minutos, generando pérdidas de energía.

3.5.5 GRANULOMETRÍA VS. RENDIMIENTO

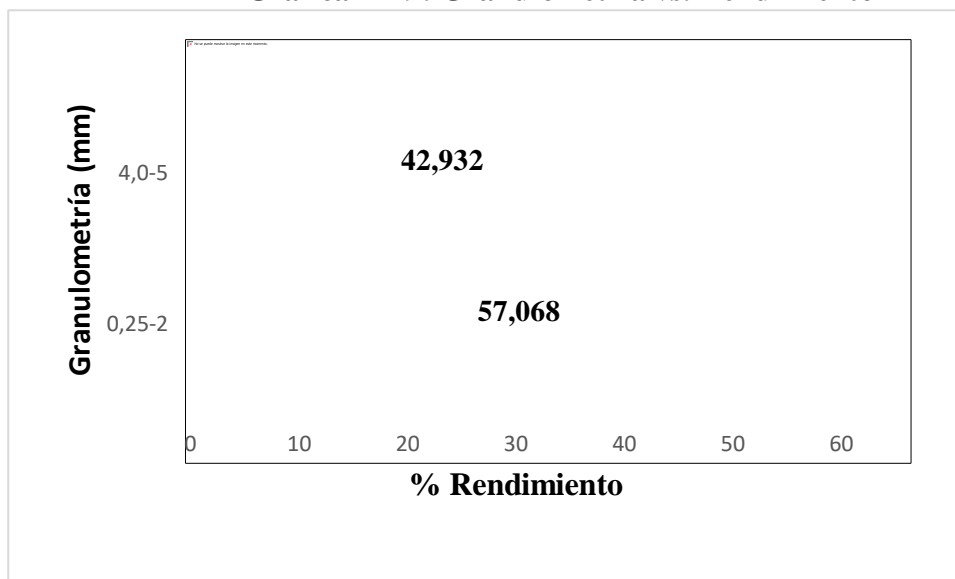
En la siguiente tabla se reportan los datos del volumen de aceite esencial total obtenido para cada uno de los tamaños de partícula empleados en todos los experimentos:

Tabla III-19: Datos de Rendimiento vs. Granulometría

Granulometría (mm)	Tipo de Secado	Tiempo de Extracción (min)	Volumen de aceite esencial (ml)	Volumen total de aceite esencial (ml)	% de Rendimiento (gr/100gr de jengibre)
0.25 - 2	Natural	60	1,5	10,9	0,424
	Natural	60	1,3		0,368
	Forzado	60	1,2		0,339
	Forzado	60	1,1		0,311
	Natural	120	1,7		0,481
	Natural	120	1,5		0,424
	Forzado	120	1,3		0,368
	Forzado	120	1,3		0,368
4 - 5	Natural	60	0,9	8,2	0,254
	Natural	60	0,9		0,254
	Forzado	60	0,9		0,254
	Forzado	60	0,9		0,254
	Natural	120	1,1		0,311
	Natural	120	1,2		0,339
	Forzado	120	1,1		0,311
	Forzado	120	1,2		0,339

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Con el fin de mostrar el predominio del tamaño de partícula en el rendimiento de aceite esencial de jengibre se construye una Gráfica que muestra la influencia del tamaño de partícula empleada.

Gráfica III-9: Granulometría vs. Rendimiento

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la **Gráfica III-9** se puede observar que el tamaño de partícula comprendido entre 0.25 a 2 mm tiene el mayor porcentaje de aceite esencial obtenido con un 57,068%, esto se debe a que aumenta la superficie de contacto, y con las partículas comprendidas entre 4 a 5 mm tenemos 42,93% de aceite en total obtenido.

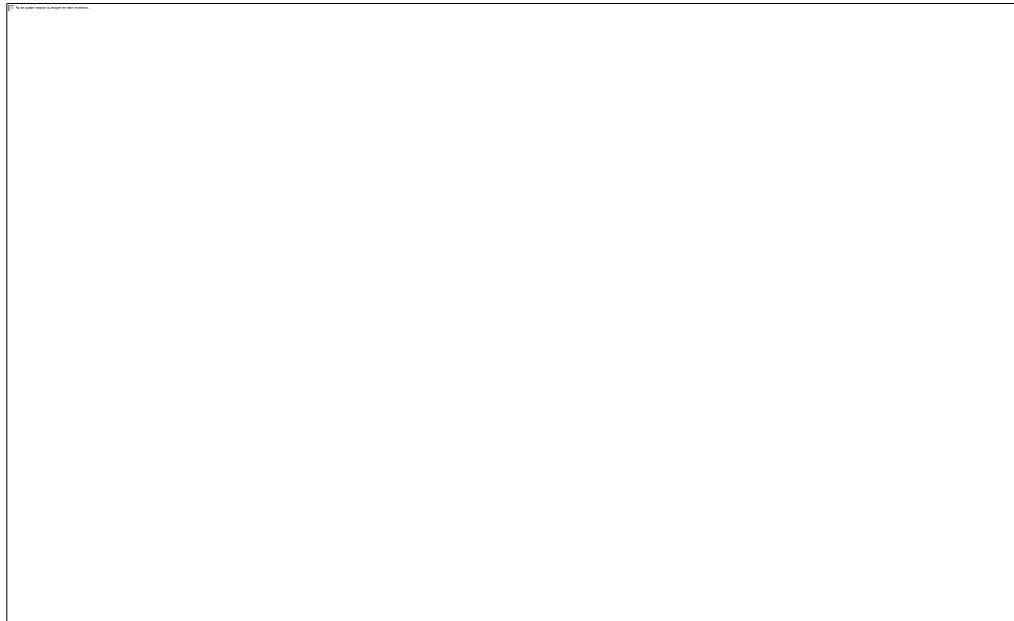
Por lo tanto, se concluye que el mejor rendimiento se observa con las partículas de menor tamaño.

3.6 RESIDUO

Una vez finalizada la extracción de aceite esencial de jengibre, queda como residuo jengibre agotado en contenido de aceite esencial de jengibre, pero con mayor humedad que la inicial, debido a que una parte del agua de la cámara de extracción se condensa en la misma.

El residuo se deja secar en el papel para luego darle uso como Abono Orgánico. En la siguiente figura se muestra en jengibre agotado.

Figura III-1: Residuo



Fuente: Elaboración propia, 2017.

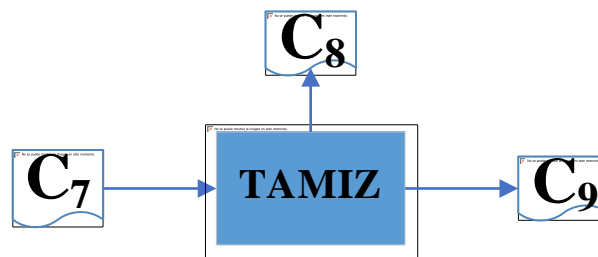
3.7 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE

Los datos que se emplean para los siguientes cálculos pertenecen a la extracción que tiene mayor volumen de aceite esencial de jengibre reportados en la **Tabla II-8**.

3.7.1 BALANCE DE MATERIA

3.7.1.1 BALANCE EN EL TAMIZ

Se realiza un balance en el tamiz, se tiene que $C_9=300$ gr, y el rendimiento del tamiz para separar partículas de 0,25-2 mm es de 57,6%. Entonces se calcula la masa de jengibre molido cargado en el tamiz (C_7). Entonces se calcula:



Masa de jengibre cargado al tamiz (C_7):

$$C_7 = C_8 + C_9 \tag{Ec.3-2}$$

$$C_8 = (1 - 0,576) * C_7 \tag{Ec.3-3}$$

Remplazando (Ec. 3-3) en (Ec. 3-2), despejando C_7 y reemplazando datos se tiene:

$$C_7 = \frac{300 \text{ g}}{(1 - 0,424)}$$

$$C_8 = 220,222 \text{ g}$$

Masa de jengibre de rechazado en el tamiz (C_8):

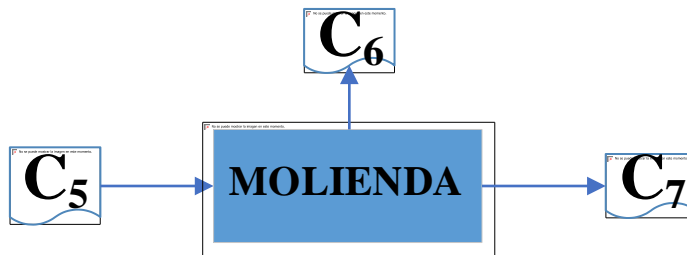
De la (Ec. 3-2) se despeja C_8 y se reemplaza datos:

$$C_8 = 520,833 \text{ g} - 300 \text{ g}$$

$$C_8 = 220,833 \text{ g}$$

3.7.1.2 BALANCE EN LA MOLIENDA

Se realiza un balance en la molienda con una pérdida del 5% de la materia prima que se adhiere al equipo utilizado. Teniendo como dato $C_7=520,833$ gr. Entonces se calcula C_5 y C_6 .



Masa de jengibre seco que entra a molienda (C_5):

$$C_5 = C_6 + C_7 \tag{Ec.3-4}$$

$$C_6 = (1 - 0,95) * C_5 \tag{Ec.3-5}$$

Reemplazando (Ec. 3-5) en (Ec. 3-4), despejando C_5 y reemplazando datos se tiene:

$$C_5 = \frac{520,833}{1 - 0,95}$$

=

$$C_5 = 10416,66$$

Masa de jengibre perdido en la molienda (C_6):

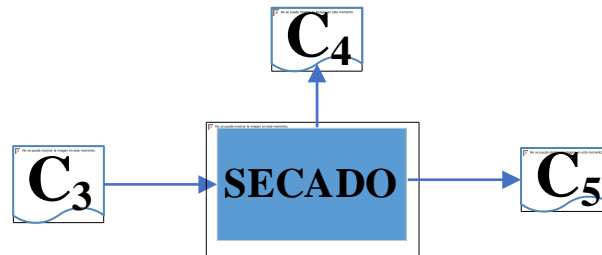
De la (Ec. 3-5) se reemplaza datos:

$$C_6 = (1 - 0,95) * 10416,66$$

$$C_6 = 520,833$$

3.7.1.3 BALANCE EN EL SECADO

El balance en el secado se considera la cantidad de humedad en la materia prima que es de 75,130% y como dato el $C_5=548,245$ gr.



Masa de jengibre cortado que entra al secador (C_3):

$$C_3 = C_4 + C_5 \tag{Ec.3-6}$$

$$C_4 = (1 - 0,249) * C_3 \tag{Ec.3-7}$$

Remplazando (Ec. 3-7) en (Ec. 3-6) despejando C_3 y reemplazando datos se tiene:

$$C_3 = \frac{548,245 \text{ g}}{(1 - 0,7513)}$$

$$C_4 = 157,245 \text{ g}$$

Masa perdida por efecto de humedad (C_4):

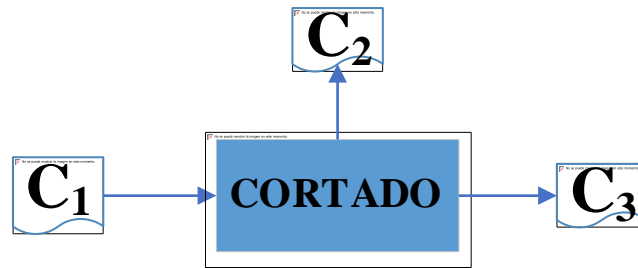
De la (Ec. 3-7) se reemplaza datos:

$$C_4 = (1 - 0,2487) * C_3$$

$$C_4 = 157,245 \text{ g}$$

3.7.1.4 BALANCE EN EL CORTADO

El balance realizado en el cortado o troceado de la materia prima, se consideró una pérdida de 3%, como dato tenemos el valor de $C_3=2204,443$ gr.



Masa de rizomas de jengibre (C₁):

$$C_1 = C_2 + C_3 \tag{Ec.3-8}$$

$$C_2 = (1 - 0,97) * C_1 \tag{Ec.3-9}$$

Remplazando (Ec. 3-9) en (Ec. 3-8) despejando C₁ y remplazando datos se tiene:

$$C_1 = \frac{2204,443}{(1 - 0,97)}$$

=

$$C_1 = 2274,443 \text{ kg}$$

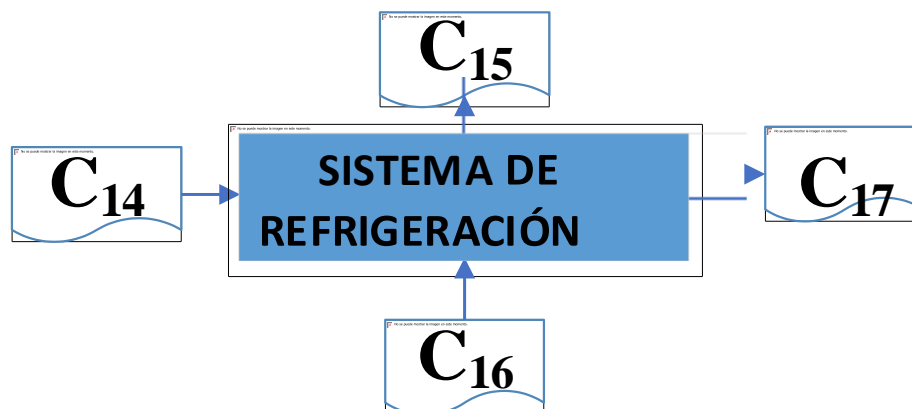
Masa perdida por el cortado (C₂):

De la (Ec. 3-9) se reemplaza datos:

$$C_2 = (1 - 0,97) * C_1$$

$$C_2 = 68,37 \text{ kg}$$

3.7.1.5 BALANCE EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



Masa de agua de refrigeración que entra (C₁₆):

Como datos se tiene que el flujo másico del agua es de 109,406 gr/s y el tiempo de extracción es de 120 min. Entonces se calcula:

$$C_{16} = \dot{m} \cdot t \tag{Ec.3-10}$$

Convirtiendo los minutos a segundos y reemplazando datos en la ecuación (Ec.3-10) tenemos:

$$C_{16} = 109,406 \frac{g}{s} \cdot 7200 s$$

$$C_{16} = 786,7232 g$$

Como el condensador no tiene pérdidas se tiene que C₁₆ = C₁₅.

$$C_{15} = 786,7232 g$$

◆◆◆◆

3.7.1.6 BALANCE EN LA DECANTACIÓN O SEPARACIÓN

Como datos se tiene C₁₉ = 1,442 gr; C₁₈ = 2190,32gr



Masa de mezcla de condensados (C₁₇):

$$C_{17} = C_{19} + C_{18} \tag{Ec.3-11}$$

$$C_{17} = 1,442 g + 2190,32 g$$

$$C_{17} = 2191,762 g$$

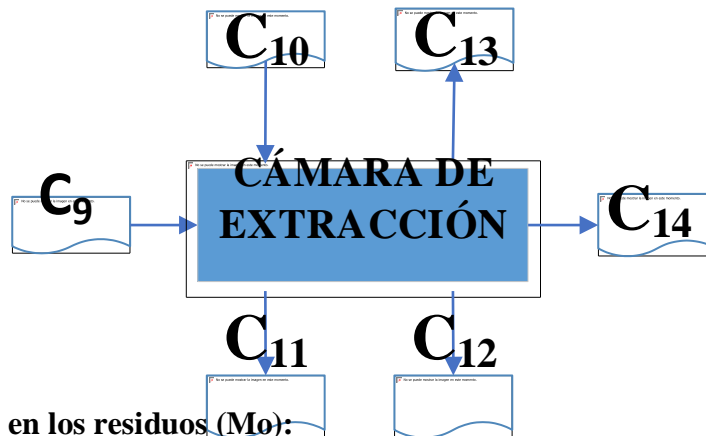
3.7.1.7 BALANCE EN LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN

Se tiene los datos de las corrientes: C₉=300gr; C₁₀=3982,4gr; C₁₁=1732,344gr; C₁₃=356,415gr

Masa de mezcla de vapores (C₁₄):

La masa de vapores que sale de la cámara de extracción es la misma masa que sale del condensador entonces C₁₄ = C₁₇.

$$C_{14} = C_{10} + C_{13} + C_{11} + C_{12}$$



Masa de agua en los residuos (M_o):

$$M_o = C_{13} - C_9 \tag{Ec.3-12}$$

$$M_o = 356,415 \text{ g} - 300 \text{ g}$$

$$M_o = 56,415 \text{ g}$$

Masa Total de agua que se queda en la cámara de extracción (M_T):

$$M_T = C_{11} + M_o \tag{Ec.3-13}$$

$$M_T = 1732,344 \text{ g} + 56,415 \text{ g}$$

$$M_T = 1788,759 \text{ g}$$

$$M_T = 1,788759 \text{ kg}$$

Masa de vapor perdido en la cámara de extracción (C₁₂):

$$C_{12} = C_{10} - C_{11} - C_{18} - C_9 \tag{Ec.3-}$$

14)

$$C_{12} = 3982,4 \text{ g} - 1732,344 \text{ g} - 2190,32 \text{ g} - 56,415 \text{ g}$$

$$C_{12} = -1596,679 \text{ g}$$

Masa de vapor generado en la cámara de extracción (M_v):

$$M_v = M_{18} + M_{19} \quad (\text{Ec.3-15})$$

$$M_v = 2190,32g + 56,415g$$

$$M_v = 2246,735 g$$

Flujo másico de vapor generado:

Para calcular el flujo másico del vapor generado se tiene los siguientes datos:

$M_v=2246,735\text{gr}$, tiempo de extracción $t_e=120\text{min}$.

$$F_{mv} = \frac{M_v}{t_e} \quad (\text{Ec.3-16})$$

$$F_{mv} = \frac{2246,735g}{7200s}$$

$$F_{mv} = 0,312 \text{ gr/s}$$

$$F_{mv} = 0,312 \text{ gr/s}$$

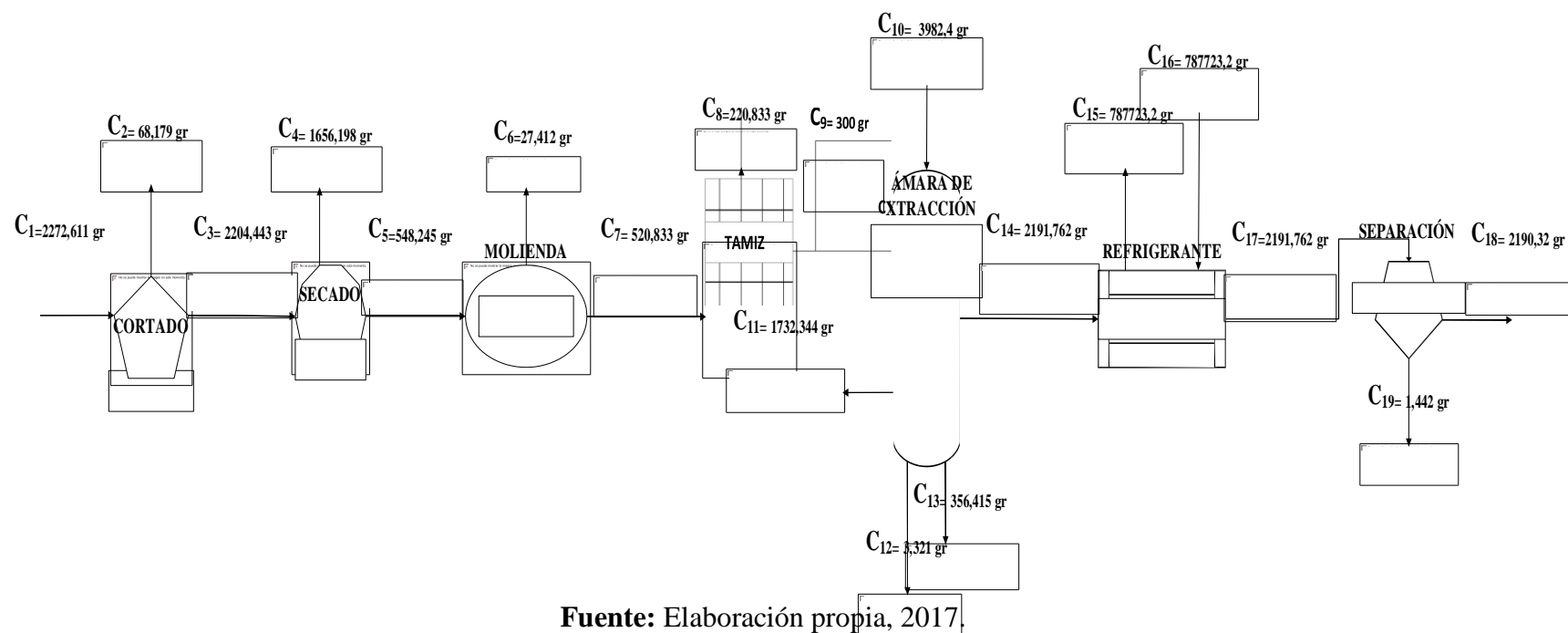
Los resultados del balance de materia se presentan en la **Tabla III-20** y **Figura III-2** donde se muestra el valor de cada corriente del proceso de extracción de aceite esencial de jengibre:

Tabla III-20:Resultados de Balance de Materia

Corrientes a calcular		Valores
Corriente	Nombre	
C ₇	Masa de jengibre molido	520,833 gr
C ₈	Masa de jengibre rechazado	220,833 gr
C ₁₄	Masa de mezcla de vapores	2191,762 gr
C ₁₂	Masa de perdida de vapor de agua	3,321 gr
C ₁₆	Masa de Agua de refrigeración que entra	787723,2 gr
M _T	Masa Total de agua en la cámara extracción	1788,759 gr
M _O	Masa de agua que queda en los residuos	56,415 gr
M _v	Masa de vapor generado en la cámara de Extracción	2246,735 gr
F _{mv}	Flujo másico de vapor	0,312 gr/s

Fuente: Elaboración propia, 2017.

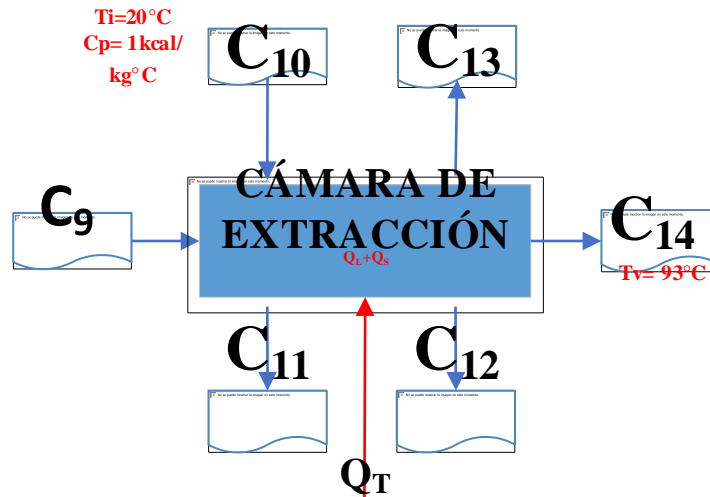
Figura III-2: Valores de las corrientes del Diagrama de flujo del proceso de extracción



3.7.2 BALANCE DE ENERGÍA

Para el balance de energía en la cámara de extracción se realiza los siguientes cálculos:

3.6.2.1 BALANCE EN LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN



Calor sensible para subir la temperatura del agua hasta el punto de ebullición.

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot (\Delta T) \tag{Ec.3-17}$$

17)

$$Q_s = m_{10} \cdot C_p \cdot (T_v - T_i)$$

$$Q_s = 3,9824 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (93 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 29,22, 222, 222$$

Para calcular el calor latente para evaporar el agua primero se calcula la potencia de la hornalla para lo cual se requiere el tiempo de calentamiento, $t_c = 37 \text{ min} = 0,617 \text{ hr}$

$$P = \frac{Q_s}{t_c} \tag{Ec.3-18}$$

$$P = \frac{290,715}{0,617}$$

=

$$P = 471, 222, 222$$



Posteriormente para calcular el calor latente se multiplica a potencia de la hornalla con el tiempo de la etapa de extracción, $e_{extracción}=120\text{min}=2\text{hr}$.

$$Q_{\text{vapor}} = P_{\text{horno}} * t_{\text{extracción}} \tag{Ec.3-19}$$

19)

$$Q_{\text{vapor}} = \frac{417,175}{h} * 2 h$$

417,175

$$Q_{\text{vapor}} = 834,35 \text{ kJ}$$

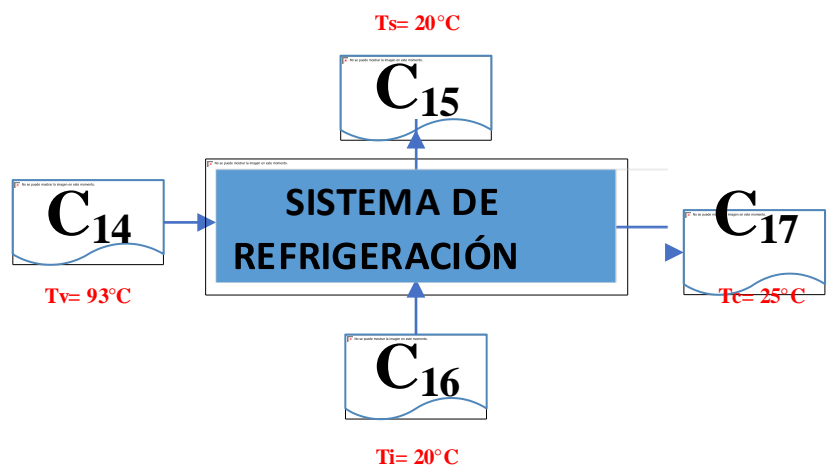
El calor requerido para la extracción calcula con la (Ec.2-3):

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{calentamiento}} + Q_{\text{vaporización}} \tag{Ec.2-3}$$

$$Q_{\text{total}} = 290,715 \text{ kJ} + 834,35 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{total}} = 1125,065 \text{ kJ}$$

3.7.2.2 BALANCE EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



Calor de vaporización del agua a 93°C:

$$Q_{\text{vapor}} = \dots \tag{Ec.3-20}$$

$$\phi_{\text{vapor}} = \frac{834,35}{2,247 \text{ kg}}$$

$$\phi_{\text{vapor}} = 371,27 \text{ kJ/kg}$$

Calor cedido por el vapor de agua:

Para ello se requiere los siguientes datos: C₁₈= 2,190 kg; T_c=25°C; T_v= 93°C

$$Q_{18} = C_{18} * \Delta T_{18} + C_{18} * C_p * (T_c - T_v)$$

(Ec.3-21)

$$Q_{18} = 2,190 \text{ kg} * 371,317 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} + 2,190 \text{ kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (25 - 93)^\circ\text{C}$$

$$Q_{18} = 793,184 \text{ Kcal}$$

Calor recibido por el vapor de agua:

Para ello se requiere los siguientes datos: C₁₅= 787,7232 kg; T_i= 20°C; T_s=22°C.

$$Q_{15} = C_{15} * C_p * (T_s - T_i) \tag{Ec.3-22}$$

22)

$$Q_{15} = 787,723 \text{ kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (22 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{15} = 1575,446$$

kcal

3.6.2.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA LA EXTRACCIÓN

El dato del poder calorífico del Gas Natural se obtiene de internet, el tiempo total de la extracción es la suma de los tiempos de la etapa de acondicionamiento y la etapa de extracción. Los datos son los siguientes:

Poder calorífico del Gas = 9200Kcal/m³

Tiempo total de uso por extracción = 2,617 hr

Potencia de la hornalla = 471,175kcal/hr

$$Q_{15} = \frac{P_{\text{hornalla}} * T_{\text{extracción}}}{\text{Poder calorífico del Gas}}$$

(Ec.3-23)

$$Q_{15} = \frac{471,175 \text{ kcal/hr} * 2,617 \text{ hr}}{9200 \text{ Kcal/m}^3}$$

4
7
1
,
1
7

$$\frac{5 \cdot 10^4 / h \cdot 2,617 h}{9200 \cdot 10^4 /}$$

$$c_{\text{...}} = \dots$$

$$10^4 \dots 6$$

3.8 ALTERNATIVAS DE APLICACIÓN INDUSTRIAL PARA EL PRODUCTO

Actualmente en la industria se utiliza este aceite esencial en enjuagues bucales, perfumería, y otros.

3.8.1 CERVEZA DE JENGIBRE (ANEXO 8)

Las bebidas con sabor a jengibre son bebidas carbonatadas a base de azúcar, incluyen cervezas de jengibre, cervezas alcohólicas de jengibre. El jengibre se refiere a él rizoma de *Zingiber officinale* (Zingiberácea). Las cervezas, que son carbonatados por CO₂ presurizados, son refrescos. Las cervezas pueden ser alcohólicas, es decir, contiene más de 0.05% v/v de etanol. Las cervezas alcohólicas de jengibre son decididamente alcohólicas, que contiene hasta 11% v/v de etanol (*Hehner, 1880, Consumo de alcohol, 2012*). Tanto las cervezas de jengibre como las alcohólicas son carbonatadas por levadura o por “Planta de cerveza de jengibre” (GBP): un organismo compuesto de *Lactobacillus hilgardii* y *Saccharomyces florentinus* llamada "la planta de cerveza de jengibre" (*Pidoux, 1989; Daker & Stacey, 1938; Dicks & Endo, 2009*). Las anteriores bebidas de jengibre además del aceite de jengibre, contienen otros aceites y zumos de frutas. Cervezas alcohólicas de jengibre contienen aceite de lúpulo de *Humulus lupulus* (*Moraceae*).

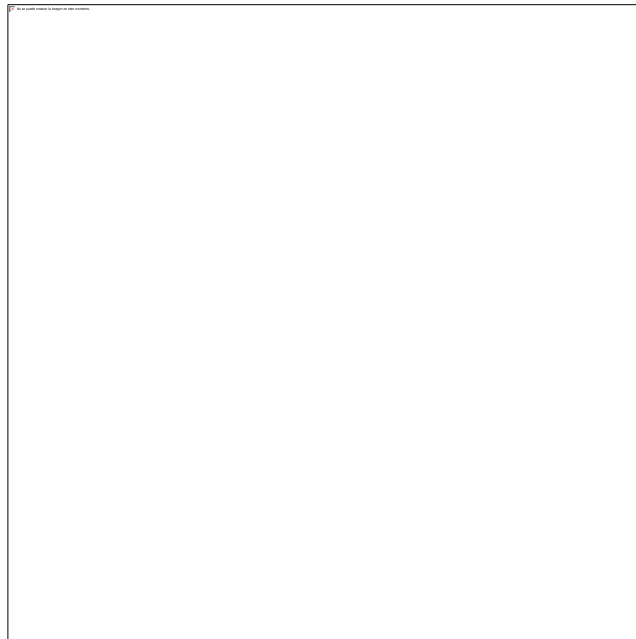
En África occidental, el especiado de las bebidas alcohólicas a base de cereales incluyen: "fura da nono", "kunu" y "akamu". “Fura da nono” (en hausa) comúnmente se condimenta con pimienta negra *Piper guineense o nigrum* (*Piperaceae*), clavo *Eugenia caryophyllata* (*Myrtaceae*), ají: planta de *Capsicum* (*Solanaceae*) y jengibre. "Kunu" (en hausa) puede condimentar con uno o más de los siguientes: pimienta negra, ají, clavo, jengibre, granos del paraíso *Aframomum melegueta* (*Zingiberaceae*) y cocodrilo Pimienta: *Aframomum danielli o citratum* (*Zingiberaceae*). “Akamu” (en muchos Lenguas de África Occidental) se pueden condimentar con una o más especias como en "kunu". Las especias se utilizan en bebidas en todo el mundo porque a las personas les gusta el sabor y el aroma de aceites esenciales; y porque las especias están asociadas con beneficios para la salud. Todos los aceites esenciales de jengibre, lúpulo,

clavo y pimientos son fitoquímicos, es decir, plantas secundarias. Metabolitos, con peso molecular inferior o ligeramente superior a 300 daltons.

Ginger ale es un refresco con sabor a jengibre. Es popular en Europa desde donde llegó a Estados Unidos y Canadá. Thomas Cantrell de los Estados Unidos tiene fama de Suplemento dietético.

Aceites esenciales en bebidas con sabor, han inventado una marca comercializada por Grattan & Company con "The Original Mak- Los de Ginger Ale "en relieve en sus botellas (FOHBC.com, 2013). La marca era Oscuro y dulce, con un fuerte sabor a jengibre. Fue producido según un viejo "oro" receta de "estilo" y se describió como una "versión no alcohólica" de "cerveza de jengibre". día, el "estilo dorado" o el "ginger ale oscuro" se acreditan a Thomas Cantrell, mientras que el "estilo seco" o "estilo pálido", que tiene un sabor de jengibre mucho más suave, es Tributado a John McLaughlin de Canadá. En 1904 McLaughlin desarrolló un jengibre. extracto, que agregó al agua carbonatada para producir "Pale Dry Ginger Ale" que fue patentado en 1907 como "Canada Dry Ginger Ale" (Yates, 2003).

Figura III-3: Ginger Ale, Fever Tree



Fuente: Ferver Tree, 2005.

3.8.2 ENJUAGUE BUCAL PROFILÁCTICO

El jengibre (*Zingiber officinale*) se ha utilizado extensamente como especia y medicina herbaria, se ha descrito que esta especie posee propiedades antimicrobianas y antifúngicas, entre otras. En el presente estudio se desarrolló un enjuague bucal profiláctico en base a aceite esencial de *Zingiber officinale* con actividad frente a *Streptococcus mutans*. Para ello se realizó la determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI) del aceite esencial, la cual fue 6,70 mg/ml de α -Zingibereno. Luego, se procedió a la formulación empleando distintas cantidades de agentes solubilizantes y cosolventes en base a un diseño experimental de mezclas Simplex-Centroid y la optimización de múltiples respuestas; a partir de los datos obtenidos se elaboró un enjuague bucal, creando una nanoemulsión, el cual mantuvo su estabilidad física a temperatura ambiente y protegido de la luz de 30 días. La formulación obtenida fue efectiva frente a *S. mutans*, pero no superior que el producto de referencia: clorhexidina al 0,04% con lo que se logró obtener un enjuague bucal profiláctico con un principio activo natural disminuyendo la posibilidad de efectos secundarios asociados al uso de antimicrobianos químicos. (Navarro Villamarín, Dayana).

3.8.3 CREMA TERAPÉUTICA

Existen varias formas de hacer cremas terapéuticas, una de ellas es usando salicilato de metilo, mentol, aceite de ruda, aceite de jengibre, se mezcla, para luego ponerlo en un recipiente cerrado, se usa esta crema para hacer masajes en la zona dolorida, como ser cuello o espalda también es bueno para contracturas, etc.

Gary Young, fue fundador y Presidente de “Young Living Essential Oils” empezó una campaña personal para proteger la legitimidad del antiguo arte de curar con la terapia de aceites esenciales, publicó una guía de aceites esenciales en la cual se puede apreciar la forma de utilizar y las precauciones que deben tener cada aceite esencial obtenido en la empresa. Young Living ofrece aceites esenciales puro sin adulterar, mezclas de aceites esenciales y productos potenciados con aceites, se realizan análisis de los aceites, reportando altos estándares industriales que los califican como “de grado terapéutico”.

3.8.4 SÉRUM O ACEITE CONCENTRADO REVITALIZANTE NATURA (ANEXO 9)

Gracias a la sinergia de activos de la biodiversidad brasileña, y los activos de la ciencia mundial Natura Cosméticos SA. creó el Sérum o aceite Concentrado Revitalizante Natura Chronos el cual es un suero que ofrece múltiples beneficios para la piel.

Una de las principales ventajas que aportará, es la reparación de la piel de nuestro rostro; causada por agentes externos como lo es la contaminación, el estrés, y por supuesto los rayos UV provenientes del sol. Además:





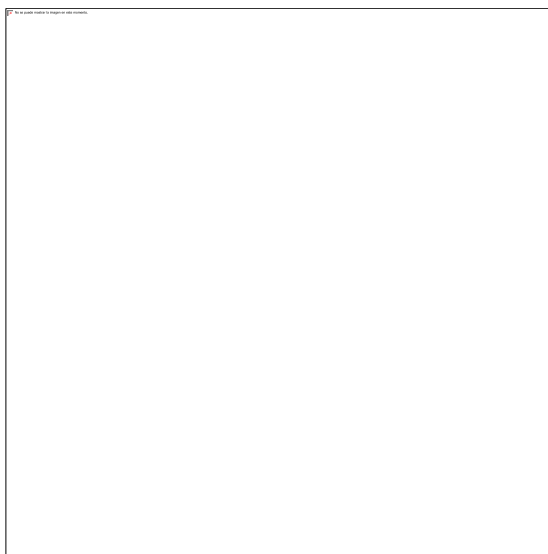
-  Estimula los mecanismos de defensa naturales de la piel.
-  Previene el envejecimiento prematuro de la piel evitando líneas de expresión.
-  Promueve la firmeza de la piel combatiendo la flacidez.
-  Brinda bienestar general a todos los sentidos gracias a sus propiedades de aromaterapia.

Figura III-4: Sérum o Aceite Concentrado Revitalizante



Fuente: Natura Cosméticos SA., 2018.

Este suero revitalizante concentrado de natura contiene 5 Aceites Esenciales: Aceite Esencial de Lavanda, Aceite Esencial de Romero, Aceite Esencial de Jengibre, y Aceite Esencial de Copaiba. Los cuales brindan una aroma exquisito y revitalizante que

brindan un estado total de bienestar y relajación cuando los aplicamos. Además de calmar y relajar la piel de nuestro rostro de manera sutil. (ANEXO 9)

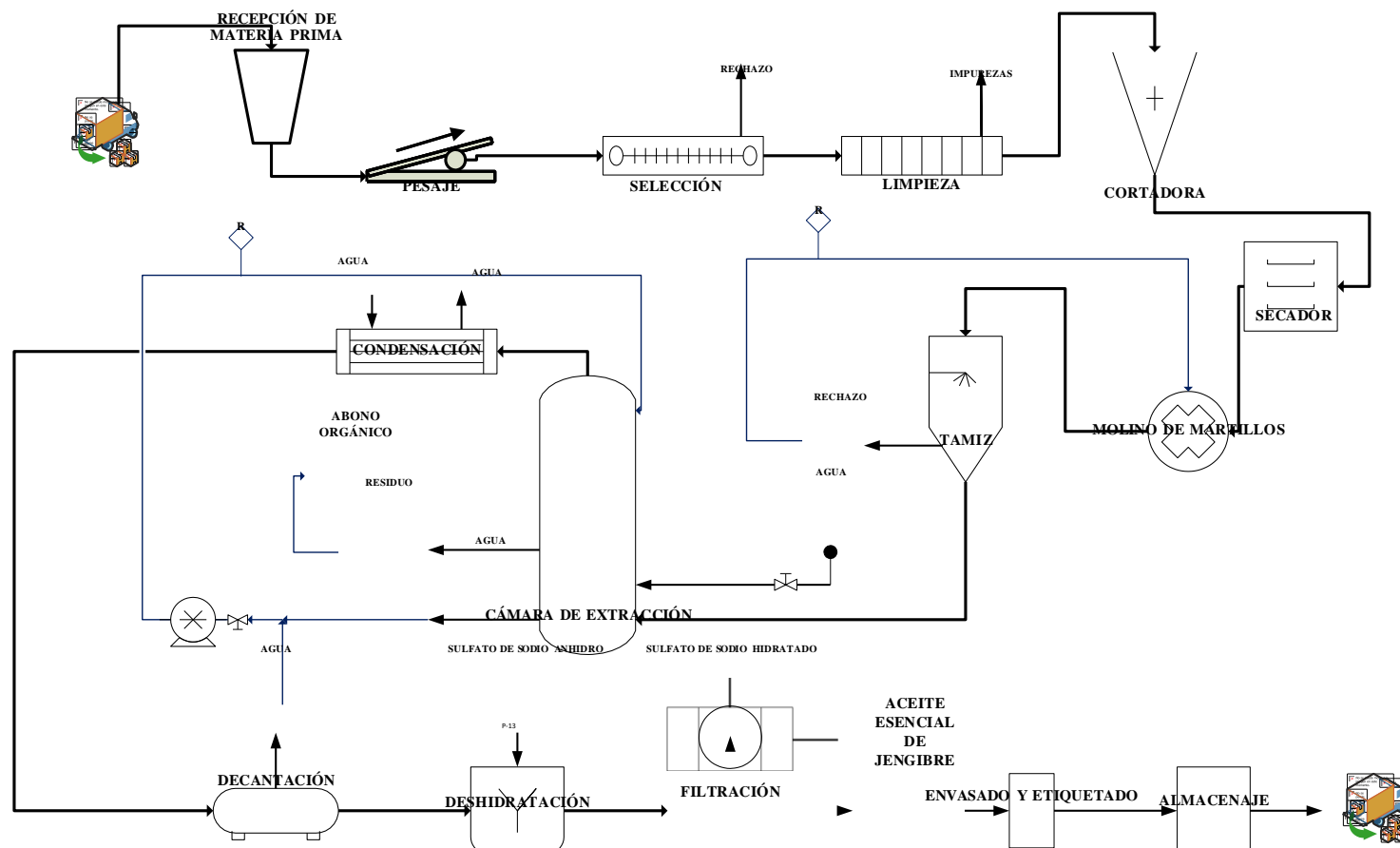
3.9 PROPUESTA DE DISEÑO DE LA MICRO-PLANTA INDUSTRIAL

3.9.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LA MICRO-PLANTA INDUSTRIAL

A continuación, se propone un diseño alternativo del diagrama de flujo del proceso, tomando como base el proceso de obtención de Aceite Esencial de Jengibre en laboratorio.

Empieza con la recepción de la materia prima, pesaje, selección de los rizomas que sean aptos para la extracción que no estén podridos, inmaduros, posteriormente se procede a la limpieza donde se eliminan vestigios de tierra adherida a los rizomas, luego se procede al cortado para que el secado sea homogéneo, una vez secado pasa al molino de martillos donde se tritura el rizoma seco, y es tamizado separando las partículas en diferentes tamaños usando así las partículas de menor tamaño y las que no son aptas recirculando hacia el tamiz para que vuelvan a ser trituradas hasta obtener el tamaño requerido, están partículas de tamaño pequeño pasan a la cámara de extracción que está cargada con agua, en la cual se carga el jengibre seco en partículas pequeñas y se procede a la extracción, obteniendo condensado agua-aceite esencial, el cual pasa a la decantación, el jengibre agotado se puede utilizar como abono orgánico, o también se puede procesar para producir alimento balanceado para animales, así también el agua que sale de la cámara de extracción y en la decantación se puede hacer recircular hacia la cámara de extracción con el fin de recuperar el aceite esencial que no se pudo separar por completo, si no se produce la recirculación se los puede utilizar esta agua para la producción de jabones, y también como aguas aromáticas. Posteriormente obtenido el aceite esencial de jengibre para quitarle toda el agua que contiene este producto se procede a la deshidratación usando sulfato de sodio anhidro, luego se filtra, y se obtiene aceite esencial de jengibre puro, se procede al envasado en un frasco color ámbar a rosca, se etiqueta y almacena en un lugar fresco sin contacto con luz solar.

Figura III-5: Diagrama de flujo de la Micro-planta Industrial del proceso de extracción de aceite esencial de jengibre

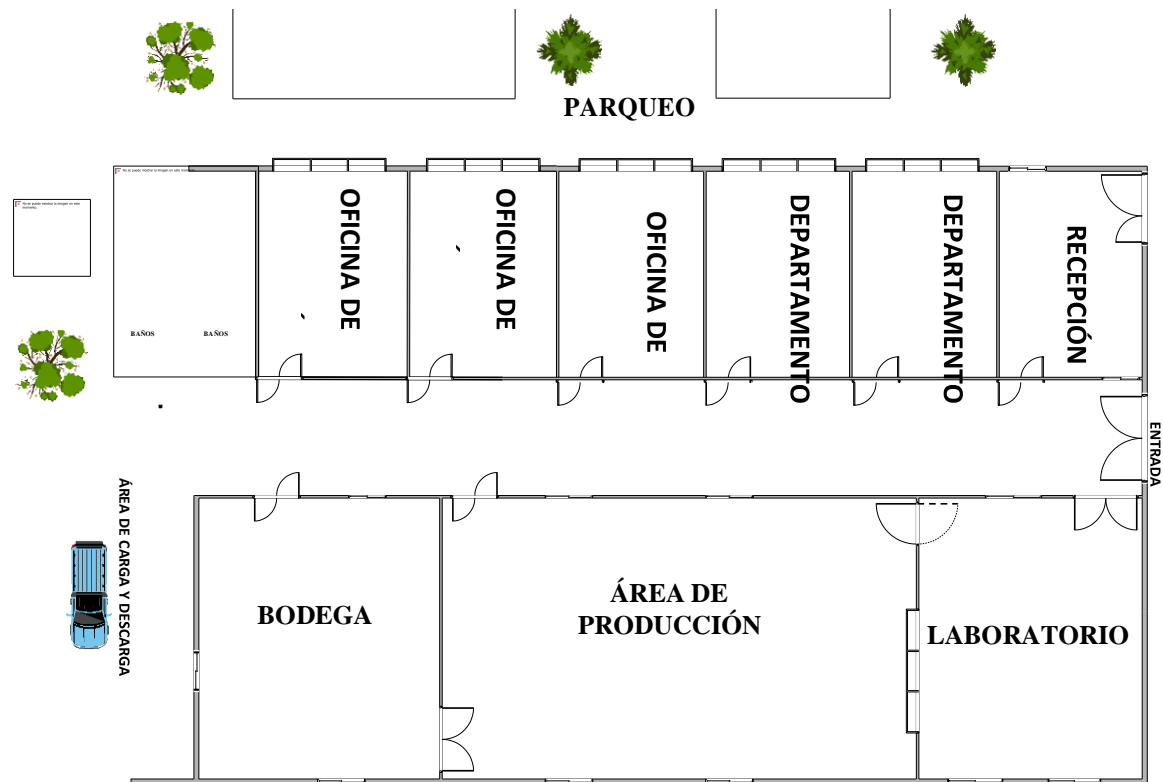


Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.9.2 DISTRIBUCIÓN DE LA MICRO-PLANTA INDUSTRIAL

A continuación, se propone un diseño alternativo de las instalaciones de la Micro-planta Industrial de Aceite Esencial de Jengibre.

Figura III-6: Distribución de las instalaciones de la Micro-planta Industrial



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.9.3 EQUIPOS A UTILIZAR EN LA MICRO-PLANTA

3.9.3.1 BALANZAS

La capacidad de la balanza necesaria es de 0 a 100 kg.

Características: lb/kg., mecánica o electrónica, el precio de la última esta alrededor de USD 515 (Marca UWE, Modelo AFW, Capacidad 150 kg. x 20 g., tamaño de plataforma: 42 x 52 cm.

La segunda balanza debe tener la capacidad de pesado de 0 a 5000 g. Una balanza electrónica Marca UWE, Modelo ADW, Capacidad 6 kg x 1 g. Características: lb/kg.; batería auto recargable, tamaño de plataforma: 21 x 25 cm. tiene un valor de US\$ 240.

3.9.3.2 MESA DE SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN

La mesa de selección y clasificación, deben ser de acero inoxidable para evitar cualquier proceso de oxidación al ponerse en contacto directo el material de la mesa y el rizoma a procesar. El precio es aproximadamente de US\$ 500. Las medidas son: Mesa de selección: Longitud 2m y ancho 1.5m

3.9.3.3 CORTADORA DE CUCHILLAS

Cortadora profesional, lamina ajustable de 1 mm a 7mm. La cuchilla de corte cambia de recta a corte de gofres. Dos espesores de corte en juliana. Fácil de agarrar guardia de seguridad con pasadores de metal fijo y extensible se adapte a todas formas y tamaños, se desliza sobres los correedores para garantizar su uso seguro. El precio es aproximadamente de US\$ 56.

3.9.3.4 SECADOR DE BANDEJAS

Secador de bandejas, de alta precisión de temperatura, buen grado de homogeneidad, de acero laminado en frio con spray de pintura metálica, con doble capa de vidrio de ventana de observación, sistema de circulación de aire se compone de ventiladores de bajo ruido y el conducto de aire de ciclo de tomar la temperatura más uniforme. El precio es aproximadamente de US\$ 200.

3.9.3.5 MOLINO DE MARTILLOS

Molino Premill Molino de martillos con cámara de molienda provista de aristas de impacto y tamiz intercambiable. El molino Premill se emplea en molturación fina y gruesa, desaglomeración de materiales blandos, frágiles y semiduros, secos, o con cierta humedad. Realizado en acero carbono. Dimensiones boca de descarga 290x175mm. El precio es aproximadamente de US\$ 1500.

3.9.3.6 EQUIPO PARA DESTILACIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Equipo de destilación por arrastre de vapor compuesto por un reactor de acero inoxidable AISI 304, e vapor de agua es producido por un quemador a gas lo que otorga al equipo autonomía de movimiento. El condensador es de acero inoxidable AISI 304 con baffles internos para una mayor eficacia en el condensado. El condensado se recoge en un vaso de vidrio, quedando el agua en la parte inferior del mismo, reciclándose al reactor. El precio es aproximadamente de US\$ 3000.

3.9.3.7 BOMBA

Esta bomba es ideal para productos líquidos, incluso con sólidos en suspensión. Su sólida construcción en acero inoxidable, de fácil desarme y utilización confiable, la hacen aptas para la industria procesadora de alimentos.

Modelo AISI, de 1 Hp de potencia, la cual tiene un costo aproximado de US\$ 1000

3.10 DISEÑO DE LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN

El diseño de la cámara de extracción se realizará a partir de las dimensiones del equipo y de los canastillos que se utilizaron en el laboratorio de Operaciones Unitarias durante el desarrollo de las pruebas experimentales. Dichas dimensiones serán escaladas tomando en cuenta factores adimensionales de similitud geométrica para lo cual es necesario la descripción del equipo que fue utilizado como modelo para la obtención de datos experimentales, el cual se describe en el **CAPITULO II**, tomando en cuenta las dimensiones de equipo mostrado en la **Figura II-4** y **Figura II-5**.

3.10.1 ESCALAMIENTO DE LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN

Para realizar el escalamiento de la nueva cámara de extracción se aplicó el concepto de similitud geométrica a partir de la siguiente ecuación lineal:

$$X_P = \lambda * X_M \quad (\text{Ec.3-24})$$

24)

donde:

X_P y X_M = Representan una misma variable en modelo (M) y prototipo (P).

λ = Factor de escala para dicha variable.

El factor de escalamiento para la cámara de extracción se determinará por las dimensiones de la misma y la cantidad de materia prima por fuente.

Datos:

$$D_{CEP} = 20 \text{ cm}$$

$$h_{CEP} = 65 \text{ cm}$$

Área de la Cámara Experimental:

$$A_{CEP} = \frac{\pi * D^2}{4} + D * h \quad (\text{Ec.3-25})$$

$$= \frac{\pi * 20^2}{4} + 20 * 65$$

$$A_{CEP} = 2000 + 1300$$

$$A_{\text{??}} = 4712,389$$

$$\text{??}^2$$

Se considera que el área de la cámara de extracción experimental debe incrementarse en la misma proporción que la materia prima a utilizarse por cada fuente, por lo que es necesario determinar λ_M , ya que esta será igual a $\lambda_M = \lambda D_{CM}$

La cantidad de materia prima (m_P) que se usó durante las pruebas experimentales es de 100 gramos por canastillo, por lo tanto, para la cámara de extracción se propone 300 gramos por fuente pretendiendo cubrir el 10% de la importación anual, valor que tomara la variable m_M . Por lo que partiendo de la ecuación lineal para similitud geométrica el factor de escala será:

Datos:

$$m_M = 300 \text{ gr}$$

$$m_P = 100 \text{ gr}$$

$$\lambda = \frac{m_M}{m_P} \quad (\text{Ec.3-26})$$

$$\lambda = \frac{300}{100} = 3$$

$$\text{Entonces } \lambda_M = \lambda D_{CEM} = 3$$

A continuación, se determina el diámetro de la nueva cámara de extracción:

$$D_{CEM} = \lambda D_{CEM}' * D_{CEM}$$

$$(\text{Ec.3-27})$$

$$D_{CEM} = 3 * 20 = 60$$

$$D_{CEM} = 60$$

La altura de la cámara de extracción está en función de número de fuentes.

Para calcular el volumen que ocupara el agua, calculamos el volumen que ocupa el agua utilizada en la extracción experimental.

$$V_{CEM} = \frac{4}{3} * \pi * \left(\frac{D_{CEM}}{2}\right)^2 * h_{CEM} \quad (\text{Ec.3-28})$$

$$h_{CEM}$$

$$\frac{4 * \pi * \left(\frac{D_{CEM}}{2}\right)^2 * h_{CEM}}{3} =$$

$$\diamond * \diamond \diamond \diamond \diamond^2$$

$$h = \frac{4 * 4000^3}{\pi * (20)^2} = 12,73$$

=

Ahora calculamos en Volumen de agua a utilizar en la nueva cámara de extracción.

$$V = \frac{\pi * r^2 * h}{4} \quad (\text{Ec.3-29})$$

$$\pi * r^2 * h$$

$$\frac{\pi * r^2 * h}{4}$$

$$V = \frac{\pi * 10^2 * 12,73}{4}$$

$$V = 35993,227 \text{ litros} = 35,993$$

litros.

Sí 35,993 litros de agua ocupan 12,73 cm de altura se asume un 25% de esta altura como margen de separación con la primera fuente para permitir que el vapor ascienda libremente y evitar el contacto con la muestra, entonces la altura requerida para la generación de vapor es de 15,91 cm y se decide redondear a 16 cm.

3.10.2 CALCULOS PARA LAS DIMENSIONES DE LA FUENTE PARA LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN

El tamaño de la fuente se determinó en función al diámetro de la cámara de extracción diseñada. La fuente diseñada tendrá una relación 1:1

$$\frac{60}{1,1} = 54,545$$

Se tomará en cuenta la altura de la fuente utilizada debido a la generación de vapor requerida. $h_{\text{agua(P)}} = h_{\text{agua(M)}} = 12,5 \text{ cm}$

Área de la fuente diseñada:

$$\pi * \left(\frac{54,545^2}{2} + 54,545 * 12,5 \right)$$

=

$$6815,343$$

$$6815,343 \text{ cm}^2$$

Se pretende cubrir el 10% de la importación de aceites esenciales (ANEXO 7). En el

cual se considera una producción 13.000 ml anual, por lo tanto, entran a la cámara de extracción 4 kilos de jengibre seco, entonces tenemos:

Numero de fuentes

$$n = \frac{4000}{300} = 13 \quad (\text{Ec.3-30})$$

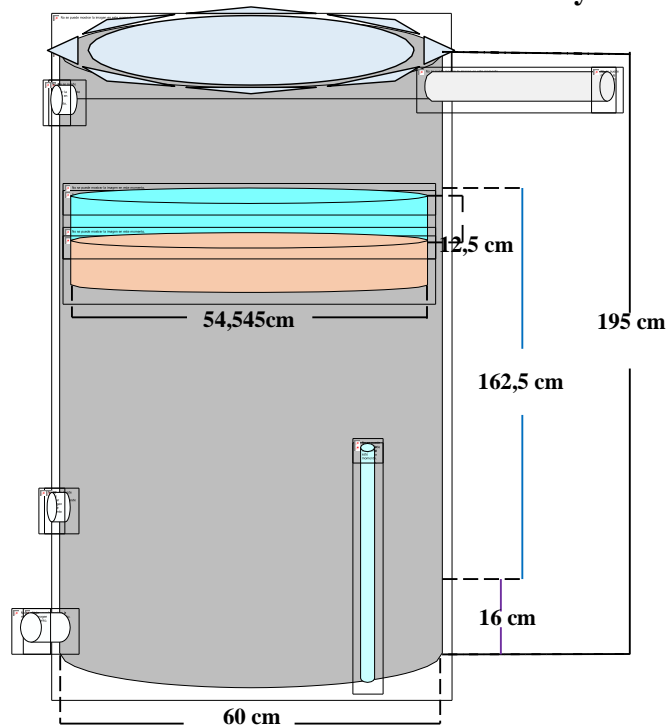
De acuerdo a la capacidad de la cámara de extracción contará con 13 fuentes, cada fuente con una altura de 12,5cm, Por lo tanto, tenemos que la altura de la cámara de extracción será la suma de la altura de las fuentes más la altura del agua a utilizar, más la altura de seguridad para que el vapor generado fluya hacia la cabeza de la cámara de extracción:

$$h_{\text{total}} = 13 * 12,5 + 16 + 16$$

$$h_{\text{total}} = 194,5$$

Entonces tenemos que la altura de la nueva cámara de extracción es de 194,5cm y se decide redondear a 195cm y el diámetro es de 60cm que cuenta con 13 fuentes de 12,5 cm de altura y 54,545 de diámetro.

Figura III-7: Dimensiones de Cámara de Extracción y fuentes diseñadas



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.11 COSTOS DE PROYECTO DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA

Los costos del estudio para la extracción del aceite esencial se presentan en las siguientes tablas:

Tabla III-21: Costo de Materia Prima

Ítem	Detalle	Unidades	Precio unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
1	Rizoma de jengibre	Kg	20	30	600
2	Transporte	Bs	-	-	50
TOTAL					650

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III-22: Costos de materiales y equipos

Ítem	Detalle	Unidades	Precio unitario (Bs)	Cantidad	Costo(Bs)
3	Licadora	Unidad	150	1	150
4	Termómetro(250°C)	Unidad	45	1	45
5	Jarra(1000ml)	Unidad	5	1	5
6	Frasco de vidrio ámbar (30ml)	Unidad	18	1	18
7	Jeringas 3ml	Unidad	1	5	5
8	Bolsas Herméticas	Unidad	0,3	50	15
TOTAL					238

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III-23: Costo de Análisis Físicoquímico del aceite esencial

Ítem	Detalle	Unidades	Precio unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
9	Cromatografía GC	Análisis	300	1	300
10	Análisis Físicoquímico de la materia prima	Análisis	420	1	420
TOTAL					720

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III-24: Costo de insumos

Ítem	Detalle	Unidades	Precio unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
10	Agua	m ³	0,73bs/m ³ +15,82	0,200	16
11	Gas	m ³	1,02bs/m ³	0,134	0,137
TOTAL					16,1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III-25: Consumo eléctrico de los equipos utilizados

Ítem	Equipo	Detalle	Potencias (KW)
12	Licadora	Molido de materia prima	0,35
13	Tamiz Vibratorio	Tamizado de materia prima	0,09
14	Balanza analítica	Pesado de materia prima y residuos	0,22
15	Mufla	Secado de materia prima	2,5

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III-26: Costo Energético de los equipos

Ítem	Potencia (kW)	Tiempo (hr)	Energía (Kwhr)	Costo (Bs)
16	0,35	7	2,45	1,47
17	0,09	24	2,16	1,296
18	0,22	10	2,2	1,32
19	2,5	56	140	84
TOTAL				88,086

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los costos están calculados sobre la Base de 0,60 bs/kWhr que cobra SETAR.

Tabla III-27: Costos Indirectos

Ítem	Detalle	Unidades	Precio unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
20	Internet	Horas	3	400	1200
21	Transporte	Pasaje	1	320	320
22	Impresión	Hoja	0,5	1080	540
23	Anillado	Anillado	6	5	30
24	Empastado	Empastado	50	4	200
25	Mano de Obra	Hora	10	500	5000
TOTAL					7290

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III-28: Costo total del Proyecto

Costos	(Bs)
Costo de Materia Prima	650
Costos de materiales y equipos	238
Costo de Análisis Físicoquímico del aceite esencial	720
Costo de insumos	16,1
Costo Energético de los equipos	88,086
Costos Indirectos	7290
TOTAL	9002,186

Fuente: Elaboración propia, 2017.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación y a los resultados obtenidos, se llega a las siguientes conclusiones:

- Se caracterizó la materia prima, proveniente del sector CRISTAL MAYU del Departamento de Cochabamba la cual fue sometida a un Análisis Fisicoquímico en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) donde se evidencia que el jengibre contiene 0,74% de ceniza; 0,09% de Fibra; 0,10% de Grasa; 12,73% Hidratos de Carbono, 85,30 % de Humedad; 1,04% de Proteína total y 55,98 Kcal por cada 100 gr en Valor Energético (**Tabla III-2**).
- Se determinó que las variables de operación fueron óptimas, con un diseño de 2³, con tres variables a dos repeticiones con un total de 16 experimentos analizadas en el programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciencis*) se pudo evidenciar que las variables utilizadas con la mejor varianza siguen una ruta paralela al modelo matemático aplicado, dicho modelo es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 Y &= 1,194 - 0,069 X_1 + 0,106 X_2 - \\
 &\quad 0,169 X_3 + 0,069 X_1 X_2 * \\
 &\quad X_1 X_2 X_3
 \end{aligned}$$

En cual nos sirve para determinar las interacciones significativas de las variables de la extracción de aceite esencial de jengibre.

- Se obtuvo aceite esencial de jengibre por el método de arrastre con vapor con las siguientes variables de operación: presión atmosférica, temperatura de vapor constante de 93°C, tiempo de 120 minutos, masa de materia prima de 100gr por cada fuente con una masa total de 300 gr, granulometría de 0,25 a 2 mm, con un rendimiento de 0,481gr/100gr de jengibre seco.
- El aceite esencial de jengibre obtenido es liquido de color ligeramente amarillo, un aroma característico al jengibre y de sabor picante (**Tabla III-8**).
- Se realizó el Análisis cromatográfico en el “CEANID” determina el % de cada componente presentando mayor abundancia el Monoterpeno 2-Thujene 18,020%,

un 15,812% de Zingiberene, 13,982% de Camphene, 11,745 de Citral, 8,182 de Citral b, 6,387% de Beta Sesquiphellandrene, 6,013 de Eucalyptol, 5,558 de Farnesene, 5,165 de Pinene, 3,284 de Myrcene, 2,974 de Beta-Bisabolene y 2,879 de Curcumene (**Tabla III-11**).

- De acuerdo al análisis realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, la densidad del aceite de jengibre es de 0,8483 gr/ml y el Índice de Refracción es de 1,4815, comparándolos con los de la bibliografía se determina que se encuentra dentro de los rangos.
- Se propuso el diseño de las instalaciones de una micro planta para la extracción de aceite esencial de jengibre (**Figura III-6**) y así también el diagrama de flujo del proceso con los datos recolectados de acuerdo al proceso en laboratorio (**Figura III-5**).
- Se aplicó el escalamiento geométrico a la Cámara de extracción por arrastre de vapor que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, según el escalamiento aplicado las dimensiones para la nueva Cámara de Extracción son: Altura de 195cm con un diámetro de 60 cm y las fuentes para la materia prima: Altura de 12,5cm con un diámetro de 54,545cm (**Figura III-7**).
- Se identificaron alternativas de uso del aceite esencial en la Industria como en la Elaboración de Cerveza de jengibre (**ANEXO 8**), Sérum o Aceite Concentrado Revitalizante de Natura (**ANEXO 9**), Enjuagues Bucales, un ejemplo de ello es el Proyecto de Titulación de Navarro D. “*Desarrollo de un enjuague bucal profiláctico en base a aceite esencial de Zingiber Officinale con actividad frente a Streptococcus mutans*”.

4.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar el rendimiento de aceite esencial de jengibre en las diferentes épocas del año, a objeto de observar si existe una variación.
- Variar el tiempo de secado al ambiente con el objeto de observar si existen cambios en el rendimiento de aceite esencial de jengibre.
- Se recomienda mantener e impulsar el cultivo de jengibre en el país y en la región, intensificando el aprovechamiento de la misma con charlas educativas, cursos prácticos, para que los pobladores conozcan sobre los beneficios de este producto agrícola.
- Realizar pruebas de sensibilidad biológica ante el *Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus* y *S. Faecalis*.
- Realizar un estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta productora de aceite esencial de jengibre en nuestra región.
- Realizar trabajos de investigación sobre el aprovechamiento y aplicaciones del aceite esencial en la industria farmacéuticas, bebidas y otros en nuestra región.
- Implementación de medidor de gas natural en el Laboratorio de operaciones unitarias.
- Realizar un proyecto implementando el aceite esencial como Aditivo alimentario.
- Realizar proyecto sobre la producción de cerveza de jengibre a nivel laboratorio.