

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL
ACEITE ESENCIAL DE (*coriandrum sativum*) CILANTRO
EXTRAÍDO POR ARRASTRE DE VAPOR EN UN EQUIPO
MODULAR.**

TESIS

PRESENTADA POR:

MERCY DERY CONDORI VERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA****ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA****RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL
ACEITE ESENCIAL DE (*coriandrum sativum*) CILANTRO
EXTRAÍDO POR ARRASTRE DE VAPOR EN UN EQUIPO
MODULAR****TESIS PRESENTADA POR:****MERCY DERY CONDORI VERA****PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:****INGENIERO QUÍMICO****APROBADA POR:****PRESIDENTE:**
M.Sc. GERMAN QUILLE CANIZAYA**PRIMER MIEMBRO:**
Ing. PERCY ELOY MAMANI LUQUE**SEGUNDO MIEMBRO:**
M.Sc. LUIS ALBERTO SUPTO QUISPE**DIRECTOR / ASESOR:**
Dr. GREGORIO PALOMINO CUELA**ÁREA:** Tecnologías ambientales y recursos naturales**TEMA:** Obtención de producto industrial**LÍNEA:** Recursos naturales y medio ambiente**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 11 de junio del 2019

DEDICATORIA

En primer lugar a DIOS

Por dame la oportunidad de vivir y por guiarme por el buen camino de la vida.

A mis padre: Rubén D. Condori y Pascuala Vera.

Con todo el amor y respeto. Dar gracias por su ejemplo y sacrificio Por tenerme toda la paciencia. Estar en mis días buenos y malos, dándome

todo su apoyo incondicional, por darme el regalo más valioso que son mis estudios.

A mis hermanos Bethsy Fiorella y Euler Frank.

Con todo el cariño que les tengo, a mi hermanita que siempre ha estado a mi lado apoyándome y dándome fuerzas cada vez que me derrumbo, a mi hermanito que a pesar de la distancia sé que estas a mi lado, estoy esperando tu regreso para reír con todas tus aventuras que estas empezando a vivir.

A mi sobrino: Anthony Q.

A pesar de tu corta edad alegras mis días, con todo el cariño que me das, con toda tu inocencia eres la razón por la cual nuestra familia brilla cada día más.

A mis mejores amigos.

Desde el inicio de nuestra carrera las conozco, tantas historias juntas, lloramos como reímos hasta más no poder. Yuly M. Y. y Karen M. C. son las mejores amigas que me dio la vida, las que con una llamada me sacan una sonrisa. Les agradezco por el apoyo y la ayuda que siempre me han brindado. Vamos juntas a cumplir todas nuestras metas. Quiero verlas brillar.

A Rider Y. Puma. Eres el amigo que siempre ha estado conmigo apoyándome, sacándome de cada problema y dándome consejos. Alexandra C. Gracias por tu amistad, dándome los ánimos de seguir adelante, siempre con esa alegría que te caracteriza. Juntos empezamos nuestros proyectos y ahora quiero verlos terminar. Y Chanel que es un gran amigo, gracias por todo y cada logro te lo debo a ti.

Los quiero mucho.

A mis amigos

A todos mis amigos: Cristian A., Abdías L., Micaela S. y Yaneth C.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, darle las gracias a DIOS por haberme permitido concluir con una de mis metas, dándome entendimiento, paciencia y sobre todo sabiduría para seguir para adelante.

A la Universidad Nacional Del Altiplano por el apoyo brindado en mi formación profesional, es un honor haber culminados mis estudios en tan respetable universidad.

Al **Dr. Gregorio Palomino Cuela**, por su invaluable ayuda, su amable atención y sobre todo por la amistad que me brindo. Gracias por revisar el presente trabajo y guiarme en el transcurso del desarrollo del trabajo.

A **mis queridos ingenieros** a todos mis docentes que han estado pendientes en mi formación, y me brindaron todos sus conocimientos.

A mi Alma Mater.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	15
AGRADECIMIENTO	16
ÍNDICE GENERAL	17
ÍNDICE DE FIGURAS	20
ÍNDICE DE TABLAS	21
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	23
ABSTRACT.....	14
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1.1. Planteamiento de problemas específicos	17
1.2. HIPÓTESIS GENERAL.....	17
1.2.1. Hipótesis específicas.....	17
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	18
1.3.1. Justificación científica y/o tecnológica.....	18
1.3.2. Justificación social.....	18
1.3.3. Justificación ambiental	18
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.4.1. Objetivos específicos	19
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. Estudio de cilantro	20
2.1.1.1. Origen y distribución	20
2.1.2. Descripción y características del cilantro	21
2.1.3. Condiciones ecológicas	22
2.1.4. Requerimientos edáficos.....	23
2.1.5. Cultivares más usados.....	23
2.1.5.1. Atornillado lento.....	23
2.1.5.2. Criollo o común	23
2.1.5.3. Santo.	23

2.1.6. Preparación del suelo	24
2.1.7. Siembra	25
2.1.8. Aceites esenciales	25
2.1.9. Componentes de los aceites esenciales	26
2.1.9.1. Terpenoides	26
2.1.9.2. Compuestos aromáticos	27
2.1.10. Propiedades de los aceites esenciales	28
2.1.11. Aceite esencial de cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>).....	28
2.1.12. Métodos de obtención.....	29
2.2. MARCO CONCEPTUAL	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. MATERIALES	32
3.1.1. Localización.....	32
3.1.2. Materiales y equipo.....	32
3.2. METODOLOGÍA	33
3.2.1. Materia prima.....	34
3.2.2. Extracción por arrastre de vapor	34
3.2.3. Caracterización del aceite esencial del cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)	36
3.2.3.1. Determinación de la composición química por la cromatografía de gases, acoplado con espectro de masas (GC/MS).....	36
3.2.3.2. Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales	36
3.2.4. Diseño experimental 2 ³	38
3.2.4.1. Factores y dominio experimental.....	38
3.2.5. Diseño estadístico:	39
3.2.6. Determinación del rendimiento de aceite esencial	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. RESULTADOS DE LA OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CILANTRO (<i>CORIANDRUM SATIVUM</i>), DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y LOS COMPONENTES QUÍMICOS.	42
4.1.1. Resultados de la obtención del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>) por el proceso de extracción por arrastre de vapor.....	42
4.1.2. Resultados de la determinación de las propiedades fisicoquímicas	51

4.1.3. Resultados de la composición química por cromatografía de gases del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	53
4.2. RESULTADOS DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CILANTRO (<i>CORIANDRUM SATIVUM</i>)	56
4.2.1. Evaluación estadística del rendimiento de aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	56
4.3. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL.....	61
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIONES	65
VII. REFERENCIAS	66
ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	22
Figura 2. Heterofilia del cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	24
Figura 3. Diagrama de bloques sobre el proceso de extracción de aceite esencial de cilantro.....	33
Figura 4. Diagrama de flujo de la extracción del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>) con los datos hechos del proyecto	42
Figura 5. Cromatograma del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	56
Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	59
Figura 7. Gráficos de efectos principales para el rendimiento del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	60
Figura 8. Superficie de respuesta para el rendimiento de la extracción del aceite esencial	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación Taxonómica	20
Tabla 2.	Compuestos volátiles característicos por su aroma.	29
Tabla 3.	Dominio experimental del diseño factorial 2^3	39
Tabla 4.	Parámetros controlados en la presente investigación.....	43
Tabla 5.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 1° corrida.....	44
Tabla 6.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 2° corrida.....	45
Tabla 7.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 3° corrida.....	46
Tabla 8.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 4° corrida.....	47
Tabla 9.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 5° corrida.....	48
Tabla 10.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 6° corrida.....	49
Tabla 11.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 7° corrida.....	50
Tabla 12.	Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 8° corrida.....	51
Tabla 13.	Resultado del análisis fisicoquímico del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	52
Tabla 14.	Caracterización organoléptica del aceite esencial de cilantro (<i>corinadrum sativum</i>).....	53
Tabla 15.	Resultados de análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	54
Tabla 16.	Datos para el diseño factorial en el proceso de extraccion del aceite esencial de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>).....	57

Tabla 17. Analisis de varianza para el rendimiento en la extracción del aceite esencial	57
Tabla 18. Coeficientes de regresión.	60
Tabla 19. Rendimiento en (%) obtenido en cada prueba.	61
Tabla 20. Factores para la maximización del rendimiento	62

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AE	: Aceite esencial.
ANOVA	: Análisis de varianza.
AOAC	: Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.
AV	: Arrastre de vapor.
CG-SM	: Cromatografía de gases con espectrometría de masas.
g	: Gramos.
IA	: Índice de acidez.
IP	: Índice de peróxidos.
kg	: Kilogramo.
L	: Litros.
meq/L	: Mili equivalente por litro.
min	: Minutos.
mL	: Mililitro.
NTP	: Norma técnica peruana.
TR	: Tiempo de retención.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presenta un estudio de la caracterización fisicoquímica, los compuestos químicos del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) y el rendimiento extraído por arrastre de vapor. Con el objetivo de determinar las propiedades fisicoquímicas y la composición química por cromatografía de gases, la determinación de las variables que influyen en la extracción y la evaluación del rendimiento del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*). El proceso de extracción se realizó mediante arrastre de vapor, en el equipo de extracción por arrastre de vapor donde se analizó los siguientes parámetros: cantidad de materia prima, caudal de agua y tiempo. Con el fin de obtener el mejor rendimiento de la extracción del aceite esencial. Para los resultados se usó el diseño factorial 2^3 sin repeticiones así obteniendo el mejor resultado dándonos el rendimiento óptimo 0,07625 % (1.1 ml) de 4,0 kg de la muestra de cilantro en las siguientes condiciones: Caudal de agua 150 L/h y a un tiempo de 120 minutos, de acuerdo a la caracterización fisicoquímica la densidad 0,9400 g/mL, índice de refracción 1,513, índice de acidez 4,29% e índice de peróxidos 0,84 meq/kg, asimismo, se encontró que contiene compuestos aromáticos: Nonyl acetate (15,70%), n-decanal (15,13%), trans-2-octenal (13,23%), lauric aldehyde (5,08%), linalol (1,58%), trans-2-nonenal (1,12%), geraniol (0,08%). Se concluye que el **tiempo** influye en la extracción de la materia prima. En el caso de la cantidad y el caudal de agua si bien es cierto existe influencia en la extracción de aceite, sin embargo, estos no son significativos, verificando que si contiene compuestos químicos aromáticos.

Palabras Claves: *Coriandrum sativum*, aceite esencial, caracterización, arrastre de vapor, cromatografía de gases.

ABSTRACT

In this research, a physicochemical characterization study is presented, the chemical compounds of coriander essential oil (*coriandrum sativum*) and the performance extracted by steam drag. With the objective of determining the physicochemical properties and chemical composition by gas chromatography, the variables determination that influence the extraction and evaluation of coriander essential oil (*coriandrum sativum*) performance. The parameters influence (raw amount material, time and flow rate) was studied to obtain the essential oil. It was determined the best conditions for the process of obtaining coriander essential oil extracted by steam drag, resulting in the optimum performance (0.07625%) of 4.0 kg of the coriander plant at a flow rate of 150 L / h and at a time of 120 minutes, the optimum values being for extraction. With the help of a factorial design (2^3) without repetitions we conclude that time influences the extraction with the raw material. In the quantity case and flow rate, although it is true that there is influence in the extraction of oil, however, these aren't significant, in terms of physicochemical characterization, we found the density (0.9400 g / mL), refractive index (1.513), acidity index (4.29%) and peroxide index (0.84 meq / kg), the chemical compounds analysis by gas chromatography coupled to mass spectrometry, where the major compounds were: nonyl acetate (15.70%), n-decanal (15.13%), trans-2-octenal (13.23%), lauric aldehyde (5.08%), linalool (1.58%), 2-nonenal (1.12%), geraniol (0.08%). Verifying that it contains aromatic chemical compounds.

Key Words: *Coriandrum sativum*, essential oil, characterization, steam drag, gas chromatography.

I. INTRODUCCIÓN

El mercado mundial de los aceites esenciales, está en crecimiento constantemente, y está en numerosas industrias como: industrias cosméticas, farmacéuticas, industrias de plaguicidas, industrias de productos de limpieza, generando una continua renovación de la tecnología empleada para obtener estos productos (Morocco, 2017). Incentiva la optimización de los equipos empleados en la extracción de aceites esenciales con la finalidad de aumentar su rentabilidad y eficacia (Cardenas, 2014).

El (*coriandrum sativum* L.) cilantro llamado también coriandro es una hierba anual, perteneciente a la familia de las Apiáceas, antes llamadas Umbelíferas, ya que se cultiva desde 5000 años A.C.(Hernández, 2003). Suele alcanzar una altura variable entre 0,20 y 1,40 m, con los tallos numerosos, lisos, cilíndricos y ramificados en la parte superior, de corteza negruzca y con las ramitas jóvenes pubescentes. Originario del Sur de Europa, Norte de África y Cáucaso. Desde la antigüedad ha sido cultivada, fue una de las hierbas importadas y cultivadas en la colonia de la bahía de Massachusetts (Rogers & Fischetti, 1980). En la actualidad, su cultivo y uso comercial son casi mundiales.

La planta se cultiva ampliamente en todo el mundo para obtener, como especia o como producción de aceites esenciales. En una época, el cilantro fue una de las plantas de aceites esenciales más importantes del mundo(Lawrence, 1993). El cilantro es de importancia económica y es utilizado como agente saborizante en productos alimenticios, perfumes y cosméticos (Msaada, Hosni, Taarit, & Ouchikh, 2009).

Además, se ha demostrado que los aceites esenciales de cilantro poseen propiedades antibacterianas (Burt, 2004),(Cantore, Iacobellis, De Marco, & Capasso, 2004), antioxidantes (Wangenstein, H. Samuelsen, A.B. Malterud, 2004),

antidiabéticas. Actividades anticancerosas y antimutagénicas. En muchos estudios se han reportado evaluaciones de la composición del aceite esencial extraído de las hojas haciendo cada vez más importante su utilización (Msaada et al., 2009).

Según Punina, Danilo, & Chicaiza, 2010 establece que la extracción por arrastre de vapor de agua es uno de los principales procesos utilizados para la extracción de aceites esenciales. La muestra vegetal generalmente cortada en trozos pequeños y en buen estado, es encerrada en una cámara inerte y sometida a una corriente de vapor de agua sobrecalentada. La esencia así arrastrada es posteriormente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa. Esta técnica es muy utilizada especialmente para esencias fluidas, especialmente las utilizadas para perfumería. Se utiliza a nivel industrial debido a su alto rendimiento, la pureza del aceite obtenido y por qué no requiere tecnología sofisticada (Martínez, 2001).

En el presente trabajo evaluamos o investigamos la composición química y análisis fisicoquímico del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) extraído por arrastre de vapor, así mismo evaluamos el rendimiento de la extracción del aceite esencial extraído en ciertos parámetros.

Para determinar la composición química del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) nos basamos en la técnica de cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (CG-MS).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es el rendimiento obtenido y caracterización fisicoquímica por cromatografía de gases del aceite esencial de (*coriandrum sativum*) cilantro extraído por arrastre de vapor en un equipo modular?

1.1.1. Planteamiento de problemas específicos

- ¿Cuáles serán las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de cilantro?
- ¿Cuál son las variables de operación óptimas en la obtención del aceite esencial de cilantro?
- ¿Cuál será el rendimiento de la obtención del aceite esencial del cilantro mediante la metodología de extracción por arrastre de vapor?

1.2. HIPÓTESIS GENERAL

Se encontró un rendimiento óptimo en la operación de extracción al usar las variables planteadas y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de (*coriandrum sativum*) cilantro.

1.2.1. Hipótesis específicas

- El aceite esencial de la planta de cilantro (*coriandrum sativum*), permite determinar las propiedades fisicoquímicas, mediante el extraído por arrastre de vapor por el equipo modular y análisis cromatográfico del cilantro, identificándose componentes aromáticos diversos.
- Se encuentra que las variables utilizadas influyen en la extracción y caracterización del aceite esencial de (*coriadrum sativum*) cilantro.
- El rendimiento promedio será óptimo del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.3.1. Justificación científica y/o tecnológica

Los aceites esenciales son mezclas de sustancias volátiles de origen natural caracterizado por poseer un fuerte olor, contenidas en plantas. La determinación sobre la caracterización tanto física como química nos permitirá diseñar la tecnología en la extracción y aprovechamiento del aceite esencial del cilantro que posteriormente puede ser utilizado con fines industriales. Se pretende dar un mayor valor agregado al cilantro, con el fin de alcanzar mayores beneficios en la industria alimentaria, poder potenciar la agricultura tanto regional – nacional y motivar a la comunidad científica, compañías farmacéuticas a realizar estudios básicos, caracterización, extracción y purificación de los componentes de los componentes químicos de aceites esenciales.

1.3.2. Justificación social

De manera general, se puede confirmar que el aceite de cilantro actúa como antioxidante, antiinflamatorio, bacteriano y en la industria cosmetológica (perfumes y en algunos cosméticos). Con el desarrollo de la industria de aceites esenciales en nuestra región y el país se aprovechan las zonas forestales responsablemente manteniendo el medio ambiente, se generarían puestos de trabajo, permitiendo que las personas que se dedican a esta actividad.

1.3.3. Justificación ambiental

En la actualidad, si hablamos sobre impacto ambiental es fundamental en el análisis del beneficio que ocasiona un método de extracción. Por ese motivo es muy importante analizar las emisiones a la atmosfera, las emisiones provienen del generador de vapor y de la torre de enfriamiento del agua. Los efluentes líquidos se producen en el

proceso de extracción y por lo general son agua, por lo cual se vierte en el alcantarillado directamente.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento de la extracción, su caracterización fisicoquímica mediante cromatografía de gases del aceite esencial, extraído por arrastre de vapor en un equipo modular.

1.4.1. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y aromáticas del aceite esencial del cilantro por método cromatográfico.
- Determinar las variables que influyen en la extracción del aceite esencial de cilantro por arrastre de vapor.
- Evaluar el rendimiento del aceite esencial obtenido.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Estudio de cilantro

2.1.1.1. Origen y distribución

(Raymond, 1982) Su introducción a América Latina fue en 1519 durante la colonización y después a través de Massachussets. Estados unidos en 1670 por inmigrantes europeos. Se cultiva en Europa, Medio Oriente, Norte de la India, Asia Menor y América (Rodale, 1991).

Tabla 1. Clasificación Taxonómica

Reino	Vegetal
División	Angiospermae
Serie	Calyciflorae
Clase	Dicotyledónea.
Sub-clase	Polypetalae
Orden	Umbeliflorales (Apiales).
Familia	Umbeliferae J (Apiaceae).
Genero	Coriandrum.
Especie	Coriandrum Sativum L.

Fuente: (Andrade, 1999)(González, 2017)

Nombre científico: *coriandrum sativum* L.

Nombres vulgares españoles: Según (Gordillo, 2000)

- Cilantro
- Culantro
- Culandro
- Colendro

- Cilantro
- Coriandro

Nombre vulgares extranjeros: Según Gordillo, 2000 establece que:

- **Italiano:** coriandolo
- **Francés:** coriandre
- **Alemán:** koriandre
- **Inglés:** Coriander

2.1.2. Descripción y características del cilantro

El sistema radical del cilantro (*coriandrum sativum*) es fino y sencillo, su raíz principal es axonomorfa, muy delgada y altamente ramificada, por estas características es muy difícil su trasplante. El tallo es dicotómico, delgado, cilíndrico, hueco, suave, herbáceo y erecto, llega a medir hasta 90 cm de altura. Las hojas están formadas con dos tipos de folíolos, los inferiores, son anchos, ovales y provistos de lóbulos dentados, los superiores, están divididos en cuatro o cinco segmentos largos y estrechos. El color de las hojas es verde intenso, aunque en otras ocasiones puede ser verde-amarillo. La inflorescencia es una umbela compuesta, tiene flores hermafroditas y estaminadas, de color blanco o ligeramente rozado, pentámera. El fruto es un esquizocarpio de tres a cinco milímetros de diámetro, color amarillo oscuro, esférico, formado por dos pequeñas mitades semiesféricas acopladas una contra otra (diaquenio) y tiene estrías que son pequeños conductos que contiene aceite esencial. En su fruto contiene dos semillas aplanadas de dos a tres milímetros de largo. Para que las semillas tengan capacidad de germinación, es necesario dejarlas secar a la sombra por tres meses después de la cosecha. La viabilidad de la semilla puede durar de seis a ocho años (simonetti, 1991)(Esau, 1959)(Font, 1978).



Figura 1. Planta de cilantro (*coriandrum sativum*)

Fuente: (González, 2017)

2.1.3. Condiciones ecológicas

Según Chavez, 2016 establece que el cultivo del cilantro, requiere de condiciones ecológicas optimas, para su desarrollo como temperatura, precipitación pluvial, luminosidad, viento, humedad, además también ejercen fuerte influencia sobre el comportamiento de las plantas, delimitando las áreas productoras de diversas especies hortícolas, por tanto es necesario tener conocimiento de estos factores para determinar así la época más apropiada en el desarrollo óptimo de nuestros cultivos

El cilantro es una planta anual de fácil y rápido crecimiento, prefiere el sol, pero crece bastante bien en la sombra parcial. En diversos autores citaron que la temperatura óptima de germinación varía de 15 a 30 °C y que los mejores resultados se obtiene con temperaturas de 27 y 22 °C durante el día y la noche, respectivamente, con un tiempo necesario para germinar de 10 a 21 días (Chávez, 2016). Clasifico al cilantro como una hortaliza de clima frio cuya temperatura media mensual de crecimiento debe ser de 15 a 18 °C, por lo cual, es probable que este cultivo requiere de días corto y de noches con

temperaturas fresca. Por su parte, reportaron que el cilantro resiste a bajas temperaturas siendo críticas de -8 a -9 °C para el sistema radicular y de -13 a -14 °C para el follaje.

2.1.4. Requerimientos edáficos

El cilantro suele dar en suelos de textura media con una cantidad media de materia orgánica. Los suelos de profundidad media son los más óptimos para una buena producción (Zavala, 1992).

2.1.5. Cultivares más usados

2.1.5.1. Atornillado lento

Fernandez, 1989 nos dice que da como resultado un 80% mínimo de germinación, con un ciclo agrícola de 60 a 100 días después en otoño – invierno. La emergencia se da de 10 a 11 días, con 6 a 10 peciolo por planta a cosecha. El inicio de germinación se presenta a los 95 días o más en la siembra de otoño–invierno

2.1.5.2. Criollo o común

El ciclo agrícola es de 90 a 120 días en otoño–invierno y de 60 a 90 días en primavera–verano, dependiendo a las temperaturas que se presenten en el desarrollo del cultivo. Es una planta con hojas pequeñas y poca altura, por lo que se obtiene bajos rendimiento. Su aroma fuerte y agradable lo hace ser un material apreciado (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

2.1.5.3. Santo.

Tallo largo y fuerte, hojas color verde intenso con excelente sabor y aroma, follaje abundante y erecto, se puede cultivar todo el año. Tolerante a sequía, heladas y enfermedades, es una variedad tardía de 20 a 120 días, rendimiento altos con 60 t.ha⁻¹ (Fernandez, 1989).



Figura 2. Heterofilia del cilantro (*coriandrum sativum*)

Fuente: (Diederichsen & International Plant Genetic Resources Institute., 1996)

En la **figura 2** a) hojas basales más grande, b y c) hojas de la mitad del tallo, d) hoja superior

La forma de la hoja en la parte en la parte basal es generalmente si división con tres lóbulos, mientras que las hojas en cada nudo son más grandes y semi-divididas. Las hojas superiores tienen cortes profundos y forma lanceolada, mientras que las hojas bajas presentan tallos. El peciolo de las hojas superiores es pequeño y al estar juntas parece una vaina. Las hojas son de color verde o verde claro con una ligera capa cerosa y son alternas. Las primeras se recolectan a menudo en una roseta y a veces se tornan rojas o violetas durante el periodo de floración (Diederichsen & International Plant Genetic Resources Institute., 1996).

2.1.6. Preparación del suelo

Esta labor es de gran importancia, ya que según al buen desarrollo del cultivo, así como la realización de otras labores. Es necesario dar un barbecho a una

profundidad aproximada de 30 cm y el número de rastreos dependerá del tipo de suelo, posteriormente se nivela y se forman las camas o surcos (Escalante, 2007)

2.1.7. Siembra

Según Paz, 1999 establece que el sistema de siembra puede practicarse en surcos, parcela de tierra preparada o en plano, para este último la siembra se hace al voleo o a chorrillo (consiste en realizar un surco más o menos profundo en el suelo y esparcir las semillas de forma continua y lineal) mientras que en melgas se hace en forma a siembra a golpe y a chorrillo, para el cilantro como verdura y al voleo para producción de semilla.

2.1.8. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son una mezcla de sustancias volátiles, que hace la producción del metabolismo secundario de las plantas en cuya composición interviene una proporción de hidrocarburos de la serie polimetilénica del grupo de los terpenos que corresponden a la fórmula $(C_5H_8)_n$ junto con otros compuestos casi siempre oxigenados (alcoholes, esterés, éteres, aldehídos y compuestos fenólicos) (Flores, 2010)

Los aceites esenciales dan el aroma característico a algunas flores, hojas y semillas, son productos químicos intensamente aromáticos, volátiles y poco densos (Flores, 2010)

Por lo general son mezclas complejas de hasta de 100 o más componentes que pueden ser: compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, esterés y ácidos), monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos. Estos metabolitos secundarios cubren a grandes rasgos los efectos farmacológicos mostrando diversas propiedades biológicas, como propiedades antiinflamatorias, antioxidante, y anticancerígenos

Por lo general destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética (perfume y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéuticas.(Rodríguez, 2014) Están presentes en forma minúsculas gotas en las hojas, en piel de frutos, en recia, en ramas o tallo y las semillas.

Desde el punto de vista químico los aceites esenciales se clasifican de acuerdo con el tipo de sustancias de los componentes mayoritarios.

2.1.9. Componentes de los aceites esenciales

Mezclas complejas y muy variables de constituyentes que corresponden, de manera casi exclusiva, a dos grupos caracterizados por orígenes biológicos distintos: el grupo de los terpenoides por una parte y el grupo de los compuestos aromáticos derivados del fenilpropano, mucho menos frecuentes (Bruneton, 2001).

2.1.9.1. Terpenoides

Nos dijo Bruneton, 2001 en los aceites esenciales solo se encuentran los terpenoides más volátiles: monoterpenos y sesquiterpenos

a) Monoterpenos

Casi siempre se hallan como hidrocarburos. Estos pueden ser acíclicos (mirceno), monocíclicos (α - y γ -terpineno, ρ -cimeno) o bicíclicos. A veces constituyen más del 90% del aceite esencial.(Bruneton, 2001)

Existen numerosas moléculas funcionalizadas:

- **Alcoholes:** acíclicos (geraniol, linalol, citronelol), monocíclicos (mentol, α -terpineol, 1-terpinen-4-ol), bicíclicos (borneol, fenchol).
- **Aldehídos:** generalmente acíclicos (geranial, neral, citronelal).

- **Cetonas:** acíclicas (tagetona), monocíclicas (mentona, isomentona, carvona, pulegona), biclícicas (alcanfor, fenchona, tuyonas).
- **Esteres:** acíclicos (acetato o propionato de linalilo, acetato de citronelilo), monocíclicos. (acetato de mentilo, acetato de α -terpenilo), bicíclicos (acetato de isobornilo).
- **Éteres:** 1,8-cinelol.
- **Peróxidos:** ascaridol.
- **Fenoles:** timol, carvacrol.

b) Sesquiterpenos

Son variaciones estructurales, siendo los más frecuentes hidrocarburos, alcohol y cetonas. El alargamiento de la cadena aumenta el número de ciclaciones posibles, de ahí la gran variedad de estructura conocidas (más de una centena de esqueletos diferentes). Algunos de los sesquiterpenos característicos de los aceites esenciales: hidrocarburos mono o policíclicos (β -bisaboleno, β - cariofileno, longifoleno), alcoholes (farnesol, carotol, β -santalol, patchulol), cetonas (nootkatona, cis-longipinano-2,7-diona, β -vetivona), aldehídos (sinensales), esterres (acetato de cedrilo) (Bruneton, 2001).

2.1.9.2. Compuestos aromáticos

Bruneton, 2001 establece que los derivados de fenilpropano (C_6-C_3) son mucho menos frecuentes que los terpenoides. Generalmente son alil- y propenil – fenoles, aldehídos, característicos de definidos aceites esenciales de apiaceae: anís, hinojo, perejil, cilantro, etc.: anetol, anisaldehído, apiol, metil-chavicol (=estragol), pero también de los clavo, nuez moscada, estragón, albahaca, (calamo aromático), canelas (eugenol, safrol, asaronas, cinamaldehído).

También se pueden hallar compuestos en $C_6.C_1$, como la vainillina o como el antranilato de metilo. Las lactonas derivados de los ácidos cinámicos (cumarinas) al ser, al menos las más sencillas de ellas, pueden ser arrastrados por corriente de vapor de agua, se encontrarán en algunos aceites esenciales (Bruneton, 2001).

2.1.10. Propiedades de los aceites esenciales

Rodríguez, 2014 nos indica que desempeñan un papel importante en el ciclo de la vida de las plantas de transmitir y proporcionar información con el ambiente que las rodea, poseen cualidades tan diversas que generan redes interactivas muy complejas con implicaciones ecológicas, fisiológicas y atmosférica.

2.1.11. Aceite esencial de cilantro (*Coriandrum sativum*)

Variedad estudios han demostrado que los aceites esenciales son antioxidantes naturales y pueden ser utilizados en la conservación de los alimentos (Sahib et al, 2013) finalizaron que las propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antidiabéticas, ansiolíticas, antiepilépticas, antidepresivas, antimutagenicas, antiinflamatorias, antidislipidemicas, antihipertensivas, neuroprotectoras y diuréticas del cilantro pueden notarse a los componentes bioactivos presentes aceite esencial. Del mismo modo (Ramadan et al, 2008), demostraron que el aceite esencial de cilantro tiene propiedades hipocolesterolemicas en ratas alimentadas con una rica dieta en colesterol.

(González, 2017) En diferentes estudios se ha determinado que el aceite esencial de cilantro contiene aproximadamente 30% de hidrocarburo terpenico y 70% de compuestos. Siendo el principal componente del aceite esencial de cilantro el linalol, también conocido como coriandrol. (Anitescu et al, 1997) En otros, estudios se ha probado que el aceite de cilantro contiene linalol, geraniol, terpinen-4-ol, α -terpineol, c-

terpinterpino, limoneno, α -pineno, canfeno, alcanfor de mirceno, acetato de geraniol y acetato de linalilo (**Tabla 2**)

Tabla 2. Compuestos volátiles característicos por su aroma.

N°	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (%)	DESCRIPCIÓN DE OLOR
1	α -pineno	2,3-23,2	A madera, picante, aceitoso
2	Linalol	57,5-75,1	Agradable, alimonado, herboso
3	Terpineol	0,08-5,3	Dulce
4	Citronellol	0,6-1,6	A rosa, a dulce
5	Geraniol	0,5-2,3	Dulce, a rosa
6	Acetato de geranyl	8,9-24,5	Agradable, rosa floral

Fuente: (Ravi et al, 2007)

2.1.12. Métodos de obtención

Por destilación a vapor, por presión, enfleuraje y otros

Destilación por arrastre de vapor de agua

Se aplica para aceites que tienen fuerte componente volátil y se basa en la característica que tiene estos componentes de ser fácilmente transportables por partículas de vapor acuoso en movimiento. El rendimiento de esta técnica es muy bajo a la escala de esencia que contiene la materia prima (oscila entre 0,02% de la materia prima y el 2 o 3% de la mayoría de esencias) (Rodríguez, 2014).

Según Cordova, 2012 establece que este método de extracción se basa en colocar el material vegetal en el interior del recipiente destilador, haciendo hervir esta en vapor en camisa, fuego directo o serpentina así logrando desprender de esta forma vapores saturados húmedos y el material vegetal es supeditado a una corriente de vapor de agua,

la mezcla de agua y aceite esencial es arrastrada más adelante es condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa.

Primeramente, en el proceso se tiene la mezcla de dos líquidos inmiscibles, el método de arrastre de vapor consiste en la vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto de la corriente directa de vapor de agua, el cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y adicionar presión de vapor a los componentes volátiles del aceite esencial. Los vapores que salen del tanque de destilación se enfría en un condensador en la que retornan a la fase líquida, los dos productos inmiscibles (agua y aceite) y en su última la separación del agua y aceite se efectúa por decantación (Cordova, 2012).

La técnica de presión

Este método es muy antiguo utilizada primeramente por los egipcios para extraer la esencia de los pétalos de las flores. En la actualidad se usa este método para extraer las esencias de los cítricos, como el limón, la naranja, etc. Se coloca bajo presión la piel externa fresca de la fruta (Rodríguez, 2014).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Aceite esencial:** Es una mezcla de varias sustancias químicas bio sintetizadas por las plantas.
- **Destilación por arrastre de vapor:** Se lleva cabo la vaporización selectiva del componente volátil de una mezcla formada por este y otros “no volátiles”.
- **Concentración:** Es una noción que describe a la relación, asociación o proporción que se puede establecer al comparar la cantidad de soluto (es decir, la sustancia capaz de disolverse) y nivel de disolvente (es decir, la sustancia que logra que el soluto se disuelva) presentes en una disolución.

- **Cilantro:** Es una hierba beneficiosa para el organismo, siendo muy utilizada tanto su semilla como su hoja fresca en el mundo culinario tanto de comidas saladas como de comidas dulces, su fragancia es codiciada para la industria de licores, perfumes, tabaco, etc.
- **Caracterización:** Es la determinación de aquellos atributos peculiares que presenta una persona o una cosa y que por tanto la distingue claramente del resto de su clase.
- **Diseño experimental:** Es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. Se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.
- **Rendimiento:** Es la proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue.
- **Análisis cromatográfico:** Es un tipo de separación física de las mezclas homogéneas, que permite no solo la determinación del número de componentes, sino también su identificación por color. Esta técnica se basa en la migración diferencial de tales componentes que tienen diferentes interacciones con dos fases, la fase móvil y la fase estacionaria.
- **Composición química:** Son aquellas sustancias que se encuentran presentes en una determinada muestra y en las cantidades en las cuales se encuentra dispuestas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Localización

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios (LOPU) de la Facultad De Ingeniería Química De La Universidad Nacional Del Altiplano-Puno.

Al seleccionar la destilación por arrastre con vapor como el procedimiento desarrollado por ser apta desde el punto de vista económico y técnico, fácil de implementar.

La planta de cilantro adquiridas en la ciudad de Puno, se llevó hasta el Laboratorio De Operaciones Unitarias (LOPU) de la Facultad De Ingeniería Química - Puno. Se seleccionó, separando las impurezas y el debido acondicionamiento físico.

3.1.2. Materiales y equipo

Materia vegetal

Hojas frescas de la especie:

- *Coriandrum sativum* procedente de la ciudad de Puno – Perú

Insumos

- Agua de la red pública

Materiales

- Material de acero (regla, soporte universal, bandejas, tijeras)
- Balanza analítica

- Buretas
- Botellas de color ámbar

Equipos

- Equipo modular de extracción de aceite esencial (MOD. UDCA-2/EV)
- Cromatografía de gas agilent technologies 5975 B inert XL EI/CI MSD
- Compresor (MOD. LVA-65)
- Generador de vapor. Generador de vapor eléctrico SC-5000

3.2. METODOLOGÍA

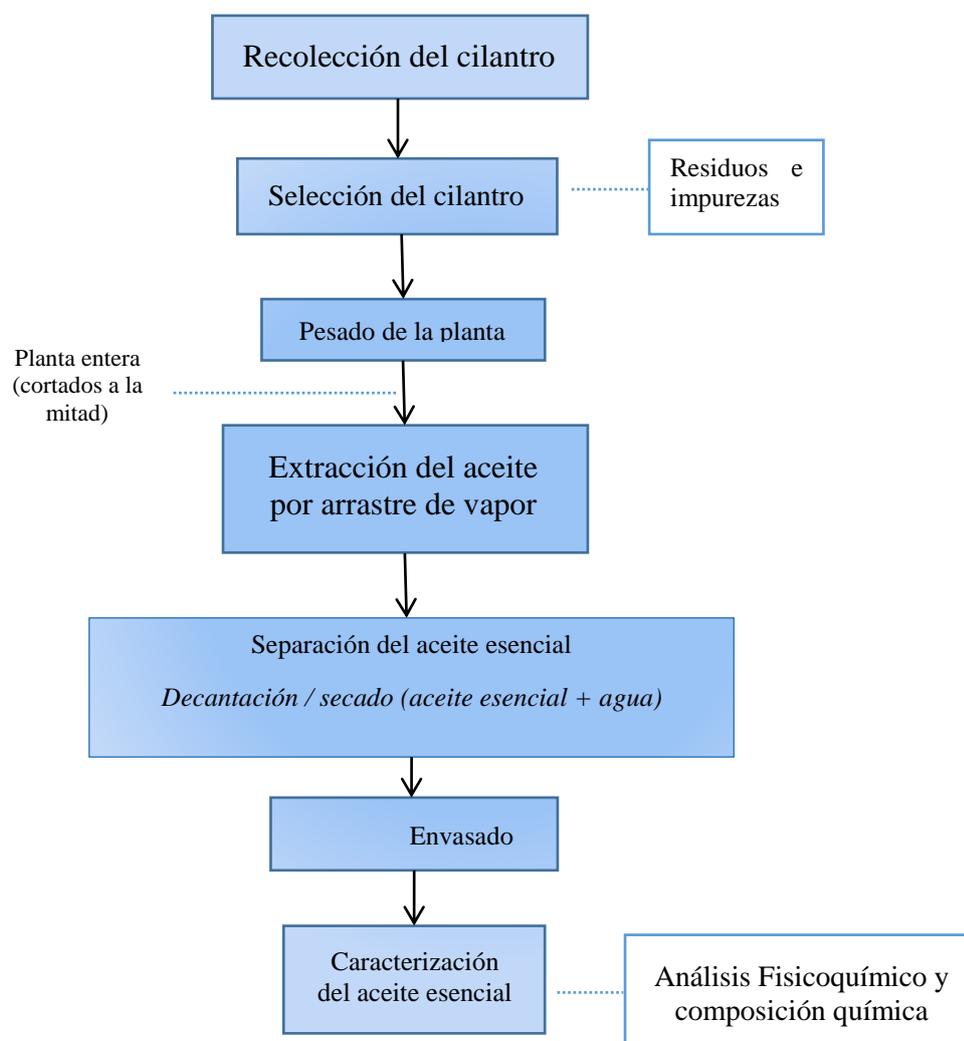


Figura 3. Diagrama de bloques sobre el proceso de extracción de aceite esencial de cilantro.

3.2.1. Materia prima

1. Preparación de la materia prima.

Se realizó la selección de las plantas frescas y jóvenes de cilantro.

2. Pesado de las plantas de cilantro (*coriandrum sativum*):

Para el desarrollo experimental de la caracterización fisicoquímica y análisis de los compuestos químicos aromáticos del aceite esencial de las plantas de cilantro (*coriandrum sativum*), se recolecto:

- Un total de 32 kg de la planta de cilantro, la planta fresca fue picada de tamaño más pequeño para un mejor rendimiento

3.2.2. Extracción por arrastre de vapor

El presente trabajo se realizó mediante destilación de arrastre por vapor ya que por este sistema no se alcanza grandes temperaturas, correspondiendo a la destilación con vapor de baja presión y a la vez se produce muy poca descomposición de la materia prima (*coriandrum sativum*).

El proceso de destilación por arrastre por vapor de agua favorece a los costos de operación que son relativamente bajo, presenta mayor capacidad de producción y alto rendimiento, siendo así el método más empleado en la industria de los aceites esenciales (Loaysa, 1998)

Equipo de extracción de aceite esencial por arrastre por vapor de agua cuenta con los debidos controles que permite el fácil acondicionamiento a las necesidades del diseño que se requiere.

Cargado de la muestra: La muestra se cargó al extractor con un peso de 4,0 y 5,0 Kg de cilantro por proceso, todo ello implicó el 50% - 55% de la capacidad del equipo.

Insuflado de vapor: El agua calentó hasta su punto de ebullición en la cámara del generador de vapor, de modo para que se produzca vapor, este ingresa por la parte inferior del extractor difundándose entre las hojas.

Generador de vapor: Cuenta con un ablandador de agua en la entrada cuya finalidad es ablandar el agua que ingresa a través de una bomba de activación automática. El generador de vapor opera a una presión máxima de 5 bares.

Condensado: La mezcla de agua y aceite ingreso al condensador donde se obtuvo como producto una emulsión líquida compuesta por agua y aceite esencial. Considere el inicio de la extracción cuando se presencié con la primera gota del condensado.

Decantación: Para la obtención del producto, se realizó la transferencia de la emulsión a una pera de decantación en donde por diferencia de densidad tanto el agua como el aceite se separan, formando dos fases.

Producto (aceite esencial): Por cada muestra obtuvimos del resultado de una cantidad de aceite esencial obtenido fue envasado en frascos de vidrio color ámbar, posteriormente se almacena a temperatura bajas entre (4 - 5 °C), para así hacer el análisis de su composición química por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y su análisis fisicoquímico del aceite esencial de cilantro.

3.2.3. Caracterización del aceite esencial del cilantro (*coriandrum sativum*)

3.2.3.1. Determinación de la composición química por la cromatografía de gases, acoplado con espectro de masas (GC/MS)

El aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) obtenido, se sometió a un análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (agilent technologies 5975B inert XL EI/CI MSD). Se usó una columna capilar de sílice fundida HP-5MS de 30 metros x 0,25mm recubierto con una fase estacionaria de (5%-fenil)-metil-siloxano de 0,25 μ de espesor. Como gas de arrastre se empleó helio a un flujo de 1ml/min. La temperatura del horno fue programada 5°C \times min, hasta 240°C. La temperatura inicial fue de 60 °C, el modo de inyección fue “Split”. Para determinar la composición química del aceite esencial. El análisis se realizó en el Laboratorio De Cromatografía Y Espectrometría. Pabellón De Control De Calidad De La Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco.

Según Msaada et al., 2009, establece que el aceite esencial de cilantro se define según la cantidad y tipo de componentes químicos que dependerá de la maduración de la planta.

3.2.3.2. Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales

Se determinó la densidad, índice de acidez, índice de peróxidos, índice de refracción del aceite esencial del cilantro (*coriandrum sativum*). El análisis se realizó en el Laboratorio De Cromatografía Y Espectrometría. Pabellón De Control De Calidad De La Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco.

Las condiciones de análisis fueron por AOAC.

- Determinación de la densidad: según AOAC 965,33 modificado
- Determinación del índice de acidez: según AOAC 965,33 modificado

- Determinación del índice de peróxidos: según AOAC 965,33 modificado
- Determinación del índice de refracción: según AOAC 965,33 modificado

Densidad

La densidad es una propiedad característica, significa que es específica de cada materia y depende de sus características internas y no de la cantidad de ella, lo cual permite diferenciar a un material de otro con la ayuda de otras propiedades. En una sustancia es una medida que nos dice cuanta materia hay de esa sustancia en cierto espacio (Punina et al., 2010).

Para su determinación se utilizó el método gravimétrico (micro capilar) a una temperatura de 17,3 °C.

- **Índice de acidez**

El índice de acidez (IA) es el contenido en tanto por ciento de los ácidos libres en el aceite. Expresa el número de miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar los ácidos grasos libres en 1g de aceite o grasas (Dirección General De Normas De Mexico, 2012).

Se utilizó por el método de volumetría.

- **Índice de peróxidos**

El índice de peróxidos (IP), es el método clásico para medir la oxidación de las grasas y aceites. Mediante este método se mide la concentración de los intermedios inestables, formados en la primera fase del proceso de oxidación, posteriormente se descomponen para dar los compuestos secundarios de oxidación (Castillo, 2007)

Se analizó por el método de volumetría según la normativa AOAC.

- **Índice de refracción**

El índice de refracción de una sustancia es, la relación entre la velocidad de un rayo de luz en el vacío y la velocidad de la luz a través de la sustancia, es decir la relación aire-sustancia. Es igualmente la relación del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción (Organización Internacional De Normalización, 1998). Es el método óptico, que guarda relación directa con la pureza de un aceite esencial.

Se utilizó un refractómetro ABBE. La medición se realizó a 20 °C. Es importante tomar en cuenta la temperatura. Según la normativa AOAC.

3.2.4. Diseño experimental 2³

Se planteó el objetivo de conocer si los factores tiempo, cantidad de la materia prima y flujo del caudal y sus interacciones influyen significativamente en la cantidad del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*), medida como el rendimiento del aceite extraído por arrastre con vapor de agua.

El estudio del porcentaje de aceite esencial y la variación relativa de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*), se realizó mediante un diseño factorial 2³,

3.2.4.1. Factores y dominio experimental

Se analizaron las causas de variación de la en la composición relativa de cilantro (*coriandrum sativum*) obtenido por extracción por arrastre con vapor de agua.

Tabla 3. Dominio experimental del diseño factorial 2³

Factores	Dominio experimental	
	Nivel -	Nivel +
Cantidad de materia prima (Kg)	4	5
Caudal de agua (L/h)	150	200
Tiempo (min)	90	120

Los factores cantidad de materia prima (Kg), Flujo de caudal (L/h) y Tiempo (min) son variables cuantitativas y sus notaciones habituales se indican con (-) al extremo inferior y (+) al extremo superior, por lo que sus dominios experimentales se expresan con los valores mínimos y máximos.

- **Variables dependientes**

Porcentaje de rendimiento del aceite esencial

- **Tratamiento:**

Para realizar las pruebas experimentales, se empleó un diseño experimental 2³ obteniendo un total de 8 tratamientos sin repeticiones.

3.2.5. Diseño estadístico:

Según (Gutiérrez et al) Un diseño factorial 2³, se supone que el comportamiento de la respuesta Y puede describirse mediante el modelo de efectos:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{jk} + (\beta\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, a, j = 1, 2, \dots, b, k = 1, 2, \dots, c$$

Dónde:

Y_{ijk} es la variable de respuesta de la i, j, k –ésima unidad muestreada experimental

μ Es el efecto medio global

α_i Efecto del i -ésimo del factor A

β_j Efecto del j -ésimo del factor B

γ_k Efecto del k -ésimo en el factor C

$(\alpha\beta)_{ij}, (\alpha\gamma)_{jk}, (\beta\gamma)_{ik}$ Representa efectos de interacción dobles (de dos factores) en los niveles ij, jk, ik , respectivamente.

ε_{ijk} Efecto Del Error Experimental.

Los datos obtenidos del aceite esencial, fueron analizados posteriormente con los análisis de varianza (ANOVA) para determinar la relación que existe (Araujo, 2018)

3.2.6. Determinación del rendimiento de aceite esencial

Para determinar el rendimiento del aceite esencial, se tomó como referencia, el peso (g) de aceite esencial extraído sobre la cantidad del material vegetal (g), con ayuda de una balanza analítica.

(Granados Conde, Yáñez Rueda, & Santafé Patiño, 2012) rendimiento de la extracción del aceite del cilantro (*coriandrum sativum*) se obtuvo por el medio de la ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_p}{P_m} \times 100$$

P_p : Peso del producto (g)

P_m : Peso de la materia prima (g)

En el trabajo realizado el tiempo de extracción fue de 120 min para que no se degrade el aceite esencial por exceso de calentamiento y a 90 min para asegurar un rendimiento suficiente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CILANTRO (*CORIANDRUM SATIVUM*), DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y LOS COMPONENTES QUÍMICOS.

4.1.1. Resultados de la obtención del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) por el proceso de extracción por arrastre de vapor.

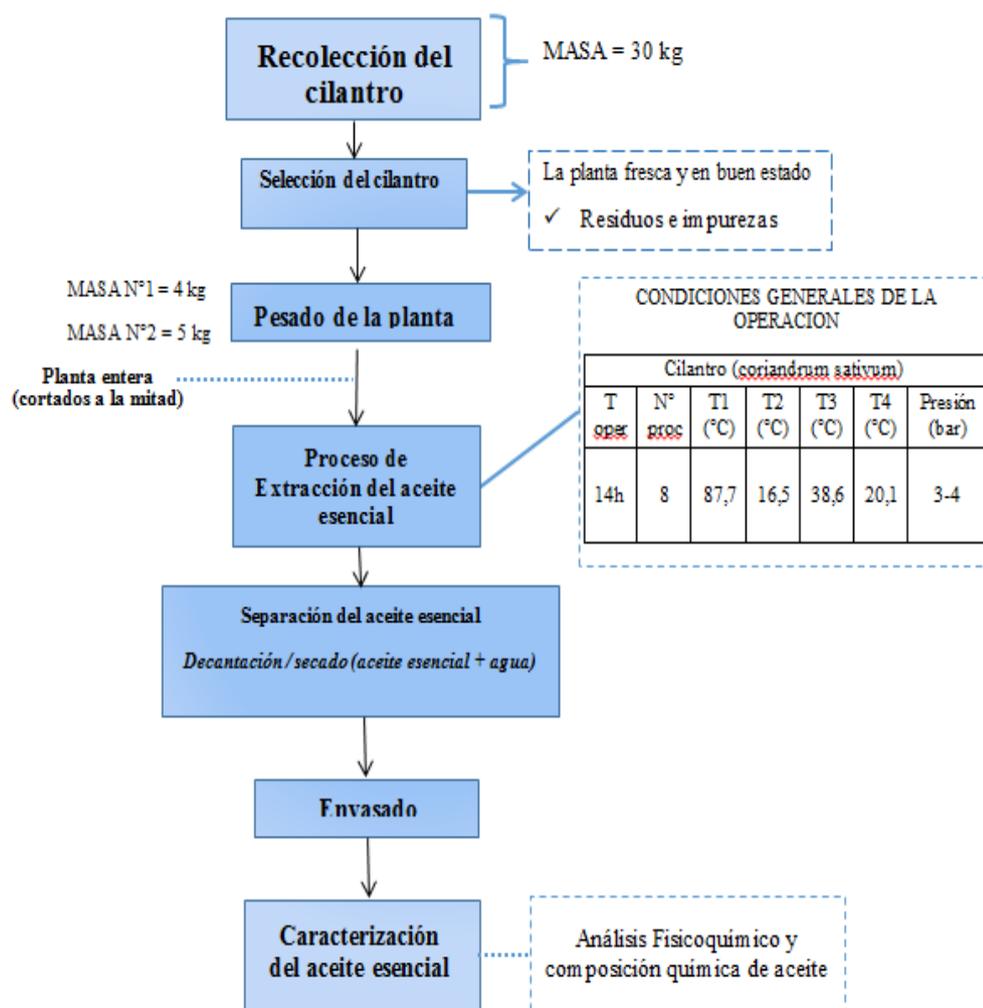


Figura 4. Diagrama de flujo de la extracción del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) con los datos hechos del proyecto

Los parámetros controlados y medidos fueron: presión, tiempo de extracción, temperatura (entrada y salida). **ANEXO A**

Tabla 4. Parámetros controlados en la presente investigación

TIEMPO DE OPERACIÓN (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	PRESIÓN (bar)
----------------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------------

Dónde:

T1: Es el sensor que se encuentra en la cámara de extracción, en promedio se indica que se trabajó a 87,7 °C.

T2: Es el sensor que se encuentra en la entrada de agua potable al condensador, de igual manera el promedio se trabajó a 16,5 °C.

T3: Es el sensor que está ubicado en la salida de agua potable del condensador, y se trabaja con una temperatura promedio de 38,6 °C.

T4: es el sensor que indica la salida de agua + aceite esencial, que trabajo a una temperatura de 20,1 °C.

La **PRESIÓN** expresado en (bar) se trabajó entre 3,00 – 4,00 bar.

Las condiciones dadas fueron:

Según la cantidad de muestra, el tiempo dado y el caudal de flujo.

Tabla 5. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 1° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
4 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento (%)
150	0	51,8	16,6	15,1	19,3	3,5	0,0775
	10	87,5	16,5	27,5	18	3,8	
	20	87,5	16,6	30,4	18,1	3,7	
	30	87,5	16,6	34,4	18,3	4,0	
	40	87,5	16,5	35,1	18,2	3,3	
	50	87,5	16,5	30,1	18	3,6	
	60	87,5	16,7	27,2	17,9	3,5	
	70	87,5	16,6	26,2	17,7	3,8	
	80	87,5	16,5	28,4	17,6	3,6	
	90	87,6	16,4	35,2	18,9	3,0	
	100	87,6	16,4	35,9	19,1	3,5	
	110	87,6	16,4	38,9	19,2	3,8	
120	87,6	16,4	38,5	19,5	4,1		

En la **tabla 5** podemos identificar que, a 4 kg de la planta de cilantro, a 120 minutos y un caudal de agua de 150 L/h nos da como rendimiento 0,0775%.

Tabla 6. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 2° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
4 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento (%)
200	0	18,8	18,5	17,4	20,3	3,5	0,0325
	10	87,5	16,4	27,3	18,4	3,4	
	20	87,6	16,5	31,8	18,1	3,45	
	30	87,6	16,5	32,2	19,1	3,8	
	40	87,6	16,5	32,6	18,9	3,6	
	50	87,6	16,5	31,8	19	4,0	
	60	87,6	16,6	31,4	18,9	3,2	
	70	87,6	16,6	30,3	19,2	3,4	
	80	87,6	16,6	31,1	19,5	3,0	
	90	87,6	16,6	29,8	19,7	3,5	
	100	87,6	16,6	31,1	20,4	3,8	
	110	87,6	16,7	32,4	20,2	4,0	
120	87,6	16,7	32,3	20,4	4,3		

En la **tabla 6** podemos identificar que, a 4 kg de la planta de cilantro, a 120 minutos y un caudal de agua de 200 L/h nos da como rendimiento 0,0325%

Tabla 7. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 3° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
5 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento (%)
150	0	20,8	23,2	23,0	21,2	3,3	0,068
	10	87,5	16,6	25,3	28,0	3,8	
	20	87,5	16,4	25,2	21,9	3,9	
	30	87,5	16,4	24,1	19,3	3,4	
	40	87,5	16,9	24,1	18,9	3,9	
	50	87,6	16,7	24,6	18,5	3,5	
	60	87,6	16,6	24,4	17,8	4,0	
	70	87,6	16,5	26,7	17,6	3,8	
	80	87,6	16,5	27,9	17,4	3,7	
	90	87,6	16,5	27,9	17,5	4,0	
	100	87,5	16,4	26,9	17,7	3,7	
	110	87,5	16,4	26,1	17,3	3,8	
120	87,6	16,4	28,1	17,3	3,9		

En la **tabla 7** podemos identificar que, a 5 kg de la planta de cilantro, a 120 minutos y un caudal de agua de 150 L/h nos da como rendimiento 0,068%.

Tabla 8. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 4° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
5 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento (%)
200	0	20,6	16,2	14,7	18,8	3,9	0,052
	10	82,1	16,3	15	19,8	3,7	
	20	88,4	16,5	39,3	18,3	3,7	
	30	88,4	16,4	39,7	18,3	3,6	
	40	88,9	16,4	27,6	17,9	3,0	
	50	88,1	16,5	39,3	18,6	3,0	
	60	88,3	16,5	39,6	18,8	3,2	
	70	87,4	16,5	39,7	18,6	3,7	
	80	89,5	16,5	41,9	18,6	3,9	
	90	88,5	16,5	41,5	19,1	3,8	
	100	88,1	16,5	41,3	18,6	4,0	
	110	88,9	16,5	41,9	18,4	3,8	
120	89,4	16,5	42,9	18,5	3,7		

En la **tabla 8** podemos identificar que, a 4 kg de la planta de cilantro, a 120 minutos y un caudal de agua de 200 L/h nos da como rendimiento 0,052%.

Tabla 9. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 5° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
5 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento (%)
150	0	18,2	17,2	15,8	19,6	3,7	0,034
	10	87,1	17,9	26,6	19,5	3,2	
	20	87,9	17,4	26	25,3	3,4	
	30	87,7	17,1	31	21,7	3,4	
	40	87,7	17,2	34,8	21,6	3,6	
	50	87,7	18,6	33,3	22,1	3,6	
	60	87,7	18,1	38,1	22	3,5	
	70	87,7	17,8	38,5	22	3,6	
	80	87,7	17,9	38,6	22,7	3,8	
	90	87,7	17,9	35,2	22,3	3,5	

En la **tabla 9** podemos identificar que, a 5 kg de la planta de cilantro, a 90 minutos y un caudal de agua de 150 L/h nos da como rendimiento 0,034%.

Tabla 10. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 6° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
5 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento %
200	0	27,7	25	18,6	32,5	3,5	0,038
	10	87,7	17	26,8	22,7	3,2	
	20	87,7	17,2	34,9	20,4	3,3	
	30	87,8	17,2	34,8	19,9	3,2	
	40	87,7	17,2	34,6	20,1	3,2	
	50	87,7	17,2	33,8	19,9	3,3	
	60	87,7	17,2	34	19,9	3,4	
	70	87,7	17,1	34,3	19,5	3,3	
	80	87,7	17,7	38,6	20	3,3	
	90	87,7	17,4	37,1	19,5	3,1	

En la **tabla 10** podemos identificar que, a 5 kg de la planta de cilantro, a 90 minutos y un caudal de agua de 200 L/h nos da como rendimiento 0,038%.

Tabla 11. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 7° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
4 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento (%)
150	0	23,5	16,2	23	19,5	3,5	0,0375
	10	87,1	16,5	24	19,3	3,7	
	20	87,5	16,5	28,6	19,5	4,0	
	30	87,6	16,6	27,9	19,4	3,7	
	40	87,6	16,6	27,7	19,5	3,8	
	50	87,6	16,6	27,7	19,5	3,9	
	60	87,6	16,6	27,4	19,5	4,0	
	70	87,6	16,6	27,5	19,1	3,6	
	80	87,6	16,6	27,7	18,5	4,2	
	90	87,6	16,6	27,7	18,6	4,0	

En la **tabla 11** podemos identificar que, a 4 kg de la planta de cilantro, a 90 minutos y un caudal de agua de 150 L/h nos da como rendimiento 0,0375%.

Tabla 12. Parámetros controlados en la extracción por arrastre de vapor del cilantro 8° corrida.

Peso de la muestra de cilantro (<i>coriandrum sativum</i>)							
4 kg							
Caudal de agua (L/h)	Tiempo (Min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Presión (bar)	Rendimiento (%)
200	0	18,2	19,2	18,9	21,1	3,9	0,0225
	10	87,5	16,7	33,2	18,8	3,5	
	20	87,6	16,8	31,8	18,9	3,3	
	30	87,6	16,9	35,2	19	3,7	
	40	87,6	16,5	36,5	19,3	3,7	
	50	87,6	16,7	37,1	19,5	3,8	
	60	87,6	16,7	37,5	19,5	3,3	
	70	87,6	16,7	38,4	19,7	3,6	
	80	87,7	16,6	38,9	19,5	3,8	
	90	87,7	16,6	40	19,5	4,0	

En la **tabla 12** podemos identificar que, a 4 kg de la planta de cilantro, a 90 minutos y un caudal de agua de 200 L/h nos da como rendimiento 0,0225%.

4.1.2. Resultados de la determinación de las propiedades fisicoquímicas

Los resultados presentados, corresponden al análisis realizado al aceite esencial extraído por destilación por arrastre de vapor de agua, estos análisis fueron realizados de acuerdo al procedimiento según las normativas AOAC. Todos los análisis fueron

llevados a la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco para su respectivo análisis.

Tabla 13. Resultado del análisis fisicoquímico del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).

PARÁMETROS	VALORES
Densidad 17.3 °C	0,9400 g/mL
Índice de acidez	4,29
Índice de peróxidos	0,84 meq/kg
Índice de refracción 20°C	1,513

Fuente: Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría – Pabellón de Control de Calidad de la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco

En la **Tabla 13** se observa los resultados, que corresponden a las características fisicoquímicas de los aceites esenciales extraído por destilación por arrastre de vapor, en donde se observan resultados para:

La densidad 0,9400 g/mL a una temperatura de 17,3 °C. Según el análisis realizado se comprobó que la densidad del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) es inferior a la del agua (<1g/ml), lo que significa que es insoluble en agua.(Yáñez, Escoba, Molina, & Zapata, 2014) nos dice que la densidad del aceite esencial es de 0,87 g/ml, habiendo una diferencia.

El índice de refracción 1,513 a una temperatura de 20 °C. Comprobó que no presenta adulteraciones en su contenido y se encuentra dentro de los rasgos normales (1,40–1,61). Según (Murillo, Fernández, & Sierra, 2004)

Tabla 14. Caracterización organoléptica del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)

CARACTERIZACIÓN ORGANOLÉPTICA			
Sabor	Olor	Color	Aspecto
Agrio	Dulce	Amarillento	Viscoso

En la **tabla 6**, muestra los resultados de la caracterización organolépticas del aceite esencial de cilantro extraído por destilación de arrastre de vapor de agua, la caracterización fue realizada después de la extracción.

En Yáñez et al., 2014 encontramos similares resultados sobre la caracterización organoléptica donde el color y el sabor no difieren. En cambio, el sabor y aspecto no tenemos datos de otros autores.

4.1.3. Resultados de la composición química por cromatografía de gases del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).

Los resultados de los análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*), fue realizado en el Laboratorio De Cromatografía Y Espectrometría – Pabellón de Control de Calidad de la Universidad Nacional de San Antonio Abad.

Las condiciones del cromatógrafo de gases acoplada a espectrometría de masas fueron:

- Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (agilent technologies 5975B inert XL EI/CI MSD).
- Columna capilar de sílice fundida HP-5MS de 30 metros x 0,25mm recubierto con una fase estacionaria de (5%-fenil)-metil-siloxano de 0,25 μ de espesor.
- Gas de arrastre se empleó helio a un flujo de 1ml/min.

- La temperatura del horno fue programada $5^{\circ}\text{C} \times \text{min}$, hasta 240°C . La temperatura inicial fue de 60°C
- Inyección “Split”: 80:1
- Muestra inyecta: puro

Tabla 15. Resultados de análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).

N°	COMPUESTO (ID)	TIEMPO DE RETENCIÓN (RT)	CONTENIDO RELATIVO % (ÁREA %)	% COINCIDENCIA BIBLIOTECA (QUAL)
1	n-Nonane	6,312	0,68	97
2	n-Decane	8,968	0,17	95
3	Octanal	9,078	0,11	91
4	5-Methyl-2,3- hexanedione	10,553	0,18	4
5	Linaloxide (trans, isomer A)	11,255	0,08	90
6	Linaloxide (trans, isomer A)	11,725	0,09	91
7	Linalol	11,974	1,58	91
8	Nonanal	12,093	0,25	91
9	Nonanol	14,063	0,16	91
10	cis-4-Decenal	14,913	0,19	50
11	n-decanal	14,913	15,13	91
12	trans-2,cis-6- Nonadienal	16,444	0,50	25
13	Nonyl acetate	16,943	15,70	47
14	2-Hexen-1-ol (trans)	17,044	1,81	35
15	1-Decanol	17,121	3,36	91
16	Nonyl acetate	17,890	0,19	83

17	Undecanal	18,182	3,09	91
18	trans-2-octenal	19,840	4,83	90
19	Lauric aldehyde	20,300	0,29	43
20	Lauryl alcohol	20,766	0,24	91
21	Geraniol	20,846	0,08	53
22	cis-4-Decenal	21,062	0,21	37
23	Nonyl acetate	22,229	0,09	16
24	Lauric aldehyde	22,398	5,08	95
25	trans-2-Nonenal	22,728	0,55	38
26	Myristic acid	23,776	0,13	64
27	Undecanal	24,960	23,69	32
28	Lauric aldehyde	25,311	0,37	91
29	Lauric acid	26,009	0,21	95

Fuente: Análisis realizado en el laboratorio de cromatografía y espectrometría – pabellón de control de calidad de la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco.

En la siguiente **Tabla 15** se observó que los componentes mayoritarios del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) son: nonyl acetate (15,70 %), n – decanal (15,13 %), trans-2-octenal (13,23 %), lauric aldehyde (5,08 %), linalol (1,58 %), trans-2-nonenal (1,12 %), geraniol (0,08 %).

En el cilantro (*coriandrum sativum*), no se encontró el D-limoneno pese a que según (Escobar, Molina, & Zapata, 2012) si aparece dicho componente, tampoco se hallaron componentes importantes como cineol, borneol, coriandrol que su principal función es antimicrobiana según (Q & G, 2009).

Según Leal et al, 2013 Nos dice que la composición de la hoja de cilantro (*coriandrum sativum*) se observa la presencia de D-linalol en una proporción del 16,33 %, por lo cual difiere en cuanto la semilla fresca que es α -pineno en 8,97 % y semilla

almacenada que tendrá β -pineno al 2,06 %. Lo cual (Leal et al., 2013) muestra alguna diferencias de composición en especial al comparar el aceite esencial de la hoja con el de las semillas.

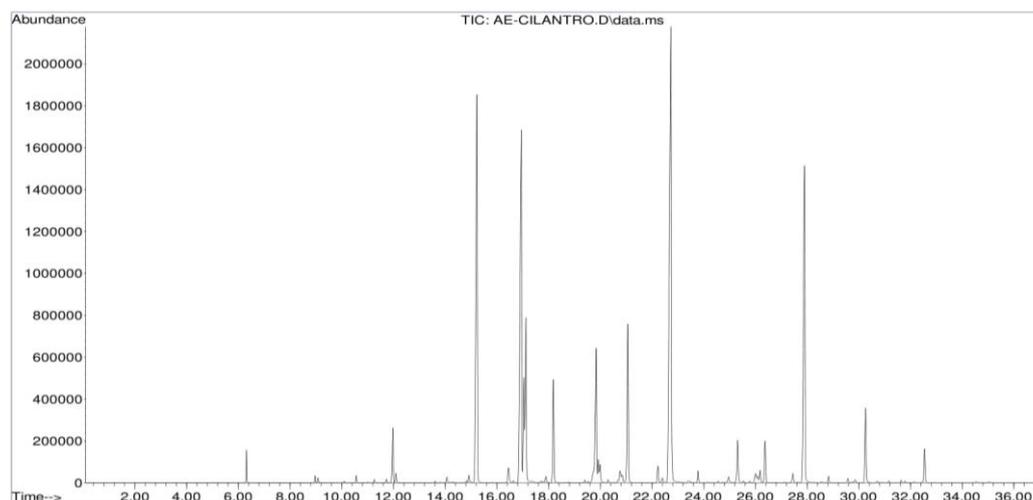


Figura 5. Cromatograma del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)

De la **figura 5** podemos observar la salida de los primeros compuestos químicos a un tiempo y la cantidad en el que sale según la muestra, también podemos observar que compuestos están en mayor cantidad.

4.2. RESULTADOS DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CILANTRO (*CORIANDRUM SATIVUM*)

4.2.1. Evaluación estadística del rendimiento de aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)

Para la obtención de los datos respecto al rendimiento del aceite esencial, se utilizó el diseño factorial ($2^3 = 8$ tratamientos), sin repetición cada tratamiento, obteniendo como variable respuesta el rendimiento del aceite esencial.

Los resultados presentados en la siguiente tabla, corresponden al rendimiento del aceite esencial obtenido en cada uno de los tratamientos realizados.

Análisis de varianza:

Los valores numéricos de las variables que intervienen en el proceso de extracción de los aceites esenciales son presentados en la siguiente tabla, estos valores provienen de la sumatoria de los resultados del rendimiento de aceites esenciales de cada uno de los tratamientos, con sus respectivas repeticiones por cada factor involucrado en el experimento, datos que nos sirven para desarrollar la tabla ANOVA

Tabla 16. Datos para el diseño factorial en el proceso de extracción del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)

Nº	Peso de la materia prima (Kg)	Agua del caudal (L/h)	Tiempo del proceso de extracción (min)	% rendimiento
1	4	150	90	0,0375
2			120	0,0775
3	5	200	90	0,0225
4			120	0,0325
5	5	150	90	0,034
6			120	0,068
7	5	200	90	0,038
8			120	0,052

Tabla 17. Analisis de varianza para el rendimiento en la extracción del aceite esencial

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Peso	0,0000605	1	0,0000605	4,84	0,2716
B:Caudal	0,000648	1	0,000648	51,84	0,0879
C:Tiempo	0,0012005	1	0,0012005	96,04	0,0647
AB	0,000288	1	0,000288	23,04	0,1308
AC	5,E-7	1	5,E-7	0,04	0,8743
BC	0,0003125	1	0,0003125	25,00	0,1257
Error total	0,0000125	1	0,0000125		
Total (corr.)	0,0025225	7			

Fuente: Salida STATGRAPHICS Centurion XVI Version 16.1.03

R-cuadrada = 99,5045 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96,5312 %

Error estándar del est. = 0,00353553

Error absoluto medio = 0,00125

Estadístico Durbin-Watson = 2,5

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,375

El StatAdvisor

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, 0 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 99,5045% de la variabilidad en Rendimiento. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96,5312%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,00353553. El error medio absoluto (MAE) de 0,00125 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.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Rendimiento

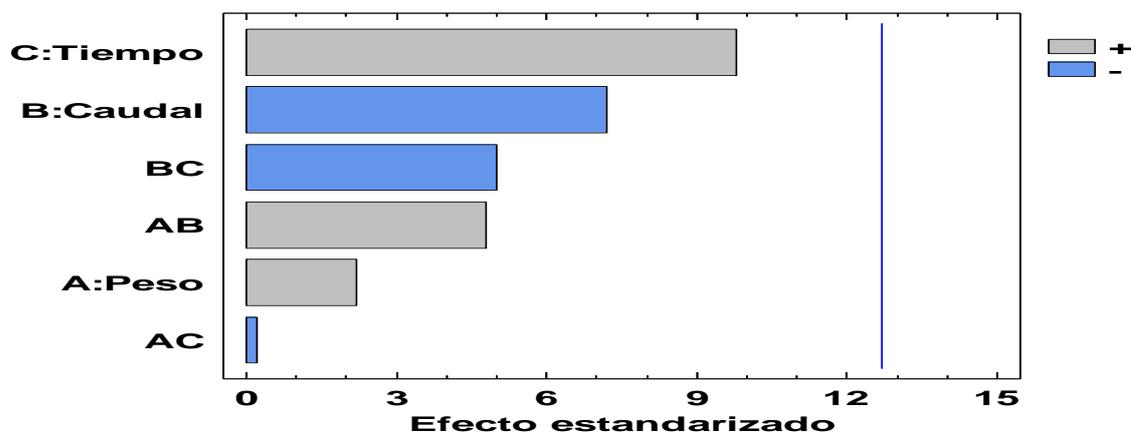


Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)

Fuente: Salida STATGRAPHICS Centurión XVI Versión 16.1.03

A través del diagrama de Pareto se observa la influencia de los factores sobre el aceite esencial extraído. En C el rendimiento es óptimo debido a que tiempo influye en la extracción con la materia prima. En los demás casos si bien es cierto existe influencia en la extracción de aceite sin embargo estos no son significativos.

Coefficiente de regresión:

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Rendimiento} = 0,05375 - 0,075*\text{Peso} - 0,00077*\text{Caudal} + 0,00388333*\text{Tiempo} + 0,00048*\text{Peso}*Caudal - 0,0000333333*\text{Peso}*Tiempo - 0,0000166667*\text{Caudal}*Tiempo$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Mediante este modelo es posible realizar algunas estimaciones con un grado de acierto de un R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,074 por ciento, siempre en cuando se considere las mismas unidades de la investigación

Tabla 18. Coeficientes de regresión.

Coeficiente	Estimado
Constante	0,05375
A:Peso	-0,075
B:Caudal	-0,00077
C:Tiempo	0,00388333
AB	0,00048
AC	-0,0000333333
BC	-0,0000166667

Fuente: Salida STATGRAPHICS Centurión XVI Versión 16.1.03

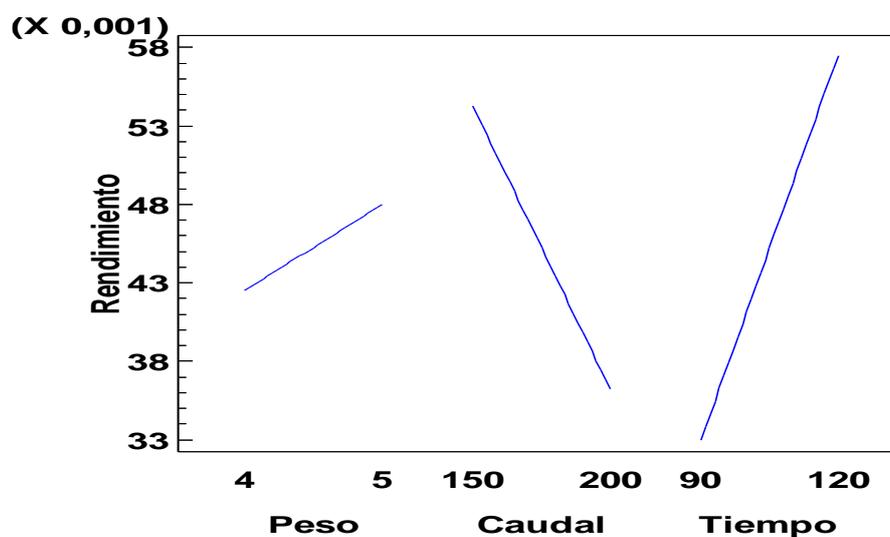
Gráfica de Efectos Principales para Rendimiento

Figura 7. Gráficos de efectos principales para el rendimiento del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)

Fuente: Salida STATGRAPHICS Centurión XVI Versión 16.1.03

Efectos principales:

De la **Figura 7** en el factor tiempo al ser una línea ascendente nos indica que aún se debería en probar incrementar las unidades para llegar a un valor óptimo esto se lograra cuando la línea de tendencia se transforme en una línea descendente, pero al final se curve para descender, lo propio sería para el factor peso; sin embargo como en la tabla de análisis de varianza nos indica que no es significativa este se omite al igual que el factor caudal que también es no significativa.

- Con respecto al peso: a mayor cantidad de peso se incrementó más el rendimiento.
- Con respecto al caudal a menor cantidad de nivel de caudal mayor rendimiento
- Con respecto al tiempo a mayor cantidad de tiempo mayor rendimiento

4.3. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL**Tabla 19.** Rendimiento en (%) obtenido en cada prueba.

REPETICIONES	RENDIMIENTO %
1	0,0375
2	0,0775
3	0,0225
4	0,0325
5	0,034
6	0,068
7	0,038
8	0,052

Según el análisis estadístico obtenido, la optimización de respuesta será:

Meta: maximizar el rendimiento

El paquete estadístico mediante algoritmos de aproximación nos sugiere una optimización de respuesta como se muestra en la tabla siguiente lo propio se puede contrastar en el gráfico de superficie de respuesta.

Valor óptimo del rendimiento del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) = **0,07625**

Leal, et al., 2013 nos está indicando que obtuvo un rendimiento entre 0.01 % y 0.25 % indicándonos coincidimos en los resultados.

Tabla 20. Factores para la maximización del rendimiento

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Peso	4,0	5,0	4,0
Caudal de enfriamiento	150,0	200,0	150,0
Tiempo	90,0	120,0	120,0

Fuente: Salida STATGRAPHICS Centurion XVI Version 16.1.03

La **Tabla 20** muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza el rendimiento sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de opciones de ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

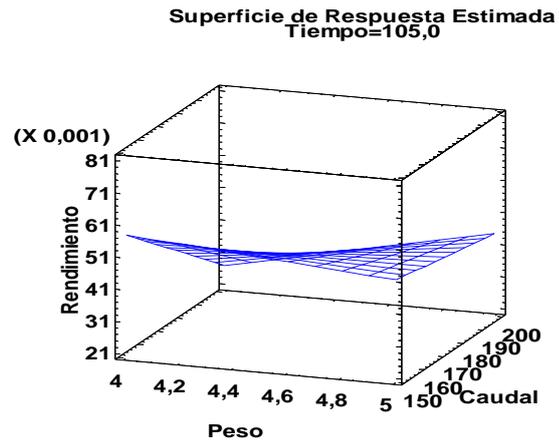


Figura 8. Superficie de respuesta para el rendimiento de la extracción del aceite esencial

De la **figura 8** la superficie de respuesta se puede observar que no existe diferencia significativa debido a que el grafico se presenta como un plano carente de inclinación.

V. CONCLUSIONES

- El mejor rendimiento es 0,07625%, así mismo la caracterización de sus compuestos químicos son: nonyl acetate (15,70 %), n – decanal (15,13 %), trans-2-octenal (13,23 %), lauric aldehyde (5,08 %), linalol (1,58 %), trans-2-nonenal (1,12 %), geraniol (0,08 %), concluyendo que si hay la existencia de compuesto aromáticos.
- El aceite esencial de cilantro tiene las siguientes características fisicoquímicas: densidad 0,9400 g/mL (17,3°C), índice de refracción 1,513 (20°C), índice de acidez 4,29 % e índice de peróxidos 0,84meq/kg.
- Al obtener el aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) se analizó los siguientes parámetros (cantidad de materia prima, caudal de agua y tiempo) dando, el parámetro más importante el tiempo, haciendo una diferencia entre dos valores. Que a más tiempo mayor aceite extraemos. Pero solo llega hasta cierto tiempo ya que pasara lo contrario.
- El porcentaje de rendimiento del aceite esencial (*coriandrum sativum*) extraído de 4,0 kg de la planta de cilantro a un caudal de agua 150 L/h y a un tiempo de 120 minutos obteniendo 1,1 ml de aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*). Que son los valores óptimos.

VI. RECOMENDACIONES

- A los futuros investigadores, se recomienda la verificación de la planta de cilantro ya que puede contener impurezas o estén en mal estado, para una mayor pureza del aceite esencial.
- En futuras investigaciones, se recomienda tener el uso de los equipos de protección personal en el proceso de extracción, ya que se trabaja a altas temperaturas como en el caso del equipo de destilación por arrastre de vapor del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) - Universidad Nacional Del Altiplano Puno.
- A los futuros investigadores, se recomienda el uso de otras técnicas de extracción del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*) para la verificación del rendimiento de la extracción del aceite esencial de la planta. También por la facilidad de volatilidad que tiene la planta haciendo que el rendimiento baje en altas proporciones.
- A los futuros investigadores, se recomienda hacer un análisis micro-histológico de la planta de cilantro ya que, por no ser nato de la ciudad de Puno, pero sin embargo es cultivada, se podría hacer un análisis comparativo de distintos lugares de procedencia.
- A la Universidad Nacional Del Altiplano, se recomendaría tener en cuenta más investigaciones de este rubro, ya que tenemos tantas plantas nativas o que ya son cultivadas en nuestro departamento de Puno. Para poder lograr más avances para nuestra región.
- A los futuros investigadores, se recomienda trabajar con el peso mínimo y doblar el peso de la muestra prima para un mejor análisis estadístico.

VII. REFERENCIAS

- Andrade, C. (1999). Evaluación y caracterización de cuatro poblaciones de cilantro. «*Coriandrum sativum L.*». p. 6.
- Anitescu, G., Doneanu, C. and Radulescu, V. (1997). Isolation of coriander oil: Comparison between steam distillation and supercritical CO₂ extraction. *Flavour Fragr. J.*, 12(6), 173.
- Araujo, C. (2018). Parámetros de extracción de aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) Por arrastre de vapor. 62.
- Bruneton, J. (2001). Farmacognosia, fotoquímica, plantas medicinales (2.^a ed.). Acribia, S.A.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. *Food Microbiol*, 94, 223-253.
- Cantore, P. L., Iacobellis, N. S., De Marco, A., & Capasso, F. (2004). Antibacterial activity of *Coriandrum sativum L.* and *Foeniculum vulgare Miller Var. vulgare (Miller)* Essential Oils. *Food Chem.*, 52, 7862-7866.
- Cardenas, E. (2014). Determinación de parámetros de operación para la destilación por arrastre con vapor de agua del aceite esencial de molle (*Schinus molle Linneo*) en el equipo modular de extracción .de aceites esenciales de la fiqm • UNSCH (Universidad Nacional San Cristobal De Huamanga).
- Castillo, J. A. (2007). Evaluación de la estabilidad oxidativa de grasas interesterificadas enzimáticamente. Universidad Industrial De Santander.
- Chavez, E. (2016). Efecto de dos sistemas de siembra en el rendimiento de (*Coriandrum sativum L.*)en pichunchuco, Santiago de Chuco - La Libertad

(Universidad Nacional de Trujillo).

Diederichsen, A., & International Plant Genetic Resources Institute. (1996). *Coriander* :
Coriandrum sativum L.

Dirección General de Normas de México. (2012). Alimentos. Aceites y grasas vegetales
o animales. Determinación del índice de acidez.

Esau, K. (1959). Plant anatomy (John Wille). New York.

Escalante, A. (2007). Formas de preparar el terreno de siembra para obtener buenas
cosechas. 5(13), 10.

Escobar, A. N., Molina, C. E., & Zapata, G. A. (2012). Comparación de la actividad
acaricida entre *Ocimum basilicum*, *Coriandrum sativum* y *Thymus vulgaris* contra
el ácaro *Tetranychus urticae*. Universidad Politécnica Salesiana.

Fernández, O. (1989). Prueba de adaptación, estimación de parámetros genéticos y
correlación en 12 genotipos de cilantro (*Coriandrum sativum* L.). UAAAN.

Flores, M. (2010). Investigación de los aceites esenciales, sus características y finalidad
de uso. (Universidad De Chile).

Font Q., P. (1978). Plantas Medicinales (4a ed.). Barcelona, España: Editorial Labor,
S.A.

González Pérez, E. (2017). *cilantro* (*Coriandrum sativum* L.) un cultivo ancestral con
potencial sub-utilizado. México.

Gordillo, E. (2000). Efecto del ácido giberélico sobre el rendimiento y la calidad del
cilantro (*Coriandrum sativum* L.) bajo condiciones de fertirriego. Universidad
Autónoma Agraria Antonio Narro.

Granados Conde, C., Yáñez Rueda, X., & Santafé Patiño, G. (2012). Evaluación de la

- actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Calycolpus moritzianus* y *Minthostachys mollis* de Norte de Santander. *Bistua: Revista de la facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 12-23.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (s. f.). Análisis y diseño de experimentos. Recuperado de www.FreeLibros.org
- Hernández, J. (2003). Crecimiento y desarrollo del cilantro *Conandrum sativum* L. Por efecto del fotoperiodo y la temperatura y su control con fitoreguladores (Universidad Autónoma de Nuevo León). Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/5784/1/1020148421.PDF>
- Lawrence, B. M. (1993). A planning scheme to evaluate new aromatic plants for the flavor and fragrance industries in new Crops (J. Janick & J. E. Simon, Eds.). New York.
- Leal -Torres, E., López-Malo -Vigil, A., & Sosa -Morales, M. E. (2013). Extracción, composición y caracterización de los aceites esenciales de hoja y semilla de cilantro (*Coriandrum sativum*). *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 97-103
- Loaysa, N. (1998). Extracción de aceite esencial de eucalipto con fines farmacéuticos. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco.
- Martínez, A. (2001). Aceites esenciales (Universidad De Antioquia). Recuperado de http://www.med-informatica.com/OBSERVAMED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). Principales cultivares en la Libertad. Santiago de Chuco-La Libertad: Gerencia Regional de Agricultura la Libertad.

- Morocco, S. (2017). Caracterización micro-histológico, físico y químico del aceite esencial de las hojas de matico (*Piper aduncum*), extraído por arrastre de vapor en un equipo modular (Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de <http://www.repositorio.unap.edu.pe>
- Msaada, K., Hosni, K., Taarit, M. B. E. N., & Ouchikh, O. (2009). Variations in essential oil composition during maturation of coriander. 33, 603-612. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00240.x>
- Murillo, E., Fernández, K., & Sierra. (2004). Caracterización Físico-Química Del Esencial De Albahaca. II. *Revista Colombiana de Química*, 33(2), 139-148.
- organizacion internacional de normalizacion. (1998). aceites esenciales-determinacion del indice de refraccion.
- Paz, O. (1999). El cultivo del cilantro (*Coriandrum sativum* L.). *Monografía U.A.A.A.N.*, p. 6.
- Punina, P., Danilo, F., & Chicaiza, Q. (2010). Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- Q, M. I. A., & G, L. F. M. (2009). Ensayo preliminar de la actividad antibacteriana de extractos de *Allium sativum* , *Coriandrum sativum* , *Eugenia vulgaris* frente a *Clostridium perfringens*. *Biosalud*, 8(1), 47-57.
- Ramadan, M.F., Amer, M.A.A., and Awad, A. E. (2008). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) seed oil improves plasma lipid profile in rats fed a diet containing cholesterol. *Food Res*, (227), 1173-1182.
- Ravi, R., Prakash, P., and Bhat, K. K. (2007). Aroma characterization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) oil samples. *Food Res. Technol*, 225, 367-374.

- Rodale, J. (1991). How to growth vegetables and fruits by the organic method. Rodale Press, pp. 876-877.
- Rodríguez (2014). Estructura química y actividad antioxidante in vitro del aceite esencial de *Eryngium foetidum* L. Siuca culantro (Universidad Nacional Mayor De San Marcos).
- Rogers, J. A., & Fischetti, F. (1980). Food and flavors. En Kirk-othmer Encyclopedia of Chemical Technology (J. Janick, pp. 16-66).
- Sahib, N.G., Anwar, F., Gilani, A.H., Hamid, A.A., Saari, N., and Alkharfy, K. M. (2013). Coriander (*Coriandrum sativum* L.): a potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals. *Phytother*, (27), 1439-1456.
- Tineo, F. C. (2012). Estudio experimental y modelamiento matemático para el proceso de extracción por lotes por arrastre con vapor de agua del aceite esencial libre del *Schinus molle* Linneo. Universidad Nacional De Ingeniería.
- Wangensteen, H. Samuelsen, A.B. Malterud, K. E. (2004). Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food Chem*, 88, 293–297.
- Yáñez M, P., Escoba, A., Molina, C., & Zapata, G. (2014). Comparación de la actividad acaricida de los aceites esenciales de *Ocimum basilicum*, *Coriandrum sativum* Y *Thymus vulgaris* contra *Tetranychus urticae*. *La Granja*, 19(1), 21. <https://doi.org/10.17163/lgr.n19.2014.01>
- Zavala, M. (1992). Aplicaciones de Giberelinas En El Cultivo Del Cilantro (*Coriandrum sativum*) Establecido en verano. UAAAN.

ANEXOS

ANEXO A.

Figura A. 1 Certificado de los resultados del análisis fisicoquímico del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).

Figura A. 2 Certificado de los resultados del análisis por Cromatografía De Gases Acoplada a Espectrometría De Masas del aceite esencial de Cilantro (*coriandrum sativum*).

Figura A. 3. Condiciones cromatográficas del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).

ANEXO B.

Figura B. 1. Equipo de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor

Figura B. 2. Generador de vapor de agua FIQ-LOPU

Figura B. 3. Compresor de aire FIQ-LOPU

Figura B. 4. Pesado de la materia prima cilantro (*coriandrum sativum*)

Figura B. 5. Muestra de cilantro (*coriandrum sativum*) incorporada al recipiente destilador.

Figura B. 6. Iniciación de la extracción de aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)

Figura B. 7. Evaluación de las plantas de cilantro (*coriandrum sativum*) dentro del recipiente destilador.

Figura B. 8. Descomposición de la materia prima cilantro en el recipiente destilador.

Figura B. 9. Primeras gotas de aceite esencial extraído.

Figura B. 10. Toma de datos de la extracción del aceite esencial.

Figura B. 11. Decantación del aceite esencial (separación del agua y el aceite).

Figura B. 12. Cromatógrafo de gases acoplada a espectrometría de masas en la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco.

Figura B. 13. Eliminación total del agua mediante un reactivo.

Figura B. 14. Análisis por cromatografía de gases del aceite esencial del cilantro (*coriandrum sativum*).

Figura B. 15. Verificación del análisis cromatográfico.

Figura B. 16. Aguja de inyección para la toma de muestra del aceite esencial de cilantro.

Figura B. 17. Resultados del análisis cromatógrafo de gases del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).

ANEXO A.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

 LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA – Pabellón de Control de Calidad
 AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855
RESULTADOS

Cusco, 04 de Febrero del 2019

Solicitante : Mercy Dery Condori Vera
Tipo de Análisis : Determinación Físicoquímica
Tipo de Muestras : Aceite Esencial de Cilantro
Cantidad de Muestra : Aproximadamente 0.5 mL
Almacenamiento : 4 °C.

Condiciones de Análisis AOAC

Densidad gr/mL Método Gravimétrico (microcapilar)
 Acides % (Ácido oleico) Método Volumétrico
 Índice de Peroxidos meq/Kg Método Volumétrico
 Índice de Refracción Refractómetro ABBE

Parametro	Valores
Densidad gr/mL 17.3°C	0.9400
Acides % (Ácido oleico)	4.29
Índice de Peroxidos meq/Kg	0.84
Índice de Refracción 20°C	1.513



Quím. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría – UNSAAC.
 CQP - 914

Figura A. 1 Certificado de los resultados del análisis físicoquímico del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRÍA – Pabellón de Control de Calidad
AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855**RESULTADOS**

Cusco 25 de Enero 2019

Solicitante : Mercy Dery Condori Vera
Tipo de Análisis : Determinación de componentes volátiles en Aceite Esencial de Cilantro
Tipo de Muestras : Frasco con Aceite Esencial de Cilantro
Cantidad de Muestra : 1, aproximadamente 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
Modo de ionización : 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	60	0.00
1 5.00	240	36
Post Run time:	280	4.00 min

Tiempo de Análisis: 36.00 min

Puerto de Inyección

Modo : Split
 Relación de Split : 80:1
 Presion : 8.23 psi
 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



Quim. Jorge Choquenaira Parí
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría – UNSAAC.
 CQP - 914

Figura A. 2 Certificado de los resultados del análisis por Cromatografía De Gases Acoplada a Espectrometría De Masas del aceite esencial de Cilantro (*coriandrum sativum*).

Lab Cromatografía UNSAAC

Library Search Report

Data Path : D:\DATA MSD\ACEITES ESENCIALES\2019\CILANDRO\
 Data File : AE-CILANTRO.D
 Acq On : 10 Jan 2019 13:57
 Operator : JCHP
 Sample : Aceite Esencial
 Misc :
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Quim. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría - UNSAAC.
 CQP - 914

Search Libraries: C:\Database\Flavor2.L

Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - CILANTRO.P

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.312	0.68	C:\Database\Flavor2.L			
			n-Nonane	404	000111-84-2	97
			n-Octane	403	000111-65-9	47
			5-Methyl-2,3-hexanedione	298	013706-86-0	43
2	8.968	0.17	C:\Database\Flavor2.L			
			n-Decane	405	000124-18-5	95
			n-Undecane	406	001120-21-4	83
			n-Hexadecane	409	000544-76-3	78
3	9.078	0.11	C:\Database\Flavor2.L			
			Octanal	374	000124-13-0	91
			Hexenal	102	000066-25-1	28
			2-Hexen-1-ol (trans)	198	000928-95-0	9
4	10.553	0.18	C:\Database\Flavor2.L			
			5-Methyl-2,3-hexanedione	298	013706-86-0	4
			Isobutyl isovalerate	279	000589-59-3	2
			gamma-Undecalactone	352	000104-67-6	2
5	11.255	0.08	C:\Database\Flavor2.L			
			Linaloxide (trans, isomer A)	212	034995-77-2	90
			Linaloloxide (cis, isomer B)	211	011063-77-7	90
			2-Methylpyrazine	159	000109-08-0	4
6	11.725	0.09	C:\Database\Flavor2.L			
			Linaloxide (trans, isomer A)	212	034995-77-2	91
			Linaloloxide (cis, isomer B)	211	011063-77-7	86
			2-Methylpyrazine	159	000109-08-0	9
7	11.974	1.58	C:\Database\Flavor2.L			
			Linalol	271	000078-70-6	91
			Linalyl butyrate	246	000078-36-4	52
			beta-Pinene	230	018172-67-3	43
8	12.093	0.25	C:\Database\Flavor2.L			
			Nonanal	375	000124-19-6	91
			xxx	390	000000-00-0	33
			Nonanol	328	000143-08-8	25
9	14.063	0.16	C:\Database\Flavor2.L			
			Nonanol	328	000143-08-8	91
			3,7-Dimethyl-1-octanol	282	000106-21-8	64
			1-Decanol	86	000112-30-1	50
10	14.913	0.19	C:\Database\Flavor2.L			
			cis-4-Decenal	145	021662-09-9	50
			trans-2-Hexenal	189	006728-26-3	35
			Nonyl acetate	5	000143-13-5	22
11	15.226	15.13	C:\Database\Flavor2.L			
			n-decanal	357	000112-44-7	91
			xxx	390	000000-00-0	42
			Undecanal	87	000112-44-7	42
12	16.444	0.50	C:\Database\Flavor2.L			
			trans-2,cis-6-Nonadienal	153	000557-48-2	25

			trans-2-octenal	144	002548-87-0	16
			trans-2-Heptenal	207	018829-55-5	10
13	16.943	15.70	C:\Database\Flavor2.L			
			Nonyl acetate	5	000143-13-5	47
			trans-2-Heptenal	207	018829-55-5	38
			trans-2-Nonenal	202	018829-56-6	38
14	17.044	1.81	C:\Database\Flavor2.L			
			2-Hexen-1-ol (trans)	198	000928-95-0	35
			Lauric aldehyde	89	000112-54-9	25
			Undecanal	87	000112-44-7	25
15	17.121	3.36	C:\Database\Flavor2.L			
			1-Decanol	86	000112-30-1	91
			Lauryl alcohol	90	000112-53-8	64
			Nonanol	328	000143-08-8	59
16	17.890	0.19	C:\Database\Flavor2.L			
			Nonyl acetate	5	000143-13-5	83
			1-Decanol	86	000112-30-1	80
			Lauryl alcohol	90	000112-53-8	72
17	18.182	3.09	C:\Database\Flavor2.L			
			Undecanal	87	000112-44-7	91
			xxx	390	000000-00-0	91
			Lauric aldehyde	89	000112-54-9	87
18	19.840	4.83	C:\Database\Flavor2.L			
			trans-2-octenal	144	002548-87-0	90
			Lauryl alcohol	90	000112-53-8	37
			1-Decanol	86	000112-30-1	37
19	19.920	0.29	C:\Database\Flavor2.L			
			Lauric aldehyde	89	000112-54-9	43
			Undecanal	87	000112-44-7	43
			2-Hexen-1-ol (trans)	198	000928-95-0	38
20	19.988	0.24	C:\Database\Flavor2.L			
			Lauryl alcohol	90	000112-53-8	91
			1-Decanol	86	000112-30-1	87
			Nonyl acetate	5	000143-13-5	59
21	20.300	0.08	C:\Database\Flavor2.L			
			Geraniol	283	000106-24-1	53
			Nerol, cis-geraniol	253	000106-25-2	12
			Neryl acetate	245	000141-12-8	9
22	20.766	0.21	C:\Database\Flavor2.L			
			cis-4-Decenal	145	021662-09-9	37
			Nonyl acetate	5	000143-13-5	37
			Decyl acetate	266	000112-17-4	23
23	20.846	0.09	C:\Database\Flavor2.L			
			Nonyl acetate	5	000143-13-5	16
			trans-2-Hexenoic acid	11	013419-69-7	11
			Octyl acetate	272	000112-14-1	10
24	21.062	5.08	C:\Database\Flavor2.L			
			Lauric aldehyde	89	000112-54-9	95
			Undecanal	87	000112-44-7	64
			xxx	390	000000-00-0	62
25	22.229	0.55	C:\Database\Flavor2.L			
			trans-2-Nonenal	202	018829-56-6	38
			trans-2-octenal	144	002548-87-0	38
			trans-2-Heptenal	207	018829-55-5	10
26	22.398	0.13	C:\Database\Flavor2.L			
			Myristic acid	60	000544-63-8	64
			Decanoic acid	68	000334-48-5	59
			Stearic acid	389	000057-11-4	56
27	22.728	23.69	C:\Database\Flavor2.L			

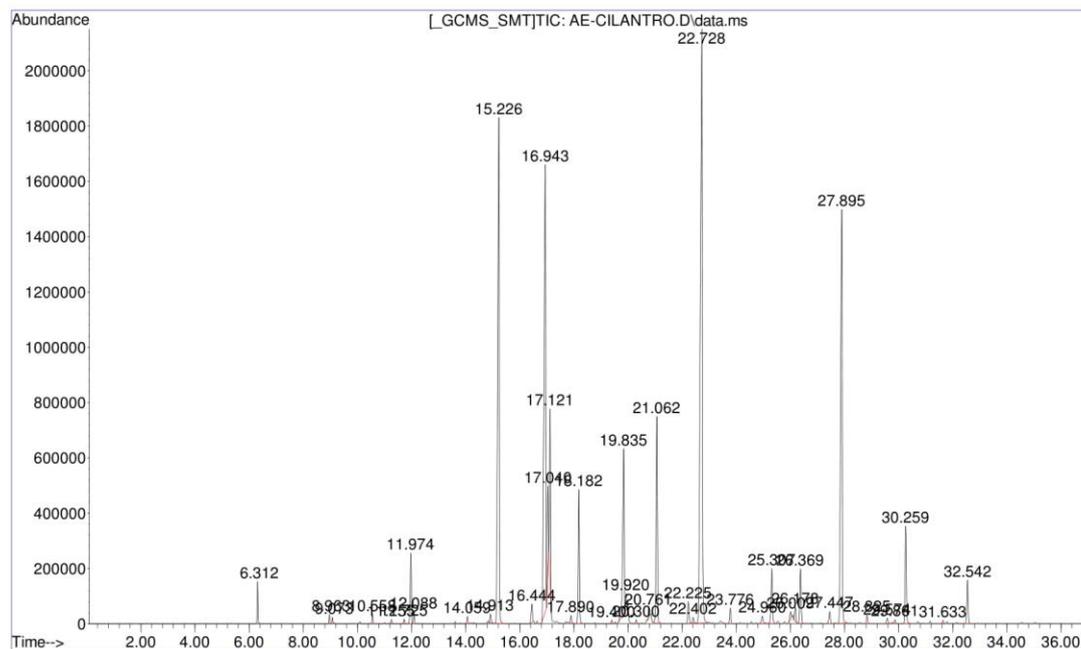
Quim. Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914

		Undecanal	87	000112-44-7	32
		Nonanal	375	000124-19-6	32
		trans-2-Nonenal	202	018829-56-6	28
28	23.776	0.37 C:\Database\Flavor2.L			
		Lauric aldehyde	89	000112-54-9	91
		Undecanal	87	000112-44-7	91
		xxx	390	000000-00-0	59
29	24.960	0.21 C:\Database\Flavor2.L			
		Lauric acid	59	000143-07-7	95
		Stearic acid	389	000057-11-4	53
		Myristic acid	60	000544-63-8	38
30	25.311	1.45 C:\Database\Flavor2.L			
		trans-2-octenal	144	002548-87-0	40
		Decyl acetate	266	000112-17-4	25
		1-Decanol	86	000112-30-1	25
31	26.009	0.22 C:\Database\Flavor2.L			
		Lauryl alcohol	90	000112-53-8	43
		Octyl acetate	272	000112-14-1	25
		Nonyl acetate	5	000143-13-5	25
32	26.178	0.37 C:\Database\Flavor2.L			
		Guaiyl acetate	306	000134-28-1	50
		Valencene	156	004630-07-3	45
		Nerolidol, (E-); nerolidol, (trans-)	248	007212-44-4	16
33	26.369	1.39 C:\Database\Flavor2.L			
		Lauric aldehyde	89	000112-54-9	91
		Undecanal	87	000112-44-7	64
		omega-6-Hexadecalactone, Ambrettolide	71	007779-50-2	38
34	27.447	0.34 C:\Database\Flavor2.L			
		trans-2-octenal	144	002548-87-0	32
		trans-2,cis-6-Nonadienal	153	000557-48-2	12
		Lauryl alcohol	90	000112-53-8	12
35	27.895	13.23 C:\Database\Flavor2.L			
		trans-2-octenal	144	002548-87-0	53
		Decyl acetate	266	000112-17-4	37
		Lauryl alcohol	90	000112-53-8	32
36	28.825	0.20 C:\Database\Flavor2.L			
		Lauric aldehyde	89	000112-54-9	58
		Undecanal	87	000112-44-7	42
		xxx	390	000000-00-0	40
37	29.578	0.15 C:\Database\Flavor2.L			
		m-Cresol	250	000108-39-4	7
		o-Cresol	96	000095-48-7	7
		p-Methylphenyl acetate	242	000140-39-6	4
38	29.861	0.09 C:\Database\Flavor2.L			
		Octyl acetate	272	000112-14-1	7
		Nonyl acetate	5	000143-13-5	6
		xxx	390	000000-00-0	1
39	30.259	2.42 C:\Database\Flavor2.L			
		trans-2-octenal	144	002548-87-0	45
		1-Decanol	86	000112-30-1	25
		Undecanal	87	000112-44-7	17
40	32.538	1.12 C:\Database\Flavor2.L			
		trans-2-Nonenal	202	018829-56-6	50
		trans-2-octenal	144	002548-87-0	45
		2-Ethyl-1-hexanol	133	000104-76-7	38

Quim. Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914

ACEITE ESENCIAL19.M Fri Mar 22 08:28:59 2019 UNSAAC

File :D:\DATA MSD\ACEITES ESENCIALES\2019\CILANDRO\AE-CILANTRO.D
 Operator : JCHP
 Acquired : 10 Jan 2019 13:57 using AcqMethod ACEITE ESENCIAL19.M
 Instrument : UNSSAC
 Sample Name: Aceite Esencial
 Misc Info :
 Vial Number: 1



Quim. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría - UNSAAC.
 CQP - 914

INSTRUMENT CONTROL PARAMETERS: UNSSAC

C:\MSDCHEM\1\METHODS\ACEITE ESENCIAL19.M
Thu Jan 10 14:37:47 2019

Control Information

Sample Inlet : GC
Injection Source : GC ALS
Mass Spectrometer : Enabled



Quim. Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914

No Sample Prep method has been assigned to this method.

6890 GC METHOD

OVEN

Initial temp: 60 'C (On)	Maximum temp: 450 'C
Initial time: 0.00 min	Equilibration time: 0.50 min
Ramps:	
# Rate Final temp Final time	
1 5.00 240 1.00	
2 0.0 (Off)	
Post temp: 260 'C	
Post time: 3.00 min	
Run time: 37.00 min	

FRONT INLET (SPLIT/SPLITLESS)

Mode: Split
Initial temp: 200 'C (On)
Pressure: 8.23 psi (On)
Split ratio: 80:1
Split flow: 80.0 mL/min
Total flow: 84.1 mL/min
Gas saver: Off
Gas type: Helium

BACK INLET (SPLIT/SPLITLESS)

Mode: Split
Initial temp: 50 'C (Off)
Pressure: 10.00 psi (Off)
Total flow: 25.1 mL/min
Gas saver: Off
Gas type: Helium

COLUMN 1

Capillary Column
Model Number: Agilent 19091S-433
HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane
Max temperature: 325 'C
Nominal length: 30.0 m
Nominal diameter: 250.00 um
Nominal film thickness: 0.25 um
Mode: constant pressure
Pressure: 8.23 psi
Nominal initial flow: 1.0 mL/min
Average velocity: 37 cm/sec
Inlet: Front Inlet
Outlet: MSD
Outlet pressure: vacuum

COLUMN 2

(not installed)

FRONT DETECTOR (FID)

Temperature: 250 'C (Off)
Hydrogen flow: 40.0 mL/min (Off)
Air flow: 450.0 mL/min (Off)
Mode: Constant makeup flow
Makeup flow: 45.0 mL/min (Off)
Makeup Gas Type: Nitrogen
Flame: Off
Electrometer: Off
Lit offset: 2.0

BACK DETECTOR (NO DET)

SIGNAL 1

Data rate: 20 Hz
Type: test plot
Save Data: Off
Zero: 0.0 (Off)
Range: 0

SIGNAL 2

Data rate: 20 Hz
Type: test plot
Save Data: Off
Zero: 0.0 (Off)
Range: 0

Figura A. 3. Condiciones cromatográficas del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).



Fast Peaks: Off
Attenuation: 0

Fast Peaks: Off
Attenuation: 0

COLUMN COMP 1
(No Detectors Installed)

COLUMN COMP 2
(No Detectors Installed)

THERMAL AUX 2
Use: MSD Transfer Line Heater
Description: MSD
Initial temp: 280 'C (On)
Initial time: 0.00 min
Rate Final temp Final time
1 0.0(Off)

AUX PRESSURE 3
Description:
Gas Type: Helium
Initial pressure: 0.00 psi (Off)

AUX PRESSURE 4
Description: HS
Gas Type: Helium
Initial pressure: 0.00 psi (Off)

AUX PRESSURE 5
Description:
Gas Type: Helium
Initial pressure: 0.00 psi (Off)

POST RUN
Post Time: 3.00 min
Oven Temperature: 260 'C
Column 1 Pressure: 0.0 psi

TIME TABLE
Time Specifier Parameter & Setpoint

GC Injector

Front Injector:
Sample Washes 1
Sample Pumps 1
Injection Volume 0.10 microliters
Syringe Size 5.0 microliters
PreInj Solvent A Washes 2
PreInj Solvent B Washes 3
PostInj Solvent A Washes 3
PostInj Solvent B Washes 3
Viscosity Delay 0 seconds
Plunger Speed Fast
PreInjection Dwell 0.00 minutes
PostInjection Dwell 0.00 minutes

Quim. Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNSAAC.
CQP - 914

Back Injector:
No parameters specified

Column 1 Inventory Number :
Column 2 Inventory Number :

MS ACQUISITION PARAMETERS

General Information

Tune File : atune.u
Acquisition Mode : Scan

MS Information
--

Solvent Delay : 0.00 min
EMV Mode : Absolute
Resulting EM Voltage : 988

[Scan Parameters]

Low Mass : 40.0
High Mass : 400.0

Threshold : 150
 Sample # : 2 A/D Samples 4
 Plot 2 low mass : 40.0
 Plot 2 high mass : 400.0

[MSZones]

MS Source : 230 C maximum 250 C
 MS Quad : 150 C maximum 200 C

END OF MS ACQUISITION PARAMETERS

TUNE PARAMETERS for SN: US62744989

Trace Ion Detection is OFF.

EMISSION : 34.610
 ENERGY : 69.922
 REPELLER : 34.814
 IONFOCUS : 89.208
 ENTRANCE_LE : 22.000
 EMVOLTS : 1247.059

Actual EMV : 988.235
 GAIN FACTOR : 0.14

AMUGAIN : 1481.000
 AMUOFFSET : 120.750
 FILAMENT : 1.000
 DCPOLARITY : 0.000
 ENLENDOFFS : 18.071
 MASSGAIN : -793.000
 MASSOFFSET : -37.000

END OF TUNE PARAMETERS

END OF INSTRUMENT CONTROL PARAMETERS



Quim. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría - UNSAAC.
 CQP - 914

ANEXO B.



Figura B. 1. Equipo de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor



Figura B. 2. Generador de vapor de agua FIQ-LOPU



Figura B. 3. Compresor de aire FIQ-LOPU



Figura B. 4. Pesado de la materia prima cilantro (*coriandrum sativum*)



Figura B. 5. Muestra de cilantro (*coriandrum sativum*) incorporada al recipiente destilador.



Figura B. 6. Iniciación de la extracción de aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*)



Figura B. 7. Evaluación de las plantas de cilantro (*coriandrum sativum*) dentro del recipiente destilador.



Figura B. 8. Descomposición de la materia prima cilantro en el recipiente destilador.



Figura B. 9. Primeras gotas de aceite esencial extraído.



Figura B. 10. Toma de datos de la extracción del aceite esencial.



Figura B. 11. Decantación del aceite esencial (separación del agua y el aceite).



Figura B. 12. Cromatógrafo de gases acoplada a espectrometría de masas en la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco.



Figura B. 13. Eliminación total del agua mediante un reactivo.



Figura B. 14. Análisis por cromatografía de gases del aceite esencial del cilantro (*coriandrum sativum*).



Figura B. 15. Verificación del análisis cromatográfico.



Figura B. 16. Aguja de inyección para la toma de muestra del aceite esencial de cilantro.

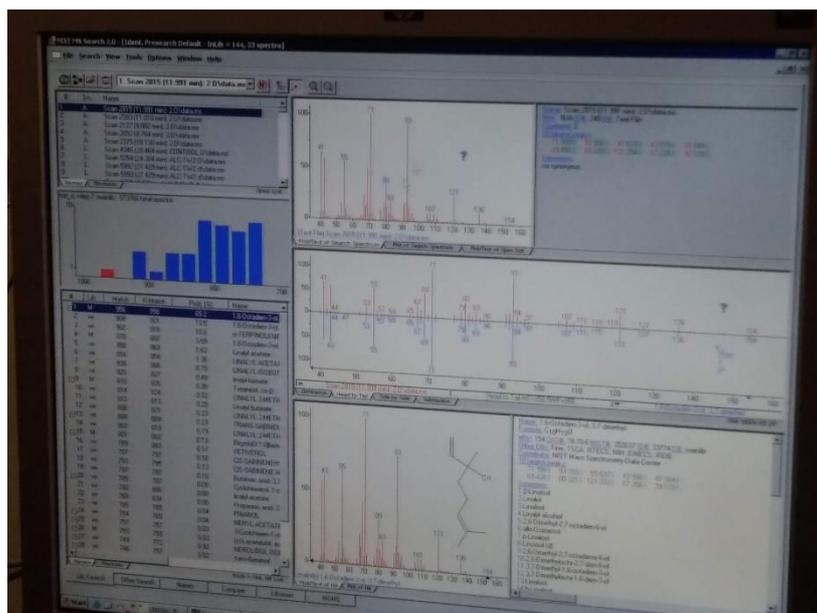


Figura B. 17. Resultados del análisis cromatógrafo de gases del aceite esencial de cilantro (*coriandrum sativum*).