



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EXTRACCIÓN, ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y  
CARACTERIZACIÓN CROMATOGRÁFICA DE ACEITE  
ESENCIAL DE APIO (*Apium graveolens L.*) POR ARRASTRE DE  
VAPOR.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JORGE ARMANDO QUISPE GOMEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

### **A Dios**

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

### **A mis padres.**

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo ser su hijo, son los mejores padres.

### **A mi hermana.**

Por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me brinda a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

### **A mis amigos y conocidos.**

A todos ustedes que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

**¡Gracias a ustedes!**



## AGRADECIMIENTOS

A mis padres que me han permitido trazar mi camino con mis propios pies. Ellos son los pilares de la vida, les agradezco por apoyarme en realizar este trabajo de titulación.

Mi agradecimiento a todos, mi familia, que de una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este.

A mis amigos con los que compartí dentro y fuera de las aulas y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo y diversión.

Agradezco a mi director de tesis Dr. Teófilo Donaires, con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación.

Agradezco a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, me brindaron la motivación para desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Nacional del Altiplano.



## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>INDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1 Características de las plantas .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Uso de las Plantas Medicinales.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Apio (<i>Apium graveolens</i>) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Propiedades del Apio.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Origen y Características Botánicas.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6 Taxonomía.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7 Extracción de Aceite Esencial .....</b>	<b>21</b>
<b>2.8 Composición Química del Apio.....</b>	<b>22</b>
<b>2.9 Cromatografía de gases.....</b>	<b>24</b>
<b>2.10 Composición química de los aceites esenciales .....</b>	<b>26</b>
<b>2.11 Propiedades fisicoquímicas.....</b>	<b>26</b>
<b>2.12 Caracterización Organoléptica .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
<b>3.1. Materiales.....</b>	<b>27</b>



3.1.1. Materia Vegetal .....	27
3.1.2. Insumos.....	27
3.1.3. Materiales .....	27
3.1.4. Equipos .....	27
3.1.5. Equipo Destilador de arrastre con vapor .....	28
3.1.6. Metodología.....	28
3.1.7. Recolección del material vegetal.....	29
3.1.8. Extracción del aceite esencial.....	29
3.1.9. Condiciones de operación.....	30
3.1.10. Parámetros para la extracción de aceites esenciales.....	30
3.1.11. Destilación de la Materia Vegetal .....	31
3.1.12. Proceso de extracción de los aceites esenciales.....	31
3.1.13. Análisis Cromatográfico.....	33
3.1.14. Determinación de las propiedades fisicoquímicas.....	34
3.1.15. Determinación del rendimiento .....	35
3.1.16. Determinación de las características organolépticas .....	35
3.1.17. Diseño Experimental .....	36

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 Resultados Cromatográficos del aceite esencial de apio.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Comportamiento del rendimiento en función del tiempo de extracción. ....</b>	<b>40</b>
<b>4.3 Resultado de la extracción del aceite esencial de apio (<i>Apium graveolens L</i>) por arrastre de vapor saturado.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Resultados del tiempo de trabajo y el rendimiento de obtención del aceite esencial de apio. ....</b>	<b>43</b>
<b>4.5 Resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de Apio (<i>Apium graveolens L</i>).....</b>	<b>44</b>
<b>4.6 Resultados obtenidos de las características organolépticas del aceite esencial de Apio (<i>Apium Graveolens L</i>).....</b>	<b>45</b>
<b>4.7 Evaluación estadística del rendimiento de aceite esencial de Apio (<i>Apium graveolens L</i>) .....</b>	<b>45</b>
<b>4.8 Diseño experimental factorial 2<sup>n</sup>:.....</b>	<b>46</b>
<b>4.9 Análisis de varianza: .....</b>	<b>50</b>



<b>4.10 Resultados de extracción y caracterización del aceite esencial de apio por arrastre de vapor:</b> .....	<b>51</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>57</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>58</b>
<b>VII. REFERENCIAS</b> .....	<b>59</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>64</b>

**ÁREA:** Tecnologías ambientales y recursos naturales

**TEMA:** Obtención de producto industrial

**LÍNEA:** Recursos naturales y medio ambiente

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 09/02/2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Apio ( <i>Apium Graveolens L.</i> ).....	17
<b>Figura 2.</b> Partes del Apio ( <i>Apium graveolens L.</i> ).....	20
<b>Figura 3.</b> Diagrama de un equipo de destilación por arrastre de vapor.....	21
<b>Figura 4.</b> Diagrama de un cromatógrafo de gases Agilent Technologies 5975B Inert XL EI/CI MSD.....	25
<b>Figura 5.</b> Metodología del trabajo experimental .....	28
<b>Figura 6.</b> Equipo de destilación de la Facultad de Ingeniería Química (UNAP) .....	30
<b>Figura 7.</b> Curva de extracción del aceite esencial (mL) obtenidos en función del tiempo (min).....	40
<b>Figura 8.</b> Diagrama de Pareto Estandarizada para Rendimiento.....	49
<b>Figura 9.</b> Efectos principales para Rendimiento del aceite esencial. ....	49
<b>Figura 10.</b> Superficie de respuesta estimada. ....	50
<b>Figura 11.</b> Diagrama de generador .....	52
<b>Figura 12.</b> Diagrama del recipiente destilador .....	53
<b>Figura 13.</b> Diagrama del balance de masa general de extracción .....	56



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Partes de las plantas empleadas en la obtención del aceite esencial.....	16
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía del Apio ( <i>Apium graveolens</i> L.).....	20
<b>Tabla 3.</b> Composición química del aceite esencial de Apio. ....	24
<b>Tabla 4.</b> Lugar de recolección de la materia prima.....	29
<b>Tabla 5.</b> Condiciones de operación del caldero. ....	31
<b>Tabla 6.</b> Condiciones del material vegetal para la extracción.....	31
<b>Tabla 7.</b> Matriz de diseño experimental para el desarrollo de experimentos.....	37
<b>Tabla 8.</b> Resultados de los análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas del aceite esencial de Apio. ....	39
<b>Tabla 9.</b> Condiciones de operación durante la extracción por arrase de vapor del aceite esencial de Apio para una cantidad de trabajo 2 kg.....	41
<b>Tabla 10.</b> Condiciones de operación en la extracción por arrastre de vapor saturado del aceite esencial de Apio, para 4 kg.....	42
<b>Tabla 11.</b> Resultados de la influencia de tiempo en la extracción de aceite esencial de Apio.....	43
<b>Tabla 12.</b> Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al aceite esencial, de la especie <i>Apium graveolens</i> L.....	44
<b>Tabla 13.</b> Características organolépticas del aceite esencial de apio ( <i>Apium Graveolens</i> L). ....	45
<b>Tabla 14.</b> Análisis de varianza para rendimiento – extracción de aceite esencial de Apio. ....	46
<b>Tabla 15.</b> Coeficiente de regresión para rendimiento-Extracción de aceite esencial de Apio.....	47





<b>Tabla 16.</b> Valores óptimos de extracción de aceite esencial de Apio.....	48
<b>Tabla 17.</b> Datos para el diseño factorial en el proceso de extracción del aceite esencial de Apio.....	51



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

**ANOVA:** Análisis de Varianza.

**EV:** Elettrónica Veneta.

**FIA:** Fundación para la Innovación Agraria.

**MV:** Materia Vegetal.

**M1:** Muestra uno.

**mL:** Mililitros.

**kg:** Kilogramos.



## RESUMEN

El aceite esencial de apio es una sustancia de gran valor comercial debido a su difícil obtención y a sus propiedades, posee varias cualidades medicinales, por lo que es empleado como desinflamante, descongestionante, desintoxicante, estimulante hepático, renal, sedante y tónico. El objetivo general fue identificar los componentes principales del aceite esencial de Apio mediante arrastre de vapor y análisis cromatográfico de gases. Los resultados obtenidos del análisis cromatográfico del aceite esencial de Apio; son los siguientes: Eucaliptol 6.444 %; gamma. -Terpineno 0.415 %; 2- Ciclohexeno-1-ol, 1-metil-4-(1-metiletil)- cis- 0.516 %; Terpinen-4-ol 13.501 %; Ciclohexanona, 5-metil-2-(1-metiletilideno) 6.993 %; Carvone 1.129 %; Thymol 19.897 %, Caryophyllene 2.333 %; beta. -Bisaboleno 0.311 %. Los valores óptimos para lograr extracción son: Temperatura de 87.5°C; con un tiempo de 120 min, para 4000 g de planta entera de apio. Los resultados de las características fisicoquímicas del aceite esencial extraído son: densidad de (0.774 kg/m<sup>3</sup> a 20°C), Índice de refracción (1.186 a 20°C), pH (6.39 a 20°C), Índice de acidez (0.983 a 20°C). Se determinó el rendimiento total de la obtención del aceite esencial: 2.35 mL de aceite esencial de las hojas enteras y 2.046 mL de aceite esencial de la planta entera de 4000 g de apio, por arrastre de vapor de agua. Asimismo la importancia de este trabajo va encaminado a la caracterización cromatográfica del aceite esencial de apio y la identificación de los principios fundamentales del método de destilación por arrastre de vapor y la cromatografía de gases , llegando a la conclusión que para la mejor obtención del aceite esencial de apio, se debe hacer uso de las siguientes variables : presión en el caldero 40 bar, temperatura en el extractor alrededor de 87.5 °C, y la temperatura del condensador próximo a los 40°C para que el rendimiento sea óptimo.

**Palabras Clave:** Análisis cromatográfico, Condensador, Caracterización, Rendimiento.



## ABSTRACT

Celery essential oil is a great commercial value substance due to its difficulty in obtaining and its properties, possesses several medicinal qualities, so it is used as an anti-inflammatory, decongestant, detoxifying, liver stimulant, renal, sedative and tonic. The general objective was to identify the main components of celery essential oil by steam entrainment and gas chromatographic analysis. The results obtained from the chromatographic analysis of celery essential oil; are the following: Eucalyptol 6.444%; gamma. -Terpinene 0.415%; 2- Cyclohexene-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- cis- 0.516%; Terpinen-4-ol 13,501%; Cyclohexanone, 5-methyl-2-(1-methylethylidene) 6.993%; Carvone 1.129%; Thymol 19.897%, Caryophyllene 2.333%; beta. -Bisabolene 0.311%. The optimal values to achieve extraction are: Temperature of 87.5°C; with a time of 120 min, for 4000 g of whole celery plant. The physicochemical characteristics results of the extracted essential oil are: density (0.774 kg/m<sup>3</sup> at 20°C), refractive index (1.186 at 20°C), pH (6.39 at 20°C), acidity index (0.983 at 20°C). The total yield of obtaining the essential oil was determined: 2.35 mL of essential oil from the whole leaves and 2.046 mL of essential oil from the whole plant of 4000 g of celery, by steam dragging. Likewise, the importance of this research is aimed at the chromatographic characterization of celery essential oil and the fundamental principles identification of the steam distillation method and gas chromatography, coming to the conclusion that for the best obtaining of celery essential oil, the following variables should be used: pressure in the boiler 40 bar, temperature in the extractor around 87.5 °C, and the condenser temperature close to 40 °C for optimal performance.

**Keywords:** Chromatographic analysis, condenser, characterization, yield.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los productos naturales son estructuras biológicamente validadas a través de la evolución conjunta con el resto de los seres bióticos. La modificación de estos extractos naturales a través de metodologías químicas abre una nueva oportunidad en la búsqueda de diversidad. La síntesis orgánica dará respuesta para la fabricación de algunos productos naturales de tal modo que sea industrialmente útil, tomando en cuenta que las plantas y los microorganismos son maquinarias por excelencia en la síntesis de metabolitos secundarios con estructuras de gran interés, ya sea por su complejidad química como por su bioactividad, ya que son capaces de interactuar con diversas proteínas y del mismo modo interviniendo positivamente en procesos patológicos que afectan la salud. (Gutierrez, A., & Estévez, A., 2009)

La cromatografía de gases es una técnica con la que se consigue la separación de mezclas complejas, pero una vez separados los componentes individuales de una muestra problema, los picos cromatográficos dados por el tiempo de retención son el único dato con el que se puede contar para identificar los compuestos, esta información no suele ser suficiente en especial al trabajar con numerosas muestras, de igual manera ocurre con la espectrometría de masas, con esta técnica se puede identificar casi cualquier sustancia pura, pero no los componentes individuales de una mezcla sin ser separados antes, debido a la complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente, por lo que la asociación de las dos técnicas, da lugar a una técnica combinada GC-MS que permite la separación e identificación de mezclas complejas inyectadas en el cromatógrafo de gases que pasan inmediatamente al espectrómetro de masas que además de proporcionar los espectros, actúa como detector cromatográfico al



registrar la corriente iónica, su representación gráfica constituye el cromatograma o “TIC” que da lugar a un pico gaussiano de área proporcional a la concentración del compuesto detectado (Gutiérrez, M., & Droguet, M., 2012).

La utilización de más de 100 aceites esenciales que se enfocan en fines terapéuticos podemos tener en cuenta sus orígenes, propiedades curativas y diferentes usos. Muchos de los cuales son empleados para conseguir el máximo beneficio para la salud. A nivel mundial las personas han disfrutado de sus placeres aromáticos; estos aceites proceden de diferentes plantas de la naturaleza. El poder de su esencia y el uso en la aromaterapia en su vida; ya sea para calmar dolores musculares o eliminar la tensión también ayuda a calmar la ansiedad. (Harding, 2008).

Este trabajo va encaminado a la caracterización cromatográfica en el cual se identificó los componentes principales, se identificó los principios fundamentales del método de destilación por arrastre de vapor e hizo un análisis fisicoquímico de la planta de Apio (*Apium graveolens L.*).

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Extraer y realizar un análisis cromatográfico para identificar los componentes principales del aceite esencial de Apio.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los valores óptimos de extracción del aceite esencial en base a la temperatura, tiempo y cantidad en el equipo.
- Realizar un análisis fisicoquímico del aceite obtenido, determinando su densidad, índice de refracción, pH, índice de acides.
- Calcular el rendimiento total de extracción del aceite esencial obtenido.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Características de las plantas

Las plantas silvestres, como el *Apium graveolens L.* siendo una hortaliza de la familia de las Umbelíferas absorben del medio ambiente agua, sales minerales y otros componentes esenciales, a través de la luz del sol durante el proceso de fotosíntesis obtienen materia orgánica que les permite realizar sus funciones. Al cumplir función alimenticia también proporciona alimento a otros seres vivos, además de lo mencionado actualmente su papel como aditivo medicinal ha crecido preponderantemente como tratamiento alternativo de enfermedades estomacales y de las vías urinarias. (Serge Tisserón, 2010)

Las plantas aromáticas y algunas plantas silvestres han sido ampliamente utilizadas para extender la vida útil de los alimentos, así como en medicina popular, debido a las propiedades de los aceites esenciales que éstas contienen como producto de su metabolismo secundario (Kokkini et al., 2012).

#### 2.2 Uso de las Plantas Medicinales

El uso de las plantas medicinales inicio en las culturas antiguas. siendo Aristóteles y Teofrasto de Lesbos (370-286 a. C.), los primeros en realizar estudios científicos, Teofrasto fue quien por primera vez trató de explicar las razones del porqué de algunas enfermedades y los tratamientos medicinales, además detalló y explicó 500 especies vegetales indicando el nombre, el tipo de fruto, hábitat y sus propiedades terapéuticas. (La Biblia de las Ciencias Naturales, 2005)

En épocas atrás un dolor estomacal solía ser curado por plantas curativas comunes de una región a través de una infusión de plantas para solucionar los problemas de salud,

luego estas prácticas se fueron olvidando y reemplazando por medicamentos. Sin embargo, aun esas fórmulas o terapias son utilizadas y preferidas por algunos pobladores. (Méndez C, 2002)

Son numerosos los estudios que se han llevado a cabo para determinar las actividades antifúngicas y antibacterianas de los aceites esenciales de plantas contra patógenos del suelo, patógenos de plantas, insectos nocivos, hongos que causan infecciones cutáneas superficiales en humanos, y hongos que ocasionan el deterioro de los alimentos en el almacenamiento (Trupo et al., 2010; Werneck Vieira et al., 2014).

**Tabla 1.** Partes de las plantas empleadas en la obtención del aceite esencial.

Aceite Esencial	Parte utilizada de la planta utilizada
Cipres, jara	Ramas
Lavanda, lavadin	Sumidades floridas
Menta, hierba limón, eneldo	Planta entera
Geranio, petitgrain	Hojas
Neroli, rosa, ylang ylang	Flor
Limón, naranja, mandarina	Flavedo (capa externa del fruto)
Romero, tomillo, ajedrea, mejorana	Planta entera con flor
Melisa	Planta fresca
Abeto de Siberia	Aciculas
Manzanilla	Flor seca
Canela	Corteza
Cedro	Madera
Lima	Fruto entero
Clavo	Botones florales
Vetiver	Raiz
Mostaza	Semillas

Fuente: (Ortuño Sanchez, 2006).

La concentración de la mayoría de las plantas medicinales de las cuales se les extrae el aceite esencial, se encuentra en pequeñas cantidades, por ello son difíciles de obtener, por lo general se necesita una gran cantidad de materia vegetal. Se añade su carácter volátil y por esas circunstancias posee un alto valor comercial. (Ortuño Sanchez, 2006).



### 2.3 Apio (*Apium graveolens*)



**Figura 1.** Apio (*Apium Graveolens L.*)

Fuente: (Shizhao, 2006).

El apio es una planta con muchas propiedades medicinales y pertenece a la familia de *Apiaceae*, cuyo nombre científico es *Apium graveolens L.* La etimología de su nombre proviene de Céltico apon que significa agua y el epíteto *graveolens* de *grave* y *olens* que significan grave olor, por el aroma tan fuerte que posee. Esta planta se cultiva como una hortaliza y en algunas ocasiones puede ser utilizada como un condimento culinario, las ramas pueden consumirse crudas si se encuentran frescas. Dentro de su descripción botánica resalta que es una planta herbácea, bianual, y su altura es de 50 cm. Tiene un tallo hueco, flores blancas, frutos planoconvexos, estriados, oscuros y aromáticos. Su nombre farmacológico es *Appi graveolentis herba* . Como planta curativa el apio es utilizado en jarabe, infusión y otras preparaciones como aceites.

El apio (*Apium graveolens L.*) no es una fuente de energía, sin embargo, consumirlo es bueno porque contiene sales minerales, agua y algunas vitaminas, ya que es un alimento muy utilizado especialmente en sopas y ensaladas por su sabor y aroma. (Bejo Z, 2014).



No es recomendable utilizar el aceite de apio en estado de gestación, también en casos de personas sensibles porque puede provocar alergias que pueden provocar shock anafiláctico y causar abortos. (Fonnegra & Jiménez, 2007)

El apio (*Apium graveolens L.-Umbelliferae*) es una hierba bienal distribuida en regiones templadas y subtropicales. En el primer año produce un tallo de corona corto y hojas de roseta de unos 60 cm de altura. Las hojas son pinnadas o trifoliadas; Los folletos son lobulados o compuestos. En el segundo año, un tallo de semillas con muchas ramas se alarga y florece. Bajo condiciones ambientales específicas, la planta se comporta como una flor anual y semillas en desarrollo durante el primer año. La siembra prematura (pernos) resulta en una pérdida económica para el productor, ya que el desarrollo de un tallo de semilla antes de que la planta alcance el tamaño comercial hace que el cultivo no sea comercializable (Pressman & Sachs, 2018).

## **2.4 Propiedades del Apio**

En la actualidad el apio es una planta que se puede ser adquirida todo el año y su apariencia al comprarla o cosecharla debe ser de color claro y debe estar firme y no descolorida ni doblada. Tiene una textura crujiente, el apio tiene escasas de fibra, pero si contiene agua, potasio, sodio, vitamina C y beta-caroteno y sus bondades nutricionales está en las vitaminas y minerales especialmente el hierro. (Montesinos G, 2000)

Se caracteriza por ser carminativo, sedante, aperitivo, digestivo y remineralizante, diurético, depurativo, regenerador sanguíneo y ligeramente laxante, mejora las enfermedades hepáticas, combate las infecciones, ayuda a la eliminación de cálculos renales, mejora la memoria y en uso externo suele comportarse como un cicatrizante (Falconí M, 2007).



El apio es un vegetal ácido que permite la extracción de los minerales y otros nutrientes de la esencia alimenticia de los animales (huesos) la ventaja de consumirla en alguna sopa permite el crecimiento y el desarrollo. (Pitchford P, 2009)

Las propiedades repelentes del Apio (*Apium graveolens L.*), en comparación con repelentes comerciales, en búsqueda de nuevos productos esta investigación logro encontrar bioactivos contra los vectores más comunes los mosquitos, logrando a formar ligeramente larvicida y adulticida, pero fue tan notable su trabajo como repelente demostrándolo en pruebas de laboratorio y campo. (Benjawan, y otros, 2005).

La planta tiene un amplio espectro de uso como afrodisíaco, antihelmíntico, antiespasmódico, carminativo, diurético, emenagogo, laxante, sedante, estimulante y tónico. El apio se conoce como diurético suave y antiséptico urinario y ha aliviado la flatulencia y los dolores de agarre. Los datos de la literatura revelaron que *Apium graveolens L.* tiene muchas propiedades farmacológicas como antifúngicos, antihipertensivos e hipolipidémicos, diuréticos, anticancerígenos y muchos más. Actualmente el artículo de revisión trató de cubrir críticamente todos los aspectos necesarios relacionados con *Apium graveolens L.* (Fazal & Singla, 2012).

## **2.5 Origen y Características Botánicas**

El tipo silvestre de apio se ha encontrados en muchas partes del mundo como Europa, Asia y Nueva Zelanda. Hace más de 400 años el apio era considerado como un purificador de la sangre. Botánicamente se le clasifica como *Apium graveolens L.*, pertenece a la familia Umbelliferae, a la que también pertenece el perejil, la zanahoria, la pastinaca y la arracacha. Sostenida por largos tallos florales, los cuales las cuales aparecen en el segundo año. (Casseres, 1981).

Plantas autógamas de porte ascendente y hasta 1.3 metros de altura. Lampiñas, con la raíz primaria fusiforme y un tallo fibroso y muy ramificado. Hojas imparipinnadas, oblongadas u obovadas y de 7 – 18 x 2 – 5 cm. Foliolos 5 – 7 por hoja, peciolulados, ovalados o suborbiculares de 2 – 4.5 x 2 – 5 cm y con el borde dentado 3-lobulado. Peciolos asurcados y de 3 – 26 cm.

Flores con pedicelos de 2 – 5 mm en umbelas opositifolias sésiles o con pedúnculos de hasta 2 cm. Braceas y bractéolas ausentes. Petalos blancos o verdosos de unos 0.5 x 0.5 mm. Mericarpos suborbiculares o elípticos y de 1.2 x 0.6 – 0.8 mm. Carpoforo bifido. (AgroEs.es, 2020).



**Figura 2.** Partes del Apio (*Apium graveolens* L.).

Fuente: (Wilhelm Thome, 1885).

## 2.6 Taxonomía

**Tabla 2.** Taxonomía del Apio (*Apium graveolens* L.).

Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta
Supervisión	Spermatophyta
División	magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida

---

Subclase	Rosidae
Orden	Apiales

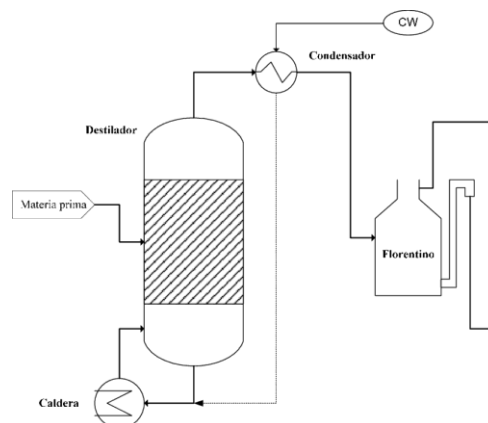
---

Fuente: (Taxonomica, 2020)

## 2.7 Extracción de Aceite Esencial

La extracción de aceites esenciales de plantas naturales como el eucalipto con una metodología muy empleada que es la extracción por arrastre de vapor de agua, con la finalidad de obtener las variables optimas de operación para llegar a una máxima extracción, donde se tuvieron en cuenta distintos factores para la extracción del aceite como porcentaje del flujo de vapor de agua, el tamaño de partícula, los tiempos óptimos de extracción. Se trabajó en el mismo modelo de equipo empleado para nuestra presente investigación. (Bermudo Crespo, 2019).

El rendimiento de extracción de muchos aceites esenciales es importante en este caso se trabajó con Hierba Luisa (*Cymbopogon citratus* staf) con la metodología de arrastre de vapor de hojas fresca y hojas secas. Considerando a los factores con los que se trabajó para una obtención óptima, cantidad de muestra de materia prima, flujos de vapor y considerando el estado de la materia prima. (Huanca Gonzales & Torres Gutierrez, 2010).



**Figura 3.** Diagrama de un equipo de destilación por arrastre de vapor



## 2.8 Composición Química del Apio

El aceite esencial de *Apium graveolens L.* presenta compuestos volátiles como limoneno, mirceno,  $\beta$ -selineno,  $\alpha$ -terpineol, carveol, acetato de geranilo, (Kitajima, Ishikawa, & Satoh, 2003). En otros estudios se presenta un porcentaje de 46.79 % de Limoneno como compuesto mayoritario, (Altamirano, 2013). El compuesto mayoritario encontrado en el aceite esencial de *Apium graveolens* en esta investigación fue el limoneno con un porcentaje de 72.89%. (Andrade, 2013) y (Eduardo, 2003).

Los compuestos que se encontraron en el Apio (*Apium graveolens L.*). Con la investigación de extractos acuosos de tallo de apio se ha encontrado que tiene una actividad antiinflamatoria significativa en un par de modelos animales, uno de los compuestos encontrados fueron Fitoterol, manitol. Estos compuestos reducen la inflamación en la artritis inducida por adyuvantes esta planta podría mejorar su reputación para tratamientos medicinales en enfermedades reumáticas. (Lewis, Tharib, & A. Veitch, 2008).

Los compuestos que se encontraron en la investigación de triterpenoides y flavonoides del Apio (*Apium graveolens L.*) Tres nuevos triterpenoides, 11,21-dioxo-2 $\beta$ , 3 $\beta$ , 15 $\alpha$ -trihydroxyurs-12-eno-2- O - $\beta$ - d -glucopyranoside, 11,21-dioxo-3 $\beta$ , 15 $\alpha$ , 24-trihydroxyurs-12 -ene-24- O - $\beta$ - d -glucopyranoside y 11,21-dioxo-3 $\beta$ , 15 $\alpha$  , 24-trihydroxyolean-12-eno-24- O - $\beta$ - d -glucopyranoside y dos flavonoides nuevos, apigenina-7- O - [2'' - O - (5''' - O -feruloil) - $\beta$ - d -apiofuranosil] - $\beta$ - d -glucopiranosido y crisoeriol-7- O - [ 2'' - O - (5''' - O -feruloil) - $\beta$ - d -apiofuranosil] - $\beta$ - d -glucopiranosido, se aislaron de toda la planta de apio fresco (*Apium graveolens* ), junto con 10 flavonoides conocidos. Las estructuras de los nuevos compuestos se dilucidaron mediante el análisis de datos espectroscópicos. Se evaluaron los efectos inhibitorios de



los compuestos aislados sobre la producción de óxido nítrico en macrófagos activados con lipopolisacáridos. (Kailan, y otros, 2009).

El objetivo más común para hacer investigaciones es encontrar sustancias en productos naturales como compuestos mosquicidas, nematocidas y antimicóticos de *Apium graveolens L.* se trabajó un extracto metanólico de las semillas de *Apium graveolens L.* se investigó en busca de compuestos bioactivos y dio como resultado el aislamiento y la caracterización de sedanólidos mosquitocidas, nematocidas y antifúngicos, senkyunolide-N y senkyunolide-J. Sus estructuras fueron determinadas por  $^1\text{H}$  y  $^{13}\text{C}$  RMN métodos espectrales. Los compuestos 1 - 3 dieron 100% de mortalidad a 25, 100 y 100  $\mu\text{g/mL}$  - 1, respectivamente, en el nematodo, *Panagrellus redivivus*. El compuesto 1 mostró una mortalidad del 100% a 50  $\mu\text{g/mL}$  - 1 en nematodos, *Caenorhabditis elegans* y larvas de mosquito de cuarto estadio. (Rafikali A. & Muraleeddharan G., 2002).

Para la composición química del aceite esencial de *Apium graveolens L.*, se logró identificar 15 compuestos que representan un 98.21% del porcentaje total de área detectado, los cuales están detallados en la siguiente tabla, además se indican los índices de Kóvats experimentales y reportados en la literatura; así como también el porcentaje de cada compuesto en la columna DB-5MS (Rojas J, 2016).

**Tabla 3.** Composición química del aceite esencial de Apio.

N°	COMPUESTO	DB-5MS		%
		IK <sup>cal</sup>	IK <sup>ref</sup>	
4	$\alpha$ -pinene	927	932	0,15
5	$\beta$ -citronellene	939	942	0,07
6	Sabinene	967	969	0,06
7	$\beta$ -pinene	970	974	0,53
8	$\beta$ -myrcene	987	988	1,14
9	Cymene	1022	1022	0,22
10	Limonene	1025	1024	72,89
11	Cis-ocimene	1034	1032	8,76
12	Trans-ocimene	1046	1044	0,10
13	$\gamma$ -terpinene	1054	1054	2,53
14	Camphor	1141	1141	0,09
16	Trans- $\beta$ -caryophyllene	1408	1408	3,76
17	$\alpha$ -humulene	1445	1452	0,27
18	$\beta$ -selinene	1478	1489	6,74
19	$\alpha$ -selinene	1485	1498	0,89
TOTAL				98,21

N°: Según el orden de elución en la columna DB-5MS.

IK<sup>cal</sup>: Índice de Kóvats calculado.

IK<sup>ref</sup>: Índice de Kóvats reportado en la literatura.

%: calculado en base al porcentaje de área de los picos reportados en la columna DB-5MS.

Fuente: (Rojas Jaramillo, 2016).

La investigación de plantas de drogas diuréticas. 1. Detección fitoquímica y evaluación farmacológica de *Anethum graveolens L.*, *Apium graveolens L.*, *Daucus carota L.* y *Eruca sativa mil.* Sus exámenes de fitoquímicos preliminar de los frutos demostraron que contienen compuestos como aceites volátiles, esteroides y / o triterpenos, carbohidratos y / o glucósidos, taninos y flavonoides en las cuatro plantas tituladas. (GH Mahran, y otros, 1991).

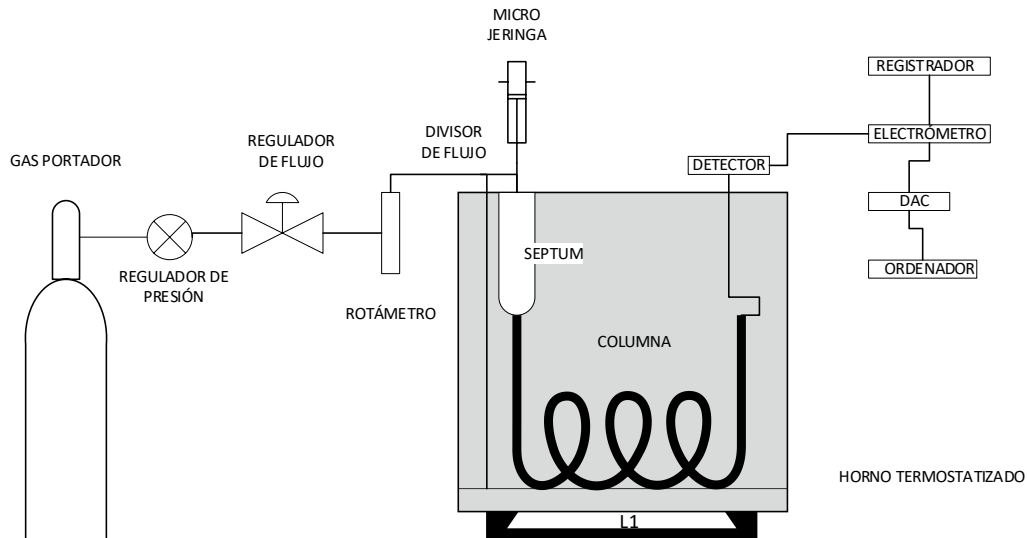
## 2.9 Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es una técnica de separación que puede lograr las más altas resoluciones de la composición química de los aceites esenciales, se basa principalmente en los fenómenos de partición entre una fase móvil gaseosa (Helio, Argón, Hidrogeno, Nitrógeno) y una fase estacionaria, la cual está constituida por un líquido muy viscoso que será retenido en el interior de una columna de cromatografía.

Al llevar a cabo una separación, la muestra se deberá inyectar en la cabeza de una columna para ser vaporizada. La elución se realiza mediante el flujo de una fase móvil



de gas inerte, indiferente de la mayoría de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas presentes en el analito, ya que su única función es la de transportar este último a través de la columna. (Skoog, Holler, & Nieman, 2008).



**Figura 4.** Diagrama de un cromatógrafo de gases Agilent Technologies 5975B Inert XL  
EI/CI MSD

En cromatografía de gases, la muestra a analizar pasa al estado de vapor inyectándola a un puerto calentado, el gas de la fase móvil se llama gas portador, el Helio es el gas más usado además del Argón, Nitrógeno e Hidrogeno, estos gases están disponibles en tanques presurizados, se requieren reguladores de presión, calibradores y medidores de flujo para controlar la velocidad de flujo de gas. La fase estacionaria es un líquido no volátil soportado en una pared capilar con partículas sólidas inertes como la Tierra de Diatomeas.

La muestra se inyecta rápidamente con una micro jeringa hipodérmica a través de un tapón septum de goma de silicona a la columna, la separación se efectúa a medida que los componentes de vapor se equilibran con el gas portador y la fase estacionaria, la muestra



se detecta automáticamente cuando sale de la columna mediante un detector cuya respuesta depende de la composición de vapor.

## **2.10 Composición química de los aceites esenciales**

Las distintas formas de poder obtener la composición química de muchos aceites esenciales es algo que depende de muchos autores como la siguiente. Composición química y actividad antioxidante del aceite esencial de *Ambrosia Arborescens* Miller (Marku). Con el método con el cual se realizó fue cromatografía de gases – espectrometría de masas, con el cual se logró obtener la actividad antioxidante se aplicó el método del DPPH+. Encontrando así los componentes químicos de la materia prima. (Marin Villa, 2019).

En el aceite esencial de eucalipto se obtuvieron el contenido de 1-8 cineol variaba entre 45-70%, el limoneno entre  $0.4 \pm 0,2 - 4.40 \pm 0.3\%$  y el  $\alpha$ -pineno entre  $1.0 \pm 0.7 - 17.6 \pm 7,5\%$ ; pero no reportan presencia de limoneno ni guaiol. (Elaissi et al., 2012)

## **2.11 Propiedades fisicoquímicas**

Según estudios anteriores los aceites esenciales entre los resultados de la investigación se hallaron resultados de las propiedades fisicoquímicas que se encuentran en el aceite esencial de eucalipto tiene una densidad de 0,91 g/ml, índice de refracción de 1,464. (Granados, C.; Santafé, G.G.; Acevedo, D., 2015).

## **2.12 Caracterización Organoléptica**

Las características organolépticas encontradas durante un proceso de destilación al vapor en la extracción del aceite esencial de Albahaca fueron de un color ligeramente amarillo, sabor ácido, con una consistencia viscosa. (Araujo P, 2018).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez seleccionada la destilación por arrastre con vapor como el procedimiento desarrollado por ser apropiada desde el punto de vista técnico y económico, fácil de implementar y no requiere de tecnologías sofisticadas, debió puntualizarse en una de sus tres categorías: Destilación con agua, destilación con vapor saturado o destilación con vapor seco.

Se escogió la destilación con vapor saturado, puesto que en ésta es mayor la difusión del vapor a través de las membranas vegetales y es menor la desnaturalización del producto por hidrólisis o quemado.

#### 3.1. Materiales

##### 3.1.1. Materia Vegetal

Hojas frescas de Apio (*Apium graveolens L.*) procedente del departamento de Arequipa (valle de Camaná).

##### 3.1.2. Insumos

- Agua tratada en el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química - UNAP

##### 3.1.3. Materiales

- Material de acero (Tijeras, soporte universal)
- Materiales de Empaque (tapones de goma, cinta adhesiva)
- Material de Vidrio y otros (Pera de decantación, botellas de vidrio)

##### 3.1.4. Equipos

- Extractor de aceites esenciales, Modelo UDCA-2/EV.
- Balanza analítica Mettler Toledo Ab204, precisión 0.0001.
- pH metro

### 3.1.5. Equipo Destilador de arrastre con vapor

Se utilizó el equipo de Unidad de Destilación para la Obtención de Aceites Esenciales MOD. UDCA-2/EV, que se encuentra en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano, en el que se desarrolló la parte experimental; esto con el fin de aprovechar los recursos disponibles.

### 3.1.6. Metodología

El presente trabajo de pregrado se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, para lo cual se utilizó la siguiente metodología:



**Figura 5.** Metodología del trabajo experimental

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.7. Recolección del material vegetal

La planta que se recolectó para realizar la investigación es el apio que se cultiva y comercializa ampliamente en todo el país. Tomando en consideración diversos factores que influyen en la obtención del material vegetal como el valor económico que representa la adquisición de esta planta se decidió comprarlas en el mercado de mayoristas de la ciudad de Puno, los cuales se encuentran detallados a continuación en la Tabla 3. La planta fue recolectada durante el mes de abril del 2019.

**Tabla 4.** Lugar de recolección de la materia prima.

<b>Planta</b>	<b>Lugar de Recolección</b>
Apio	Mercado Unión y Dignidad - Puno

### 3.1.8. Extracción del aceite esencial.

Se colocó la materia vegetal en el equipo de destilación durante un tiempo aproximado de 1 a 2 h. La cantidad de materia vegetal que se requirió y el tiempo mínimo y máximo que se necesitó para la extracción del aceite esencial fue de 90 y 120 min.

En la destilación de la materia vegetal se utilizó el equipo de extracción sólido líquido el cual consta de un tanque de acero inoxidable que posee una tapa de caucho adaptado para que cierre herméticamente. Este equipo de destilación está colocado sobre una fuente de vapor. En el tanque de acero se coloca aproximadamente 5 kg de materia vegetal, hasta tocar el límite de la placa perforada y bien espaciada, para que el vapor de agua pueda circular adecuadamente alrededor de toda la materia vegetal, posteriormente se coloca la tapa de caucho y se cierra herméticamente. Al terminar de armar todo el equipo necesario para la destilación, por la base del tanque ingresa el vapor; conforme el vapor entra en contacto con la materia prima esta se calienta y va liberando el aceite esencial contenido, éste a su vez, al ser soluble en el vapor circundante, es arrastrado

corriente arriba, fluye hacia el condensador, la mezcla es enfriada y condensada, y finalmente se obtiene un líquido inestable, la cual es recibida en un florentino en el que se produce la separación de agua y aceite por diferencia de densidades. Cuando se observa la primera gota de agua, se abren las llaves de agua para el refrigerante para que se produzca el proceso de condensación, es decir, el paso del estado gaseoso al líquido de la esencia y así lograr que sea conducido hacia el florentino.



**Figura 6.** Equipo de destilación de la Facultad de Ingeniería Química (UNAP)

Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.9. Condiciones de operación**

La cantidad de material vegetal tal como planta entera y hojas (3000 g y 4000 g) fueron utilizadas para cada tratamiento (08 tratamientos con 3 repeticiones en total), para obtener datos de reproducibilidad; se evaluó la influencia de las variables, parte y condición física de la materia vegetal, en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial extraído.

### **3.1.10. Parámetros para la extracción de aceites esenciales.**

La extracción del aceite esencial se llevó a cabo empleando un equipo de destilación con parámetros del proceso de extracción similares, para evitar distorsiones en el rendimiento esperado, de acuerdo a lo siguiente:

**Tabla 5.** Condiciones de operación del caldero.

Tiempo de funcionamiento del caldero (Minutos)	2 a 3 horas
Presión (bar)	3.5 a 4
Análisis de dureza del agua del caldero	(+)
Funcionamiento del ablandador	✓
Funcionamiento de la bomba	✓
Funcionamiento de la resistencia	✓
Caudal de vapor (kg/h)	4
Caudal de agua de condensador (L/h)	150 - 200
Temperatura del calderín (°C)	80 a 87,6
Temperatura de entrada del agua de enfriamiento (°C)	20 - 30
Temperatura de salida del agua de enfriamiento (°C)	30 - 40

### 3.1.11. Destilación de la Materia Vegetal

Se realizó una destilación por arrastre con vapor del material vegetal fresco, para la extracción del aceite esencial de la planta en estudio.

**Tabla 6.** Condiciones del material vegetal para la extracción.

Humedad (%) Promedio	98-100%
Estación de recolección	Otoño

### 3.1.12. Proceso de extracción de los aceites esenciales

#### a) Recepción

La materia prima que se utilizó para la extracción del aceite esencial, fue la planta entera y las hojas de apio recolectadas en el Mercado Unión y Dignidad de la ciudad de Puno, en un total 50 kg.

#### b) Selección

Se procedió a la selección por separado, del estado físico de la planta, la cual no presentó ningún daño físico.



**c) Acondicionado del material vegetal**

Para lo cual a la planta de le dividió en dos grupos, un grupo de parte entera de la planta (tallo y hojas), y al otro grupo de solo hojas enteras.

**d) Pesado**

La planta entera y las hojas se pesaron por separado para así lograr obtener para los 8 tratamientos establecidos, luego cada pesada fue introducida a la cámara del extractor fijándose el lecho vegetal.

**e) Extracción**

El equipo extractor fue programado con parámetros antes mencionados.

**f) Decantación**

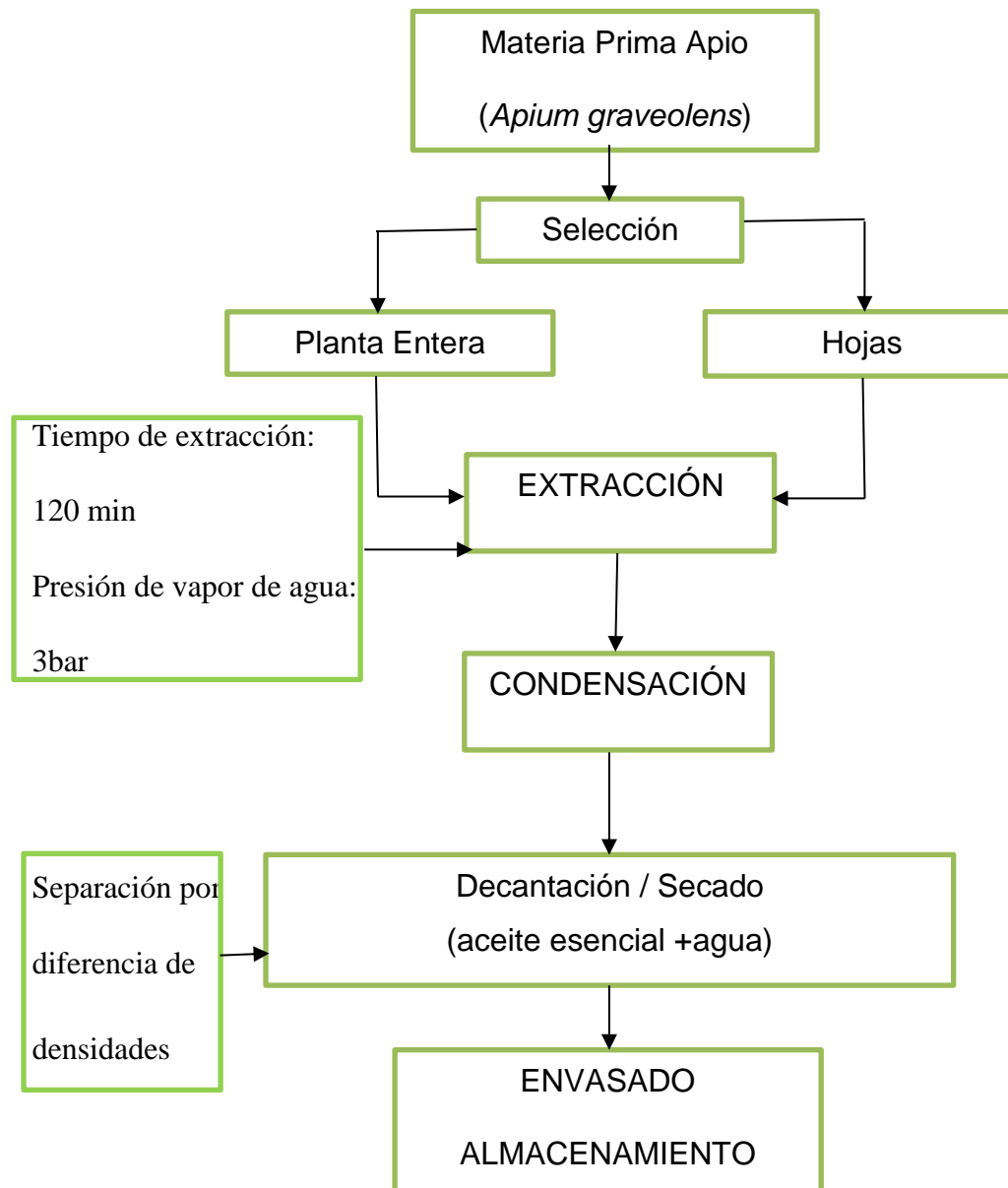
Para la decantación se esperó el tiempo necesario para que se logre hacer la separación del aceite esencial y el agua por diferencia de densidades a temperatura ambiente. Terminado el tiempo necesario que requería la separación aproximada fue de 30 min.

**g) Envasado**

El aceite esencial obtenido fue envasado en frascos de vidrio, posteriormente se almaceno bajo condiciones de refrigeración (4-5 °C), para luego ser sometidos a los análisis fisicoquímicos y cromatográficos.



### Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción:



#### 3.1.13. Análisis Cromatográfico

Para realizar una separación de una composición química mediante cromatografía de gases, se inyecta una pequeña cantidad de la muestra a separar en una corriente de un gas inerte a elevada temperatura, esta atraviesa una columna cromatográfica que separa los componentes de la mezcla por medio de un mecanismo de partición (gas líquido), (gas sólido) o en muchos casos por medio de una mezcla de ambos. Los componentes separados emergen de la columna a intervalos discretos y pasarán a través de detección adecuado, o serán dirigidos hacia un dispositivo de recogida de muestra.



### 3.1.14. Determinación de las propiedades fisicoquímicas

Se determino la densidad, el índice de refracción, pH, índice de acides.

#### a. Densidad

Es la magnitud física que relaciona la cantidad de materia existente con el volumen que ocupa, a una determinada temperatura ambiente y presión atmosférica. La densidad del aceite esencial se determina tomando como referencia al agua. La densidad relativa fue determinada usando una balanza analítica (modelo METTLER AC100,  $\pm 0,0001$  g) de acuerdo con la norma internacional AFNOR NF T75-111 (ISO 279:1998), (Valarezo et. al., 2015).

#### b. Índice de refracción

El índice de refracción de un aceite se define como la razón de la velocidad de la luz en el vacío con respecto a la velocidad de la luz en el aceite evaluado. Es característico dentro de ciertos límites para cada aceite por lo que es un indicador de pureza. Este valor está relacionado con el grado de saturación, con la razón cis/trans de los dobles enlaces y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación.

La determinación del índice de refracción se realizará en base a la norma AFNOR NF T 75- 112, utilizando un viscosímetro de Ostwald mide la viscosidad de un fluido con una densidad conocida, a una temperatura ambiental (Palacio, 2015).

#### c. pH

El pH es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia.



#### d. Índice de Acides

Presencia natural de la acidez libre en las grasas, es decir la suma de los ácidos grasos no combinados, resultado de la hidrólisis o descomposición lipolítica de algunos triglicéridos.

##### 3.1.15. Determinación del rendimiento

Para la determinación del rendimiento se utilizó una relación de la cantidad (mL) de aceite esencial obtenido en cada una de las destilaciones con la cantidad de materia utilizada, empleando la siguiente fórmula:

$$\%RAE = \frac{Vol AE (mL)}{Pmuestra(g) \times 100}$$

Donde:

AE: Aceite esencial

P muestra: Peso de la muestra a destilar en gramos

##### 3.1.16. Determinación de las características organolépticas

Las características organolépticas incluyen olor, color, sabor y textura.

**Determinación de olor:** se colocó en un papel, luego se procedió a oler y se determinó si corresponde con la característica del producto.

**Determinación del color:** Se tomo en un tubo de ensayo limpio, seco y se llenó hasta las tres cuartas partes con la muestra de aceite esencial para observar el color.

**Determinación del sabor:** Se tomo una pequeña alícuota y se sentirá el sabor.

**Determinación de textura:** Se tomo una alícuota y se sentirá con el tacto la textura.

### 3.1.17. Diseño Experimental

El estudio que permitió identificar y cuantificar dentro del estudio experimental del aceite esencial y la variación relativa de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de apio, se realizara mediante un diseño factorial  $axbxc$ , con tres repeticiones en cada tratamiento. Las variables y niveles utilizados son las que se indican a continuación:

- Variable independiente (03):

A: Tiempo (A1) [ min ]

B: Presión (B1) [ bar ]

C: Peso de la materia vegetal (C1) [ gr ]

- Variable dependiente (02):

Porcentaje de rendimiento de aceite esencial

Propiedades físico-químicas de aceite esencial.

#### Tratamientos:

Para realizar las pruebas experimentales, se empleó un diseño factorial completamente al azar  $2 \times 2 \times 2$ ; con 3 repeticiones, obteniendo un total de 24 tratamientos ( $2 \times 2 \times 2 \times 3$ ).

#### Diseño Estadístico:

$$Y_{ijk} = u + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (BC)_{jk} + (AC)_{ik} + (ABC)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y: Variable de respuesta de la  $i, j, k$  – ésima unidad muestreada experimental.

U: Efecto de la media general.

A: Efecto del  $i$ - ésimo especie de planta.

B: Efecto del  $j$ - ésimo parte de la planta.



C: Efecto del k-ésimo proceso de la planta.

AB<sub>ij</sub>: Efecto de la interacción localidad de variedad de planta – parte vegetal.

AC<sub>ik</sub>: Efecto de la interacción localidad de variedad de planta – proceso del vegetal.

BC<sub>jk</sub>: Efecto de la interacción parte vegetal – proceso de la planta.

ABC<sub>ijk</sub>: Efecto de la interacción localidad de variedad de planta – parte vegetal - proceso de la planta.

E<sub>ijk</sub>: Efecto del error experimental.

Los datos obtenidos posteriormente fueron analizados con el análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias en el porcentaje de rendimiento, con respecto a las variables independientes.

**Tabla 7.** Matriz de diseño experimental para el desarrollo de experimentos.

N °	Diseño	Combinación de Niveles			Matriz de Diseño		
		A	B	C	X1	X2	X3
1	1	N1	N2	N3	-1	-1	-1
2	A	M1	N2	N3	1	-1	-1
3	B	N1	M2	N3	-1	1	-1
4	AB	M1	M2	N3	1	1	-1
5	C	N1	N2	M3	-1	-1	1
6	AC	M1	N2	M3	1	-1	1
7	BC	N1	M2	M3	-1	1	1
8	ABC	M1	M2	M3	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Donde:

N1: Tiempo de trabajo 90 min.

M1: Tiempo de trabajo 120 min.

N2: Presión de trabajo 2 bar.

M2: Presión de trabajo 3 bar.

N3: Peso 2000 g.

M3: Peso 4000 g.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados Cromatográficos del aceite esencial de apio.

Los resultados obtenidos gracias a los análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas (GC/MS), del aceite esencial de apio (*Apium graveolens L.*). Se realizaron en el laboratorio de cromatografía Y espectrofotometría – pabellón de control de calidad de la Universidad Nacional De San Antonio De Abad – del departamento de Cusco.

Las condiciones de los análisis de la cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas fueron:

Cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas (agilent technologies 5975B inert XL EI/CI MSD).

Columna capilar de sílice fundida HP-5MS de metros por 0.25mm recubierto con una fase estacionaria de 5% fenil metil siloxano de 1.0  $\mu$  de espesor.

El gas utilizado para el proceso de arrastre es el helio de 10. mL/min.

La temperatura del horno para el análisis fue programada 60 °C hasta llegar a 240 °C

Inyección “Splitless”

Muestra inyectada: Puro

Tiempo de Análisis: 50 min

**Tabla 8.** Resultados de los análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas del aceite esencial de Apio.

N°	TIEMPO DE RETENCION (RT)	COMPUESTO LIBRERÍA NIST 11 (CL)	COINCIDENCIA (C) %	CONTENIDO RELATIVO (CR) %
1	8.89	Eucaliptol	99	6.444
2	9.75	. gamma. -Terpineno	97	0.415
3	11.81	2- Ciclohexeno-1-ol, 1- metil-4-(1-metiletil)-, cis-	95	0.516
4	13.71	Terpinen-4-ol	97	13.501
5	15.77	Ciclohexanona, 5-metil-2- (1-metiletilideno)-	98	6.993
6	15.90	Carvone	96	1.129
7	17.57	Thymol	95	19.897
8	21.58	Cariofileno	99	2.333
9	24.28	. beta. -Bisaboleno	96	0.311

Fuente: Análisis realizado en el laboratorio de cromatografía de gases y espectrofotometría de masas realizado en el laboratorio de control de calidad de la Universidad Nacional De San Antonio Abad De Cusco.

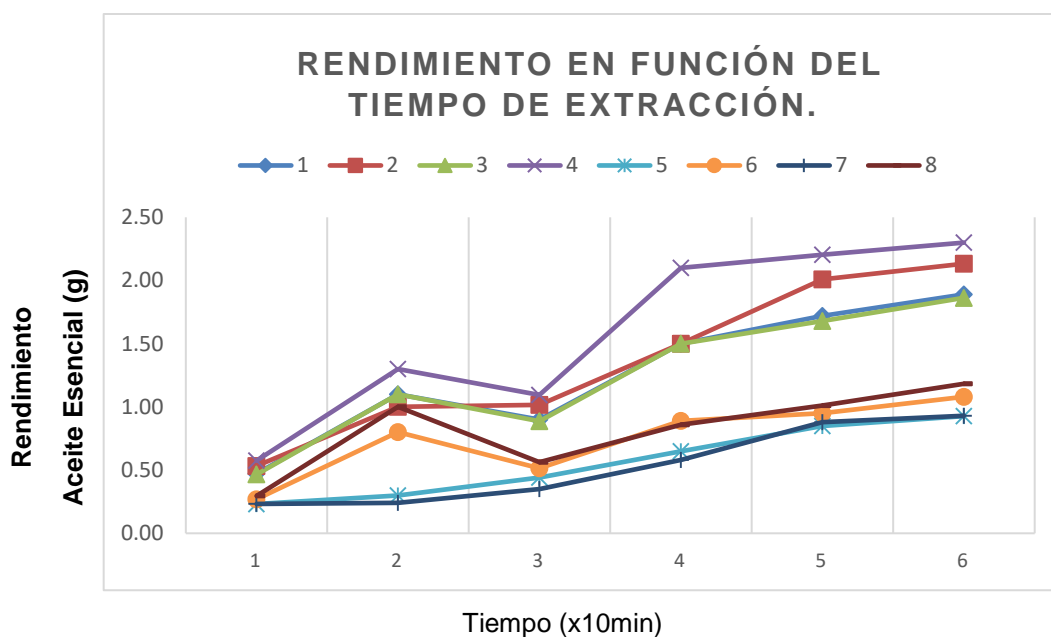
Según el análisis cromatográfico se comprobó la presencia de beta-Bisoboleno, como ejemplo tenemos un porcentaje de eucaliptol de 6.444% a comparación del artículo científico de Antibacterial activity and chemical composition of 20 Eucalyptus species essential oils. Food Chem, luego de trabajar con ocho especies de eucalipto, obtuvieron que el contenido de 1-8 Eucaliptol o cineol 45-70%. (ELAISSI, A.; SALAH, B.; MABROUK, S.; CHEMLI, R.; HARZALLAH-SKHIRI, F., 2011)

Como componente químico presente en el aceite esencial de apio de encontró el Terpinene en un 0.415 % a comparación con Rojas Jaramillo, K. (2016). “Caracterización

Física y Química de Aceites Esenciales de Especies Aromáticas de la Región Sur del Ecuador”. Tesis de pregrado. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador en la tesis se encontró Terpinene en un porcentaje de 2.53%.

#### 4.2 Comportamiento del rendimiento en función del tiempo de extracción.

Para determinar el comportamiento de extracción del aceite esencial obtenido, se realizaron pruebas cuantificando la cantidad de aceite esencial extraído durante los 120 min, hasta garantizar que el proceso no reporta más extracción.



**Figura 7.** Curva de extracción del aceite esencial (mL) obtenidos en función del tiempo (min).

En la figura 7 se observa que el tiempo óptimo de extracción para las hojas enteras y planta entera es aproximadamente de 120 min, según nuestros datos, pasado este tiempo no se obtendrá más aceite esencial.

De 02 kg de hojas enteras frescas de la especie *Apium graveolens L.* extraídas, durante 90 min, se obtuvo 1.15 mL de aceite esencial.

De 04 kg de hojas enteras frescas de la especie *Apium graveolens L.*, durante 120 min, se obtuvo 2.35 mL de aceite esencial.





De 02 kg de la planta entera frescas de la especie *Apium graveolens L.*, durante 90 min, se obtuvo 1.03 mL de aceite esencial.

De 04 kg de la planta entera frescas de la especie *Apium graveolens L.*, durante 90 min, se obtuvo 2.046 mL de aceite esencial.

Se determina que el rendimiento óptimo para la extracción del aceite esencial de Apio es de 60 min en el que se extrae la mayor cantidad de aceite esencial aproximado a un 80%, en un trabajo de investigación de Optimización de la Extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor de agua. Se extrajo aceite esencial de Naranja el cual se determina 25 min como tiempo óptimo en el que se extrae el mayor porcentaje de aceite esencial. (Casado, V. 2018).

#### **4.3 Resultado de la extracción del aceite esencial de apio (*Apium graveolens L*) por arrastre de vapor saturado.**

##### **Considerando nuestros datos para procesar**

Los datos obtenidos de los parámetros controlados de la extracción del aceite esencial de las temperaturas que tendremos como resultado gracias a las termocuplas ubicadas en el equipo

**Tabla 9.** Condiciones de operación durante la extracción por arrase de vapor del aceite esencial de Apio para una cantidad de trabajo 2 kg.

<b>Tiempo de operación del equipo</b>	<b>Temperatura T1 (°C)</b>	<b>Temperatura T2 (°C)</b>	<b>Temperatura T3 (°C)</b>	<b>Temperatura T4 (°C)</b>	<b>Presión de vapor</b>
---------------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------



120	87.5	15.7	32.0	16.3	3.0
-----	------	------	------	------	-----

Donde:

La temperatura T1 se encuentra en la cámara de extracción, esta indica que se está trabajando a su temperatura máxima del equipo con una temperatura de 87.5 °C.

La temperatura T2 está en la entrada del agua potable al intercambiador de calor, con una temperatura de 15.7 °C.

La temperatura T3 esta se encuentra en la salida del agua potable del intercambiador de calor, con una temperatura de 32.0 °C.

La temperatura T4 esta indica la salida del AGUA FLORAL + ACEITE ESENCIAL DE APIO, siendo la temperatura 16.3.

**Tabla 10.** Condiciones de operación en la extracción por arrastre de vapor saturado del aceite esencial de Apio, para 4 kg.

Tiempo de operación del equipo	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión de vapor
120	88.2	15.7	30.2	17.4	3.0

La temperatura T1 se encuentra en la cámara de extracción, esta indica que se está trabajando a su temperatura máxima del equipo con una temperatura de 88.2 °C.

La temperatura T2 está en la entrada del agua potable al intercambiador de calor, con una temperatura de 15.7 °C.

La temperatura T3 esta se encuentra en la salida del agua potable del intercambiador de calor, con una temperatura de 30.2 °C.

La temperatura T4 esta indica la salida del AGUA FLORAL + ACEITE ESENCIAL DE APIO, siendo la temperatura 17.4.

#### 4.4 Resultados del tiempo de trabajo y el rendimiento de obtención del aceite esencial de apio.

Resultados de la influencia del tiempo de extracción.

**Tabla 11.** Resultados de la influencia de tiempo en la extracción de aceite esencial de Apio.

Tiempo de extracción (min)	Muestra de 2 kg		Muestra de 4 kg	
	Aceite esencial (mL)	Presión de vapor (bar)	Aceite esencial (mL)	Presión de vapor (bar)
0	0	1.3	0	1.5
15	0.3	1.9	0.45	2.0
30	0.6	2.0	0.57	2.0
45	0.8	2.5	0.93	2.2
60	0.98	2.5	1.57	2.7
75	1.03	2.8	1.89	2.9
90	1.11	3	2.35	3
120	1.15	3	2.5	3

En estudios de Optimización de la Extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor de agua, se puede apreciar claramente que el intervalo máximo de extracción de aceite de da entre los 0 y 10 min de operación, en ese tiempo se produce la obtención de un 80%, a los 35 min se considera que se alcanza el régimen permanente de la operación. (Casado, V. 2018).

#### 4.5 Resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de Apio (*Apium graveolens L.*).

Los resultados presentes, corresponden al análisis realizado al aceite esencial de apio extraído por destilación discontinua de arrastre de vapor de agua; estos análisis fueron realizados de acuerdo a los procedimientos indicados en las normativas utilizadas, realizados en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – PUNO, para su respectivo análisis fisicoquímicos y así certificar los resultados.

**Tabla 12.** Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al aceite esencial, de la especie *Apium graveolens L.*

	ANÁLISIS FÍSICOS		ANÁLISIS QUÍMICOS	
	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup> 20°C	I. REFRACCIÓN 20°C	pH 20°C	ÍNDICE DE ACIDEZ
M1	0.744	1.186	6.39	0.983

Según estudios anteriores los aceites esenciales entre los resultados de la investigación los resultados de las propiedades fisicoquímicas que se encuentran en el artículo científico de Granados, C.; Santafé, G.G.; Acevedo, D. (2015), COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE ESENCIALFOLIAR DE *Eucalyptus camaldulensis* DE NORTE DE SANTANDER (COLOMBIA) Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(1): 235-240, el aceite esencial de eucalipto tiene una densidad de 0,91 g/mL, índice de refracción de 1,464 ambos a 20 °C. A comparación de aceite esencial de Apio que tiene una densidad de 0.744 kg/m<sup>3</sup> y un índice de refracción de 1.186 ambos a 20 °C.

#### 4.6 Resultados obtenidos de las características organolépticas del aceite esencial de Apio (*Apium Graveolens L.*).

Los resultados presentados en la tabla 12, corresponden a las características organolépticas del aceite esencial extraído por destilación discontinua con arrastre de vapor de agua; estas características organolépticas fueron realizadas después de ser extraídos los aceites esenciales.

**Tabla 13.** Características organolépticas del aceite esencial de apio (*Apium Graveolens L.*).

<b>Características Organolépticas</b>				
	<b>Aspecto</b>	<b>Olor</b>	<b>Color</b>	<b>Sabor</b>
M1	viscoso	ácido	ámbar	picante
M2	viscoso	ácido	ámbar	picante
M3	viscoso	ácido	ámbar	picante

Otro estudio respecto a la característica organoléptica como el Olor, Color Sabor y Textura, se encontró características similares en el trabajo de investigación de PARÁMETROS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum L.*) POR ARRASTRE DE VAPOR, pertenecientes a la familia *Ocimum basilicum L.* (Araujo P, 2018).

#### 4.7 Evaluación estadística del rendimiento de aceite esencial de Apio (*Apium graveolens L.*)

Para la obtención de los datos respecto al rendimiento del aceite esencial. Se utilizó el diseño factorial A\*B\*C ( $2*2*2 = 8$  tratamientos), con tres repeticiones cada tratamiento, para poder tener como respuesta el rendimiento del aceite esencial de apio. Los resultados se presentan en la siguiente tabla. Dando los datos correspondientes al rendimiento obtenido de la extracción del aceite esencial de cada uno de los tratamientos.

#### 4.8 Diseño experimental factorial 2<sup>n</sup>:

El diseño experimental factorial 2<sup>n</sup> es un diseño bifactorial con replicaciones; para nuestro diseño experimental, para poder estudiar como los parámetros establecidos nos ayudan al cambio de temperatura, de tiempo o la cantidad de materia vegetal afectaran en el rendimiento de una extracción de aceite esencial.

**Tabla 14.** Análisis de varianza para rendimiento – extracción de aceite esencial de Apio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo	0.000522667	1	0.000522667	56.78	0.0000
B: Presión	0.0000292604	1	0.0000292604	3.18	0.0948
C: Cantidad	6.66667E-7	1	6.66667E-7	0.07	0.7915
AB	0.0000362604	1	0.0000362604	3.94	0.0658
AC	0.00000416667	1	0.00000416667	0.45	0.5113
BC	0.00000126042	1	0.00000126042	0.14	0.7165
bloques	0.000034099	2	0.0000170495	1.85	0.1910
Error total	0.000138078	15	0.00000920521		
Total (corr.)	0.000766458	23			

Fuente: Análisis de varianza calculada por el programa STATIGRAFICS Centurion  
XVI Versión 16.1.03

R-cuadrada = 81.9849 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 72.3769 porciento

Error estándar del est. = 0.00303401

Error absoluto medio = 0.00203733

Estadístico Durbin-Watson = 2.19976 (P=0.4836)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.101286



La tabla ANOVA particiona la variabilidad de rendimiento en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 81.9849% de la variabilidad en rendimiento. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 72.3769%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.00303401. El error medio absoluto (MAE) de 0.00203733 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

### COEFICIENTES DE REGRESIÓN Y MODELO MATEMÁTICO.

**Tabla 15.** Coeficiente de regresión para rendimiento-Extracción de aceite esencial de Apio.

Coeficiente	Estimado
Constante	0.0444792
A: Tiempo	-0.0000152778
B: Presión	-0.013625
C: Cantidad	0.0000389583
AB	0.000163889
AC	-2.77778E-7
BC	-0.00000458333



Fuente: Coeficiente de regresión calculada por el programa STATIGRAFICS

Centurion XVI Versión 16.1.03

**La ecuación del modelo ajustado es:**

$$\text{Rendimiento} = 0.0444792 - 0.0000152778 * \text{Tiempo} - 0.013625 * \text{Presión} + 0.0000389583 * \text{Cantidad} + 0.000163889 * \text{Tiempo} * \text{Presión} - 2.77778 \text{E-}7 * \text{Tiempo} * \text{Cantidad} - 0.00000458333 * \text{Presión} * \text{Cantidad}$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

**Optimizar Respuesta**

Meta: maximizar rendimiento

Valor óptimo = 0.0591458

**Tabla 16.** Valores óptimos de extracción de aceite esencial de Apio.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo	90.0	120.0	120.0
Presión	2.0	3.0	3.0
Cantidad	2000	4000	4000

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza rendimiento sobre la región indicada. La temperatura óptima es 87.5°C, Tiempo 120 min y Cantidad 4000 g.



## DIAGRAMA DE PARETO

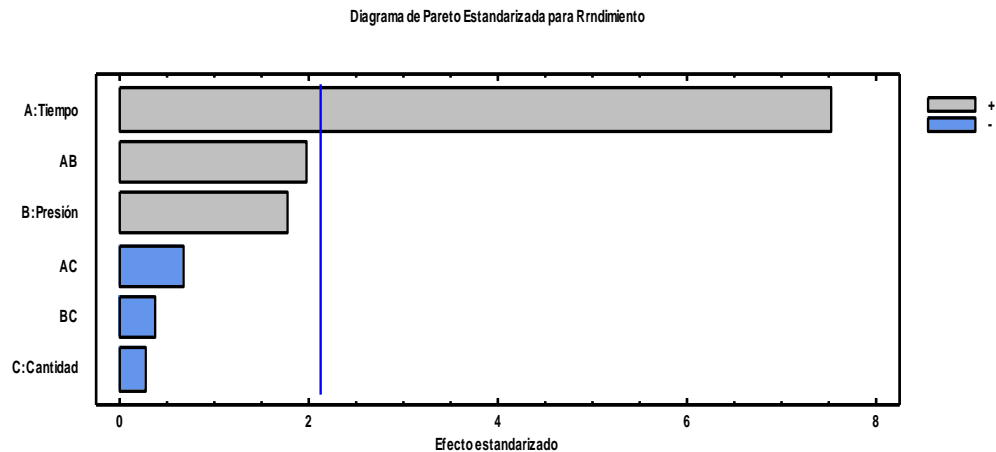


Figura 8. Diagrama de Pareto Estandarizada para Rendimiento

El diagrama de Pareto se observa la influencia de los factores sobre la extracción del aceite de Apio extraído. La variable más significativa es la cantidad. Seguido de la interacción AB y BC. Las variables A y B muestran menor significancia.

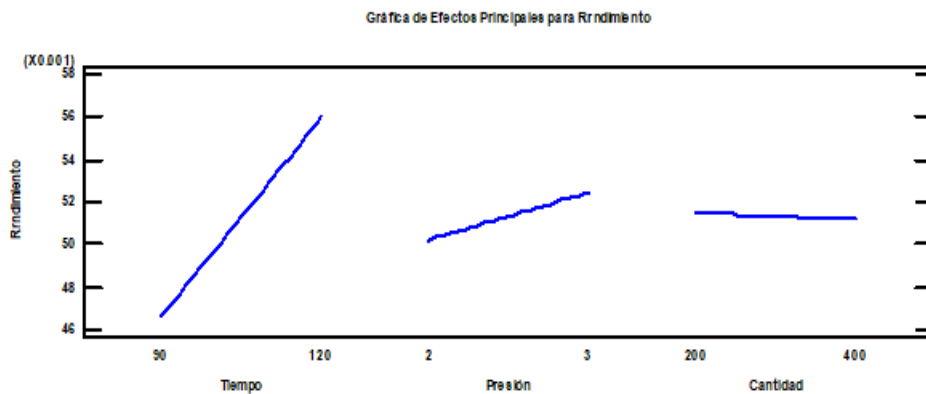
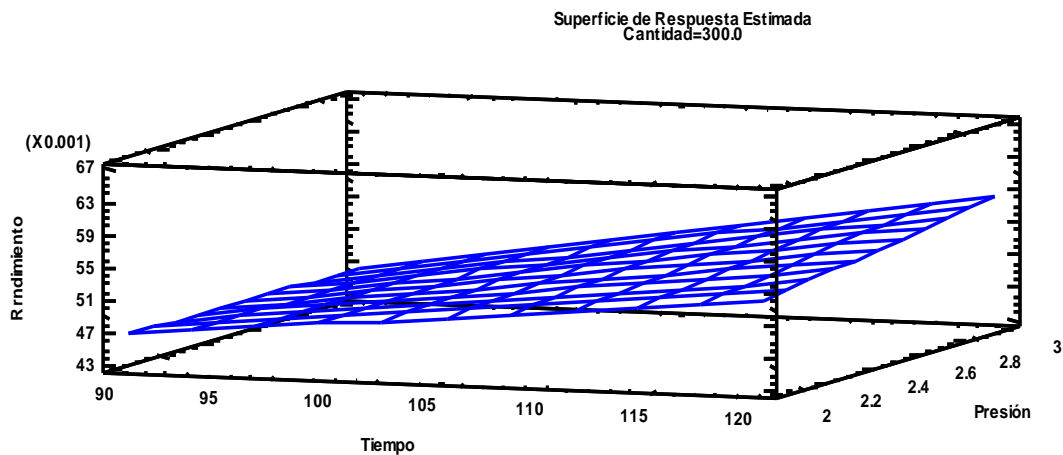


Figura 9. Efectos principales para Rendimiento del aceite esencial.

Según el gráfico de los parámetros establecidos, existe una proporcionalidad directa entre el rendimiento, y las variables temperatura y cantidad de muestra. Si estos dos parámetros son bien controlados se puede mejorar el rendimiento del aceite esencial. La cantidad del aceite extraído es proporcional a la cantidad de muestra que se usó durante el proceso.

## SUPERFICIE DE RESPUESTA



**Figura 10.** superficie de respuesta estimada.

En la figura que muestra la superficie de respuesta estimada, donde el menor valor de obtención de aceite esencial de Apio es con la relación de 2000 g, 87.5 °C y un tiempo de extracción de 120 min a una presión de trabajo de 3 bar. Tendremos un rendimiento máximo de 0.0047.

### 4.9 Análisis de varianza:

Loa valores numéricos que intervinieron en el proceso de extracción del aceite esencial de espinaca que son presentados en la siguiente tabla, estos valores provienen entre la diferencia del peso de muestra del aceite esencial entre el peso de muestra inicial de materia vegetal, cada tratamiento tiene sus tres respectivas repeticiones por cada valor experimental extraído de aceite esencial; los datos obtenidos nos ayudan a ser la tabla ANOVA.

**Tabla 17.** Datos para el diseño factorial en el proceso de extracción del aceite esencial de Apio.

N°	A	B	C	% RENDIMIENTO		
	Temperatura (min)	Presión (Bar)	Cantidad (g)			
1	90	2	2000	0.0199	0.0180	0.0190
2	120	2	2000	0.0230	0.02450	0.027
3	90	3	2000	0.0229	0.0239	0.027
4	120	3	2000	0.0237	0.0238	0.0232
5	90	2	4000	0.0359	0.0350	0.0302
6	120	2	4000	0.0615	0.058	0.058
7	90	3	4000	0.050	0.0521	0.0564
8	120	3	4000	0.0334	0.0387	0.0364

#### 4.10 Resultados de extracción y caracterización del aceite esencial de apio por arrastre de vapor:

**Tabla 18.** Resultados de extracción y caracterización del aceite esencial de apio por arrastre de vapor

Temperatura	Tiempo	Peso	Rendimiento
87.5	120	4000	0.059

Fuente: Elaboración propia

Los valores de los resultados óptimos de la extracción corroborando que se mejora el rendimiento de extracción.

Resultados del balance de materia:

Balance de materia en el equipo de arrastre de vapor de agua:

Balance de materia para el generador:

Realizando el balance:  $(volumen\ inicial\ del\ agua) = (volumen\ final\ del\ agua) + (volumen\ de\ vapor\ generado)$

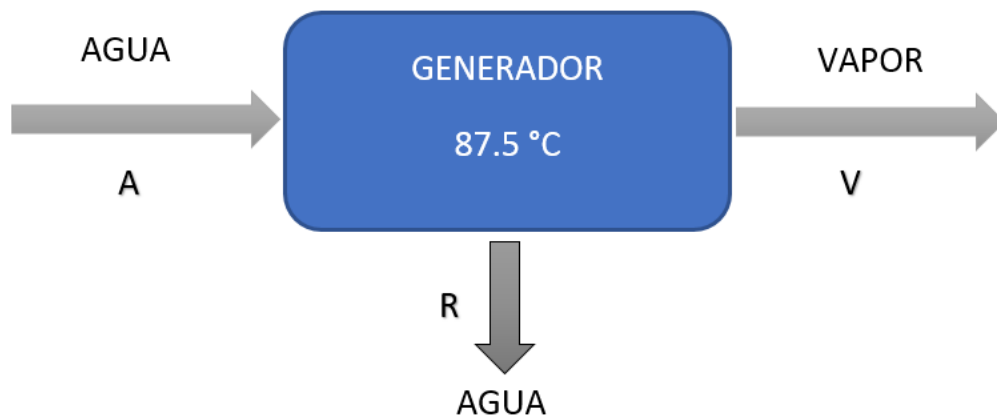
Se obtiene la siguiente ecuación  $A=R+V$

Donde:

A = Alimentación (volumen inicial del agua en el hervidor) = 25 L

R = Residuo en el generador (volumen final del agua) = 18.6 L

V = Volumen de vapor generador (Kg)



**Figura 11.** Diagrama de generador

**Cálculo de volumen de vapor generado según la ecuación  $V_{vapor}$**

$generado(Kg)=Vi\ de\ agua\ (L)-Vf\ de\ agua(L)$

Donde:

Vi de agua: volumen inicial de agua en el hervidor = 25 L

Vf de agua: volumen final de agua en el hervidor = 18.6 L

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

$$V_{\text{vapor generado}}(\text{Kg}) = V_i \text{ de agua (L)} - V_f \text{ de agua (L)}$$
$$V_{\text{vapor generado}}(\text{Kg}) = 25 \text{ L} - 18.6 \text{ L}$$
$$V_{\text{vapor generado}}(\text{Kg}) = 6.4 \text{ L} = 6.4 \text{ Kg}$$

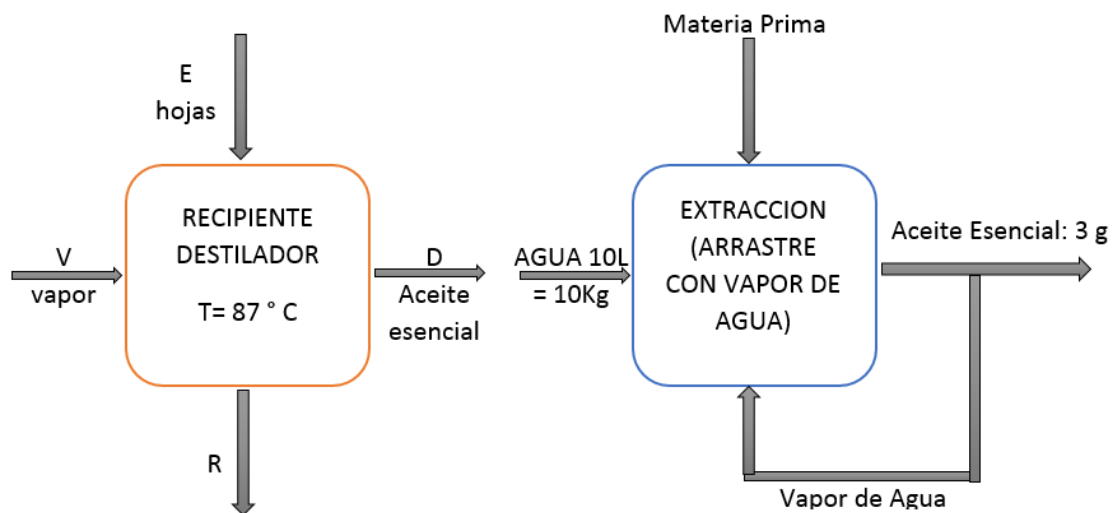
Finalmente reemplazando en la ecuación, se realiza el balance de materiales en el generador de vapor.

$$A = R + V$$

$$10 \text{ Kg} = 6.4 + 3.5$$

$$10 \text{ Kg} = 9.93 \text{ Kg}$$

**Balance de materia en el recipiente destilador:**



**Figura 12.** Diagrama del recipiente destilador



Realizando el balance deduciendo la ecuación se tiene: (*volumen de vapor generador*) + (*peso de hojas inicio*) = (*volumen mezcla agua - AE*) + (*peso de hojas - agua*)  $V + E = D + R$

Donde:

V: Volumen de vapor generado = 6.4 Kg

E: Peso inicial de muestra (hojas) con 93% de humedad = 4 Kg

D: (Volumen de agua floral y/o condensada + volumen de AE) = 4.350 Kg

R: Peso final de hojas en el recipiente destilador = 4.520 Kg

#### 1. Cálculo del volumen de la mezcla

$$V_{mezcla} = V_A (mL) + V_{AE} (mL)$$

Donde:

V<sub>A</sub>: Volumen de agua condensada (mL)

V<sub>AE</sub>: Volumen de aceite esencial en (mL)  $V_{mezcla} = 5.225 (L) + 3 (mL)$

$$V_{mezcla} = 6300 (mL)$$

#### 2. Cálculo de masa de condensado

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

Donde:

V<sub>mezcla</sub>: Volumen de la mezcla en (mL)



VAE: Volumen del aceite esencial en (mL)

$$m_{\text{condensado}} = 5.300 \text{ L} - 3 \text{ mL}$$

$$m_{\text{condensado}} = 5.225 (\text{mL})$$

3. Cálculo de vapor mínimo optimo

$$m_{\text{v arrastre}} = (V_{\text{mezcla}}(g) - V_{\text{AE}}(g)) \text{ toperacion } (h)$$

Donde:

t: tiempo de operación = 120 min

$$m_{\text{v arrastre}} = (5.300 - 3) \text{ g} / 120 \text{ min}$$

$$m_{\text{v arrastre}} = 45.541 \text{ g/min}$$

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

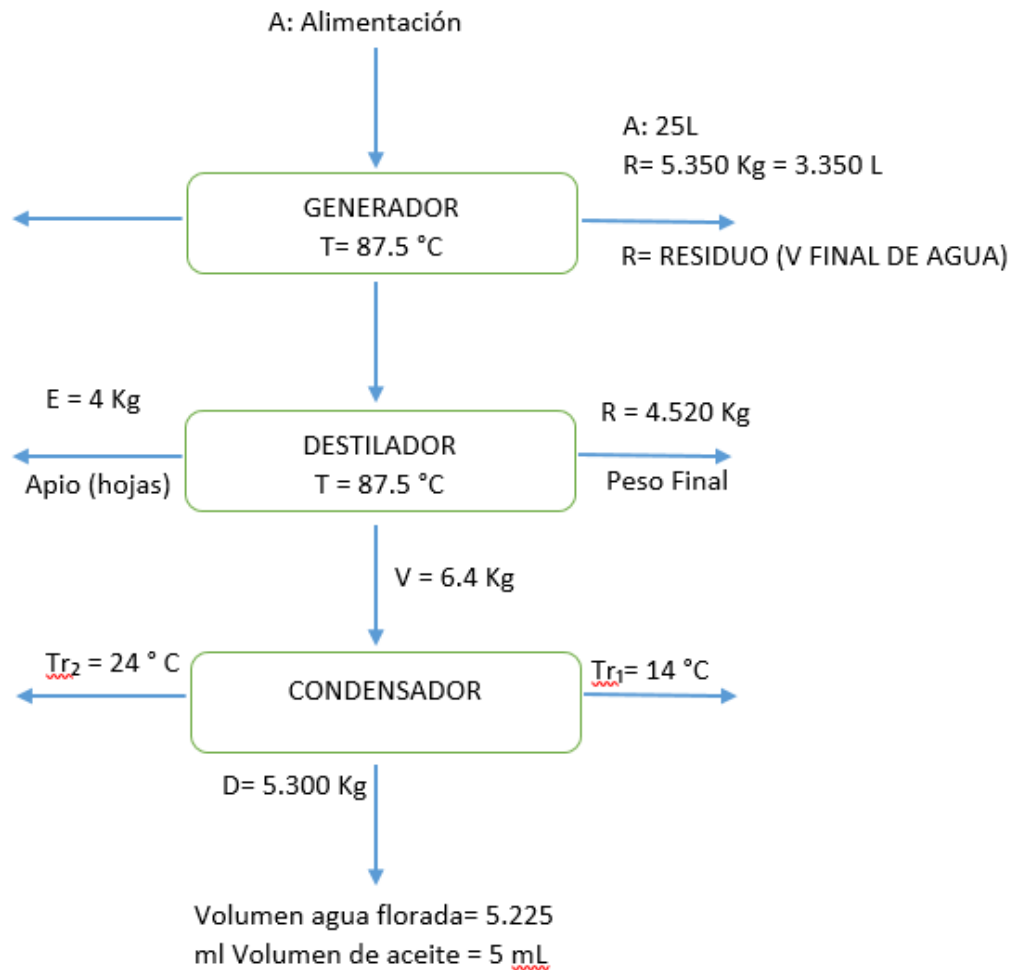
$$V + E = D + R$$

$$6.4 \text{ Kg} + 3.72 \text{ Kg} = 5.300 \text{ Kg} + 4.520 \text{ Kg}$$

$$10.12 \text{ Kg} = 9.820 \text{ Kg}$$

$$\therefore 10.0 \text{ Kg} = 10.0 \text{ Kg}$$

Balance de materia en el equipo extractor de aceite esencial:



**Figura 13.** Diagrama del balance de masa general de extracción del aceite esencial de Apio

Fuente: Elaboración propia.

#### Interpretación del balance de materia:

Los balances de materia en el generador de vapor y el extractor, para las hojas Apio, se presenta el balance donde no hay variaciones significativas, en el balance de materia se muestran los resultados obtenidos durante el proceso de extracción del aceite esencial, donde la alimentación fue de 25 L de agua para el generador de vapor, para el extractor se necesitó 4 Kg de hojas de Apio con un 93% de humedad. No se presentó pérdida de vapor, por ello no tuvo ninguna variación significativa en el balance de materia.





## V. CONCLUSIONES

- En el análisis cromatográfico del aceite esencial extraído por arrastre de vapor de agua; se observan los siguientes compuestos químicos más resaltantes: Eucaliptol, gamma. -Terpineno, 2- Ciclohexeno-1-ol, 1-metil-4-(1-metiletil)-, cis, Terpinen-4-ol, Ciclohexanona, 5-metil-2-(1-metiletilideno), Carvone, Thymol, Caryophyllene, beta. -Bisaboleno.
- Los valores óptimos para lograr una mejor extracción son: Temperatura 87.5°C; con un tiempo de 120 minutos y una cantidad de 4000 gramos (peso).
- Los resultados de las características fisicoquímicas del aceite esencial extraído por arrastre de vapor de agua; se observan los siguientes resultados: densidad (0.774 kg/m<sup>3</sup> a 20°C), Índice de refracción (1.186 a 20°C), pH (6.39 a 20°C), Índice de acidez (0.983 a 20°C).
- Se obtuvo 2.35 mL de aceite esencial de las hojas enteras y 2.0465 mL de aceite esencial de la planta entera de 4000 g de apio durante el proceso de extracción por arrastre de vapor de agua, las variables que se manejaron durante la extracción de aceites esenciales en el equipo son la presión en el caldero 3 bar, temperatura en el extractor alrededor de 87.5 °C, y la temperatura del condensador próximo a los 40°C para que el rendimiento sea óptimo.



## VI. RECOMENDACIONES

- Extraer adecuadamente el aceite esencial de apio ya que se solidifica muy rápido iniciando la extracción y debe envasarse rápidamente.
- Realizar pruebas del comportamiento del aceite esencial de Apio, en el desarrollo productos farmacéuticos. Debido a sus propiedades Antipigmentario, tónico, neurotónico, sedativo, estimulante hepatocitario, descongestionante venoso.
- Realizar un estudio de más plantas tradicionales con el propósito de extraer sus aceites esenciales cuyos componentes podrían ser utilizados en diferentes campos como la medicina.
- Conocer la forma adecuada de utilizar el apio como una opción medicinal es importante porque además de adquirir conocimientos nuevos la práctica permite obtener mejores resultados.
- Debe de hacerse un mantenimiento constante al equipo extractor de aceite esencial por arrastre de vapor para su óptimo funcionamiento.
- Realizar el cambio del caldero al material de vidrio ya que el actual de acero enchaquetado afecta en la composición del aceite esencial extraído y en el proceso de extracción.



## VII. REFERENCIAS

- Araujo Paredes, C. (2018). Parámetros de extracción de aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) por arrastre de vapor, pertenecientes a la familia *Ocimum basilicum L.* 38-39.
- Bejo Zaden, B. (2014). “Especialistas en semillas de hortalizas”. Alvara (BGS 243). Guatemala, Centroamerica.
- Bermudo Crespo, G. S. (2019). parametros otimos de operacion en la extraccion de aceite esencial de eucalipto (*Eucalytus Globulus*) con el equipo modular de extraccion de aceites esenciales. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Casado Villaverde. I. (2018). Optimización de la Extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor de agua. 43-44, 47-49.
- Casseres, E. (1981). Produccion de Hortalizas (3a. EDICION ed.). (IICA, Ed.) Costa Rica, San Jose: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura.
- Eduardo, C. (2003). Caracterizacion y aprovechamiento del extracto y aceite esencial de apio (*Apium Graveolens*), para uso farmaceutico, atraves de un proceso de destilacion a nivel de planta piloto. Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingenieria.
- Elaissi, A.; Salah, B.; mabrouk, S.; Chemli, R.; Harzallah-Skhiri, F. (2011). Antibacterial activity and chemical composition of 20 *Eucalyptus* species essential oils. *Food Chem*, 129:1427-1434.
- Falconi, M. (2007). Elaboracion y control de calidad de comprimidos fitofarmaceuticos a base de extractos de Manzanilla (*Matricaria Chamomilla L.*), Ajo (*Allium*



- Sativum*) y Jengibre (*Zingiber Officinale*). Tesis de Pregrado. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba - Peru.
- Fonnegra, R., & Jimenez, S. (2007). Plantas Medicinales Aprobadas por Colombia (Segunda edición ed.). Colombia.
- Granados, C.; Santafé, G.G.; Acevedo, D. (2015), composición química y evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Eucalyptus camaldulensis* de norte de santander (COLOMBIA) Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(1): 235-240.
- Gutierrez, A., & Estévez, A. (2009). Relevancia de los productos naturales en el descubrimiento de nuevos fármacos en el S. XXI. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 103, 409-419.
- Gutiérrez, M., & Droguet, M. (2012). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. BOLETÍN INTEXTER (U.P.C.), 122.
- Harding, J. (2008). Aceites Esenciales: Mas de 100 aceites esenciales necesarios para vivir con salud, vitalidad y bienestar. BLUME (Naturart).
- Huanca Gonzales, T. E., & Torres Gutierrez, J. J. (2010). Influencia del rendimiento del aceite esencial de Hierba Luisa (*Cymbopogon Citratus Stapf*) obtenido por arrastre de vapor a partir de hojas frescas y secas. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Santa, Nuevo chimbote, peru.
- Kitajima, J., Ishikawa, T., & Satoh, M. (2003). Polar constituents of celery seed. *Phytochemistry*, 64, 1003-1011
- KOKKINI, S. DARDIOTI, A., KAROUSOU, R., & LANARAS, T., (2012). Diversity of *Satureja pilosa* subsp. *organita* essential oils: a new “oregano” from East Mediterranean. *Biochemical Systematics and Ecology*, 40, 178-183.



- Marin Villa, J. Z. (2019). Composicion quimica y actividad antioxidante del aceite esencial de *Ambrosia Arborescens* Miller (Marku). Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, peru.
- Méndez, C. (2002). *La naturaleza esta de moda*. Guatemala: Prensa Libre.
- Montesinos, G. (2000). *Zumos y Alimentos Licuados Sanos Curativos*. España: LIBSA S. A.
- Palacios, C. (2015). Determinacion de la composicion quimica, propiedades fisicas y evaluacion de la actividad biologica del aceite esencial de *Piper Lanceifolium* de la provincia de Zamora. Tesis de pregrado. Universidad Tecnics Particular de Loja, Ecuador.
- Pitchford P. (2009) *Sanando Con Alimentos Integrales: Tradiciones Asiáticas Y Nutrición Moderna*. Estados Unidos de Norteamérica. Editorial Gala. (803 páginas).
- Pressman, E., & Sachs, M. (2018). *Apium graveolens*. En *Handbook of Flowering* (Volume I ed.). CRC Press. doi:10.1201 / 9781351072533
- Quispe Flores, R. J. (2017). Modelamiento matematico de la extraccion de aceite esencial de eucalipto "*Eucalyptus Globulus* S. P." por destilacion con vapor de agua. Tesis de Posgrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Puno, Peru.
- Rojas Jaramillo, K. (2016). Caracterizacion fisica y quimica de aceites esenciales de especies aromaticas de la Region Sur del Ecuador. Tesis de pregrado. Universidad Tecnica Particular de Loja, Ecuador.
- Trupo, M. (2010). Use of essential oil *laurus nobilis* obtained by meas of a supercritical carbon dioxide technique against postharvest spoilage fungi. *Cop Protection*.
- Valarezo, E., Rosales, J., Morocho , V., Cartuche, L., Guaya, D., Ojeda, S., Gonzalez, S. (2015). Chemical composition and biological activity of the essencial oil of



*Baccharis obtusifolia* Kunth from Loja. Ecuador: Journal of Essential Oil Research.

Werneck Vieira, C. (2014). Chemical composition and antibacterial activity of *Laures nobilis* essential oil towards foodborne pathogens and its application in fresh Tuscan sausage stored at 7°C. LWT - Food Science and Technology.

Wilhelm Thome, O. (1885). Flora de Alemania, Australia y Suiza en Palabras e Imágenes para la Escuela y el Hogar (Vol. I). Alemania: Gera - Untermyhaus: FE Khler.

### **Web grafías:**

Benjawan, T., Wej, C., Eumporn, R., Udom, C., Prasong, C., Atchariya, J., Benjawan, P. (2005). Propiedades repelentes del apio, *Apium graveolens* L., en comparación con los repelentes comerciales, contra los mosquitos en condiciones de laboratorio y de campo. (I. d. Chulabhorn, Ed.) Universidad de Chiang Mai. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3156.2005.01500.x>

Fazal, S., & Singla, R. (2012). Revisión sobre la caracterización farmacognóstica y farmacológica de *Apium Graveolens* Linn. Indo Global Journal of Pharmaceutical Sciences, 2 (1), 36–42. Obtenido de <http://iglobaljournal.com/wp-content/uploads/2012/05/3.-Fazal-Singla-2012.pdf>

Kailan, Z., Feng, Z., Zhihui, L., Yulei, Z., Lixia, C., & Feng, Q. (31 de Agosto de 2009). Triterpenoides y Flavonoides del Apio (*Apium graveolens*). La Sociedad Americana de Química y la Sociedad Americana de Farmacognosia, 72. Obtenido de <https://doi.org/10.1021/np900117v>

Lewis, D. D., Tharib, S. M., & A. Veitch, G. B. (27 de sep de 2008). La actividad antiinflamatoria del apio *Apium graveolens* L. (Fam. Umbelliferae). Revista



Internacional de Investigación de Drogas Crudas, 23, 27 -32. Obtenido de  
<https://doi.org/10.3109/13880208509070685>

Ortuño Sanchez, M. F. (2006). Manual practico de aceites esenciales, aromas y perfumes.

España: AIYANA EDICIONES. Obtenido de <http://www.biomoon.net/aiyana>.

Taxonomica, S. I. (2020). CONABIO. Obtenido de  
<http://conabio.org.mx/malezasdemexico/apiaceae/apium-graveolens/fichas/ficha.htm>

## ANEXOS

### **Anexo A:**

Tabla A. 1 . Resultados del análisis Cromatografico realizado:

Tabla A. 2 . Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados:

Tabla A. 3. Resultados del rendimiento de extracción del Aceite Esencial de Apio.

Tabla A. 4. Resultados de los análisis físico realizados:

Tabla A. 5. Resultados de la extracción del aceite esencial en función del tiempo de extracción.

### **Anexo B:**

Figura B. 1. Resultados del Análisis Cromatográfico realizados en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas.

### **Anexo C:**

Fotografía C. 1. Acondicionamiento del equipo Extractor de aceites esenciales, Modelo UDCA-2/EV, Elettronica Veneta de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO.

Fotografía C. 2. Pesado de la Materia Vegetal antes de iniciar el proceso de Extracción del Aceite Esencial de Apio.

Fotografía C. 3. Materia Vegetal dentro del tanque del equipo de extracción.

Fotografía C. 4. Proceso de extracción del aceite esencial de Apio (Tablero de control del equipo de extracción)

Fotografía C. 5. Vista del aceite esencial de Apio obtenido durante el proceso de extracción.





Fotografía C. 6. Envasado del Aceite esencial obtenido después del Proceso de Extracción.

Fotografía C. 7. Pesado del aceite esencial de Apio.

Fotografía C. 8. Medición del pH del aceite esencial de Apio obtenido.

## ANEXO A

Tabla A. 1 . Resultados del análisis Cromatografico realizado:

N°	TIEMPO DE RETENCION (RT)	COMPUESTO LIBRERÍA NIST 11 (CL)	COINCIDENCIA (C) %	CONTENIDO RELATIVO (CR) %
1	8.89	Eucaliptol	99	6,4444
2	9.75	. gamma. -Terpineno	97	0,415
3	11.81	2- Ciclohexeno-1-ol, 1-metil-4-(1-metiletil)-, cis-	95	0,5165
4	13.71	Terpinen-4-ol	97	13,5016
5	15.77	Ciclohexanona, 5-metil-2-(1-metiletilideno)-	98	6,9933
6	15.90	Carvone	96	1,129
7	17.57	Thymol	95	19,8971
8	21.58	Cariofileno	99	2,3339
9	24.28	. beta. -Bisaboleno	96	0,3112



Tabla A. 2 . Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados:

	ANÁLISIS FÍSICOS			ANÁLISIS QUÍMICOS
	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup> 20°C	I. REFRACCIÓN 20°C	pH 20°C	ÍNDICE DE ACIDEZ
M1	0.744	1.186	6.39	0.983

Tabla A. 3. Resultados del rendimiento de extracción del Aceite Esencial de Apio.

RENDIMIENTO							
TIEMPO	PRESION	CANTIDAD	1	2	3	PROMEDIO	
90	2	2000	0.046	0.048	0.045	0.04633333	
120	2	2000	0.0545	0.052	0.0555	0.054	
90	3	2000	0.043	0.0485	0.048	0.0465	
120	3	2000	0.0575	0.055	0.065	0.05916667	
90	2	4000	0.0475	0.04875	0.0455	0.04725	
120	2	4000	0.0525	0.05	0.0575	0.05333333	
90	3	4000	0.04725	0.0475	0.045	0.04658333	
120	3	4000	0.0575	0.0525	0.0625	0.0575	

Tabla A. 4. Resultados de la extracción del aceite esencial en función del tiempo de extracción.

Comportamiento del rendimiento en función del tiempo de extracción.								
TIEMPO (MIN)	MUESTRA DE PLANTA ENTERA				MUESTRA HOJAS ENTERAS			
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.47	0.53	0.47	0.58	0.23	0.27	0.23	0.30
30	1.10	1.00	1.10	1.30	0.30	0.80	0.24	1.00
45	0.90	1.02	0.89	1.10	0.44	0.51	0.35	0.56
60	1.50	1.50	1.50	2.10	0.65	0.89	0.58	0.86
75	1.72	2.01	1.68	2.20	0.85	0.95	0.88	1.01
120	1.89	2.133	1.863	2.30	0.927	1.08	0.93	1.183



Tabla A. 5. Resultados de los análisis físico realizados:

<b>Características Organolépticas</b>			
<b>Aspecto</b>	<b>Olor</b>	<b>Color</b>	<b>Sabor</b>
VISCOSO	ÁCIDO	AMBAR	PICANTE
VISCOSO	ÁCIDO	AMBAR	PICANTE
VISCOSO	ÁCIDO	AMBAR	PICANTE

## **ANEXO B**

Figura B. 1. Resultados del Análisis Cromatográfico realizados en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas.



RESULTADOS

Cusco, 11 de Noviembre del 2019

Solicitante : Jorge Armando Guispe Gomez  
 Tipo de Análisis : Determinación de componentes volátiles en Aceite Esencial  
 Tipo de Muestras : Frasco con Aceite Esencial denominado Apio  
 Cantidad de Muestra : 1, aproximadamente 0.1 mL  
 Almacenamiento : 4 °C.

**Condiciones de Análisis para el Aceite Esencial**

Cromatógrafo : Agilent 6890N  
 Detector Espectrometro de Masas : Agilent 5975B.  
 Línea de transferencia : 280°C  
 Impacto Electrónico : 70 eV  
 Modo escaneo de masas : 40-500 uma

Inyector Automático Agilent: 7683B  
 Columna: Agilent HP-5MS 5% Fenil Metil Siloxano.

**Condiciones del cromatógrafo.**

Temperatura del Horno inicial 60°C  
 Rampa:  

Rate °C/min	temp °C	Final time
Inic 0	50	0.00
1 4.00	240	36
Post Run time:	280	4.00 min

Tiempo de Análisis: 52.5 min

**Puerto de Inyección**

Modo : Split  
 Relación de Split : 1:1  
 Temp. Inicial : 200 °C  
 Tipo de Gas : Helio  
 Flujo : 1 mL/min  
 Volumen de Inyección : 0.1µL  
 Muestra inyecta : puro

Nota: El resultado obtenido en la determinación del Aceite esencial, expresa el contenido relativo en porcentaje de los compuestos volátiles que están presente. La metodología desarrollada es de acuerdo con la literatura descrita (con modificaciones)

- Pino Alea. J. A. I Curso Internacional Análisis de Aceites Esenciales Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco 2014.
- Lynam, K. 2014 Potential Allergens in Aromatherapy Oils by GC/MS Using an Agilent J&W DB-XLB Capillary Column Agilent Technologies, Inc. 2850 Centerville Road Wilmington, DE 19808 USA 5990-5293EN



Guim. Jorge Choquenaira Parí  
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y  
 Espectrometría - UNSAAC,  
 CCP - 914



### RESULTADOS

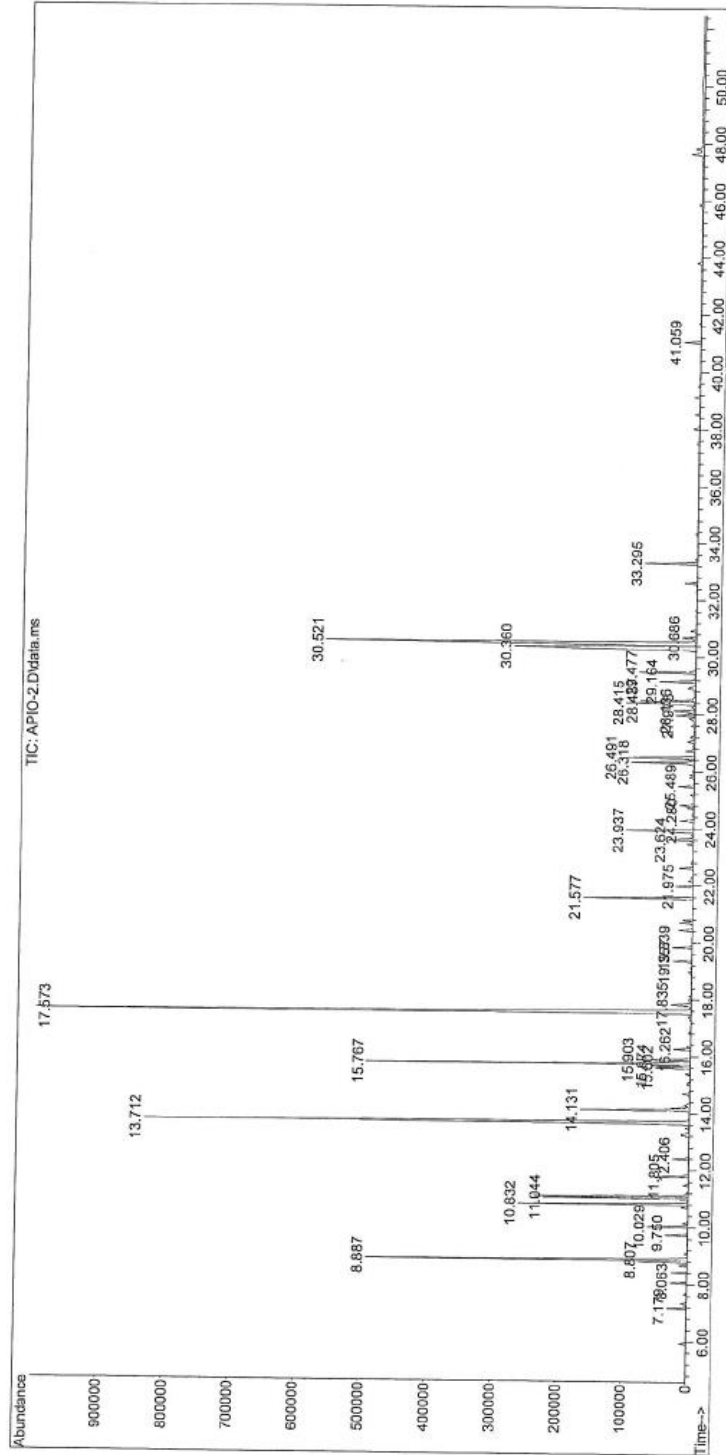
Pico	Tiempo de Retencion	Compuesto Libreria Nist 11	CAS	Qual	Contenido Relativo %
1	7.18	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	003387-41-5	94	0.3815
2	8.06	.alpha.-Phellandrene	000099-83-2	91	0.3237
3	8.81	Cyclopentene, 3-isopropenyl-5,5-dimethyl-	1000162-25-4	76	1.0533
4	8.89	Eucalyptol	000470-82-6	99	6.4444
5	9.75	.gamma.-Terpinene	000099-85-4	97	0.415
6	10.03	Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, cis-	007299-41-4	94	0.7803
7	10.83	2-Nonanone	000821-55-6	94	3.3376
8	11.04	Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.beta.,5.alpha.)-	015537-55-0	93	2.701
9	11.81	2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	029803-82-5	95	0.5165
10	12.41	2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	029803-82-5	76	0.3645
11	13.71	Terpinen-4-ol	000562-74-3	97	13.5016
12	14.13	L.alpha.-Terpineol	010482-56-1	80	2.2232
13	15.60	Benzene, 2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)-	001076-56-8	93	0.6676
15	15.77	Cyclohexanone, 5-methyl-2-(1-methylethylidene)-	015932-80-6	98	6.9933
16	15.90	Carvone	000099-49-0	96	1.129
18	17.57	Thymol	000089-83-8	95	19.8971
19	17.84	3-Methyl-4-isopropylphenol	003228-02-2	94	0.5139
20	19.36	Cyclohexene, 1-methyl-3-(1-methylethenyl)-, (+/-)-	000499-03-6	91	0.383
22	21.58	Caryophyllene	000087-44-5	99	2.3339
23	21.97	Acetic acid, dec-2-yl ester	1000367-89-6	78	0.3161
25	23.94	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-	003242-08-8	89	1.914
26	24.28	.beta.-Bisabolene	000495-61-4	96	0.3112
27	25.49	Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-.alpha.,.alpha.,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1.alpha.,3.alpha.,4.beta.)]-	000639-99-6	87	0.3254
28	26.32	(-)-Spathulenol	077171-55-2	90	1.5265
29	26.49	Longifolene	000475-20-7	92	2.1624
31	28.14	Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isopropyl-5-methyl-9-methylene-	150320-52-8	90	0.6085
32	28.42	Ethanone, 1-(4-ethylphenyl)-	000937-30-4	78	2.1455
33	28.49	.alpha.-Cadinol	000481-34-5	76	1.0399
36	30.36	Phenol, 4-heptyl-	001987-50-4	64	7.5519
37	30.52	m-Cresyl acetate	000122-46-3	42	11.6719
38	30.69	trans-ligustilide	1000365-98-8	93	0.3374
39	33.30	Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,5.alpha.)-	006876-13-7	70	1.0561



Quim. Jorge Choquehaina Parí  
Analista del Laboratorio de Cromatografía y  
Espectrometría - UNSAAC.  
COP - 914



File :D:\DATA MSD\ACEITES ESENCIALES\2019\APIO\APIO-2.D  
Operator : JCHP  
Acquired : 5 Nov 2019 18:02 using AcqMethod ACEITE ESENCIAL19.M  
Instrument: UNSSAC  
Sample Name: Aseite Esencial  
Misc Info : Aseite Esencial Apio  
Vial Number: 1



## ANEXO C

Fotografía C. 1. Acondicionamiento del equipo Extractor de aceites esenciales, Modelo UDCA-2/EV, Eleetronica Veneta de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO.



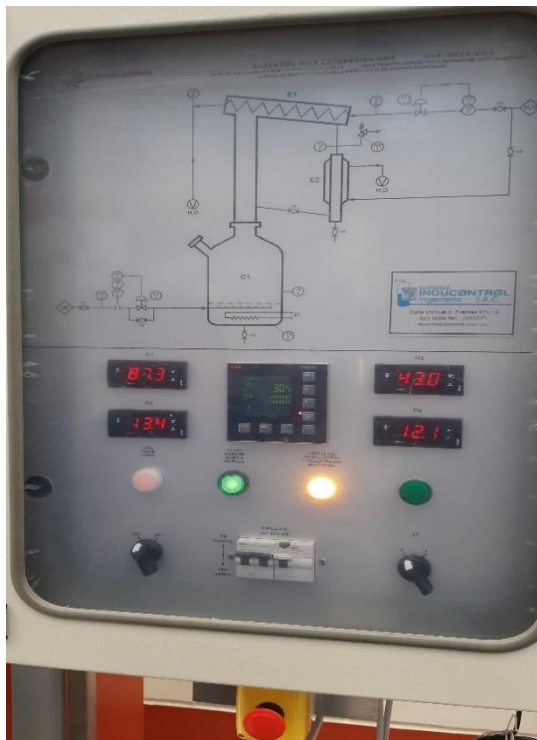
Fotografía C. 2. Pesado de la Materia Vegetal antes de iniciar el proceso de Extracción del Aceite Esencial de Apio.



Fotografía C. 3. Materia Vegetal dentro del tanque del equipo de extracción.



Fotografía C. 4. Proceso de extracción del aceite esencia de Apio (Tablero de control del equipo de extracción)





Fotografía C. 5. Vista del aceite esencial de Apio obtenido durante el proceso de extracción.



Fotografía C. 6. Envasado del Aceite esencial obtenido después del Proceso de Extracción.



Fotografía C. 7. Pesado del aceite esencial de Apio.



Fotografía C. 8. Medición del pH del aceite esencial de Apio obtenido.

