



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua  
para incrementar el nivel de producción de aceites esenciales.**

**Chimbote – 2022**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Industrial

**AUTOR:**

Cisneros Hilario, Cesar Braulio (orcid.org/0000-0002-6158-7250)

**ASESOR:**

Ms. Vargas Sagastegui, Joel David (orcid.org/0000-0003-0411-8164)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión empresarial y productiva

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHIMBOTE - PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Dedico la presente investigación a mis padres, hermanos y esposa, por su apoyo incondicional, así mismo a mi esposa e hija por ser motivo de seguir superándome.

## Agradecimiento

A Dios por ser mi apoyo y guía durante mi formación, así mismo a mis docentes y mi Universidad por sus enseñanzas, exigencia y aprendizaje para toda la vida.

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
I.INTRODUCCIÓN .....	1
II.MARCO TEÓRICO .....	5
III.METODOLOGÍA .....	11
3.1.Tipo y diseño de investigación .....	11
3.2.Variable y operacionalización.....	11
3.3.Población, muestra y muestreo.....	12
3.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	12
3.5.Procedimientos .....	13
3.6.Método de análisis de datos .....	13
3.7.Aspectos éticos.....	13
IV.RESULTADOS .....	15
V.DISCUSIÓN.....	29
VI.CONCLUSIONES .....	32
VII.RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS .....	34
ANEXOS.....	38

## Índice de tablas

Tabla 1. Técnicas e instrumentos para recolección de datos. ....	12
Tabla 2. Factor de superficie de contacto.....	20
Tabla 3. Factor de tiempo de secado .....	20
Tabla 4. Factor de tiempo de extracción. ....	21
Tabla 5. Matriz del diseño experimental para el desarrollo de experimentos.....	21
Tabla 6. Variables para el diseño experimental.....	22
Tabla 7. Resultado de las pruebas experimentales de extracción de aceite esencial. .....	23
Tabla 8. Análisis de varianza para la extracción de aceite esencial de eucalipto. 24	
Tabla 9. Coeficiente de regresión para extracción de aceite esencial de eucalipto. .....	25
Tabla 10. Combinaciones entre niveles de los factores para extracción de aceite esencial de eucalipto.....	26

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de operaciones de la extracción de aceites esenciales.....	15
Figura 2. Diagrama de actividades de la extracción de aceites esenciales. ....	16
Figura 3. Diagrama de Pareto estandarizado para la extracción de aceite esencial de eucalipto.....	27
Figura 4. Diagrama respuesta estimada.....	28
Figura 5. Gráfica de efectos principales para la extracción. ....	28

## Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo aplicar la mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua para incrementar el nivel de producción de aceites esenciales. La metodología fue de tipo aplicada, de diseño experimental, y de enfoque cuantitativo. Dentro de los resultados se evidenció que, al diseñar el diagrama de actividades de proceso, de actividades y de recorrido, se identificó que hay 8 operaciones y una operación inspección; se determinó que los factores que afectan al incremento del nivel de producción de aceites esenciales son la superficie de respuesta, el tiempo de secado del material y el tiempo de extracción. También se encontró que las variables que maximizan el rendimiento de aceite esencial son superficie de contacto  $X_1$  (hojas partidas); tiempo de secado  $X_2$  (10 días) y tiempo de extracción  $X_3$  (50 minutos); estos valores incrementaron el nivel de producción de aceite esencial en 3.4%; 2.8% y 3.2% respectivamente. Por lo tanto, se concluye que aplicando la mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua se logra incrementar los niveles de producción de aceites esenciales

**Palabras clave:** mejora, destilación, arrastre de vapor con agua, aceite esencial, nivel de producción.

## **Abstract**

The objective of this research was to apply the improvement of the steam distillation process to increase the level of essential oil production. The methodology was applied type, experimental design, and quantitative approach. Among the results, it was evidenced that, when designing the diagram of process activities, activities and itinerary, it was identified that there are 8 operations and one inspection operation; It was determined that the factors that affect the increase in the level of production of essential oils are the response surface, the drying time of the material and the extraction time. It was also found that the variables that maximize essential oil yield are contact surface X1 (broken leaves); drying time X2 (10 days) and extraction time X3 (50 minutes); these values increased the level of essential oil production by 3.4%; 2.8% and 3.2% respectively. Therefore, it is concluded that by applying the improvement of the steam distillation process, it is possible to increase the production levels of essential oils.

**Keywords:** improvement, distillation, steam entrainment with water, essential oil, production level.



## I. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, durante los últimos años, la tasa de extracción de aceites por destilación con arrastre con vapor de agua en las plantaciones ha ido en aumento. Por lo general, las muestras de verduras frescas y cortadas se encierran en una cámara inerte, la misma que es afectada al flujo de vapor sobrecalentado. El aroma arrastrado de esta manera se condensa, recoge y se separa de la parte que contiene agua. Esta tecnología se usa ampliamente en fragancias fluidas, especialmente fragancias utilizadas en perfumes. Siendo necesario un elevado rendimiento y elevada pureza de los aceites, es necesario el uso de tecnología de última generación, es necesario para extraerlos a nivel industrial (Martínez, 2001). Durante décadas, se ha creído que cuando el vapor saturado fluye a través de un lecho de material vegetal, el proceso es controlado por la superficie de contacto de la hoja o flor con el vapor o por la cantidad de aceites esenciales disponibles en la muestra vegetal (Günther, 1948, citado por Cerpa, 2007).

Sin embargo, la ejecución del procedimiento no continúa con la conducta de los cálculos de destilación, ya que la tasa de obtención de aceite se reduce raudamente con el tiempo. Cerpa (2007) señaló la existencia de al menos tres fenómenos de control en este proceso: (a) La evaporación instantánea del aceite esencial en la interfaz entre la superficie del material vegetal y la película formada por el vapor circundante; (b) El aceite evaporado por la convección ejercida por el vapor en el lecho difundido en el flujo de vapor circundante y transportado inmediatamente al exterior del equipo; (c) los aceites esenciales se filtran (o excretan) desde el estrato corneo a través de los pelos glandulares hasta las membranas superficial es de la muestra vegetal a utilizar.

A nivel local, los aceites esenciales se emplean en diversas industrias, por ejemplo, para elaborar cosméticos, (Isman et al., 2011; Lubbe y Verpoorte, 2011). Asimismo, se usa en la industria de alimentos e industria avícola mejorando el crecimiento de pollos (Piva et al., 1999), utilizándose aceites esenciales de anís, tomillo, apio y pimientos, cuyos resultados fueron similares a los registrados por la administración de antibióticos promotores de crecimiento en cerdos y pollos. También en la industria farmacéutica, ya que gracias a sus

propiedades terapéuticas ayudan a mejorar la memoria (Filiptsova et al., 2017), aliviar el dolor, tratar problemas digestivos (López-Muñoz et al., 2006), también se ha demostrado que poseen actividad antimicrobiana y estimulan el sistema inmunológico (Flores, 2006). Es necesario recalcar que los aceites esenciales presentan ciertas restricciones para su utilización, ya que, debido a su extracción complicada y costosa, es necesario conocer no sólo su eficacia, sino también su seguridad (Carro et al., 2002).

Dentro de los productos vegetales más utilizadas para la extracción de aceites esenciales, tenemos al eucalipto y romero, ya que, por su crecimiento en cualquier temporada, asegura su cultivo y bajo costo. En aquellos lugares donde otras plantas no florecen, más que todo en áreas húmedas, no hubo la necesidad de cultivar grandes cosechas (Lax, 2014), por lo tanto, este sigue siendo un campo muy prometedor que puede estimular mayormente la producción y variar la demanda. Existen amplios conocimientos de los procesos para obtener aceites esenciales utilizando agua como un vehículo de extracción, pero solo se han modificado algunos insumos para el control y optimización del proceso para extraerlo (Casado, 2018; Moreno et al., 2010). Cuya importancia radica en el desarrollo de modelos matemáticos descriptivos de estos fenómenos, la determinación del impacto de las variables operativas en el desempeño y la calidad del producto, la medición de las dimensiones de los equipos a mayor escala y la simulación de procesos. Esto evita la necesidad de construir plantas industriales o realizar engorrosos ensayos a gran escala a escala piloto, que solo son aplicables a materias primas, determinadas condiciones operativas y escalas de producción.

En base a lo expuesto, se planteó como problema general de investigación: ¿De qué manera la mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua incrementará el nivel de producción de aceites esenciales?, teniendo como problemas específicos: ¿Cuáles son los factores del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua que afectan el incremento del nivel de producción de aceites esenciales?, ¿Cómo afectan los factores del proceso de destilación por arrastre de vapor de agua el incremento del nivel de producción de aceites

esenciales?, ¿Cuál será el diseño del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua que incrementará el nivel de producción de aceites esenciales?

La presente investigación se justifica teóricamente, porque buscó el uso de conceptos teóricos referente a mejora del proceso de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor con agua, nivel de producción, porcentaje de rendimiento de aceite esencial, superficie respuesta y la disponibilidad de equipos, lo que permitirá la mejora del proceso de destilación por arrastes con vapor de agua para incrementar el nivel producción de aceites esenciales. Asimismo, se justifica metodológicamente debido a que la presente investigación podría ser utilizada para futuros trabajos ya que indaga sobre las variables mejora de proceso y nivel de producción, así mismo permitirá formular el proceso óptimo de extracción de aceites esenciales y lograr un mayor nivel de producción de aceites esenciales, demostrando validez y confiabilidad de los instrumentos a utilizarse durante el desarrollo. También se justificará de forma técnica, ya que la mejora de procesos permitirá incrementar los niveles de producción de aceite esencial, determinando los parámetros óptimos de extracción, mediante el uso de formatos y documentos técnicos. Por otro lado, se justificará económicamente ya que permitirá a la disminuir el uso de materia prima, disminuir el costo de producción. A nivel tecnológico, se justificará debido a la adecuación de un equipo de extracción de aceites esenciales que permitirá evaluar los parámetros como el tiempo, superficie de contacto entre la muestra vegetal y el vapor de agua y frescura de la muestra.

Como objetivo general se tiene: Aplicar la mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua para incrementar el nivel de producción de aceites esenciales. Como objetivos específicos se tiene: Analizar el proceso de destilación por arrastre con vapor para agua para determinar los factores que afectan el incremento del nivel de producción de aceites esenciales, Evaluar los factores del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua que afectan el incremento del nivel de producción de aceites esenciales, diseñar el proceso de destilación por arrastre con vapor de agua para incrementar el nivel de producción de aceites esenciales. Como hipótesis general se tiene: La aplicación

de la mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua incrementará el nivel de producción de aceites esenciales.

## II. MARCO TEÓRICO

En la investigación de Bautista (2020), denominada "Obtención de aceite esencial de molle (*Schinus molle* L.) y su evaluación antifúngica contra la antracnosis. In vitro". El parámetro evaluado consistió en evaluar la inhibición del crecimiento del género anthracis. Las concentraciones del aceite fueron de 250, 500 y 750 mg/ml, las mismas que se diluyeron en agua destilada utilizando el agente tensioactivo polisorbato de sodio al 1%. Se concluyó que el aceite esencial del fruto de molle posee efecto inhibidor del 37% sobre la antracnosis a concentraciones de 250 y 500 mg/ml, no encontrándose diferencias significativas con el aceite a la concentración de 750 mg/ml. Este estudio permitirá evaluar los parámetros considerados para la extracción del aceite esencial.

En el artículo de Briones y Guerrero (2019) "Extracción de aceites esenciales de Citrus y Palosanto por *Steam Drag*", el objetivo fue extraer los aceites esenciales de Palosanto y Citrus mediante extracción por arrastre de vapor, encontrando un menor rendimiento de aceite de palo santo 2.7985% y mayor rendimiento con citrus de 4.3425% al utilizar las hojas frescas de estas dos especies, mientras que el rendimiento de piel de naranja fue de 0.0816%.

Castillo y Silva (2019) "Utilizando diseño secuencial para optimizar la extracción de aceite esencial de romero por tracción de vapor", evaluaron el impacto de la densidad de carga, flujo de vapor y condiciones de la materia prima en la producción de aceite esencial de romero mediante el método de extracción por arrastre de vapor. Los resultados mostraron que el DCCR estuvo compuesto por 3 repeticiones de 22,4 puntos de eje y puntos centrales de la programación factorial completa, y un total de 11 experimentos. Se utilizó un modelo polinomial cuadrático para predecir la respuesta. Cuando la materia prima estuvo seca, la densidad de carga fue de 1 kg y el caudal de vapor de agua fue de 5 kg/hora, la producción de aceite esencial de romero fue la más alta, lo que pudo proporcionar un 2,66% del rendimiento. La conclusión a la que se llega es que la variable B (densidad de carga de la materia prima) y la variable A (flujo de vapor) tienen la mayor importancia, con valores estadísticamente significativos.

Casado (2018) en su artículo denominado "Optimización de la extracción de aceites esenciales mediante destilación al vapor" buscó construir y depurar una

unidad de destilación al vapor a escala de laboratorio para extraer aceites esenciales de tres materias primas naturales: cáscara de naranja, flores de limón y lavanda. En los resultados se obtuvo que se identificaron 3 etapas en los gráficos de rendimiento, los tiempos fueron de 0 a 5 minutos, de 5 y 15 minutos y 15 de rango de máxima extracción, extracción continua y de máxima extracción respectivamente. Se concluye que en el rango de máxima extracción se obtiene 60% de aceite total, siendo la extracción de aceite de limón es el proceso más lento.

Díaz (2017), en su investigación "Determinación del rendimiento de aceites esenciales extraídos de *salvia miltiorrhiza* por método de arrastre de vapor en diferentes momentos", el propósito fue evaluar el aceite esencial de las raíces de trébol. Los resultados mostraron que las raíces de espino amarillo contenían una elevada cantidad de resinas, alcaloides, triterpenos y sustancias esteroideas, así como la presencia moderada de flavonoides, lípidos, compuestos fenólicos, proteínas y lactonas. La producción de aceites esenciales oscilo entre 0.50% y 0.85% (p / p), también se encontró una densidad 0.86 g/mL, 1.48 de índice de refracción y valores de 1.5% -2.5% para su volatilidad.

Patiño, Saavedra y Martínez (2016) en su artículo denominado "Extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de Romero", buscaron determinar la influencia de la cantidad de material en el desempeño y calidad de aceites. Los resultados mostraron un rendimiento de aceite esencial de 20ml y 40ml, utilizando 2,5 y 5 Kg de hojas secas de romero respectivamente.

Por último, en el artículo de Balboa (2016) buscó diseñar y crear un kit para la destilación por arrastre de vapor, utilizando la cáscara de naranja dulce. Los resultados mostraron que el tamaño del equipo permitió el uso de 3 kg de materia prima. Donde el generador de vapor funciona a una presión de 1,15 atmósferas, una temperatura de 97°C y un caudal de vapor de 2,1 g por segundo. Se concluyó que la asociación de las variables presión, temperatura y caudal asociado a la tecnología para mejorar la eficiencia del proceso, la construcción del equipo experimental es útil para el estudio de la destilación por vapor.

El método de extracción de aceite esencial por arrastre con vapor de agua es el de uso más frecuente en el mercado industrial, especialmente en el campo de

los perfumes. Este método une los líquidos, la evaporación por temperatura, y calienta las mezclas hasta lograr el punto de ebullición preciso, y lograr separarla en el equipo. La elección del método a utilizar toma en cuenta muchos factores como son: la capacidad del equipo, aspectos del aceite a extraer (volatilidad, punto de ebullición e insumos a utilizar), además de la parte de muestra vegetal que se va a utilizar para la extracción (Díaz, 2007).

La destilación por arrastre de vapor con agua es un método de separación de sustancias volátiles por evaporación y luego condensación, se puede utilizar como materia prima las hojas, flores, semillas, entre otras partes de las plantas. Este proceso inicia cuando el vapor de agua arrastra el aceite de la muestra vegetal utilizada y debido a la densidad y inmiscibilidad de la fase orgánica, ésta se vuelve menos densa y permanece casi intacta. Mientras que la fase acuosa contiene una cierta proporción de agua y aceite como es el caso del agua de rosas.

Por otro lado, para la extracción por solvente, la muestra se seca y muele, y luego se coloca sobre un solvente orgánico (alcohol, cloroformo, etc.). Dichos disolventes también extraen los óleos y ceras de la muestra para obtener oleorresinas o extractos impuros. Es muy utilizado en laboratorios porque su aplicación a nivel industrial es muy costosa, por el gasto de disolventes, y porque también se extrae lo contaminado; otra limitación de su uso a nivel industrial se debe a la volatilidad, la presencia de una gran cantidad de disolventes orgánicos conlleva el riesgo que explote o se incendie (Martínez, 2003). Los métodos más utilizados en el laboratorio son el reflujo y la extracción Soxhlet (Thompson et al., 2004; Proestos y Komaitis, 2006). Sin embargo, existe otra forma para extraer por solvente que se usa en el laboratorio, por ejemplo, macerar o extraer alcohol, aquí, la materia orgánica se coloca en una solución de alcohol por un período de tiempo, aquí el aceite esencial se extrae evaporando el alcohol en un evaporador rotatorio (Chua et al., 2008).

Esta forma para extraer tiene grandes factores de riesgo, pero lleva mucho tiempo, y debido al solvente utilizado, hay compuestos que se encuentran en trazas dentro del aceite obtenido; esto limita la utilización de éstos productos en la industria alimentaria, cosmética y farmacológica (Khajeh et al., 2005; Vagi et

al., 2005; Guan et al., 2007). La extracción de fluido supercrítico consiste en cortar los materiales vegetales usados en trozos pequeños, licuarlos o molerlos y ponerlos en una cámara de acero inoxidable, donde el dióxido de carbono líquido circula a través de la muestra. Para que la esencia se pueda disolver y lavar. Como solvente, el líquido se reduce gradualmente de presión hasta que alcanza la temperatura y presión normales, y finalmente se obtiene una fragancia pura. Este método es ventajoso, como obtener extractos de gran rendimiento, compatibilidad ecológica, fácil remoción de solventes y permitir su reciclaje, por otro lado, el uso de baja temperatura durante el proceso de extracción no modifica químicamente las sustancias químicas. Sin embargo, la maquinaria a emplear es costosa necesitando el uso bombas y sistemas de extracción que puedan soportar altas presiones (Martínez, 2001).

Con respecto a los aceites esenciales, Hammer et al., señalaron que estas sustancias pueden combatir microorganismos *In vitro*, especialmente contra las bacterias y otros microorganismos transmitidos por los alimentos. Martins et al., Citaron el mismo concepto en 2013. Otro concepto que dio Martínez en 2003, es que los aceites esenciales son la parte líquida, y al mismo tiempo la garantía de la fragancia vegetal, la base de la industria cosmética, la industria alimentaria y farmacéutica, conteniendo hidrocarburos como terpenos aromáticos y sesquiterpenos (limoneno, alfa terpineno, cumeno, para-cimeno y trans beta cariofielno), también contienen aldehídos como monoterpenos, alifáticos y aromáticos (citrinal, nonatal, octadecanal y cinamaldehido), además contiene alcoholes de tipo monoterpenos, alifáticos, sesquiterpenos y aromáticos (geraniol, citronelol 3-decanol, espatulenol, cedrol, alcohol bencílico, finalmente contiene fenoles como compuestos aromáticos (timol y carvacrol) (Díaz, 2007).

Carreño, et al (2019, p. 84), considera que el ciclo de Deming, con sus cuatro fases (planificar, hacer, verificar y actuar), permite establecer soluciones a uno o diversos problemas encontrados en una empresa; así mismo, Castañeda y Flores (2019, p. 66) manifiesta que el objetivo principal de la mejora continua permite ejecutar actividades que permitan corregir y prevenir los problemas de una industria, logrando cumplir las expectativas de los clientes, brindando productos o servicios con elevada calidad. Así mismo reafirma que, si una



empresa desea subsistir dentro de un mercado competitivo, debe aplicar acciones preventivas y correctivas, concernientes a la mejora continua, permitiéndoles un crecimiento sostenido dentro del mercado.

De La Cruz y Loyola (2021, p. 37), plantea que toda industria busca incrementar su productividad, brindando productos y/o servicios con exigentes estándares de calidad solicitados por el mercado, siendo necesario inculcar dentro de la organización una cultura de innovación basado en el ciclo de Deming; lo que también es sugerido por Dondiz, et al (2018, p. 29), el que considera que para lograr los objetivos de una empresa es necesario aplicar el proceso de mejora continua; por otro lado, Díaz y Rodríguez (2020, p. 102) aseguran que la metodología PHVA busca abordar las metas para identificar oportunidades de mejora dentro de las empresas que tiene como política la aplicación de la mejora continua, logrando no sólo cumplir con plazos de entrega, sino también con productos de elevada calidad, llegando a emplear para tal fin el análisis de datos y en con estos datos obtenidos realizar correcciones y la toma de precauciones. Por lo descrito podemos concluir que los objetivos de toda organización se lograrán gracias a la mejora continua implementada y ejecutada de manera oportuna y correcta.

Por tanto, podemos inferir que el ciclo de Deming implementado oportunamente y considerando ocho pasos, donde se inicia con el planificar donde es necesario ejecutar un diagnóstico de la situación de la empresa para determinar causas que estarían repercutiendo a la empresa, éste proceso, hace uso de múltiples herramientas de ingeniería como es el diagrama de Pareto, el diagrama de Ishikawa, entre otros, (Galarreta, 2017, p. 20). Posteriormente se debe de realizar una lluvia de ideas (Hernández et al., 2019, p. 91) que permita determinar la principal causa y tomando encuenta lo hallado plantear acciones que conlleven a corregir el problema encontrado. Según Lara (2017, p. 123) menciona que posterior a encontrar la principal causa, se debe de elaborar gráficos de control, que permitan encontrar la varianza que existe dentro de una empresa. Finalmente, se tiene que plantear soluciones utilizando para tal fin un cuadro de doble entrada. Todo lo mencionado fortalecerá a la empresa

haciéndola más competente dentro del mercado donde se desarrolla (Meas et al., 2018, p. 55)

Niño, et al. (2019, p. 201) considera que paso cinco consiste ejecutar las posibles soluciones planteadas, la que permitirá disminuir o erradicar el problema principal detectado en la organización. También, Poli, et al. (2018, p. 103) deja en claro que el sexto paso está relacionado con la verificación, utilizando para tal fin formatos de los indicadores, hallando la varianza producto de las alternativas de solución planteadas. Así mismo, Reyes, et al. (2019, p. 184) considera que el séptimo paso consiste en actuar, siendo necesario ejecutar una reunión con la alta gerencia y dar a conocer todas las alternativas de solución identificados y halladas en el proceso de implementación de la metodología PHVA, se tendrá que formar un equipo que se encargará de implementar la mejora continua en la empresa de manera permanente. Como paso final de una adecuada implementación de la mejora continua en una empresa, se deberá de archivar documentos, conteniendo la formatería aplicada, éstos documentos pasarán a formar parte de la data histórica de la empresa, la misma que deberá ser aplicada constantemente, dando solución a los problemas encontrados Además es importante mencionar que los aceites esenciales se pueden aplicar en diversas industrias como en la industria farmacéutica, productos industriales, industrias de aromas y sabores y cuidado personal (Serrano et al., 2020, p. 265).

### **III.METODOLOGÍA**

#### **3.1.Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación aplicado fue la experimental. El método utilizado fue el de Superficie de Respuesta (MSR), que es una mezcla de análisis de regresión y diseño experimental. Se trata de un experimento secuencial y una estrategia de modelado que puede encontrar la posición óptima para maximizar, minimizar o Una variable independiente que satisfaga ciertas restricciones sobre la variable de respuesta. El diseño Central Composite Rotation (CCR) es el experimento de diseño de superficie de respuesta más utilizado, el que permite la estimación de curvatura y el modelado de variables de respuesta con curvatura agregando puntos de centro y pivote al diseño factorial realizado previamente (Sharma, 2012).

#### **3.2.Variables y operacionalización**

Variable independiente (X): Mejora de procesos

Una serie de tareas encaminadas a crear valor agregado a los insumos con el fin de obtener productos que logren satisfacer las necesidades del consumidor final (Pérez, 2012, p. 67).

Variable dependiente (Y): Nivel de Producción

El nivel de producción es el grado en que se utiliza la capacidad productiva. Por lo general, se mide como capacidad utilizada de manera porcentual. En algunos casos se utilizan cantidades absolutas, como el tiempo de servicio prestado y las unidades producidas, número de servicios realizados, etc. (Álvarez, 2018).

La matriz de operacionalización de variables se muestra en el Anexo 1.

### 3.3. Población, muestra y muestreo

La población estuvo conformada por hojas de eucalipto. Dentro de los criterios de inclusión se consideraron sólo las hojas de la especie vegetal *Eucalyptus globulus* mientras que se excluyeron las hojas en mal estado conservación. La muestra estuvo conformada por 5 kg de hojas de *Eucalyptus globulus*, empleándose para nuestro estudio el muestreo probabilístico.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó la observación directa como técnica, esta técnica permite analizar y describir de la situación actual, tal como se muestra en el momento del análisis. Las técnicas de análisis de documentos permitieron analizar la información que una empresa tiene como datos históricos. Por tal motivo se utilizaron los siguientes instrumentos.

**Tabla 1.** Técnicas e instrumentos para recolección de datos.

Variables	Técnica	Instrumentos	Fuentes
<b>Variable Independiente:</b> Mejora de procesos	Análisis documental	Ficha bibliográfica	Antecedentes
	Observación experimental	Guía de observación experimental	Trabajo experimental de laboratorio
	Análisis experimental	Matriz de experimentos	Trabajo experimental de laboratorio
<b>Variable Dependiente:</b> Nivel de producción	Superficie respuesta	Ficha de registro de superficie respuesta	Trabajo experimental de laboratorio – Statgraphics 5.1.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.5. Procedimientos**

Analizar el proceso de destilación por arrastre con vapor de agua se elaboró el diagrama de analítico de proceso (DAP), diagrama de proceso de operaciones (DOP), que permitirán de determinar las actividades y operaciones presentes en la obtención de los aceites esenciales de plantas medicinales aromáticas, siendo utilizado en este caso las hojas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

Para la determinar los factores que afectan los niveles de producción de los aceites esenciales, se utilizó un equipo de extracción por arrastre de vapor de agua, convencional y de poca capacidad, acondicionado por el investigador para los fines pertinentes, se consideró la superficie de contacto, tiempo de secado de la muestra vegetal y el tiempo de extracción.

Para diseñar el proceso de destilación, se determinó la formulación óptima y así obtener los aceites esenciales, así también se empleó la metodología de superficie respuesta, utilizando el programa Statgraphics 5.1.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Se empleó la estadística inferencial, el cual ayudó a inferir todos los resultados hallados, además que se analizó los datos obtenidos por el software estadístico STATGRAFIC 5.1, también se obtuvo un diagrama de Pareto que permitió determinar las variables que mayor influencia tienen dentro del rendimiento de aceites esenciales.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente trabajo se ejecutó según las normas ISO 690, respetando la originalidad de los autores y citando debidamente sus lineamientos. Asimismo, se tuvo en cuenta el Código de Ética mediante Resolución de Consejo Universitario 0262-2020/UCV Resolución Universitaria de Derecho 30220. Nuestra investigación considero los principios de ética como la beneficencia, donde se busca en todo momento el bienestar de los participantes, la Justicia donde a todos los participantes se les brindó un trato igualitario, así mismo se

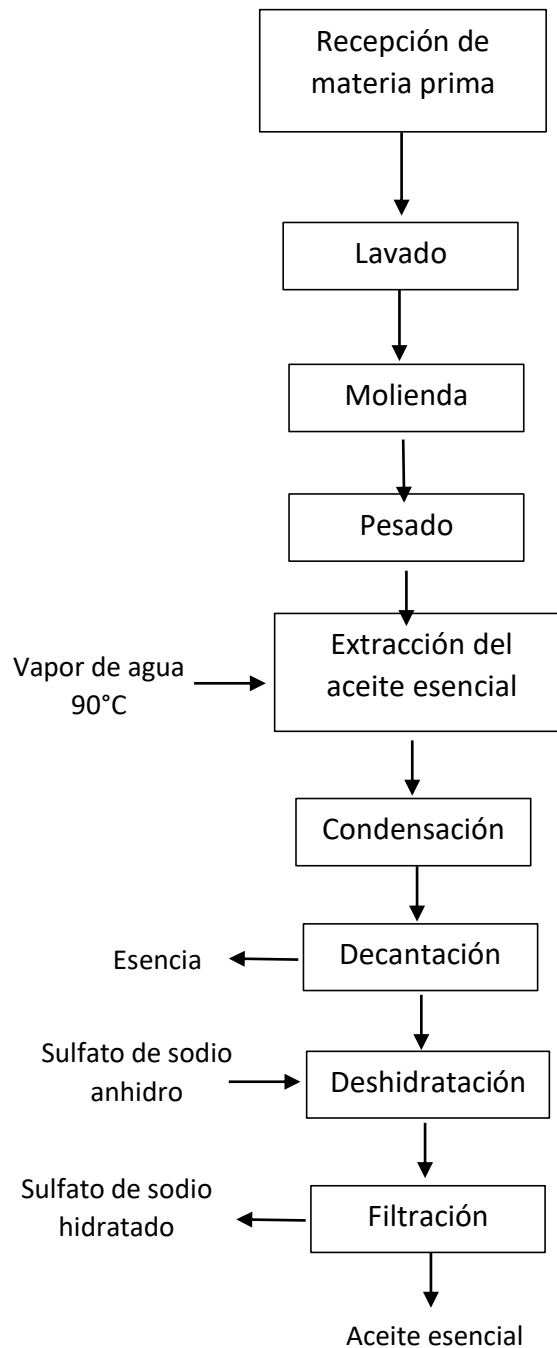
consideró el análisis de riesgo/beneficio antes de ser ejecutada la investigación de tal manera que se resguarde la integridad física y mental de todos los involucrados en éste trabajo.

También se tomó en cuenta la transparencia (artículo 8°) donde se presume que el proyecto de investigación elaborado, será de autoría de los investigadores. Se tuvo en consideración la política antiplagio (artículo 9°) el mismo que a través de un software permitió determinar el índice de similitud con otros trabajos realizados. Finalmente se consideró el artículo 15° que aborda la falsedad de datos, la misma que se aseguró realizando la redacción adecuada y oportuna del presente trabajo en todos su capítulos y anexos.

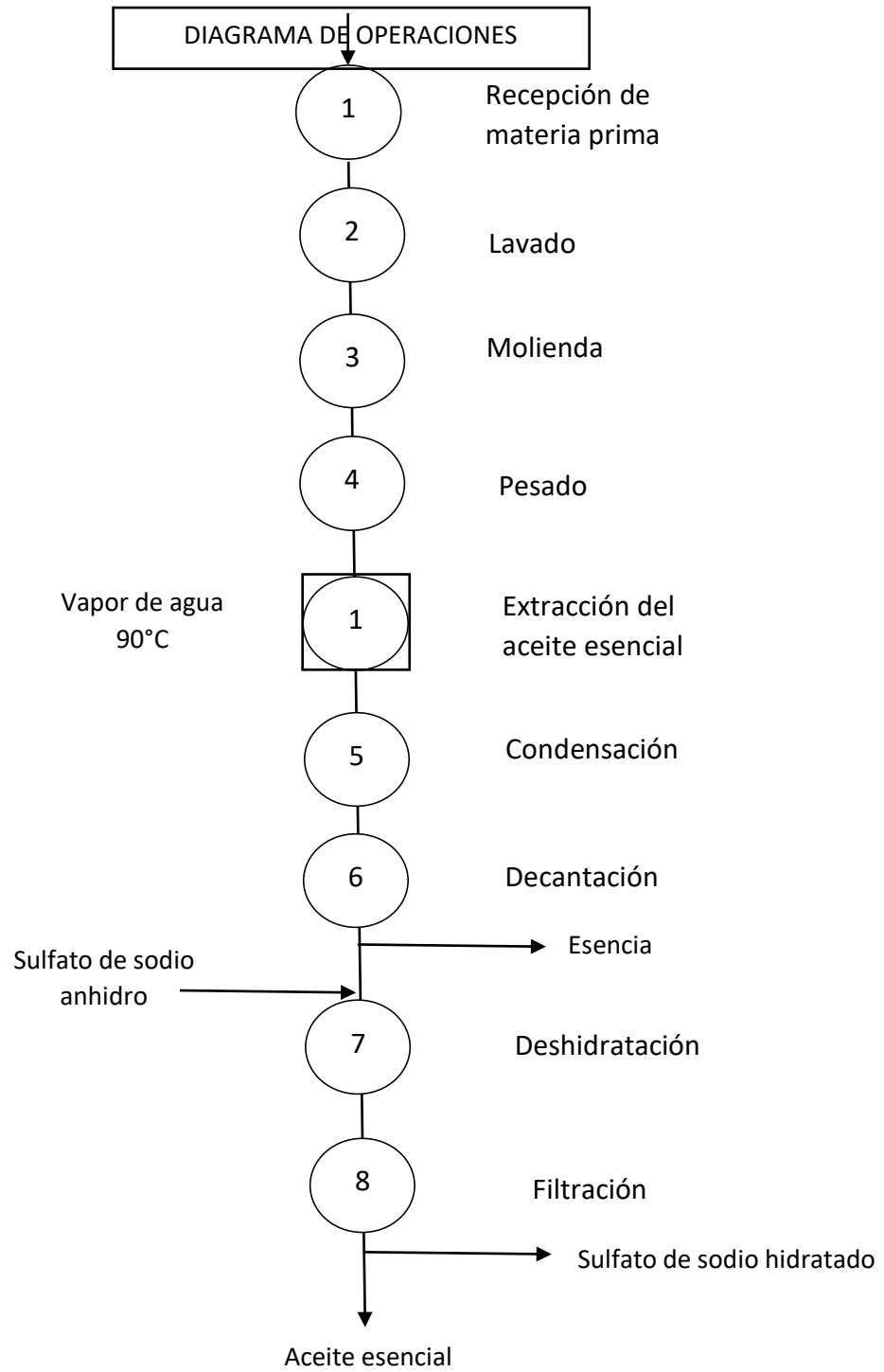
## IV. RESULTADOS

### 4.1. Analizar el proceso de destilación por arrastre con vapor de agua.

En primera instancia se procedió a detallar el diagrama de operaciones del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua.



**Figura 4.** Diagrama de operaciones de la extracción de aceites esenciales.



<b>TABLA RESUMEN</b>	
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
○	8
◻	1

**Figura 5.** Diagrama de actividades de la extracción de aceites esenciales.



En la figura 4 y 5 se muestran el DOP y DAP, y la interpretación de cada uno de ellos es lo siguiente. El agua es un excelente solvente, y este es el primer intento de extracción con este solvente. Uno de los primeros intentos de extraer esencias vegetales fue ponerlas en contacto con agua caliente, pero luego las dificultades para separar los materiales llevaron a la búsqueda de nuevas alternativas. Posteriormente, las plantas se colocan en el recipiente superior, el vapor formado en la parte inferior se pasa por el recipiente, y luego se condensa en los refrigerantes, depositándose la mezcla en peras de decantación para separar el aceite esencial y el hidrolato.

La destilación permite la separación y purificación de líquidos orgánicos, gracias a ella se pueden aprovechar la volatilidad y el punto de ebullición de diversas sustancias presentes en mezclas líquidas.

Esto se refiere al proceso de calentar una muestra de diverso origen, donde los componentes presentes de carácter volátil se evaporen y posteriormente debido a una disminución de la temperatura se enfríe, retornando sus componentes a su forma líquida por condensación.

Durante el secado y la evaporación, el objetivo es obtener los componentes de diferente volatilidad, en la mayoría de los casos se suele desechar el agua, pero para nuestro caso se busca los componentes más volátiles 100% puros, entre ellos los aceites esenciales.

En primer lugar, los aceites esenciales de plantas o partes de los mismos, como fracción líquida volátil, generalmente obtenida por destilación, pueden contener sustancias responsables del aroma de la planta, entre muchas otras, por lo que se utiliza en la industria del aceite. también pueden contener otras sustancias medicinales o químicamente importantes.

Dentro de los métodos más comunes para obtener aceites naturales está la extracción con vapor de agua, que consiste en la separación del tejido vegetal de los aceites esenciales, generalmente por destilación con vapor. Por ejemplo, los alcoholes, aldehídos, compuestos aromáticos, terpenos, fenoles, carbonilos entre otros más, pueden encontrar como parte de estructuras vegetales como semillas, tallos, hojas, flores y cáscaras, donde los aceites obtenidos por su alta índice de volatilidad se consideran como esenciales.

## **ENSAMBLAJE Y MONTAJE**

- Llene un balón de fondo plano (A) hasta la mitad con agua del grifo.
- Se llena otro balón, de fondo redondo con la muestra vegetal (B), de donde se va a extraer el aceite.
- Instale un tubo de vidrio largo (C), que conecte el balón con agua (A) y el balón con la muestra (B).
- Coloque un tubo de vidrio (D), que salga del balón con la muestra (B) hasta un refrigerante en serpentín. El refrigerante debe de estar conectado a una toma de agua que permita circular agua a temperatura, asegurando la condensación del aceite esencial.
- Al final del refrigerante colocar una pera de decantación para poder separar el hidrolato del aceite esencial.
- Además, el sistema debe de tener una fuente de calor inicial, que se encontrará evaporando el agua del balón (A).

## **PROCESO DE EXTRACCIÓN**

- Iniciar el proceso de extracción calentando el balón (A) proporcionada por una cocina eléctrica de plancha,
- A medida que se forma el vapor en el balón (A), pasará por el tubo de vidrio (C), hasta que el vapor de agua llegue al balón (B) cubriendo la superficie de la muestra vegetal, recuerde que el sistema se irá calentando gradualmente.
- El vapor que sale del balón con la muestra (B), ingresa al condensador en serpentín a través del tubo de vidrio (D) y sufre un cambio de fase.
- La mezcla producto de la condensación en el refrigerante en serpentín, es recepcionada en una pera de decantación, tanto el aceite esencial y el hidrolato.

## **FINALIZANDO LA EXTRACCIÓN**

- Durante la etapa de extracción propiamente dicha, se observó la separación del aceite esencial y el hidrolato en la pera de decantación, la misma que se tomó como indicador para detener el proceso de extracción.
- Abra la llave de paso de la pera de decantación para eliminar el hidrolato y recepcione el aceite esencial en un frasco de color ámbar para evitar algunas reacciones químicas.
- Después del experimento, se calcula el porcentaje de rendimiento del proceso de extracción.

## **VENTAJAS DEL ARRASTRE CON VAPOR**

- Utiliza agua en lugar de solvente, fácil de montar y operar, y de bajo costo.
- Permite controlar fácilmente la cantidad de vapor utilizado en operaciones industriales.
- La temperatura de extracción será siempre inferior o igual a la temperatura de ebullición del agua en condiciones ambientales.
- Los extractos están disponibles en dos productos, aceites esenciales e hidrolato, cuya composición está relacionada con las características físico químicas de sus componentes como la solubilidad en agua.

### **4.2. Evaluar los factores del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua que afectan el nivel de producción de aceites esenciales.**

**Superficie de contacto:** El tamaño de la muestra vegetal juega un rol fundamental la cantidad de aceite obtenido, ya que mientras más pequeñas sean las muestras vegetales, mayor superficie de contacto habrá entre la muestra vegetal y el vapor, facilitando la extracción del aceite esencial.

**Tiempo de secado del material:** Es importante tener en cuenta que, debido a los productos vegetales tienden a formar de ácidos grasos, el material vegetal puede desarrollar hongos que traspasan el olor a humedad al aceite, por lo que

se aconseja que el material debe de ser procesado lo más pronto posible a la cosecha y con un tiempo máximo de 72 horas.

**Tiempo de extracción:** Está relacionado con la disminución de aceite presente en la mezcla, así como los vapores posteriores muestran una caída en el rendimiento debido a la disolución o emulsión del aceite que causa arrastre.

Por otro lado, se debe analizar qué factores tienen mayor impacto en el nivel de producción de aceite esencial, siendo el indicador la eficiencia del proceso, así:

Durante el proceso de extracción de los aceites esenciales, los factores como el tiempo de extracción, el tiempo de secado y la superficie de contacto (tamaño de la hoja) pueden afectar la composición y el rendimiento del aceite esencial.

En vista de lo anterior, y teniendo en cuenta los factores que afectan directamente en el rendimiento del proceso, se evaluó el proceso de extracción por vapor de agua para incrementar el rendimiento de los aceites esenciales.

#### **4.3. Diseñar el proceso de destilación por arrastre con vapor de agua para incrementar el nivel de producción de aceites esenciales.**

En este punto, se diseñó el proceso de destilación, pero, para ello, se realizaron las muestras de los factores que influyen en el incremento de los niveles de obtención, según se detalla en la tabla 3:

**Tabla 2.** *Factor de superficie de contacto.*

Porcentaje de rendimiento de aceite esencial en base a 100 g de hojas de Eucalipto.			
<b>Superficie de contacto</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>Promedio (ml)</b>
Hojas enteras	0.50	0.40	0.45
Hojas partidas	0.60	0.70	0.65

**Fuente:** elaboración propia. (donde R1 y R2 son las repeticiones).

En la tabla 2 se procedió a detallar la cantidad de aceite esencial obtenido al evaluar el porcentaje de rendimiento de aceite esencial en base a 100 g de

hojas de Eucalipto, donde el factor evaluado fue la superficie de contacto, considerando hojas enteras y hojas partidas.

**Tabla 3.** *Factor de tiempo de secado.*

Porcentaje de rendimiento de aceite esencial en base a 100 g de hojas de Eucalipto.			
<b>Tiempo de secado</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>Promedio (ml)</b>
1 día	0.40	0.60	0.50
10 días a más	0.70	0.80	0.75

**Fuente:** elaboración propia. (donde R1 y R2 son las repeticiones).

En la tabla 3 se procedió a detallar la cantidad de aceite esencial obtenido, al evaluar el porcentaje de rendimiento de aceite esencial en base a 100 g de hojas de Eucalipto, donde el factor evaluado fue el tiempo de secado, considerando hojas con un 1 día de secado y de 10 días a más de secado.

**Tabla 4.** *Factor de tiempo de extracción.*

Porcentaje de rendimiento de aceite esencial en base a 100 g de hojas de Eucalipto.			
<b>Tiempo de extracción</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>Promedio (ml)</b>
30 min	0.60	0.50	0.55
50 min	1.00	0.60	0.80

**Fuente:** elaboración propia. (donde R1 y R2 son las repeticiones).

En la tabla 4 se procedió a detallar la cantidad de aceite esencial obtenido, al evaluar el porcentaje de rendimiento de aceite esencial en base a 100 g de hojas de Eucalipto, donde el factor evaluado fue el tiempo de extracción, considerando 30 min y 50 min.

Con estos datos, se procedió a realizar las muestras pertinentes.

### Diseño experimental propuesto (Kuehl, 2001)

El diseño experimental utilizado fue el factorial  $2^k$ , donde se recomienda que se ejecute dos repeticiones de cada factor (R1 y R2) y dos niveles

Donde:

Niveles: m = alto y n = bajo

K= Número de variables independientes

Superficie de contacto, tiempo de secado, tiempo de extracción (k = 3)

Por tanto, sería  $2^k = 2^3 = 8$

**Tabla 5.** Matriz del diseño experimental para el desarrollo de experimentos.

N°	Diseño	Niveles			Matriz del diseño		
		A	B	C	X1	X2	X3
1	1	n1	n2	n3	-1	-1	-1
2	A	m1	n2	n3	1	-1	-1
3	B	n1	m2	n3	-1	1	-1
4	AB	m1	m2	n3	1	1	-1
5	C	n1	n2	m3	-1	-1	1
6	AC	m1	n2	m3	1	-1	1
7	BC	n1	m2	m3	-1	1	1
8	ABC	m1	m2	m3	1	1	1

**Tabla 6.** Variables para el diseño experimental.

$X_1$	Superficie de contacto	hojas partidas
		1 hoja entera
$X_2$	Tiempo de secado	1 día
		10 días
$X_3$	Tiempo de extracción	30 min
		50 min

Los resultados fueron analizados según el modelo propuesto por Silou et al. (2009), quien menciona que para optimizar el proceso de extracción de aceites especiales de eucalipto. Ajustado para las variables de estudio sugeridas.

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3$$

Donde:

Y = Cantidad de aceite esencial obtenido (ml).

a = constante de interacción entre las variables (independientes).

Utilizando para el análisis el software estadístico Statgraphics V-5.1.

### **Resultados de extracción por arrastre de vapor.**

El proceso de extracción del aceite esencial se ejecutó considerando el diseño experimental establecido, cada experimento se realizó por duplicado. Los resultados obtenidos al tratar hojas de eucalipto "*Eucalyptus glóbulus*" se expresan a continuación (tabla 7).

**Tabla 7.** Resultado de las pruebas experimentales de extracción de aceite esencial.

N°	Diseño	Matriz del diseño			Niveles (combinación)			R <sub>1</sub> (ml)	R <sub>2</sub> (ml)	Promedio (ml)
		X1	X2	X3	SC	TS	TE			
1	1	-1	-1	-1	HP	1	30	0.5	0.4	0.45
2	A	1	-1	-1	HE	1	30	0.6	0.7	0.65
3	B	-1	1	-1	HP	10	30	0.4	0.6	0.50
4	AB	1	1	-1	HE	10	30	0.7	0.8	0.75
5	C	-1	-1	1	HP	1	50	0.6	0.5	0.55
6	AC	1	-1	1	HE	1	50	1.00	0.6	0.80
7	BC	-1	1	1	HP	10	50	1.2	1.6	1.40
8	ABC	1	1	1	HE	10	50	0.9	1.0	0.95

Dónde: SC= superficie de contacto, TS= tiempo de secado, TE= tiempo de extracción, HP= hoja partida, HE=hoja entera

De acuerdo con los resultados de las pruebas experimentales, el diseño BC presentó el mayor rendimiento: superficie de contacto (X1), tiempo de secado 10 días (X2) y tiempo de extracción 50 minutos (X3). La media de dos repeticiones obtenidas con 100 g de hojas de "Eucalyptus globulus" fue de 1,4% utilizando un equipo de arrastre de vapor convencional a nivel de laboratorio químico, comparados con los valores reportados por Silou et al. (2009), al obtener un tiempo de extracción de 90 min a partir de hojas picadas y una potencia de calentamiento de 450 watts produjo un rendimiento del 2,3 % de aceite esencial de utilizando hojas de la misma especie vegetal.



### **Análisis de resultados de extracción de aceite esencial con Statgrafics.**

Para los datos de la tabla 7, se aplicó el análisis de varianza de las variables independientes y sus interacciones (tabla 8).

**Tabla 8.** *Análisis de varianza para la extracción de aceite esencial de eucalipto.*

<b>Factores</b>	<b><math>\Sigma</math> cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Valor-P</b>
<b>A=Superficie de contacto</b>	31,49	1	0,0045
<b>B= Tiempo de secado</b>	26,42	1	0,0011
<b>C= Tiempo de extracción</b>	19,42	1	0,0022
<b>AB</b>	15,32	1	0,0013
<b>AC</b>	0,68	1	0,4502
<b>BC</b>	1,79	1	0,2599
<b>Bloques</b>	0,91	1	0,3204
<b>Error total</b>	3,45	8	-----
<b>Total</b>	99,48	15	-----

**Fuente:** elaborado en STATGRAPHICS V. 5.1.

R-cuadrada = 83,57%

R-cuadrada ajustado = 80,691%

En la tabla 8 se muestra que la superficie de contacto, tiempo de secado y tiempo de extracción tienen una elevada significancia y bajo margen de error (0.05), permitiendo afirmar que estos parámetros sí influyen en el nivel de producción de aceites esenciales.

**Tabla 9.** Coeficiente de regresión para extracción de aceite esencial de eucalipto.

coeficiente	Estimado
Constante	10,36
Superficie de contacto	-10,18
Tiempo de secado	-0,31
Tiempo de extracción	0,029
AB	0,52
AC	0,07
BC	0,0076

Según el coeficiente de regresión ajustado al modelo matemático de la tasa de extracción del aceite, considerando las variables utilizadas y sus interacciones la ecuación obtenida es:

$$Y_{(Extracción)} = 10,36 - 10,18X_1 - 0,31X_2 + 0,029 + 0,52X_1X_2 + 0,07X_1X_3 + 0,0076X_2X_3$$

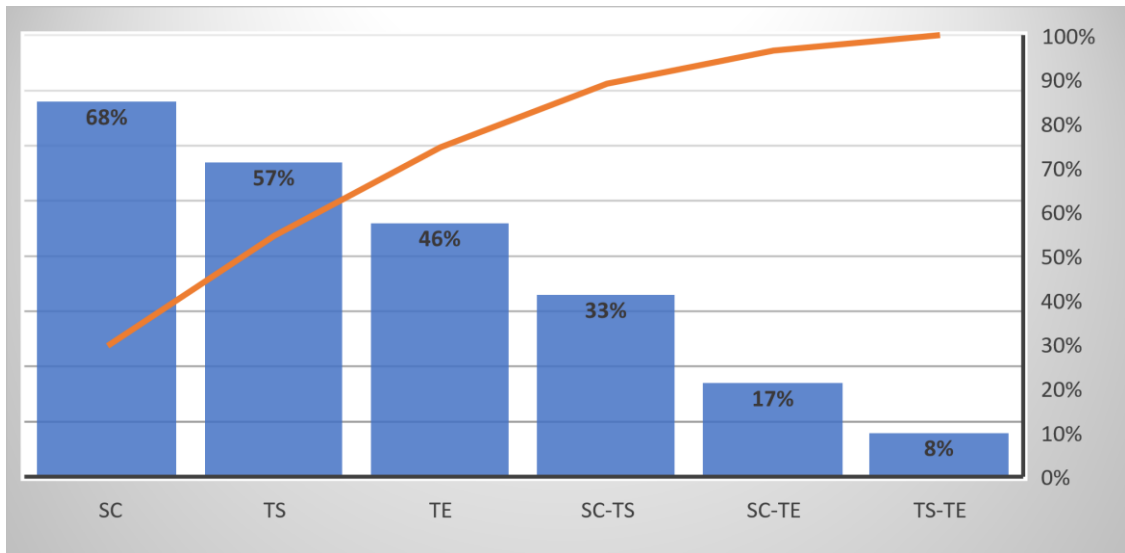
Donde se especifica el valor de la variable en su unidad original. Maximizando la ecuación se obtiene un volumen de 10.90 ml de aceite.

**Tabla 10.** Combinaciones entre niveles de los factores para extracción de aceite esencial de eucalipto.

Parámetros	Niveles		
	bajo	alto	óptimo
Superficie de contacto	HP	HE	HP
Tiempo de secado	1	10	10
Tiempo de extracción	30	50	50

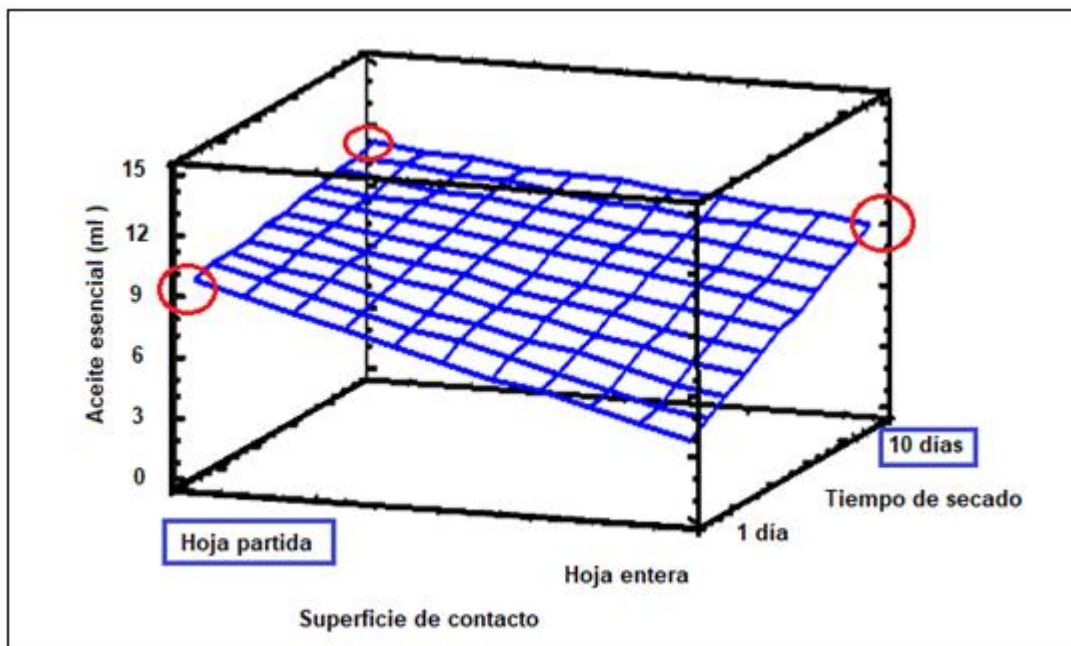
**Fuente:** elaborado en STATGRAPHICS V. 5.1. Dónde: HP= hoja partida, HE= hoja entera.

En la tabla 10 se muestran las combinaciones de los factores y niveles empleados en la presente investigación.



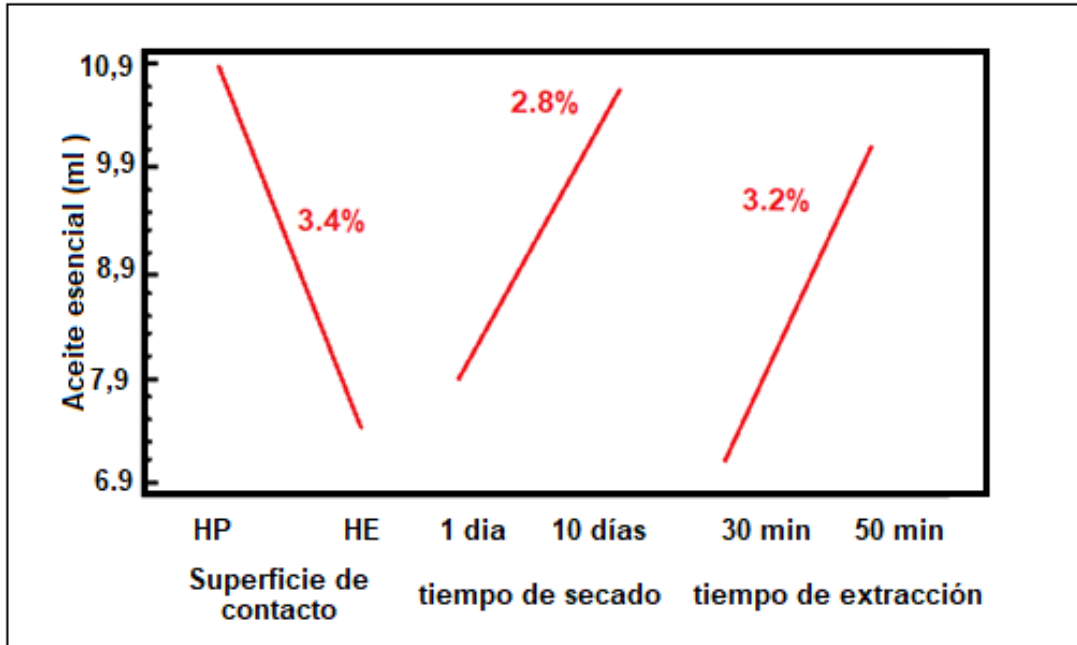
**Figura 6.** Diagrama de Pareto estandarizado para la extracción de aceite esencial de eucalipto.

En la figura 6, se muestra el diagrama de Pareto con barras verticales, donde se muestran las relaciones estadísticamente más significativas: superficie de contacto (SC=A), tiempo de secado (TS=B), tiempo de extracción (TE=C) y la interacción entre las variables superficie de contacto - Tiempo de secado (AB); la interacción entre las variables AC y BC no fue estadísticamente significativa, por lo tanto, no afectaron el proceso de extracción del aceite esencial.



**Figura 7.** Diagrama respuesta estimada con un tiempo de extracción de 50 minutos.

En la figura 7 se muestran las variables que maximizan el rendimiento de los aceites esenciales, el alcance del estudio es: superficie de contacto X1 (hojas divididas); tiempo de secado X2 (10 días) y tiempo de extracción X3 (50 minutos).



**Figura 8.** Gráfica de efectos principales para la extracción.

La figura 8 muestra que, al aumentar los días de secado de 1 a 10 días, el rendimiento aumentó en un 2,8 %. También se observó que cuando se varía el tiempo de extracción de 30 minutos a 50 minutos el rendimiento de los aceites esenciales aumentó en un 3.2%. De la misma manera, se observó en la superficie de contacto, ya que una reducción en el tamaño de la hoja aumentó el nivel de extracción en un 3,6% de aceite esencial.

## V. DISCUSIÓN

Para el objetivo general se encontró que las interacciones más significativas fueron: superficie de contacto (A), tiempo de secado (B), tiempo de extracción (C), así como la relación entre la superficie de contacto-tiempo de secado (AB); variables AC y Las interacciones entre BC no fueron estadísticamente significativas, por lo tanto, no afectaron el proceso de extracción, a su vez, la Figura 7 evidencia las variables que logran maximizar la cantidad de aceite esencial, considerando los parámetros: superficie de contacto X1 (hoja partida); Tiempo de secado X2 (10 días) y el tiempo de extracción X3 (50 minutos) se muestran respectivamente, así también se evidencia en la Fig. 8, que al aumentar los días de secado de 1 día a 10 días, el rendimiento de aceite esencial aumentó en un 2,8 %, ya que a mayor tiempo de secado permite disminuir la cantidad de agua presente en las hojas, facilitando la extracción de los aceites de manera más pura, evitando la formación de hidrolatos que contengan sustancias indeseables que puedan afectar la calidad del aceite esencial.

En cuanto al tiempo de extracción, lo mismo se observó para los rendimientos, de 30 minutos a 50 minutos de tiempo de extracción, el rendimiento de los aceites esenciales aumentó en un 3.2%. De la misma manera, se observó que una reducción en el tamaño de la hoja resultó en un aumento del 3,4% en el rendimiento de aceite esencial. Estos resultados se asemejan en la investigación de Bautista (2020), donde el parámetro evaluado consistió en evaluar la inhibición del crecimiento del género *anthracis*, las concentraciones del aceite fueron de 250, 500 y 750 mg/ml, las mismas que se diluyeron en agua destilada utilizando el agente tensioactivo polisorbato de sodio al 1%. Se concluyó que el aceite esencial del fruto de molle a dosis de 250 y 500 mg/ml posee efecto inhibitor de 37% frente a la antracnosis, no encontrándose diferencias significativas con el aceite a la concentración de 750 mg/ml, este estudio permitirá evaluar los parámetros considerados para la extracción del aceite esencial. A su vez, también se asemeja en la investigación de Briones y Guerrero (2019) el objetivo fue extraer los aceites esenciales de Palosanto y Citrus utilizando el arrastre de vapor como método extractivo, encontrando un

menor rendimiento de aceite de palo santo 2.7985% y mayor rendimiento con citrus de 4.3425% al utilizar las hojas frescas de estas dos especies, mientras que el rendimiento de piel de naranja fue de 0.0816%. También, se asemeja en la investigación de Castillo y Silva (2019) evaluaron el impacto de la densidad de carga, flujo de vapor y condiciones de la materia prima en la producción de aceite esencial de romero, utilizando el arrastre de vapor. Los resultados mostraron que el DCCR estuvo compuesto por 3 repeticiones de 22,4 puntos de eje y puntos centrales de la programación factorial completa, y un total de 11 experimentos. Se utilizó un modelo polinomial cuadrático para predecir la respuesta. Cuando la materia prima estuvo seca, la densidad de carga fue de 1 kg y el caudal de vapor de agua fue de 5 kg/hora, la producción de aceite esencial de romero fue la más alta, lo que pudo proporcionar un 2,66% del rendimiento. La conclusión a la que se llega es que la variable B (densidad de carga de la materia prima) y la variable A (flujo de vapor) tienen la mayor importancia, con valores estadísticamente significativos.

Para el primer objetivo específico se diseñó un diagrama de actividad de proceso (DOP), un diagrama de actividad (DAP) y un diagrama de ruta, se determinaron 8 operaciones y una operación de verificación, encontrando que el agua es un excelente solvente en estos diagramas. Estos hallazgos se asemejan en la investigación de Casado (2018) quien buscó construir y depurar una unidad de destilación al vapor a escala de laboratorio para extraer aceites esenciales de tres materias primas naturales: cáscara de naranja, flores de limón y lavanda, en los resultados se obtuvo que se identificaron 3 etapas en los gráficos de rendimiento, los tiempos fueron de 0 a 5 minutos, de 5 y 15 minutos y 15 de rango de máxima extracción, extracción continua y de máxima extracción respectivamente, se concluye que en el rango de máxima extracción se obtiene 60% de aceite total, siendo la extracción de aceite de limón es el proceso más lento. También se asemeja en la investigación de Clesez et al. (2018), quien determinó las propiedades, físico-químicas del producto obtenido al aplicar la destilación simple del anís verde. Los resultados mostraron que según para el análisis de cromatografía de capa fina, tolueno: acetato de etilo (93:7) es la fase móvil, la placa cromatográfica de gel de sílice 60 F es la fase estacionaria, y se indica Rf. A su vez, se asemeja en Díaz (2017) el propósito

fue evaluar el aceite esencial de las raíces de trébol. Los resultados mostraron que las raíces de espinillo amarillo contenían una gran cantidad de alcaloides, triterpenoides, resinas y esteroides, así como grasas, compuestos fenólicos y flavonoides fue moderado. Con presencia de aceites esenciales entre 0.50 - 0.85 % (p/p), densidades de 0.86 g/ml, índice de refracción 1.4750, volatilidad 1.5% -2.5%.

Dando solución al segundo objetivo específico y tercer objetivo específico se determinó que los factores que afectan al incremento del nivel de producción de aceites esenciales son la superficie de contacto; tiempo de secado y tiempo de extracción, estos factores incrementan el nivel de producción de aceite esencial siendo 3.1%; 2.3% y 3.6% respectivamente. Estos resultados se asemejan en la investigación de Patiño, Saavedra y Martínez (2016) el propósito es determinar la influencia de la cantidad de material en el desempeño y calidad de aceites. Los resultados mostraron una obtención de aceite esencial de 20ml y 40ml con 2,5 y 5 Kg hojas secas de romero respectivamente. También, se asemeja en los resultados de Balboa (2016) en los objetivos se buscó diseñar y crear un kit para la destilación al vapor de cáscara de naranja dulce. Los resultados muestran que el tamaño de del equipo permite el uso de 3 kg de materia prima. El generador de vapor funciona a una presión de 1,15 atmósferas, una temperatura de 97 °C y un caudal de vapor de 2,1 g por segundo. La conclusión final es que, teniendo en cuenta sus parámetros, variables y tecnología para mejorar la eficiencia del proceso, la construcción del equipo experimental es útil para el estudio de la destilación por vapor. Estos hallazgos se sustentan en las teorías de Díaz (2017) quien expresa que el método de obtención de aceites esenciales de uso industrial de primera elección es el de arrastre con vapor de agua, especialmente en el campo de los perfumes, este método une los líquidos, la evaporación de temperatura, e intenta calentar las mezclas hasta lograr el punto de ebullición preciso, para que por último se separen en el equipo, la elección del método a utilizar toma en cuenta muchas variables como la cantidad de aceite esencial a extraer, la cantidad de materia prima a utilizar, la volatilidad y el punto de ebullición de los componentes presentes en la muestra de donde se va a extraer el aceite esencial.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se diseñó el diagrama de actividades de proceso (DOP), diagrama de actividades (DAP) y un diagrama de recorrido, y se identificó que hay 8 operaciones y una operación inspección.
2. Se determinó que los factores que afectan al incremento del nivel de producción de aceites esenciales son la superficie de contacto; el tiempo de secado y el tiempo de extracción.
3. Se encontró que los factores que incrementan y optimizan la cantidad de aceite esencial son la superficie de contacto  $X_1$  (hojas partidas); tiempo de secado  $X_2$  (10 días) y tiempo de extracción  $X_3$  (50 minutos); estos valores incrementan el nivel de producción de aceite esencial es 3.4%; 2.8% y 3.2% respectivamente.



## **VII. RECOMENDACIONES**

Realizar un balance de materia y de energía para poder conocer las pérdidas que se generan dentro del proceso de extracción de aceites esenciales de eucalipto mediante este método.

Realizar replicas según el diseño experimental utilizado considerando variables diferentes a las estudiadas en este trabajo, que permitan para desarrollar modelos matemáticos adecuados a diferentes situaciones y condiciones y optimizar mejor el rendimiento durante la extracción de aceites esenciales.

Determinar las propiedades físico-químicas del aceite esencial obtenido para evaluar el efecto de las variables sobre el producto final, esto permitirá tomar en consideración para realizar ciertos ajustes que mejoren el producto en calidad y cantidad según la Norma Técnica Peruana de aceites esenciales a nivel industrial, logrando disminuir los costos y generando mayores dividendos a la empresa.

## REFERENCIAS

BALAT, M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management*. 2013; 52:858-75.

BONILLA, Fabián. "Estudio de la tensión de papel tissue en la empresa Familia Sancela S.A. planta Lasso y su incidencia en la compactación del papel higiénico". (Tesis de Licenciatura). Universidad Técnica de Ambato, Colombia, 2015.

BRINCHI L, COTANA F, FORTUNATI E, KENNY J. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. *Carbohydrate Polymers*. 2013; 94:154-69.

CARRO, MD., SARO, C., MATEOS, I., DÍAZ, A., & RANILLA, MJ. (2014). Presente y perspectivas de futuro en la UE del empleo de probióticos en la alimentación de rumiantes. *Ganadería*, 15(93), 40-46.

CARLSSON DO. *Structural and Electrochemical Properties of Functionalized Nanocellulose Materials and Their Biocompatibility*. 2014.

C., LEÓN Y M., FUENTES. Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. Universidad de Cartagena, 2012.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). Ley Forestal Abrogada 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, /norma teca/LGDFS.pdf. México DF, 74 p.

CUBAS, Charlie. "El aprovechamiento forestal en bosques locales y su relación con el desarrollo sostenible de la provincia Maynas Región Loreto". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana de Iquitos, Perú. (2016).

DURAN, Lemes, DURAN, Freer, BAEZA, A. minireview of cellulose nanocrystals and its potential integration as co-product in bioethanol production. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 2011; 56:672-7.

FLORES, C. Evaluacion de dos promotores de crecimiento en cerdos desde el destete hasta peso de mercado. Disponible en:

<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=tesisan.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=00795>. (2006).

FUENTES, Michel y LEON, Cindy. "Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrogeno". (Tesis de Licenciatura). Universidad De Cartagena de Indias, Colombia.

GREENPEACE. El futuro de la producción de celulosa y las técnicas de producción más favorables para el medio ambiente, 2016.

HAAFIZ, Hassan y ZAKARIA, Inuwa. Isolation and characterization of cellulose nanowhiskers from oil palm biomass microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers*. 2014; 103:119-25.

HAMELINCK CN, HOOIJDONK Gv, Faaij AP. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-and long-term. *Biomass and Bioenergy*. 2005; 28:384-410.

HENTZE H-P. From Nanocellulose Science towards Applications. *Developments in advanced biocomposites*. 2010:71.

HERNÁNDEZ, M. "Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña Ananas comosus (L.) Merr," Universidad Autónoma Chapingo, 2014.

JIMÉNEZ B, MENDEZ J, BARRIOS J, SALGADO G, SHEINBAUM C. Characterization and evaluation of potential reuse options for wastewater sludge and combined sewer system sediments in Mexico. *Water Science & Technology*. 2004; 49:171-8.

KALLIO, Pásztor, AKHTAR, Jones. Renewable jet fuel. *Current Opinion in Biotechnology*. 2014; 26:50-5.

KICK, Kathrotia, MARQUETAND, NAUMANN, Kua et al. An experimental and modeling study of burning velocities of possible future synthetic jet fuels. *Energy*. 2012; 43:111-23.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación. p. 1 - 46.

LIANG Y, ZHENG Z, HUA R, LUO X. A preliminary study of simultaneous lime treatment and dry digestion of smooth cordgrass for biogas production. *Chemical Engineering Journal*. 2011; 174:175-81.

LIKON, Trebse, *Recent Advances in Paper Mill Sludge Management, Industrial Waste*. In: Show PK-Y, editor.: InTech, 2012.

LIN, Tanaka. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*. 2016; 69:627-42.

LIU, Yan y CHEN, G. Technical review on jet fuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013; 25:59-70.

M. Prado-Martínez, J. Anzaldo-Hernández, B. Becerra-Aguilar, H. Palacios-Juárez, J. de J. Vargas-Radillo, and M. Rentería-Urquiza, "Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta," *Madera Bosques*, vol. 18, no. 3, pp. 37–51, 2012.

MACKENCIE, Carlos y RODRÍGUEZ, Johnny. Obtención de pulpa celulósica a través de hojas de mazorca de maíz para la elaboración de papel blanco. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2017.

MINER, R. Environmental Considerations and Information Needs Associated With an Increased Reliance on Recycled Fiber. *Journal of analytical and applied pyrolysis*. 1991; 86:66-73.

MONTE, Fuente y BLANCO, Negro. Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste Management*. 2014; 29:293-308.

MONTIEL, Kiara y ROMERO, Leticia. "Obtención de bioetanol a partir de la coronta (olote) del maíz variedad HS – 5, por el método de hidrólisis acida diluida – fermentación separada, laboratorios de química UNAN-MANAGUA, I-II SEMESTRE 2015". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de Managua, Nicaragua, 2015.

MOSTACERO, Edson, MEJÍA, Luis & GAMARRA, O. 2012. *Taxonomía de las Fanerógamas útiles del Perú*. Ed. Normas Legales. Trujillo, Perú.

MURPHY, Mccarthy. Ethanol production from energy crops and wastes for use as a transport fuel in Ireland. *Applied Energy*. 2015; 82:148-66.

NI, Leung, DYC, Leung, Sumathy, K. An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Processing Technology*. 2016; 87:461-72.

OTINIANO, V. 2012. Actividad antioxidante de antocianinas presentes en la coronta y grano de maíz (*Zea mays* L.) variedad morada nativa cultivada en la ciudad de Trujillo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Cesar Vallejo. 74 p.

PANTHAPULAKKAL, Sain. Preparation and characterization of cellulose nanofibril films from wood fibre and their thermoplastic polycarbonate composites. *International Journal of Polymer Science*. 2012.

PIVA, G., ROSSI, F. Future prospects for the non-therapeutic use of antibiotics. In: *Recent Progress in Animal Production Science*. 1. Calamari (ed.). pp. 279-317. Piacenza, Italy 1999.

PRADO, M. 2017. Aprovechamiento de las hojas de maíz para la obtención de nuevas envolturas para tamales. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Guadalajara.

QUIHUE, Jack. "Obtención de fibras a partir de Raquis de Plátano para la producción de pulpa de papel". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional De San Cristóbal de Huamanga de Ayacucho, Perú, 2014.

ROBLEDO, Narváez; MUÑOZ, Páez; POGGI, Varaldo, RÍOS, Leal, CALVA, Calva; ORTEGA, Clemente, et al. The influence of total solids content and initial pH on batch biohydrogen production by solid substrate fermentation of agroindustrial wastes. *Journal of environmental management*. 2013; 128:126-37.

SALDIVAR, Veronikha. "Estudio en la obtención de pulpa celulósica, con procesos de alto rendimiento, a partir del tallo de arroz (*Oryza Sativa* L.)". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima, Perú, 2015.

SHARMA, Varma. Functionalized celluloses and their nanoparticles: Morphology, thermal properties, and solubility studies. *Carbohydrate Polymers*. 2014; 104:135-42.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Matriz de Operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
<b>Independiente:</b> Mejora de procesos	Secuencia de tareas dirigidas a crear un valor agregado sobre una entrada con el objetivo de conseguir un producto, y una salida para que de esta forma cumplir con lo demandado por el consumidor definitivo (Pérez, 2012, p.67).	Se medirá teniendo en cuenta los parámetros óptimos de extracción	Superficie de contacto	[Tamaño de la muestra dentro del equipo]	razón
			Tiempo de secado	[tiempo de secado post cosecha]	razón
			Tiempo de extracción	[30 – 50 minutos]	razón
<b>Dependiente:</b> Nivel de producción	El nivel de actividad o volumen de producción es el grado de uso de la capacidad de producción. Se la suele medir como un porcentaje de uso de dicha capacidad. También se usan magnitudes absolutas, como unidades producidas, horas de servicio insumidas, cantidad de servicios realizados, etc. (Álvarez, 2018).	se medirá a través del rendimiento de aceite obtenido	% Rendimiento de aceite esencial	$= \frac{\text{volumen de aceite esencial}}{100} \times 100 \text{ g muestra vegetal}$	Razón

**Fuente:** Elaboración propia.

**Anexo 2.** Hoja de registro del porcentaje de rendimiento de aceite esencial,  
considerando la superficie de contacto

<b>Superficie de contacto (Tamaño de hojas)</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>Promedio (ml)</b>
Hojas enteras			
Hojas partidas			

Fuente: Elaboración propia. Donde R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> son las repeticiones.

**Anexo 3.** Hoja de registro del porcentaje de rendimiento de aceite esencial, considerando el tiempo de secado

---

<b>Tiempo de secado</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>Promedio (ml)</b>
1 día			
10 días a más			

---

**Fuente:** elaboración propia. Donde R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> son las repeticiones.



**Anexo 4.** Hoja de registro del porcentaje de rendimiento de aceite esencial, considerando el tiempo de extracción

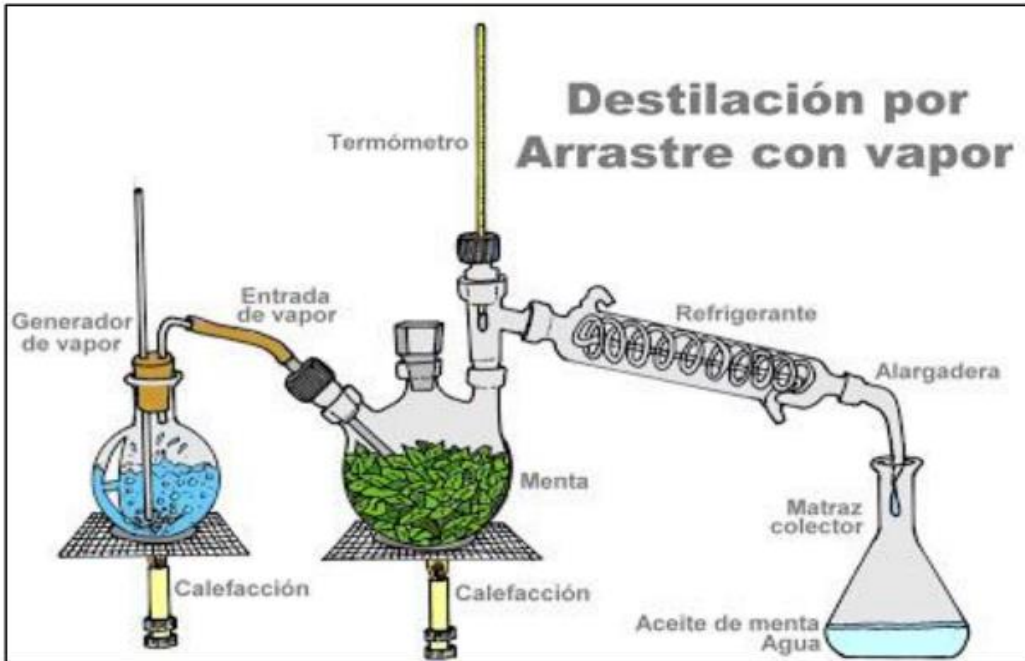
---

<b>Tiempo de extracción</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>Promedio (ml)</b>
30 min			
50 min			

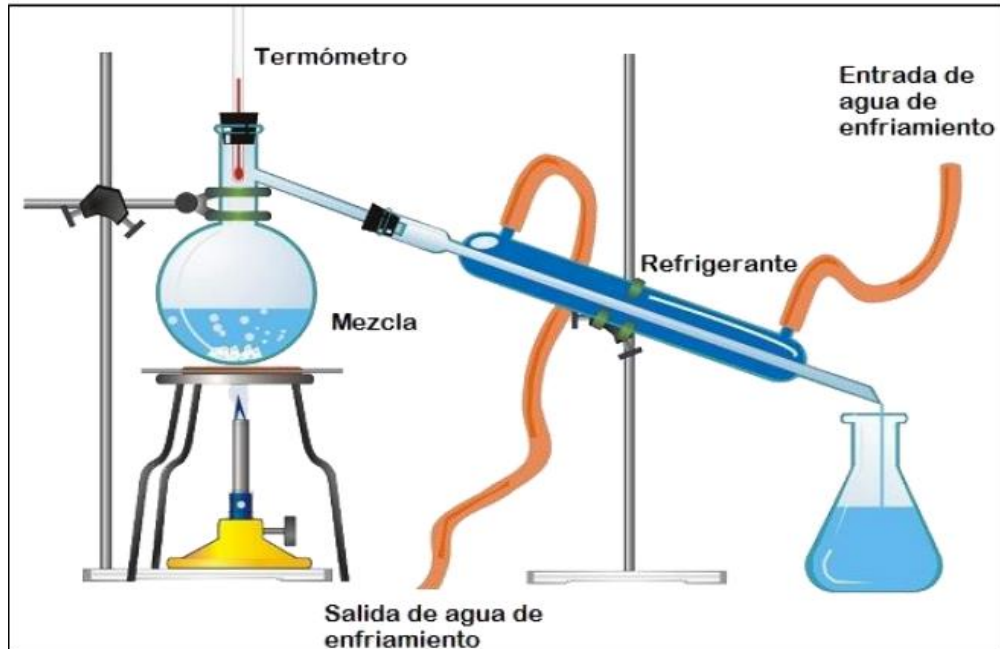
---

**Fuente:** elaboración propia. (donde R1 y R2 son las repeticiones).

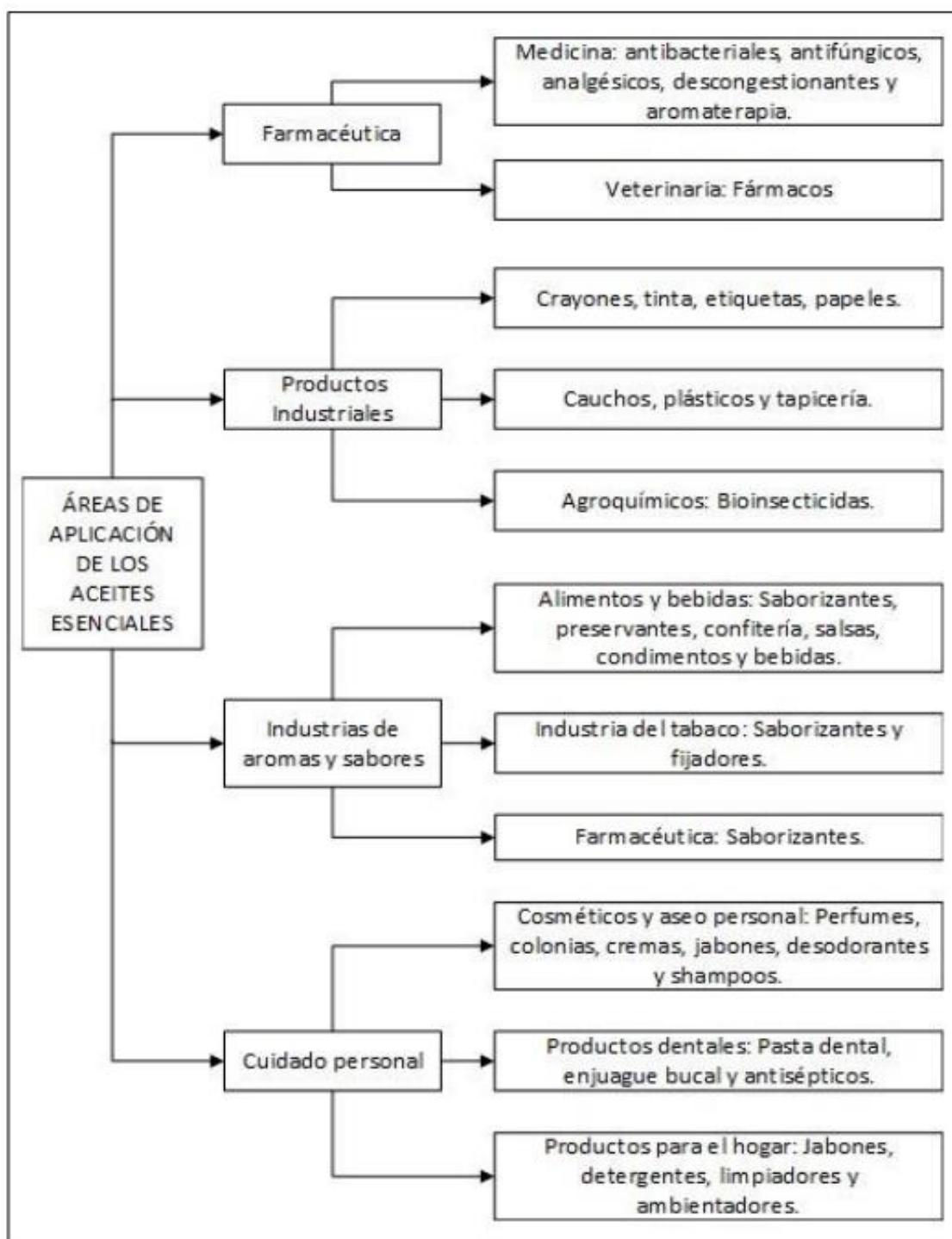
**Anexo 5.** Equipo de destilación de arrastre con vapor de agua.



**Anexo 6.** Equipo de destilación simple



## Anexo 7. Principales áreas de aplicación de los aceites esenciales.





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, VARGAS SAGASTEGUI JOEL DAVID, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHIMBOTE, asesor de Tesis titulada: "Mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua para incrementar el nivel de producción de aceites esenciales. Chimbote – 2022.", cuyo autor es CISNEROS HILARIO CESAR BRAULIO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHIMBOTE, 20 de Julio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
VARGAS SAGASTEGUI JOEL DAVID <b>DNI:</b> 17825517 <b>ORCID:</b> 0000-0003-0411-8164	Firmado electrónicamente por: VSAGASTEGUIJD el 26-07-2022 14:35:40

Código documento Trilce: TRI - 0356497