



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

**“OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA
CÁSCARA DE LA MANDARINA (*Citrus reticulata* L.) PARA USO AGRÍCOLA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**Línea de investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y
desarrollo socioeconómico.**

AUTOR:

MATEO MANOLO HIDALGO GUERRERO

DIRECTOR:

ING. JOSÉ MANUEL PAÍS CHANFRAU PhD.

Ibarra – Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004521991		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Hidalgo Guerrero Mateo Manolo		
DIRECCIÓN:	La Quinta del Olivo		
EMAIL:	mmhidalgog@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0961286619

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Optimización de la extracción de aceite esencial de la cáscara de mandarina (<i>Citrus reticulata</i> L.) para uso agrícola
AUTOR (ES):	Mateo Manolo Hidalgo Guerrero
FECHA: DD/MM/AAAA	24/02/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. José Manuel País Chanfrau PhD.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin los derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de febrero del 2026

EL AUTOR:

Mateo Manolo Hidalgo Guerrero

C.I.: 1004521991

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 24 días del mes de febrero del 2026

Ing. José Manuel País Chanfrau PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)

Ing. José Manuel País Chanfrau PhD.

C.C:0959747320

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Optimización de la extracción de aceite esencial de la cáscara de la mandarina (*Citrus reticulata* L.) para uso agrícola” elaborado por Hidalgo Guerrero Mateo Manolo previo a la obtención del título de Ingeniero en Agroindustria, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.

(f).....

Dr.C José Manuel País Chanfrau PhD

C.C:0959747320

(f).....

Dr.C Marco Lara Fiallios PhD

C.C: 1717227761

PRESENTACIÓN

Yo, MATEO MANOLO HIDALGO GUERRERO como autor de la Tesis Titulada **“OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA CASCÁRA DE LA MADARINA (*Citrus reticulata* L.) PARA USO AGRÍCOLA”**, me hago responsable de los resultados, discusión, conclusiones y demás parte de la investigación; y pongo este documento como fuente de apoyo para consultas dirigidas a todos los estudiantes.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Manolo y Marcia; a mi hermana Estefania y a mi hermano David, por su guía a lo largo de todo este recorrido académico, su apoyo y comprensión me han permitido alcanzar este logro.

A mis amigos y amigas con los que compartí aprendizajes, inquietudes y sobre todo buenos recuerdos. Gracias por hacer que esta etapa de mi vida sea inolvidable.

A mi director de tesis, Dr. José Manuel País, y asesor, Dr. Marco Lara Fiallios, por su paciencia y guía a lo largo de toda esta investigación. Sus enseñanzas quedarán gravadas en mi formación como profesional.

A todos aquellos que me brindaron una mano y han permitido que llegue a completar esta meta con éxito.

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha brindado la oportunidad de vivir esta vida.

De todo mi corazón a mis padres y mis hermanos, por su apoyo incondicional en cada día de mi vida, por guiarme con cada una de sus enseñanzas, por su resiliencia en los momentos difíciles; todos ustedes han sido mi mayor motivación y la razón principal para no rendirme.

Este logro no solo me pertenece a mí, sino también a ustedes, quienes con amor y paciencia han sembrado en mí los valores y fortalezas para alcanzar cada meta propuesta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I	6
INTRODUCCIÓN	6
1.1 ANTECEDENTES	6
1.2 PROBLEMA	7
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 PREGUNTA DIRECTRIZ DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.5 OBJETIVOS	10
1.5.1 Objetivo General.....	10
1.5.2 Objetivo Específico	10
1.6 HIPÓTESIS	11
1.6.1 Hipótesis Alternativa	11
1.6.2 Hipótesis Nula	11
CAPITULO II.....	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1 PRODUCCIÓN DE MANDARINA	12
2.1.1 Taxonomía y Morfología de la Mandarina	12
2.1.2 Partes Internas y Externas de la Mandarina.....	13
2.1.3 Composición de la Cáscara.....	13
2.2 HARINA DE CÁSCARA DE CÍTRICOS	15
2.3 ACEITES ESENCIALES.....	15
2.3.1 Composición Química de los Aceites Esenciales	16
2.3.2 Extracción de Aceites Esenciales	16
2.4 PARTES DEL EQUIPO SOXHLET	19
2.5 FACTORES QUE AFECTAN LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES	20
2.5.1 Relación Masa/Solvente en la Extracción	21
2.5.2 Tiempo de Extracción.....	21
2.5.3 Temperatura y Presión en la Extracción	21
2.6 EL LIMONENO EN LOS CÍTRICOS	22
2.7 ETANOL.....	22
2.8 ROTAEVAPORADOR.....	23
2.9 ANÁLISIS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA.....	23

2.9.1	Diseño Central Compuesto (CCD)	24
CAPITULO III		27
MATERIALES Y METODOLOGÍA		27
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.1.1	Enfoque de la Investigación	27
3.1.2	Tipo de Investigación	27
3.1.3	Diseño de la Investigación.....	27
3.2	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.2.1	Elaboración de Harina a Partir de la Cáscara de Mandarina	28
3.2.2	Optimización de la Extracción del Aceite Esencial.....	28
3.2.3	Caracterización del Extracto de Aceite Esencial	31
CAPÍTULO IV		33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		33
4.1	ELABORACIÓN DE HARINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE MANDARINA	33
4.2	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA RELACIÓN SOLVENTE/MUESTRA Y EL NÚMERO DE CICLOS DE EXTRACCIÓN UTILIZANDO ANÁLISIS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA.	33
4.2.1	Optimización y Validación de los Resultados	39
4.3	CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO DE ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE MANDARINA PARA USO AGRÍCOLA.	41
4.3.1	Determinación de la Densidad.....	41
4.3.2	Medición de la Rotación Óptica	41
4.3.3	Caracterización por FTIR	43
CAPITULO V.....		46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		46
5.1	CONCLUSIONES.....	46
5.2	RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		48
ANEXOS		54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Equipo tradicional de extracción Soxhlet.....	20
Figura 2.2 Diseño Central Compuesto	24
Figura 4.1 Diagrama 3D del Grupo de Tratamiento 1	34
Figura 4.2 Curvas de Nivel del Grupo de Tratamiento 1	35
Figura 4.3 Gráfico de Correlación.....	37
Figura 4.4 Residuos Frente a los Ensayos Experimentales	38
Figura 4.5 Diagrama 3D Grupo de Tratamientos 2	39
Figura 4.6 Vista del Campo Óptico del Aceite Esencial	42
Figura 4.7 Ondas de Espectro de Cuatro Muestras del Aceite Esencial de Cáscara de Mandarina.	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición de la cáscara de la mandarina	14
Tabla 3.1 Niveles Codificados de los Factores o Variables Independientes	29
Tabla 3.2 Tratamientos de Extracción Grupo 1	29
Tabla 3.3 Tratamientos de Extracción Grupo 2	30
Tabla 3.4 Análisis de Caracterización.....	31
Tabla 3.5 Tratamientos del Análisis de Rotación Óptica	31
Tabla 4.1 Resultados de los Tratamientos de Extracción del Grupo 1	33
Tabla 4.2 Resultados de los Tratamientos de Extracción del Grupo 2	35
Tabla 4.3 Modelo ANOVA para Modelo Cuadrático.....	36
Tabla 4.5 Puntos de optimización de los modelos	39
Tabla 4.8 Resultados de los Tratamientos de la Optimización	40
Tabla 4.9 Resultados de la Validación de Datos	40
Tabla 4.10 Principales Bandas Identificadas en el Análisis FTIR	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Análisis de Humedad de la cáscara de mandarina deshidratada.....	54
Anexo 2 Molienda de la cáscara.....	54
Anexo 3 Almacenamiento de la harina de cáscara de mandarina	54
Anexo 4 Extracción del aceite esencial.....	55
Anexo 5 Separación del aceite esencial del disolvente	55
Anexo 6 Aceite esencial	55
Anexo 7 Análisis de Densidad.....	56
Anexo 8 Polarímetro Manual WXG-4	56
Anexo 9 Preparación de la Muestra para el Análisis de Rotación Óptica	56

RESUMEN

Los residuos industriales, como la cáscara de mandarina, poseen un alto potencial en la obtención de compuestos agregados, como los aceites esenciales. La presente investigación tuvo como objetivo optimizar el proceso de extracción de aceite esencial a partir de la harina de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata L.*), empleando el método Soxhlet y la metodología de superficie de respuesta (RSM).

La materia prima se sometió a un proceso de secado a 60 °C para luego ser molida, obteniéndose una harina de granulometría gruesa con bajo contenido de humedad. Se evaluó la influencia de la relación solvente/muestra y el número de ciclos de extracción sobre el rendimiento del aceite esencial, mediante un Diseño Central Compuesto (CCD). Como resultado del análisis estadístico se identificó el número de ciclos como el factor con mayor influencia significativa sobre el rendimiento. Las condiciones óptimas de extracción se determinaron en una relación solvente/muestra de 13:1 y 10 ciclos de extracción, logrando alcanzar un rendimiento aproximado del 26.5 %.

Mediante un análisis de densidad, rotación óptica y espectroscopía infrarroja (FTIR) se caracterizó el aceite esencial, confirmando la presencia de compuestos terpénicos que caracterizan a los aceites esenciales cítricos. Los resultados permiten valorar el potencial de aprovechamiento de la cáscara de mandarina como materia prima para la obtención de aceite esencial con posibles aplicaciones en el sector agrícola.

Palabras clave: Cáscara de mandarina, aceite esencial, extracción Soxhlet, optimización, rendimiento, diseño central compuesto.

ABSTRACT

Industrial by-products, such as mandarin peel, exhibit significant potential for the recovery of value-added compounds, including essential oils. The objective of this research was to optimize the essential oil extraction process from mandarin peel flour (*Citrus reticulata* L.) using the Soxhlet method and Response Surface Methodology (RSM).

The raw material was dried at 60 °C and subsequently ground, obtaining a coarse flour with low moisture content. The effects of the solvent-to-sample ratio and the number of extraction cycles on essential oil yield were evaluated using a Central Composite Design (CCD). Statistical analysis identified the number of extraction cycles as the factor with the greatest significant influence on oil yield. Optimal extraction conditions were established at a solvent-to-sample ratio of 13:1 and 10 extraction cycles, achieving an approximate yield of 26.5%.

The essential oil was characterized through density analysis, optical rotation, and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), confirming the presence of terpene compounds characteristic of citrus essential oils. These findings highlight the potential of mandarin peel as a raw material for essential oil production with possible applications in the agricultural sector.

Keywords: Mandarin peel, essential oil, Soxhlet extraction, optimization, yield, central composite design.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La investigación de Özcan *et al.* (2021) analizó los efectos del secado en los materiales vegetales y determinó que el secado de la materia prima favorece la extracción de compuestos bioactivos. Paz *et al.* (2021) indican que la obtención de harina a partir del exocarpo de la naranja requiere de ciertas condiciones óptimas de secado, siendo estas, una temperatura de 60 °C y un tiempo de 220 minutos de secado, proporcionando un producto con 22.1 % de humedad. Por su parte, Suri *et al.* (2022) en su estudio de enfoques de secado de residuos de cáscaras de lima, emplean la misma temperatura de 60 °C, pero con un tiempo de secado de 360 minutos, obteniendo un producto final con una humedad de 10.33 %.

Por su parte, en el estudio de Paucarchuco *et al.* (2023), se demostró que una forma eficaz de optimizar los procesos de extracción de aceite esencial es por medio de la metodología de superficie de respuesta (*RSM*), utilizando factores o variables de estudio como el tiempo de extracción, la potencia ultrasónica, la relación solvente/muestra (ml/g), entre otros. En la investigación de Animashaun *et al.* (2024), se obtuvieron las condiciones óptimas de extracción mediante un diseño experimental basado en *RSM* con el diseño de Box-Behnken, lo que incrementó las propiedades físicas y químicas del aceite al aumentar el tiempo de extracción y los volúmenes del solvente.

Karne *et al.* (2023) destacan la extracción por Soxhlet como un método eficaz para obtener aceites esenciales de la cáscara de cítricos como la naranja y limón. Por su parte, Amanullah *et al.* (2024) reportaron que el rendimiento máximo de extracción se logra a una temperatura de 90 °C durante un tiempo de 270 minutos utilizando como solvente n-hexano. En contraste, en la investigación de Park *et al.* (2015), se concluyó que es mejor utilizar solventes orgánicos polares, como el etanol, en lugar de solventes no polares, como el n-hexano o el éter de petróleo, al extraer componentes como el D-limoneno.

Cordova *et al.* (2020) en su estudio sobre la composición del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis*), demostraron que los compuestos que están presentes en el extracto son: limoneno (95.11 – 97.33 %), β - mirceno (1.77 – 2.47 %), linalool (0.47 – 1.25 %) y α - pineno (0.37 – 0.59 %). Por su parte, Shaw *et al.* (2023) mencionan que la composición fisicoquímica de la cáscara de los cítricos incluye carbohidratos, ácidos, lípidos, elementos minerales, compuestos volátiles, flavonoides, aceites esenciales (hasta 9 % D-limoneno), enzimas, pigmentos y vitaminas; en aceites esenciales de cítricos, el compuesto principal es el D-limoneno llegando a estar presente en un 32 a 98 %.

Feng *et al.* (2020) indican que un pesticida biodegradable formulado a partir de aceite esencial, agua desionizada y nanoemulsiones, cumple con las normas de la FAO, al contener solo un 10 % de D-limoneno. Por su parte, Andrade *et al.* (2017) mencionan a los aceites esenciales como una alternativa real que puede llegar a aplicarse en los programas de control de plagas y enfermedades, debido a factores como su considerable potencial como repelente y larvicida, su baja toxicidad para los mamíferos y su limitado impacto ambiental.

1.2 PROBLEMA

Ecuador, es un país que tiene como uno de sus principales pilares económicos al sector agrícola, tal es su importancia que cubre aproximadamente el 95 % de la demanda interna de los alimentos que consume la población (Pino *et al.*, 2018). En el sector de las exportaciones destacan las florícolas, representando un apoyo fundamental para la economía del país, registrando exportaciones a Estados Unidos, Rusia y Países Bajos (Cedillo *et al.*, 2021); según Zambrano y Alvear (2023), para el año 2020 este sector generó alrededor de 28.775 empleos directos e indirectos.

De acuerdo con Alarcón (2019), el sector florícola es propenso al ataque de plagas, provocando grandes pérdidas económicas, para controlar y minimizar los daños se utiliza plaguicidas, sin embargo, estos mismos presentan componentes tóxicos, afectando al medio ambiente, a polinizadores importantes como abejas y a las personas que los emplean, a estos últimos les puede llegar a provocar daños leves como afecciones en la

piel hasta problemas más graves a la salud donde se ven afectadas los sistemas: reproductivo, renal, nervioso, cardiopulmonar y gastrointestinal (Ulibarry, 2019).

Según Bautista *et al.* (2018), el uso indiscriminado de plaguicidas en América Latina ha provocado la aparición de plagas más resistentes, mientras que los casos de envenenamiento por estos compuestos aumentan sobre todo en zonas rurales, donde la mayoría de los casos termina en la muerte del paciente. El uso de alternativas técnicas para el control de plagas que no contengan componentes químicos sintéticos se presenta como la respuesta, siendo uno de ellos los bioplaguicidas, sin embargo, estos solo representan un 5 % en el mercado mundial, debido a que no se cuenta con un método de producción eficiente y económico.

Por otra parte, la producción de cítricos en Imbabura es representativa, de manera especial en el cantón Pimampiro; sin embargo, de estas frutas solo se aprovecha la pulpa dejando de lado residuos como la cáscara y las semillas, que, de acuerdo con Gómez (2018), representan hasta un 60 % de la fruta. Las cáscaras contienen biomateriales como aceites esenciales, pectina y azúcar, al desecharse, pueden llegar a causar problemas ambientales, sobre todo contaminando fuentes de agua (Karne *et al.*, 2023). Este desecho se puede destinar para fines industriales o domésticos, extrayendo el aceite esencial que por sus propiedades toxicológicas hacia los insectos poseen un potencial en el sector agrónomo como una alternativa a los plaguicidas (Eliseo *et al.*, 2020).

Por lo expuesto, resulta pertinente realizar un estudio que permita aprovechar los residuos de cítricos como la cáscara de mandarina, en la zona de Imbabura, aumentando el rendimiento de la obtención de aceite esencial, el cual podría usarse como bioplaguicida. Su aplicación puede llegar a controlar plagas como la mosca blanca o la araña roja. En un contexto más amplio puede ayudar a mejorar la producción de diversos cultivos, como una medida alternativa que fomenta la producción verde.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Una de las sustancias químicas más importantes en el sector agrícola son los pesticidas, estos permiten controlar y destruir la presencia de plagas en los cultivos, evitando grandes pérdidas económicas. Sin embargo, los compuestos de los pesticidas

mayormente se componen de sustancias tóxicas y nocivas. Ocasionando efectos agudos y crónicos en la salud de las personas, sobre todo a aquellos que se exponen por largos periodos de tiempo a estas sustancias como son los agricultores, los cuales en su mayoría pertenecen a zonas rurales (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Surge aquí la necesidad de implementar tecnologías verdes que eviten el uso de pesticidas peligrosos para la salud y permitan controlar las diversas plagas que atacan a los cultivos. Los aceites esenciales son una de estas alternativas; desde hace varias décadas atrás ya se había estudiado sus efectos como agentes de control de insectos, bacterias y hasta hongos. Estos extractos se caracterizan por provenir de las plantas por lo que son compuestos biodegradables y productos no tóxicos para la salud humana (Andrade *et al.*, 2017).

Lo que permite que un aceite esencial funcione como pesticida es su contenido de limoneno, que es el compuesto mayoritario de los aceites esenciales extraídos de las cáscaras de cítricos como las mandarinas. Las cáscaras y semillas de los cítricos en la mayoría de los procesos industriales son desechados y arrojados a vertederos de basura, por lo tanto, el desarrollo de estudios que demuestren el uso de estos desechos para la industria y en este caso para su uso como pesticida es pertinente.

Las mandarinas son frutas de temporada, por lo que solo están disponibles en épocas específicas del año. Lasprilla *et al.* (2024) menciona que al año se tiene dos picos de producción siendo el primero de noviembre a enero y el segundo, el principal, de junio a agosto. Esto quiere decir que se cuenta con la materia prima, la cáscara, solamente durante estas épocas, razón por la que se requiere de un proceso que permita conservar la materia prima en perfecto estado durante todo el año, mejorando su producción e incluso su precio.

Por lo mencionado, la presente investigación plantea como soluciones a la problemática mencionada; realizar un proceso de transformación de la cáscara de mandarina en harina y así contar con la materia primar para la producción de aceites esenciales durante todo el año mejorando totalmente la producción.

Autores como Briones y Guerrero (2019), mencionan que la extracción de aceites esenciales a partir de la cáscara de mandarina en comparación a otras materias primas tiene un rendimiento bajo, esto se debe a los cítricos no poseen cantidades considerables de aceites esenciales, sin embargo, el aceite esencial de los cítricos destaca de los demás por su alto contenido de D-limoneno. Para optimizar la extracción de aceites esenciales por medio del método Soxhlet se establecerá parámetros de extracción donde se evaluará la relación del solvente/masa y el tiempo.

Finalmente se establecerá como solvente de extracción el etanol debido a sus ventajas frente a otros solventes más usados en la industria como el n-hexano o el éter de petróleo. El etanol permite extraer con mayor facilidad el compuesto de interés de este estudio el cual es D-limoneno. Otro factor para tener en cuenta es que el etanol no es un compuesto tóxico, además, los aceites esenciales son insolubles en agua, pero al emplear un alcohol como solvente, se mejora su solubilidad, volviéndose mucho más soluble permitiendo formular con facilidad plaguicidas a base de aceites esenciales y agua (Rueda *et al.*, 2007).

1.4 PREGUNTA DIRECTRIZ DE LA INVESTIGACIÓN

¿La relación entre el solvente y la muestra, y el tiempo, influyen en el proceso de extracción de aceite esencial mediante el método Soxhlet?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Optimizar la extracción de aceite esencial de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata L.*) para uso agrícola.

1.5.2 Objetivo Específico

- Elaborar harina a partir de la cáscara de mandarina.

- Evaluar la influencia de la relación solvente/muestra y utilizando el número de ciclos de extracción mediante análisis de superficie de respuesta.
- Caracterizar el extracto de aceite esencial obtenido de la cáscara de mandarina para uso agrícola.

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis Alternativa

La relación solvente/muestra y el número de ciclos durante el proceso de extracción tienen un efecto significativo en el rendimiento del aceite esencial de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.).

1.6.2 Hipótesis Nula

La relación solvente/muestra y el número de ciclos durante el proceso de extracción no tienen un efecto significativo en el rendimiento del aceite esencial de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 PRODUCCIÓN DE MANDARINA

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023), la mandarina proviene del mandarino, un árbol pequeño, espinoso y con notable resistencia a bajas temperaturas, que logra prosperar en climas desérticos, semitropicales y subtropicales. El fruto presenta un olor intenso, sabor agradable, cubierto de una cáscara delgada y con gajos divididos en segmentos que se separan con facilidad.

La mandarina conocida como una fruta estacional, puede encontrarse en Ecuador a lo largo de todo el año debido a las condiciones agroambientales del país, sin embargo, cuenta con dos picos de producción anuales donde se encuentra de forma abundante, el primero de noviembre a enero y el segundo, el principal, de junio a agosto (Lasprilla *et al.*, 2024). En Imbabura, las zonas de producción de este cítrico se concentran en el cantón Pimampiro, en las parroquias Chugá, Pimampiro y Sigsipamba, y en el valle del Chota, pero en menor concentración. Se estima que la superficie cultivada de la mandarina esta entre 100 a 150 hectáreas, donde cada árbol produce un estimado de 3 gavetas de 20 kg por ciclo de cosecha. (GOBIERNO PROVINCIAL DE IMBABURA, 2021).

2.1.1 Taxonomía y Morfología de la Mandarina

Padrón y Rocha (2007) describen la taxonomía y morfología del mandarino de la siguiente forma:

- Familia: Rutaceae.
- Subfamilia: Aurantioideae.
- Género: *Citrus*.
- Las principales especies: *Citrus reticulata* (Blanco) (mandarina común), *C. unshiu* (Marcovitch) (mandarina Satsuma), *C. reshni* (Hort ex Tanaka) (mandarina Cleopatra), *C. deliciosa* (Tenora) (mandarina mediterránea), *C. nobilis* (Loureiro) (mandarina King).

- Porte: Menor que el naranjo y algo más redondeado.
- Hojas: Unifoliadas y de nerviación reticulada, con alas rudimentarias pequeñas.
- Flores: Solitarias o en grupos de 3 o 4.
- Fruto: Llamado hesperidio. Existen variedades con muchas semillas y otras son partenocárpicas, es decir, fruto sin semilla.

2.1.2 Partes Internas y Externas de la Mandarina

Los frutos de los cítricos son bayas conocidas como hesperidios; estos se dividen en varias secciones, cada una envuelta por una membrana (Ancillo y Medina, 2015):

- Exocarpo o flavedo: La parte más externa del fruto, se conoce comúnmente como cáscara (Ancillo y Medina, 2015).
- Sacos de aceite: Se encuentran en el exocarpo, estas vesículas contienen los aceites esenciales (Lasprilla *et al.*, 2024). Contribuyen al aroma y al sabor del fruto, además de poseer propiedades antimicrobianas.
- Mesocarpo o albedo: También forma parte de la cáscara de la fruta, es una capa esponjosa y blanca, se caracteriza por su contenido de pectina y glucósidos (Lasprilla *et al.*, 2024).
- Endocarpo: También conocido como pulpa, es la región interna de la fruta. Está constituida por los lóculos o gajos (Lasprilla *et al.*, 2024).
- Gajos: Los lóculos contienen vesículas de zumo, estas están formadas por un cuerpo de células vacuolizadas y un pedúnculo que las mantiene unidas a la epidermis dorsal de los carpelos y limitadas lateralmente por los septos (Lasprilla *et al.*, 2024).
- Eje central: parte central de la fruta; mantiene unidos a los gajos. Esta cambia a medida que madura la fruta y los cambios que sufre varían de acuerdo con el tipo de cítrico y hasta en especies de estos (Ancillo y Medina, 2015).

2.1.3 Composición de la Cáscara

La cáscara compone cerca del 44 % del peso total en los cítricos, y en su mayoría se considera un desecho agroindustrial que puede provocar problemas ambientales. A partir de su transformación, es posible obtener productos como harinas cítricas, pectina, aceites esenciales, pigmentos naturales y varios tipos de compuestos bioactivos benéficos para la salud, entre ellos los polifenoles, los flavonoides y la fibra dietética (Gutiérrez y Pascual, 2016).

Tabla 0.1

Composición de la cáscara de la mandarina

Componente	Valor
Humedad (g/100 g)	12.57 ± 0.11
Proteínas (g/100 g m.s.)	8.14 ± 0.08
Extracto etéreo (g/100 g m.s.)	2.14 ± 0.03
Cenizas (g/100 g m.s.)	2.73 ± 0.01
Fibra dietaria total (g/100 g m.s.)	43.84 ± 1.14
Fibra dietaria insoluble (g/100 g m.s.)	28.61 ± 1.07
Fibra dietaria soluble (g/100 g m.s.)	15.23 ± 0.16
Relación FDI/FDS	1.88 ± 0.07
Pectina (g/100 g m.s.)	14.46 ± 0.87

Nota: Destaca el alto contenido de fibra y su alta concentración de pectina, por el contrario, los lípidos que presentan son bajos (Gutiérrez y Pascual, 2016)

Dependiendo de la parte de la cáscara, se puede obtener un compuesto con características específicas (Tabla 2.1). El exocarpo o flavedo contiene aceites esenciales, los cuales están contruidos por varios compuestos orgánicos, destacando el limoneno, el compuesto más abundante en el aceite esencial de los cítricos.

El mesocarpo o albedo por su parte contiene pectina y es rico en flavonoides como naringenina, naringina, rutina, hesperidina, quercetina y hesperetina, las cuales poseen propiedades beneficiosas para la salud (Ortiz *et al.*, 2023). Tanto la pectina como los flavonoides poseen varios beneficios para la salud, como el control glicémico, el control del colesterol y prevención de cáncer (Gutiérrez y Pascual, 2016).

2.2 HARINA DE CÁSCARA DE CÍTRICOS

La harina de cítricos se caracteriza por ser una fuente importante de fibra dietética, con una cantidad balanceada de fibra soluble e insoluble logrando estimular efectos en la salud de las personas que la consumen (Guerra *et al.*, 2020). Esta se obtiene al cortar la cáscara en pequeños cuadros y secarla a una temperatura de 50 °C a 60 °C, la humedad de la harina dependerá del tiempo de secado.

Para un contenido de humedad alto, como 22.1 %, solo es necesario un tiempo de secado aproximado de 3.4 horas, por otro lado, para un porcentaje de humedad bajo, como 8.75 %, se necesita un tiempo de secado de 12 horas (Guerra *et al.*, 2020). El proceso de deshidratación logra brindarles a las cáscaras de los cítricos un mayor tiempo de vida útil, gracias a su bajo contenido de agua, son menos propensos a ser atacadas por microorganismos.

2.3 ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son líquidos aceitosos fáciles de identificar por su característico aroma; estos son obtenidos a partir de materia prima natural de origen vegetal, ubicándose en partes de la planta como flores, tallos, raíces, hojas, frutos y semillas. Su principal función en la naturaleza es la supervivencia de las plantas, ya que pueden llegar ahuyentar a animales depredadores, así como también a atraer con su aroma a insectos polinizadores (González *et al.*, 2020). Los aceites esenciales están compuestos por una fracción volátil y semivolátil de los productos del metabolismo secundario de las plantas (Juan Llorens, 2021).

Gracias a la gran variedad de componentes que presentan los aceites esenciales, estos han logrado destacar en sectores como la medicina o el sector agroalimentario. En este último, se han llegado a usar para la preservación de alimentos gracias a su actividad antioxidante, antibacteriana y antifúngica (Juan Llorens, 2021), logrando ser eficaces ante cepas bacterianas resistentes. Otro sector en donde los aceites esenciales se han podido aplicar es la agricultura, al funcionar como plaguicidas alternativos debido a su origen natural y su baja toxicidad (Juan Llorens, 2021).

2.3.1 Composición Química de los Aceites Esenciales

La composición química de los aceites esenciales varía de acuerdo con la fisiología de la planta con factores como el clima, el suelo donde crece o hasta la salud de la planta o el momento de la cosecha (Juan Llorens, 2021). Estos están compuestos por más de 100 componentes diferentes, principalmente de terpenos, moléculas formadas por unidades de isopreno y concretamente por monoterpenos, que a su vez están compuestos de grupos de hidrocarburos, ácidos alcoholes, aldehídos, ésteres, éteres y cetonas (Juan Llorens, 2021). La proporción en la cual se encuentren estos compuestos influyen en el aroma, color y actividad biológica del aceite esencial, así mismo, el perfil químico final varía de acuerdo con la técnica de extracción utilizada en la obtención del aceite esencial.

Los terpenos se pueden llegar a clasificar según el número de carbonos en su cadena. En este grupo tenemos hemiterpenos (C5), monoterpenos (C10), sesquiterpenos (C15), diterpenos (C20), sesterterpenos (C25) y triterpenos (C30). En cuanto a los terpenoides, estos son una amplia familia de compuestos naturales derivados del isopreno (Juan Llorens, 2021). Su estructura química determina la intensidad y tipo de actividad biológica, lo que resulta en aplicaciones específicas según el compuesto predominante en el aceite esencial.

2.3.2 Extracción de Aceites Esenciales

Existen numerosas técnicas para lograr la extracción de aceites esenciales de las plantas, se puede lograr distinguir dos tipos de métodos, los convencionales y modernos. A continuación, se describirán varios métodos de extracción:

- **Destilación por arrastre de vapor:** permite separar compuestos volátiles de otros no volátiles, ya que el compuesto no volátil no se descompone al someter la muestra a temperaturas altas. Esta destilación consiste en inyectar vapor de agua recalentada directamente sobre la mezcla, produciendo la evaporación de los compuestos volátiles. Al adicionar el vapor de agua a la mezcla, disminuye la presión de vapor ocasionando que la temperatura de evaporación disminuya (Cedeño *et al.*, 2019). Esta

técnica preserva la integridad química de los compuestos sensibles al calor, además de una extracción sin el uso de solventes, pero si es necesario un control preciso del flujo de vapor y del sistema de condensación.

- **Hidrodestilación:** es un método simple de extracción, consiste en sumergir la muestra directamente en agua en un matraz y llevar a ebullición. El instrumento utilizado en la extracción está compuesto de una fuente de calentamiento, un condensador y un decantador el cual permite separar el agua del aceite esencial. Método muy utilizado por las industrias gracias a su fácil implementación (Juan Llorens, 2021). Este método al tener a la muestra en contacto con el agua puede ocasionar hidrólisis en compuestos sensibles, sin embargo, es una opción viable si se trabaja con compuestos resistentes al calor.
- **Hidrodestilación a través de vapor:** el matraz está constituido por un sistema de placa perforada o rejilla, que mantiene la muestra suspendida sobre la base del destilador, de modo que no tenga contacto con el agua contenida en él. La extracción se realiza por inyecciones de vapor de agua que atraviesan la muestra de abajo hacia arriba y transportan los materiales volátiles, esta técnica es perfecta para extraer compuestos polares (González *et al.*, 2022). La muestra al no entrar en contacto directo con el agua reduce el riesgo de hidrólisis o degradación térmica de compuestos sensibles, manteniendo el perfil aromático original del aceite esencial.
- **Extracción con solvente orgánico:** la extracción se realiza por maceración, donde la muestra es sumergida en un solvente orgánico para luego ser concentrada a bajas presiones. Esta técnica tiene como desventaja que el aceite esencial puede contener residuos del solvente; para evitar esto se utiliza solvente orgánico con bajos puntos de ebullición y un proceso de destilación por vapor (González *et al.*, 2022). Este método permite una extracción más compleja de compuestos lipofílicos y termolábiles. Suele ser muy usado en las investigaciones y en

formulaciones específicas, sin embargo, se mantienen controles rigurosos en la inocuidad del producto final.

- **Extracción con fluido supercrítico:** se caracteriza por utilizar solventes químicamente inertes, el más utilizado es el dióxido de carbono debido a su alta capacidad disolvente, bajo costo y alta eficacia. El término supercrítico se debe a que los solventes se emplean en estado supercrítico, es decir, cuando el fluido presenta las propiedades de un gas, pero también las de un líquido (Fajardo *et al.*, 2022). La extracción por fluidos supercríticos proporciona aceites esenciales con mejores actividades funcionales y biológicas, además de poseer mejores propiedades antibacterianas y antifúngicas (González *et al.*, 2022).
- **Extracción por microondas sin solvente:** se considera como un método verde, la extracción se realiza con una muestra seca con microondas a una presión atmosférica. Se realiza un calentamiento selectivo al agua contenida en el material vegetal, provocando que los tejidos se hinchen y las glándulas y los receptáculos exploten. Esto ocasiona que se libere los aceites esenciales y se evaporen con el agua presente en el material (González *et al.*, 2022). Este método permite aislar y concentrar compuestos volátiles en un menor tiempo y con una degradación menor de compuestos sensibles.
- **Extracción asistida por ultrasonido:** se basa en una serie de compresiones y expansiones de ondas longitudinales a través de un medio líquido, lo que da lugar a la formación de burbujas con un tiempo de vida medio muy breve, debido a la presencia de un fenómeno periódico conocido como cavitación (Paloma Méndez, 2022). El efecto de cavitación genera varias turbulencias y colisiones entre partículas, es ocasiona una mayor reactividad del medio y por ende aumenta de forma considerable la transferencia de materia. Esto provoca que se reduzca considerablemente los tiempos de extracción, el consumo de energía y la cantidad de solvente a utilizar (Paloma Méndez, 2022).

- **Extracción por Soxhlet:** consiste en usar un solvente para lograr extraer el aceite esencial (Cedeño *et al.*, 2019). El solvente se calienta hasta una temperatura de ebullición en donde se vaporiza y es conducido por la cámara de vapores hasta el cuarto de la muestra sólida, el vapor se condensa al pasar por la cámara de refrigeración y el solvente caliente entra en contacto con la muestra, de manera que se logra separar el aceite esencial (Ghulam Hussein, 2023). Este proceso permite una extracción continua; se utiliza usualmente cuando se requiere recuperar compuestos lipofílicos. Sin embargo, su aplicación en alimentos o productos farmacéuticos está limitada debido a los residuos de solvente que pueden quedar en el aceite esencial.

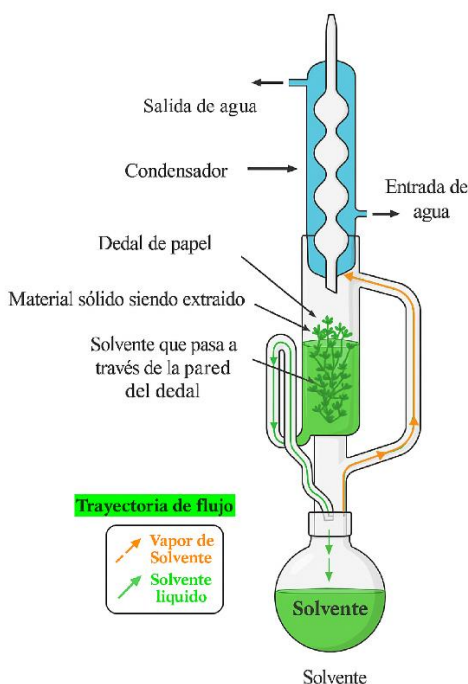
2.4 PARTES DEL EQUIPO SOXHLET

La extracción por el equipo *Soxhlet* es la técnica más utilizada para extracción sólido-líquido. Para lograr la extracción de los compuestos presentes en la muestra se necesita pasar por múltiples etapas y para extraer la mayor cantidad de dichos compuestos se debe repetir de forma cíclica las etapas de extracción (POBEL, 2025). Se detallan las partes que componen a un equipo Soxhlet (Figura 2.1):

- Parilla o chaqueta: Fuente de calor para evaporar el solvente.
- Matraz redondo: Contiene el solvente y el aceite extraído.
- Cuerpo extractor: Contiene la muestra y es en donde ocurre la extracción sólido-líquido, se puede utilizar un cartucho de celulosa para mantener la muestra y evitar obstrucciones.
- Vaso comunicante: Parte del cuerpo extractor, existen dos. El primero permite el paso del vapor del matraz al condensador, y el segundo provoca un efecto sifón al conectar el cuerpo extractor con el matraz.
- Refrigerante: Contiene un fluido refrigerante de manera que se condensa el solvente.

Figura 0.1

Equipo tradicional de extracción Soxhlet



Ghulam Hussein, 2023, explica las siguientes etapas para la extracción Soxhlet:

- Colocar el solvente en un matraz redondo.
- Ebullición del solvente, el cual se evapora hasta un condensador a reflujo.
- Caída del condensado sobre el cuerpo extractor, que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior.
- Ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto donde se produce un efecto de desfogue en donde el solvente junto con el material extraído vuelve al matraz redondo.

El completarse todas las etapas se denomina ciclo, y se realiza el número de ciclos necesarios hasta que se haya extraído todo el material que ofrece la muestra.

2.5 FACTORES QUE AFECTAN LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Si bien el método y el tipo de solvente utilizados para la extracción influyen en el rendimiento del producto final, también existen otros factores que afectan a la hora de

extraer componentes de una muestra. Entre ellos se encuentran la granulometría del material vegetal, contenido de humedad, tiempo, presión y temperatura de extracción, pretratamientos aplicados a la muestra como el secado o molienda y la relación muestra/solvente.

2.5.1 Relación Masa/Solvente en la Extracción

Un factor crítico en la extracción de aceites esenciales ya que influye en el rendimiento y eficiencia del proceso. La cantidad de solvente utilizado en la extracción puede afectar la cantidad de aceite que se logra extraer (Acosta y Celis, 2021). La relación adecuada permite mejorar la disolución de los compuestos volátiles sin llegar a saturar el medio de extracción. En el caso de que el volumen del solvente sea insuficiente, se reduce la difusión de compuestos desde la muestra, por otro lado, un excedente de solvente puede llegar a incrementar los costos y diluir innecesariamente el extracto, afectando la concentración final del producto.

2.5.2 Tiempo de Extracción

Al igual que la relación masa/solvente, el tiempo de extracción también influye en la cantidad de aceite que se logra extraer, en métodos tradicionales entre mayor es el tiempo de extracción mayor es el rendimiento de este (Irene Casado, 2018).

Sin embargo, en métodos como la extracción asistida por ultrasonido y por microondas, se puede llegar a producir merma si el tiempo de extracción se prolonga demasiado, debido a que los compuestos volátiles sufren una degradación térmica. Así mismo, un tiempo excesivo conduce a un consumo energético innecesario, afectando a la sostenibilidad del proceso.

2.5.3 Temperatura y Presión en la Extracción

Los aceites esenciales poseen un punto de ebullición más alto que el agua. Las temperaturas elevadas permiten liberar los compuestos volátiles ubicados en las células vegetales, aumentando el rendimiento de extracción, sin embargo, también pueden llegar

a ocasionar la descomposición del aceite esencial y la evaporación de componentes sensibles al calor (Irene Casado, 2018).

Así mismo, la presión influye significativamente en la extracción, llegando a favorecer la penetración del solvente o del vapor en la matriz vegetal, también cambia características fisicoquímicas en el aceite como la densidad (Taïpe *et al.*, 2021). Sin embargo, presiones elevadas o combinadas con temperaturas altas pueden llegar a alterar la composición química del aceite.

2.6 EL LIMONENO EN LOS CÍTRICOS

El limoneno es el componente principal de los aceites esenciales extraídos de cítricos; es un compuesto volátil del cual existen dos isómeros el D-limoneno o R-(+)-limoneno y L-limoneno o S-(-)-limoneno, siendo el primero el más común en la naturaleza (Sánchez *et al.*, 2021).

La principal diferencia se encuentra en el aroma, el D – Limoneno tiene un aroma y sabor asociado al de las naranjas, mientras que L – Limoneno se asocia al limón (Durán *et al.*, 2023). Este compuesto es un metabolito secundario producido por los cítricos, es una molécula insaturada y un monoterpeno que se incluye en la familia de los anillos aromáticos, resinas y compuestos fenólicos (Gallego y Ríos, 2020).

Principalmente se encuentra concentrado en la cáscara de los cítricos y en el aceite esencial de estos está presente hasta en un 90 %. El limoneno ha presentado ventajas en la industria, como su capacidad para combatir células cancerígenas, antidiabético, antidepresivo, insecticida natural, aditivo de sabor y fragancia en productos de limpieza, cosméticos, alimentos, bebidas y productos farmacéuticos (Gallego y Ríos, 2020; Sánchez *et al.*, 2021). Debido a su origen y a su baja toxicidad, tiene potencial en la formulación de productos ecológicos sustentables.

2.7 ETANOL

El etanol o alcohol etílico es un líquido incoloro, volátil, higroscópico de sabor ardiente, con olor característico e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C; se

puede mezclar con agua y con otros solventes orgánicos (Valeria Capra, 2020). El alcohol etílico tiene varias aplicaciones: se utiliza de forma recreacional como bebida alcohólica, en el sector farmacéutico como antiséptico y desinfectante, y en los laboratorios como solvente químico (Suministro de Especialidades S.A. de C.V., 2020).

El etanol como solvente, permite extraer aceite puro de plantas aromáticas con pocos o casi ningún residuo, esto se debe a que se disipa fácilmente con el calor, evitando la presencia de residuos bioactivos del solvente durante el proceso de separación (ALQRO, 2021).

2.8 ROTAIEVAPORADOR

El rotaevaporador es un equipo utilizado para separar un solvente del soluto usando los principios de la destilación; para ello, la muestra se somete al calor de un baño María y se separa sus componentes utilizando la diferencia de puntos de ebullición (Universidad Zaragoza, 2018). Se puede llegar a incorporar una bomba de vacío con la finalidad de disminuir el punto de ebullición de los componentes, reduciendo el costo energético y el tiempo de separación.

El matraz en donde se encuentra el producto realiza una rotación constante con la finalidad de aprovechar el área de superficie de contacto y aumentar la velocidad de evaporación, también se logra evitar un sobrecalentamiento local y un retardo de ebullición. El vapor del solvente se condensa por un sistema de refrigeración acumulándolo en un matraz receptor perdiendo reutilizarlo o desecharlo correctamente (BUCHI, 2022).

2.9 ANÁLISIS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Es una metodología que consiste en un grupo de técnicas matemáticas y estadísticas cuya finalidad es desarrollar, mejorar y optimizar procesos. Esta metodología tiene varias aplicaciones como el diseño, desarrollo y formulación de productos nuevos o que ya se encuentran en el mercado, pero una de las aplicaciones en las que más destaca es en el modelado y análisis de problemas que presentan más de una respuesta y que

además se ve afectado por varios factores cuantitativos (Cristina Gil, 2019). Además, permite identificar interacciones complejas entre variables.

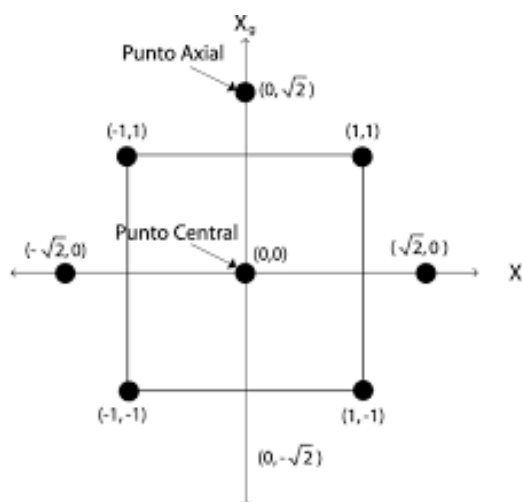
2.9.1 Diseño Central Compuesto (CCD)

Existen varios métodos para el análisis de superficie de respuesta; uno de estos es el Diseño Central Compuesto (CCD). Los CCD son diseños de tratamiento factoriales 2^k con $2k$ combinaciones (k), llamadas puntos axiales, y puntos centrales (María Jiménez, 2015).

Este diseño evalúa eficientemente el efecto de varias variables independientes. Incluye puntos axiales y centrales, el CCD mejora la precisión del modelo además de permitir explorar regiones del espacio experimental que sería difícil o hasta imposible de analizar con diseños factoriales tradicionales. Dicho enfoque, permite identificar factores clave y sus interacciones, logrando optimizar los parámetros de los procedimientos para obtener el rendimiento deseado.

Figura 0.2

Diseño Central Compuesto



Nota. Tomado de (Contreras *et al.*, 2010)

2.10 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS EN LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son mezclas complejas que contienen diferentes clases de sustancias y un elevado número de componentes individuales, pudiendo estar constituidos

por más de 100 sustancias. Para la identificación y aislamiento de estos compuestos se han desarrollado varias técnicas de análisis fisicoquímicas; permitiendo a su vez identificar el nivel de pureza del aceite esencial (Dellacassa *et al.*, 2016).

2.10.1 Determinación de la Densidad en Aceites Esenciales

La densidad se define como un parámetro físico que permite determinar la relación entre la masa y el volumen de una muestra. En los aceites esenciales, conocer la densidad ayuda a determinar la calidad y la pureza del producto; al tener los aceites esenciales un rango determinado de densidad, cualquier disolución o adulteración cambiará este parámetro de forma notoria.

Es una prueba sencilla que se puede determinar por medio de una botella o recipiente de volumen conocido, la cual se llena y se pesa con precisión. Es importante aclarar que este análisis se debe acompañar o combinar con otros como la cromatografía de gases, espectroscopía infrarroja, evaluación organoléptica o pruebas sensoriales (MITRA AYU, 2018).

2.10.2 Determinación de Rotación Óptica en Aceites Esenciales

Los aceites esenciales contienen una diversidad de composiciones químicas ópticamente activas, estas se denominan moléculas quirales, y la luz es capaz de interactuar con estas. Las moléculas quirales presentan propiedades en dos versiones diferentes, estas son similares, pero se reflejan entre sí. A estas versiones se las denomina dextrógiras y levógiras, y para determinar cuál de ellas se encuentra en el aceite esencial se utiliza una luz emitida a través de un polarizador, cuyo ángulo de incidencia está restringido.

El resultado obtenido del uso de un polarímetro se presenta como un valor angular, el cual si es positivo es dextrógiro, mientras que si es negativo es levógiro. La rotación óptica tiene su importancia en la determinación de la calidad del aceite esencial estudiado, debido a que, las plantas de cualquier especie y origen producen la misma proporción enantiomérica y esta puede ser medida, además, cada planta produce un enantiómero en

particular; en cítricos dulces el dextrógiro limonero es predominante, mientras que en ácidos es el levógiro limonero (MITRA AYU, 2022).

2.10.3 Análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

El análisis FTIR es una técnica instrumental no destructiva, rápida y económica, que permite utilizar muestras sólidas, líquidas, pastosas, en suspensión y gaseosas, sin una preparación previa, para la identificación de un grupo de compuestos químicos específicos (Castorena *et al.*, 2011).

Utilizando bases físicas de vibración y movimiento molecular, se logra obtener un espectro de infrarrojo donde se identifican picos principales de absorción o transmisión del análisis, cada espectro corresponde a un componente en específico el cual se identifica mediante una base de datos previamente establecida (Pedro Mondragón, 2020).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se describen los aspectos metodológicos que sustentan la presente investigación.

3.1.1 Enfoque de la Investigación

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, debido a que se busca medir y analizar la relación de las variables con la extracción de aceite esencial mediante métodos estadísticos. Este enfoque permite comparar y optimizar las condiciones de extracción del aceite esencial de la cáscara de mandarina, maximizando el rendimiento y calidad del extracto obtenido, usando como método estadístico un diseño central compuesto (CCD).

3.1.2 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo de estudio correlacional, ya que tiene como propósito medir y analizar el grado de relación que existe entre las variables independientes, relación solvente/muestra y el número de ciclos, con la cantidad de extracto obtenido. Este tipo de investigación se utiliza particularmente para optimizar los procesos con base en análisis matemáticos y estadísticos de datos experimentales, reconociendo patrones significativos entre las variables.

3.1.3 Diseño de la Investigación

Con respecto al diseño de la investigación, se emplea un diseño de tipo experimental, debido a que las variables independientes, relación solvente/muestra y número de ciclos de extracción, del estudio son deliberadamente manipuladas con la finalidad de observar su efecto sobre las variables dependiente: rendimiento. El tipo de

investigación experimental permite controlar el entorno, de forma que se garantiza la obtención de datos confiables y replicables.

3.2 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se describe detalladamente el proceso seguido para alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación.

3.2.1 Elaboración de Harina a Partir de la Cáscara de Mandarina

La materia prima necesaria para realizar la harina se obtuvo de un productor de Pimampiro, esta se seleccionó de acuerdo con los siguientes criterios: fruta que no presenta daños excesivos causados por golpes, mala cosecha o plagas y que no está en estado de descomposición. La materia prima que no cumplió los criterios establecidos fue descartada. La fruta seleccionada fue sumergida en una solución de hipoclorito de sodio y agua durante 5 minutos para eliminar la presencia de contaminantes como tierra, polvo o restos de pesticidas (Benitez *et al.*, 2024).

Se retiró la cáscara de las mandarinas y se colocaron en bandejas para deshidratarlas en un secador por un tiempo de 18 horas a 60 °C (Paz *et al.*, 2021). Luego, se tomó una muestra y se midió la humedad mediante el analizador de humedad. La cáscara seca se llevó a un molino manual y se molió hasta obtener una harina de granulometría gruesa. Finalmente fue pesada, etiquetada y almacenada en frascos de cristal y envases plásticos herméticos durante un periodo de 6 a 10 meses.

3.2.2 Optimización de la Extracción del Aceite Esencial

Para la extracción se utilizó la metodología de superficie de respuesta como herramienta de optimización. Los factores o variables independientes investigados fueron la relación solvente/muestra y el número de ciclos de extracción. En la Tabla 3.1 se muestran los niveles codificados de las variables independientes. Se utilizó el programa *Design Expert* para diseñar los tratamientos descritos en la Tabla 3.2 y Tabla 3.3.

Tabla 0.2*Niveles Codificados de los Factores o Variables Independientes*

Factor o Variable independiente	Símbolo	Nivel		
		Bajo (-1)	Centro (0)	Alto (+1)
Grupo de tratamientos 1				
Relación solvente/muestra (ml/g)	A	2.0	7.0	12.0
Número de ciclos	B	1.0	5.0	9.0
Grupo de tratamientos 2				
Relación solvente/muestra (ml/g)	A	7.0	10.5	14.0
Número de ciclos	B	5.0	8.0	11.0

Para los tratamientos de la Tabla 3.2 se utilizaron dos equipos Soxhlet de diferente diámetro y altura, pero un mismo volumen de 150 ml. Para cada corrida se multiplicó al volumen del solvente y al peso de la muestra un factor de 25, excepto para el tratamiento número 11, el cual se multiplicó por un factor de 35.

Tabla 0.3*Tratamientos de Extracción Grupo 1*

Run	Bloque	Factor A: relación solvente/muestra (ml/g)	Factor B: número de ciclos
1	Soxhlet A	10.54	2
2	Soxhlet A	7.00	5
3	Soxhlet A	10.54	8
4	Soxhlet A	3.46	2
5	Soxhlet A	7.00	5
6	Soxhlet A	7.00	5
7	Soxhlet A	3.46	8
8	Soxhlet A	7.00	5
9	Soxhlet B	7.00	5
10	Soxhlet B	7.00	9
11	Soxhlet B	2.00	5
12	Soxhlet B	7.00	5
13	Soxhlet B	12.00	5
14	Soxhlet B	7.00	5
15	Soxhlet B	7.00	1

La extracción se realizó colocando en el fondo del cuerpo extractor del equipo Soxhlet una gasa de algodón para evitar que partes de la harina obstruyeran el sifón; luego se añadió la muestra y, finalmente, una capa delgada de algodón. Como se explicó anteriormente, el solvente utilizado fue alcohol etílico al 96 %, el cual, era condensado con la ayuda de un serpentín y un recirculador. Una vez finalizado el número de ciclos correspondiente, la mezcla de alcohol y aceite esencial era almacenada y etiquetada en frascos de 250 ml y 500 ml de color ámbar.

Para separar la mezcla de aceite esencial y alcohol etílico se utilizó un rotaevaporador. Las condiciones en las cuales el equipo funcionó fueron de 100 rpm, un vacío de 275 mbar y una temperatura del baño María de 40 °C; el tiempo de cada tratamiento en el equipo fue distinto debido a que el volumen variaba de un tratamiento a otro. Antes de iniciar cada separación, se pesaba el matraz recolector vacío. Cuando se visualizaba que el líquido en el matraz tenía una consistencia espesa, se finalizaba la concentración y se pesaba el matraz recolector con la muestra. Luego se restaba el peso del matraz vacío y se obtenía el peso del aceite esencial extraído. La cantidad de extracto se registró, se almacenó en frascos de color ámbar de 10 ml y se etiquetó.

Para los tratamientos de la Tabla 3.3 solo se utilizó el equipo *Soxhlet* A y se aumentó el rango de las variables independientes, en todo lo demás se realizó exactamente igual a los tratamientos del grupo 1.

Tabla 0.4
Tratamientos de Extracción Grupo 2

Run	Factor A: relación solvente/muestra (ml/g)	Factor B: número de ciclos
1	12.9	6
2	14.0	8
3	8.0	10
4	10.5	8
5	10.5	8
6	10.5	8
7	12.9	10
8	10.5	5
9	10.5	8
10	10.5	11
11	8.0	6
12	10.5	8
13	7.0	8

En cada uno de los tratamientos se calculó el rendimiento mediante la ecuación 3.1.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso de aceite extraído (g)}}{\text{peso de harina (g)}} * 100 \quad (0.1)$$

Todos los tratamientos se realizaron en orden aleatorio y los datos resultantes se analizaron con el programa *Design Expert*, para evaluar la precisión de la predicción de los modelos obtenidos se determinó el coeficiente de correlación (R^2). Finalmente, se

construyó el modelo de optimización en relación con el rendimiento, y para la validación del modelo se realizaron 3 repeticiones y se confirmaron los resultados con el programa *Design Expert*.

3.2.3 Caracterización del Extracto de Aceite Esencial

Se realizaron los análisis de la Tabla 3.4 al aceite esencial de la cáscara de mandarina obtenido.

Tabla 0.5
Análisis de Caracterización

Tipo de análisis	Magnitud	Norma
Físicoquímico	Densidad	USP <841> Specific Gravity
	Rotación Óptica	ISO-592-1998
Instrumental (FTIR)	Grupos funcionales	ASTM E1252 – 98

En el análisis de densidad, se utilizó una balanza analítica para pesar la punta de una pipeta de 1 ml, obteniendo un peso inicial. Posteriormente, se recolectó la muestra, evitando la formación de burbujas, y se volvió a pesar, obteniendo el peso final. Con la ecuación 3.3 se calculó la densidad del aceite esencial.

$$\text{Densidad} = \frac{(\text{peso final} - \text{peso inicial}) (g)}{\text{volumen de la muestra} (ml)} \quad (0.2)$$

En el análisis de rotación óptica se utilizó un polarímetro óptico. Para la calibración del equipo se empleó agua destilada y luego alcohol etílico.

Tabla 0.6
Tratamientos del Análisis de Rotación Óptica

Composición	Relación aceite esencial:solvente
Aceite esencial puro	11:0
Aceite esencial y agua destilada	1:10
	0.5:10.5
	1:10
Aceite esencial y alcohol etílico	1.5:9.5
	2:9
	2.5:8.5

Los tratamientos se llevaron a cabo en un tubo de ensayo de 100 mm de largo con una capacidad de 11 ml, se prepararon tres tipos de muestra y en la tercera se realizaron un total de cinco variaciones, como se muestra en la Tabla 3.5.

Para determinar la composición química del aceite esencial, se realizó un análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), el cual se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Yachay Tech.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación.

4.1 ELABORACIÓN DE HARINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE MANDARINA

Del pelado de 49.8 kg de materia prima, se obtuvieron 19.4 kg cáscara de mandarina. Se proceso obteniendo 3.2 kg de cáscara de mandarina deshidratada con una humedad de 4.35 %. Este resultado difiere de lo reportado por otros autores que trabajaron a la misma temperatura de secado de 60 °C, pero con cítricos y tiempos de secado diferentes; Paz *et al.* (2021) realizaron el secado en 3 y 4 horas, mientras que Suri *et al.* (2022) lo realizaron en 6 horas. El proceso de molienda tuvo una eficiencia del 95.31 %, obteniendo un total de 3.05 kg de harina de granulometría gruesa.

La harina durante el periodo de almacenamiento no presento cambios en el aroma y color, además, no se observó desarrollo de mohos ni crecimiento fúngico visible en el producto.

4.2 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA RELACIÓN SOLVENTE/MUESTRA Y EL NÚMERO DE CICLOS DE EXTRACCIÓN UTILIZANDO ANÁLISIS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA.

Se realizo dos grupos de tratamientos ambos se diseñaron con rangos diferentes de ciclos, pero a una temperatura constante, en contraste con la investigación de Park *et al.* (2015), quienes realizaron las extracciones en tiempos fijos de 1, 2 y 4 horas.

Tabla 0.7
Resultados de los Tratamientos de Extracción del Grupo 1

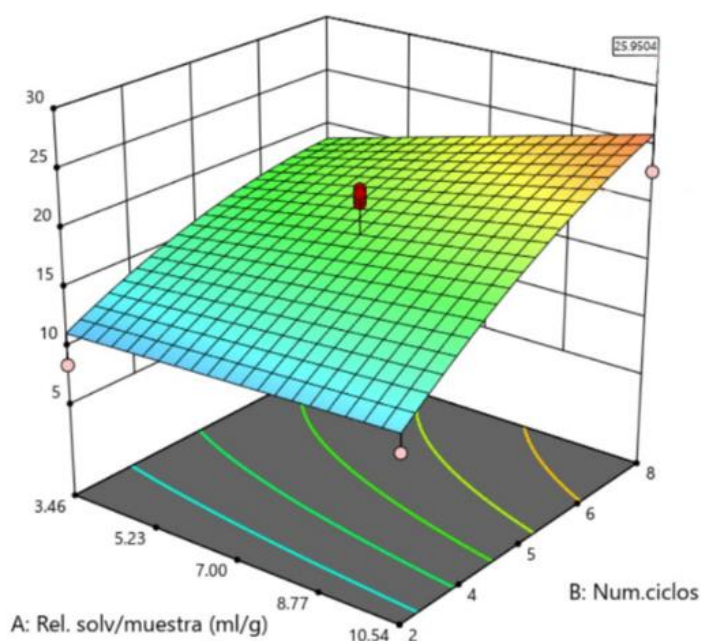
Run	Bloque	Aceite extraído (g)	Tiempo de extracción (horas)	Rendimiento g/g
1	Soxhlet A	2.7	0.505	0.108
2	Soxhlet A	4.3	0.656	0.172
3	Soxhlet A	5.7	1.109	0.228

4	Soxhlet A	2.1	0.492	0.084
5	Soxhlet A	4.2	0.878	0.168
6	Soxhlet A	3.4	0.679	0.136
7	Soxhlet A	3.6	1.147	0.144
8	Soxhlet A	5.5	2.427	0.220
9	Soxhlet B	5.3	2.515	0.212
10	Soxhlet B	6.8	3.576	0.272
11	Soxhlet B	5.0	0.939	0.200
12	Soxhlet B	5.4	3.400	0.216
13	Soxhlet B	5.6	2.338	0.224
14	Soxhlet B	5.6	2.278	0.224
15	Soxhlet B	2.5	0.735	0.100

La Tabla 4.1 muestra los resultados del diseño experimental de los 15 tratamientos del grupo 1, se puede apreciar que el tratamiento número 10 fue el de rendimiento más alto (27.2 %). Las condiciones óptimas de extracción del aceite esencial de la cáscara de mandarina determinadas por el diseño central compuesto son: relación solvente/muestra de 10.54:1 y 8 ciclos de extracción.

Figura 0.3

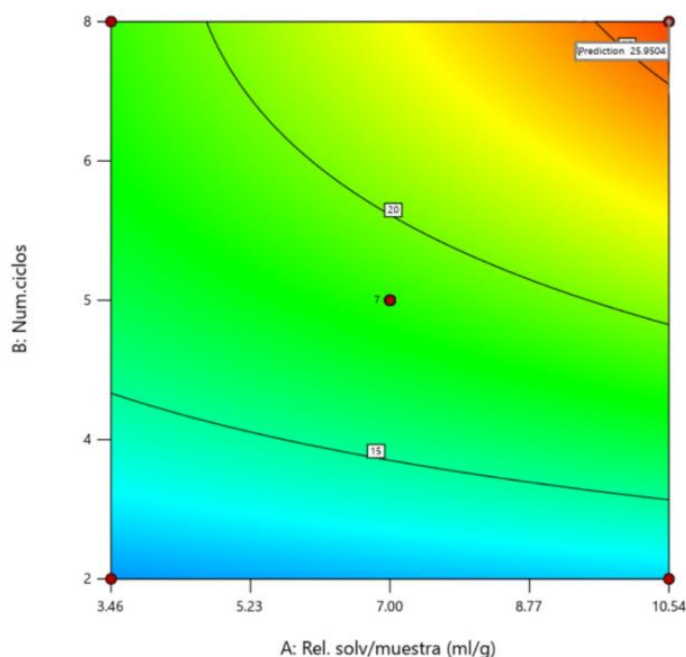
Diagrama 3D del Grupo de Tratamiento 1



Sin embargo, este punto óptimo se ubica en las fronteras de los factores A y B como se muestra en las figuras 4.1 y 4.2; por esta razón, se considera un punto óptimo local y no se realizó una validación del modelo.

Figura 0.4

Curvas de Nivel del Grupo de Tratamiento 1



La Tabla 4.2 muestra los resultados del diseño experimental de los 13 tratamientos del grupo 2, el tratamiento número 3 se considera como el de mayor rendimiento (25.6 %).

Tabla 0.8

Resultados de los Tratamientos de Extracción del Grupo 2

Run	Aceite extraído (g)	Tiempo de extracción (horas)	Rendimiento g/g
1	6.0	1.336	0.240
2	6.1	1.499	0.244
3	6.4	1.471	0.256
4	5.7	1.309	0.228
5	6.2	1.471	0.248
6	5.9	1.200	0.236
7	6.2	1.643	0.248
8	4.7	0.858	0.188
9	5.5	1.195	0.220
10	6.6	1.676	0.264
11	5.4	0.807	0.216
12	6.0	1.122	0.240
13	5.0	1.151	0.200

Se añadieron los resultados al programa *Designer Expert*, basándose en el rendimiento se construyó el modelo ANOVA. El modelo demostró ser estadísticamente significativo, al tener un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 0.9
Modelo ANOVA para Modelo Cuadrático

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	p-Valor	
Modelo	0.0038	2	0.0019	9.57	0.0048	Significativo
Factor A	0.0008	1	0.0008	3.87	0.0776	
Factor B	0.0030	1	0.0030	15.27	0.0029	
Residual (Error)	0.0020	10	0.0002			
Falta de ajuste	0.0015	6	0.0003	2.16	0.2386	No significativo
Error puro	0.0005	4	0.0001			
Cor Total	0.0058	12				
R^2 0,6568	R^2 ajustado 0.5882	R^2 previsto 0.3283	Precisión adecuada 8.6473			

En la Tabla 4.3 se presenta el modelo ANOVA del rendimiento. El valor F del modelo indica que es estadísticamente significativo. El p-valor demuestra que el factor B es significativamente alto, solo un 0.29 % de posibilidades de que el valor F pueda causar interferencias en el modelo; por otra parte, el factor A no es significativo al 95 %.

El coeficiente de regresión (R^2) explica que el 65.68 % de los datos experimentales son compatibles con el modelo, con un R^2 ajustado de 58.82 %. Se indica una buena relación señal/ruido al tener una precisión adecuada de 8.6473. Esto demuestra que el modelo es capaz de describir de forma moderada el comportamiento general del sistema, pero posee una capacidad predictiva limitada al tener un R^2 previsto de 32.83 %.

La relación del rendimiento en la extracción del aceite esencial de la cáscara de mandarina con respecto a las variables independientes se muestra en las ecuaciones 4.1 y 4.2:

$$\text{Rendimiento}(F.C) = 0.2329 + 0.0098 * A + 0.0194 * B \quad (0.3)$$

$$\text{Rendimiento}(F.R) = 0.1141 + 0.003911 * RSM + 0.009718 * NC \quad (0.4)$$

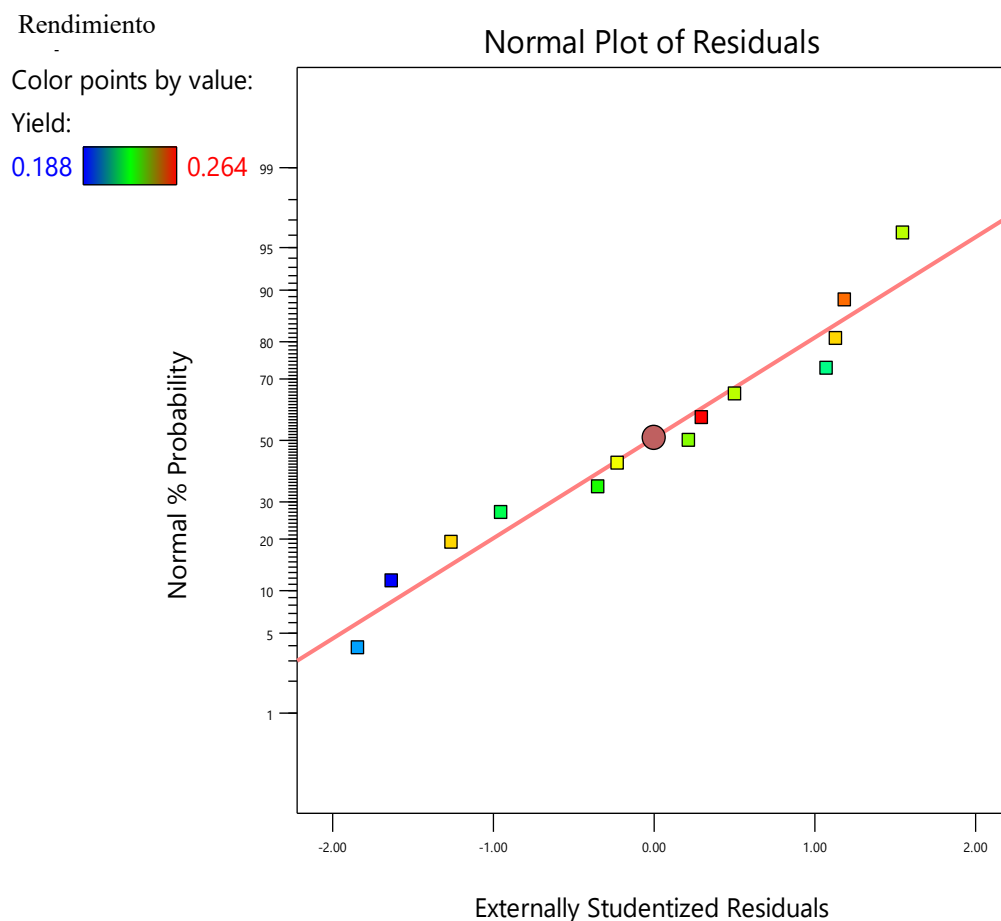
Donde:

- A: Relación solvente/muestra (codificado: -1 a 1)
- B: Número de ciclos (codificado: -1 a 1)
- RSM: Relación solvente/muestra (reales: 8:1 a 13:1)
- NC: Número de ciclos (reales: 6 a 10)

Las ecuaciones 4.1 y 4.2 de los modelos propuestos muestran que los factores A y B presentan una correlación positiva con el rendimiento. Al aumentar los valores de los factores, aumenta el rendimiento.

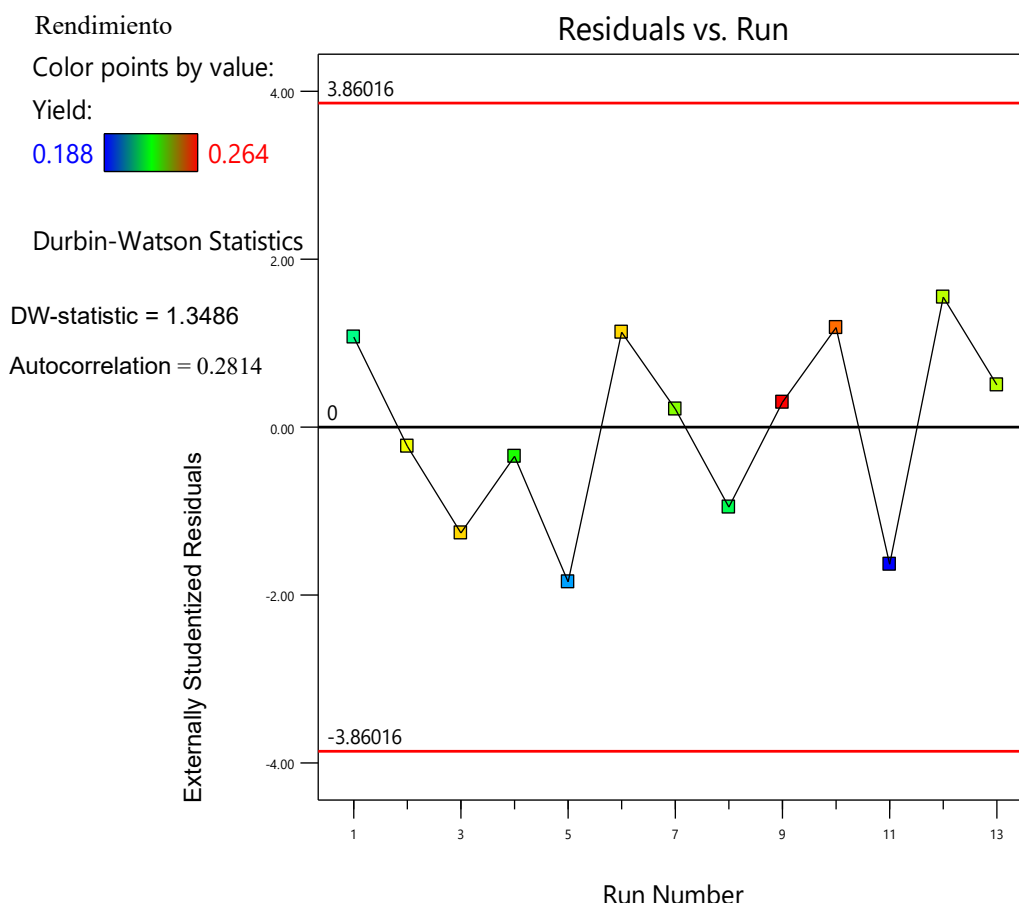
La Figura 4.3 muestra el diagrama de probabilidad normal de los residuos para los modelos de rendimiento. En el gráfico se observa una distribución normal, ya que los puntos se distribuyen aproximadamente de forma lineal a lo largo de la diagonal. Esto demuestra la capacidad del modelo para describir adecuadamente la variabilidad de los datos, especialmente en la región central del modelo.

Figura 0.5
Gráfico de Correlación



La Figura 4.4 muestra el gráfico de residuos frente al número de corridas experimentales del rendimiento. Los puntos se distribuyen aleatoriamente alrededor de la línea central (valor cero); no muestran una tendencia definida ni un patrón sistemático; los errores no se correlacionan con el orden de las corridas experimentales, indicando que el modelo presenta varianza constante e independiente.

Figura 0.6
Residuos Frente a los Ensayos Experimentales

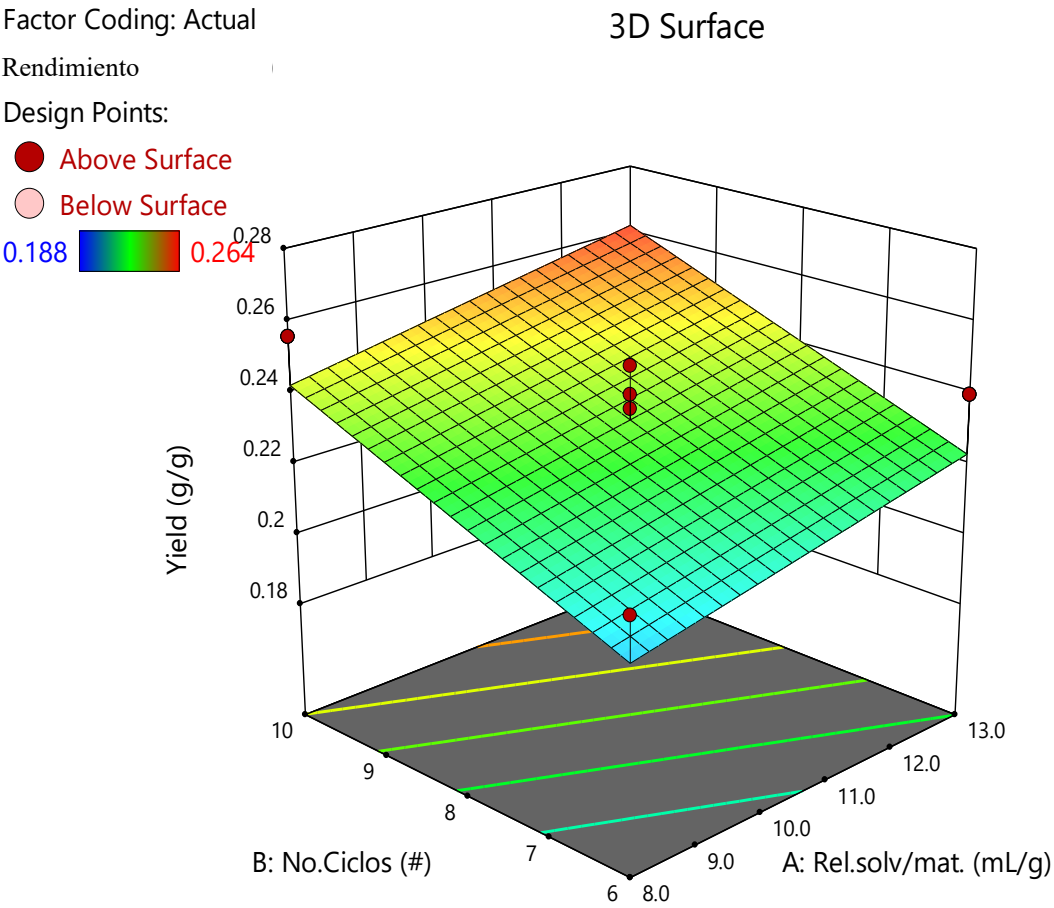


La Figura 4.5 indica la gráfica de superficie de respuesta tridimensional del modelo. Se puede visualizar el efecto combinado de los factores A y B sobre el rendimiento. Se aprecia una mayor influencia del factor B que el factor A en la extracción de aceite esencial. La zona de valores máximos se encuentra en la combinación de una relación solvente/muestra de 13:1 y un número de ciclos de 10.

En comparación, Perera *et al.* (2025) reportaron una relación solvente muestra/ óptima menor, usaron n-hexano como solvente para maximizar la optimización en la extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo. En su investigación, el óptimo se encuentra en una relación solvente/muestra de 2.5:1 y en un tiempo de extracción de 12 horas. Esta diferencia se debe a que el n-hexano es un mejor solvente que el etanol al 96 % para extraer compuestos no polares (aceites esenciales) y el tiempo de extracción fue

mucho mayor al no considerar la productividad, sin embargo, el uso de este solvente presenta la desventaja de dejar residuos en el producto final (Kumar *et al.*, 2017).

Figura 0.7
 Diagrama 3D Grupo de Tratamientos 2



4.2.1 Optimización y Validación de los Resultados

A partir de los datos obtenidos se construyó el modelo de optimización basado en el rendimiento. Los puntos de optimización del modelo se detallan en la Tabla 4.5.

Tabla 0.10
 Puntos de optimización de los modelos

Modelo	Factor A (Rel. solvente/ muestra)	Factor B (Nro. Ciclos)
Optimización por rendimiento	13:1	10

Se desarrollo la validación para el modelo de optimización, se realizó tres repeticiones, obteniéndose los resultados descritos en la Tabla 4.8.

Tabla 0.11*Resultados de los Tratamientos de la Optimización*

Tratamiento	Tiempo de extracción (horas)	Aceite extraído (g)	Rendimiento
1	1.972	6.600	0.264
2	2.446	6.500	0.260
3	2.451	6.800	0.272

Los datos obtenidos de los tratamientos se añadieron al programa *Design Expert* dando los resultados descritos en la Tabla 4.9. Los datos se encuentran dentro del intervalo de confianza del modelo, lo que indica una validación exitosa.

Tabla 0.12*Resultados de la Validación de Datos*

	Media predicha	Desviación estándar	Error estándar de la predicción	Límite inferior de intervalo de predicción al 95 %	Media de los datos	Límite superior de intervalo de predicción al 95 %
Rendimiento	0.262	0.014	0.011	0.236	0.265	0.287

El rendimiento experimental validado es de 26.5 %, un resultado menor comparado con la investigación de Karne *et al.* (2023), quienes obtuvieron rendimientos mayores de 72.54 % y 76 % en la extracción de aceites esenciales de limón y naranja. En cambio, las investigaciones de Vásquez *et al.* (2024) y Bhandari *et al.* (2021) muestran un rendimiento menor en la extracción de aceites esenciales de cáscara de mandarina, de 0.5 % en ambos estudios.

Por otra parte, en el punto óptimo de extracción se obtuvo un tiempo máximo de 2.451 horas, comparado con la investigación de Perera *et al.* (2025), que resulta en un tiempo menor, quienes realizaron sus extracciones en un tiempo de 10 a 12 horas. Sin embargo, Dao *et al.* (2021), indican que la eficiencia de extracción se logra tras alcanzar los primeros 100 minutos del proceso en la mayoría de los cítricos, reportando en su investigación un tiempo óptimo de 2 horas. Así mismo, Fakayode y Abobi (2018) determinaron un tiempo de extracción óptimo de 3.8 horas al obtener aceite esencial de cáscara de naranja dulce. Esto demuestra que un tiempo reducido de extracción favorece el proceso.

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO DE ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE MANDARINA PARA USO AGRÍCOLA.

4.3.1 Determinación de la Densidad

El resultado del cálculo de la densidad fue el siguiente:

$$\text{Densidad} = \frac{(\text{peso final} - \text{peso inicial}) (g)}{\text{volumen de la muestra (ml)}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{(1.589 - 0.881) (g)}{1 (ml)}$$

$$\text{Densidad} = \frac{0.938 g}{1 ml}$$

$$\text{Densidad} = 0.938 g/ml$$

La densidad de 0.938 g/ml es comparable con los resultados de otras investigaciones; Vásquez *et al.* (2024) reportaron una densidad de 0.993 g/ml, por su parte, Bhuyan *et al.* (2015) indican densidades de 0.837 g/ml, 0.840 g/ml y 0.844 g/ml; así mismo, Ikarini *et al.* (2024) obtuvieron una densidad de 0.840 g/ml. Las anteriores investigaciones mencionadas utilizaron como método de extracción a la hidrodestilación, Kim *et al.* (1999) explica que el método de extracción influye ligeramente en la densidad de los aceites esenciales.

4.3.2 Medición de la Rotación Óptica

Para medir la rotación óptica, se siguió el proceso establecido en la normativa ISO 592:1998, que determina el ángulo de rotación de la luz polarizada que atraviesa los aceites esenciales. Los resultados de los tratamientos expuestos en la Tabla 3.4 fueron los siguientes:

En el primer tratamiento, donde se utilizó solo aceite esencial, no se determinó la polaridad debido a que la sustancia presentaba un color ámbar intenso que no permitía al haz de luz atravesar el aceite esencial y medirlo.

El segundo tratamiento, una disolución de aceite esencial y agua destilada, se pudo observar el efecto Ouzo, Chiappisi (2019) explica que la combinación de una sustancia polar (agua) y otra no polar (aceite esencial) provoca que la disolución se emulsione, el aceite esencial pasa a ser microgotas dispersas en el agua; en el caso de la disolución realizada esta paso de una mezcla transparente a una blanca y lechosa, impidiendo que el haz de luz atraviese la sustancia para poder determinar la rotación de la luz polarizada.

Para los tratamientos del 3 al 7 donde se realizó la disolución con aceite esencial y alcohol etílico al 96 %, no existió actividad óptica observable en ninguno de estos tratamientos. Esto sugiere una rotación neta nula, debido a que la disolución posee un equivalente de enantiómeros que se cancelan entre sí.

Figura 0.8

Vista del Campo Óptico del Aceite Esencial



Ikarini *et al.* (2024), en su estudio mencionan que la rotación óptica del aceite esencial de la cáscara de mandarina es influenciada principalmente por la presencia de compuestos quirales específicos, particularmente el D-limoneno, por lo que un aceite de este cítrico es mayormente dextrógiro.

Sin embargo, Batista *et al.* (2018) mencionan que existen muchos productos naturales en los que no se detecta actividad óptica, debido a que poseen racematos o mezclas de enantiómeros en proporciones equivalentes, lo que da lugar a que sus rotaciones se anulen.

Así mismo, Bitchagno *et al.* (2022) señalan en su investigación que mezclas naturales complejas, como aceites esenciales, pueden presentar la coexistencia de compuestos quirales de rotaciones opuestas, en donde ninguno se encuentra en exceso enantiomérico significativo, sino en proporciones enantioméricamente iguales, dando a lugar una rotación óptica neta cercana a cero. Este resultado no indica la ausencia de limoneno en el aceite esencial, sino que indica la ausencia de predominio óptico global en él.

4.3.3 Caracterización por FTIR

La Figura 4.6 muestra los espectros de cuatro muestras del aceite esencial extraído por el método Soxhlet, siendo estadísticamente comparables. En todos los casos se aprecia un patrón espectral similar, característico de los aceites esenciales de cítricos, que destaca las bandas asociadas a estructuras terpénicas.

Tabla 0.13

Principales Bandas Identificadas en el Análisis FTIR

Número de Onda (cm^{-1})	Intensidad	Asignación Funcional
~3348-3350	Media (m1,m2) a Baja (m3,m4)	$\nu(\text{O-H})$ estiramiento de agua residual o grupos hidroxilo fenólicos.
~2925	Muy Alta	$\nu_{\text{a}}(\text{C-H})$ asimétrico de CH_2 en cadenas alifáticas.
~2854	Alta	$\nu_{\text{s}}(\text{C-H})$ simétrico de CH_2 .
~1740	Alta	$\nu(\text{C=O})$ estiramiento de ésteres (triglicéridos).
~1650	Media a Baja	$\delta(\text{O-H})$ deformación de agua o contaminación etanol.
~1460	Media	$\delta(\text{C-H})$ deformación de CH_2 .
~1380	Media	$\delta(\text{C-H})$ simétrico de grupos metilo ($-\text{CH}_3$).
~1150 – 1200	Ensanchada	$\nu(\text{C-O})$ estiramiento de ésteres.
~720	Baja	$\delta(\text{C-H})$ fuera del plano de cadenas largas.

La Tabla 4.10 muestra las bandas del espectro. La presencia dominante de bandas en 2925 y 2854 cm^{-1} . Es de estiramiento C-H alifático, propio de cadenas hidrocarbonadas largas. Por otro lado, el estiramiento C=O a 1740 cm^{-1} confirman que el extracto es rico en triglicéridos y ácidos grasos libres, rasgo común en aceites vegetales extraídos de semillas y cáscaras. Estas señales dominantes indican que el aceite presenta una matriz lipídica mayoritaria, ya que el alcohol etílico es capaz de solubilizar compuestos tanto polares como no polares durante la extracción.

La banda ancha ubicada alrededor de 3348 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de estiramiento O-H, indica la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides característicos de la cáscara de mandarina.

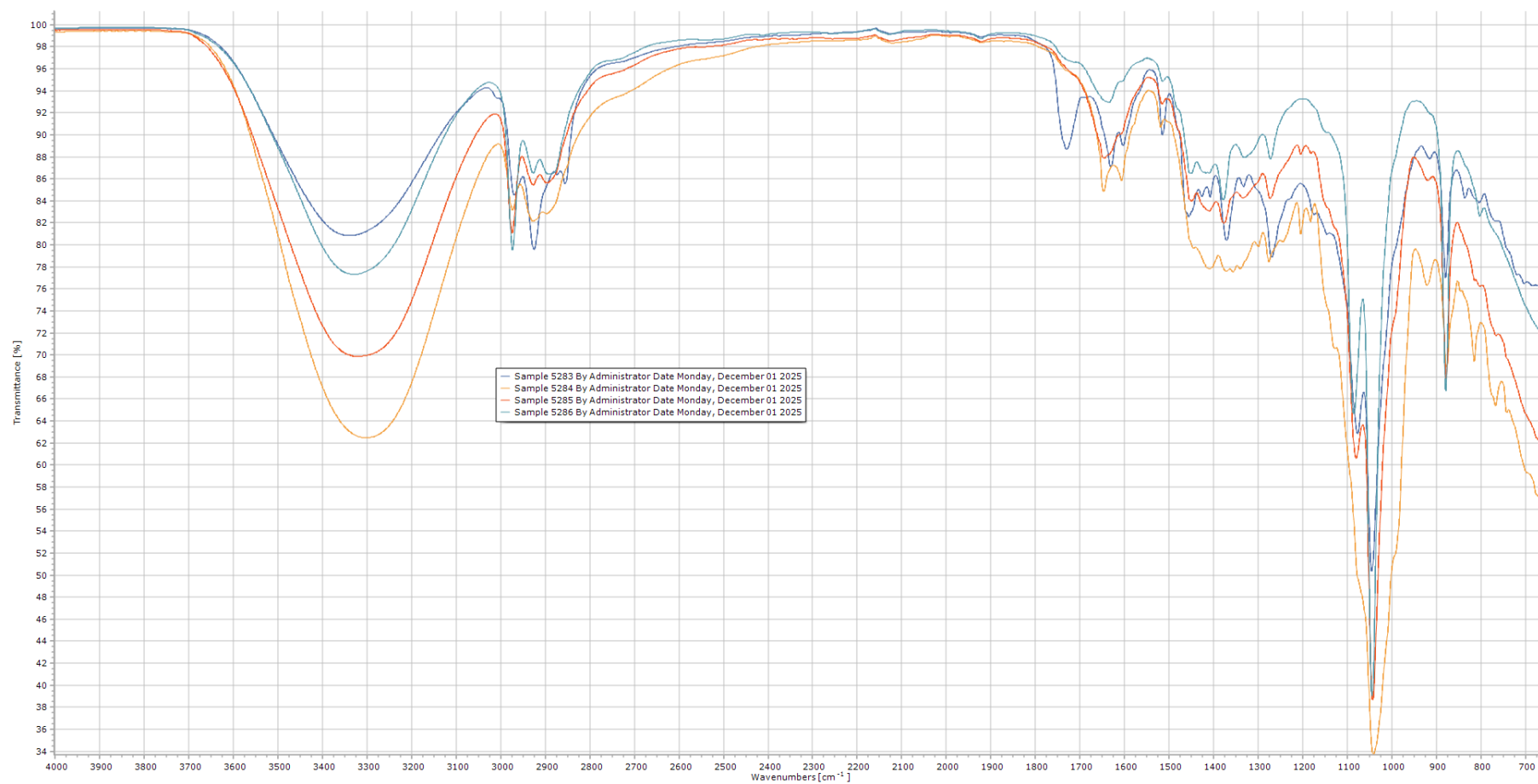
En la zona entre 1260 y 1000 cm^{-1} se determinó bandas asociadas a vibraciones C-O y C-O-C, son compatibles con enlaces éster de lípidos como de estructuras glicosídicas de flavonoides. En la región de 1640 cm^{-1} y 1620 cm^{-1} no se observa una banda definida, esto sugiere que los flavonoides presentes se encuentran mayoritariamente en su forma glicosilada.

Las regiones de 3100 a 3000 cm^{-1} de estiramiento C-H olefínico y 1680 cm^{-1} a 1640 cm^{-1} de estiramiento C=C, son característicos de compuestos terpénicos presentes en aceites esenciales de cítricos. Sin embargo, en las señales de los espectros obtenidos no se distinguen de forma clara, debido al solapamiento con las bandas intensas de los triglicéridos extraídos y por la menor concentración relativa de compuestos terpénicos en el aceite. Esto quiere decir, que la presencia del limoneno se puede inferir de manera indirecta, pero no es posible su identificación y cuantificación mediante FTIR.

Kaur *et al.* (2024), en su investigación de caracterización de aceites esenciales de cáscara de cítricos reportan patrones espectrales similares, identificaron bandas intensas asociadas a estiramientos C-H alifáticos, C=O y una banda ancha O-H alrededor de 3400 cm^{-1} , las cuales son representativas de hidrocarburos terpénicos y compuestos oxigenados. Así mismo, estos autores confirman la presencia general de estos compuestos, pero por la naturaleza del análisis FTIR no es posible identificar ni cuantificar específicamente los compuestos individuales.

Figura 0.9

Ondas de Espectro de Cuatro Muestras del Aceite Esencial de Cáscara de Mandarina.



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La elaboración de harina a partir de la cáscara de mandarina permitió homogeneizar la materia prima, alargar su tiempo de vida más de 6 meses gracias a su bajo contenido de humedad, facilitando su almacenamiento y su uso continuo en la extracción de aceite esencial, logrando aprovechar residuos agroindustriales.
- La metodología de superficie de respuesta permitió optimizar el proceso de extracción de aceite esencial de la cáscara de mandarina de acuerdo con los parámetros establecidos; el modelo que se desarrolló demostró significancia estadística global ($F = 9.57$; $p = 0.0048$). Además, las condiciones óptimas dadas por el modelo, relación solvente/muestra de 13:1 (mL/g) y 10 ciclos de extracción, obtuvieron rendimientos de 0.264, 0.260, 0.262; estos resultados son mayores a los tratamientos previos realizados durante la experimentación.
- El análisis estadístico reveló que durante la extracción el factor B (número de ciclos) influye significativamente en el rendimiento ($F = 15.27$; $p = 0.0029$), mientras que el factor A (relación solvente/muestra) no presentó un efecto significativo al 95 % de confianza ($p = 0.0776$); lo que indica que este factor no genera cambios estadísticamente relevantes en el rango evaluado durante esta investigación.
- La caracterización fisicoquímica del aceite esencial obtenido confirmó la presencia de compuestos característicos de aceites esenciales de cítricos, se visualiza bandas asociadas a monoterpenos hidrocarbonados como el limoneno, γ -terpineno y β -mirceno, también compuestos oxigenados como linalool y posibles ésteres terpénicos. También destaca la presencia de grupos funcionales C-H, C=O y C-O.

5.2 RECOMENDACIONES

- Profundizar en el estudio químico del aceite esencial, un análisis de cromatografía de gases permitiría identificar y cuantificar de forma precisa la presencia de los compuestos mayoritarios del aceite esencial.
- Ampliar el rango de los factores de estudio, con la finalidad de explorar una región experimental más amplia, de esta forma se mejora la precisión del modelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Meza, Z. L., & Celis Barahona, N. M. (2021). *Evaluación de dos disolventes en la extracción de aceite a partir de borra de café*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos.Evaluacióndedosdisolventesenlaextraccióndeaceiteapartirdeborradecafé.Retrievedfromhttps://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/726
- Alarcón Rojas, C. (06 de 12 de 2019). *Manejo bio-químico de ácaros (Tetranychus urticae) en rosas*. Obtenido de Metroflor-agro:
<https://www.metroflorcolombia.com/manejo-bio-quimico-de-acaros-tetranychus-urticae-en-rosas/>
- Amanullah, M. F., Rasamani, P., & Sukumar, M. (2024). Process kinetics optimization for extraction of essential oil from the peel of Citrus sinensis for the development of food packaging film. *Food Process Engineering* .
- Ancillo, G., & Medina, A. (2015). *Monografías botánicas Los Cítricos Jardín Botánico de la Unicersitat de València*.
- Andrade Ochoa , S., Sánchez Torres, L., Nevárez Moorillón, G., Camacho, A., & Nogueda Torres, B. (2017). Aceites esenciales y sus componentes como una alternativa en el control de mosquitos vectores de enfermedades. *Biomédica*, 224 243.
- Animashaun, O. H., Ewuoso, L. M., & Sobowale, S. S. (2024). Modeling and process optimization of extraction conditions on the quality characteristics of oil from cashew kernel using Response Surface Methodology. *Food and Humanity*, 3, 100323. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100323>
- Batista, A. N. L., dos Santos, F. M., Batista, J. M., & Cass, Q. B. (2018). Enantiomeric mixtures in natural product chemistry: Separation and absolute configuration assignment. In *Molecules* (Vol. 23, Issue 2). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/molecules23020492>
- Bautista, E., Mesa, L., & Gómez Alvarez, M. I. (2018). Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. *Scientia Agropecuaria*, 585 - 604.
- Benitez, J. A., Aryal, J., Lituma, I., Moreira, J., & Adhikari, A. (2024). Evaluation of the Effectiveness of Aeration and Chlorination during Washing to Reduce E. coli O157:H7, Salmonella enterica, and L. innocua on Cucumbers and Bell Peppers. *Foods*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/foods13010146>
- Bhandari, D. P., Poudel, D. K., Satyal, P., Khadayat, K., Dhami, S., Aryal, D., Chaudhary, P., Ghimire, A., & Parajuli, N. (2021). Volatile compounds and

- antioxidant and antimicrobial activities of selected citrus essential oils originated from nepal. *Molecules*, 26(21). <https://doi.org/10.3390/molecules26216683>
- Bhuyan, N., Barua, P. C., Kalita, P., & Saikia, A. (2015). Physico-chemical variation in peel oils of Khasi mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) during ripening. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(3), 227–231. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0164-5>
- Bitchagno, G. T. M., Nchiozem-Ngnitedem, V. A., Melchert, D., & Fobofou, S. A. (2022). Demystifying racemic natural products in the homochiral world. In *Nature Reviews Chemistry* (Vol. 6, Issue 11, pp. 806–822). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41570-022-00431-4>
- Briones Sornoza, H. R., & Guerrero Intriago, D. A. (2019). Extracción de aceites esenciales de mandarina (*Citrus reticulata*) y palo santo (*Bursera Graveolens*) por el método de arrastre de vapor. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 2(3), 14–23. <https://doi.org/10.46296/ig.v2i3.0007>
- BUCHI. (2022). *Rotavapor® R-100 Manual de instrucciones*.
- Casado Villaverde, I. (2018). *Optimización de la Extracción de Aceites Esenciales por Destilación en Corriente de Vapor*.
- Castorena-García, J. H., Rojas-López, M., Delgado-Macuil, R., & Robles de la Torre, R. (2011). Análisis de Pulpa y Aceite de Aguacate con Espectroscopia Infrarroja. In *Conciencia Tecnológica No* (Vol. 42).
- Cedeño, A., Moreira, C., Muñoz, J., Muñoz, A., Pillasaguay, S., & Riera, M. A. (2019). Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios (Comparison of distillation methods for obtaining eucalyptus essential oil). *Tecnología y Negocios*, 6(1), 1–13.
- Cedillo Villavicencio, C. J., González Carrión, C. M., Salcedo-Muñoz, V. E., & Sotomayor-Pereira, J. G. (2021). El sector florícola del Ecuador y su aporte a la balanza comercial agropecuaria: periodo 2009 – 2020. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(1), 74–82. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.549>
- Chiappisi, L. (2018). Looking into Limoncello: The Structure of the Italian Liquor Revealed by Small-Angle Neutron Scattering. *ACS Omega*, 3(11), 15407–15415. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01858>
- Contreras, M. J., Baesler, F., & Maldonado, L. (2010). Optimización de las operaciones portuarias mediante simulación y metodología de superficie de respuesta. *Revista Ingeniería Industrial*, 73-92.
- Cordova, C., Guillén, J., & Tuesta, T. (2020). Solvent free microwave extraction of orange essential oil (*Citrus sinensis*), and the effect of the process conditions in its yield, composition and antimicrobial activity. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(6), 965–974. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000600965>

- Dao, T. P., Nguyen, T. V., Nhi Tran, T. Y., Le, X. T., Thuy An, T. N., Thuan Anh, N. H., & Bach, L. G. (2021). Central Composite Design, Kinetic Model, Thermodynamics, and Chemical Composition of Pomelo (*Citrus Maxima* (Burm.) Merr.) Essential Oil Extraction by Steam Distillation. *Processes*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/pr9112075>
- Dellacassa Bachs, E., Lorenzo, D., & Paz, D. (2016). *Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales*.
- Durán-Mendoza, A., Balderas-Ponce, A. L., Ángel Granados-Arvizu, J., Regalado-González, C., & Escamilla-García, M. (2023). *Herramientas biotecnológicas en la producción de limoneno*. <http://remcid.utgz.edu.mx>
- Eliseo, C., Aguirre, D., Pratissoli, D., Romário De Carvalho, J., Pacheco Damascena, A., Moreira De Araujo Junior, L., & Zago, H. B. (2020). *Actividad insecticida de aceites esenciales sobre Helicoverpa armígera (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)* *Essential oils insecticide activity on Helicoverpa armigera (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)* (Vol. 38).
- Fajardo Contreras, J. D., Sánchez Plaza, F. A., Dueñas Rivadeneira, J. P., & Dueñas Rivadeneira, A. A. (2022). *Extracción Asistida por Ultrasonido y su Aplicación en la Obtención de Aceites Vegetales*.
- Fakayode, O. A., & Abobi, K. E. (2018). Optimization of oil and pectin extraction from orange (*Citrus sinensis*) peels: a response surface approach. *Journal of Analytical Science and Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40543-018-0151-3>
- Feng, J., Wang, R., Chen, Z., Zhang, S., Yuan, S., Cao, H., Jafari, S. M., & Yang, W. (2020). Formulation optimization of D-limonene-loaded nanoemulsions as a natural and efficient biopesticide. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 596. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124746>
- Gallego, M. A., & Ríos Zambrano, J. S. (2020). *Extracción de Limoneno de Citrus x sinensis por método Soxhlet y arrastre de vapor*.
- Gil Martínez, C. (2019). *METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (RSM)*. <https://github.com/CristinaGil/Ciencia-de-Datos-R>
- Gobierno Provincial de Imbabura. (2020). *AGENDA PRODUCTIVA DE IMBABURA*.
- Gómez, A. (2018). *Visión general del aprovechamiento de residuos cítricos como materia prima de biorrefinerías*. <https://www.feique.org/el-futuro-de-la-quimica-sostenible/>
- González-Moreno, B. J., Piña-Barrera, A. M., Pérez-López, L. A., Galindo-Rodríguez, S. A., & Alvarez-Román, R. (2022). Aceites esenciales de origen natural: características químicas, técnicas de extracción y potencial aplicación biológica. *Biología y Sociedad*, 5(10), 20–30. <https://doi.org/10.29105/bys5.10-71>

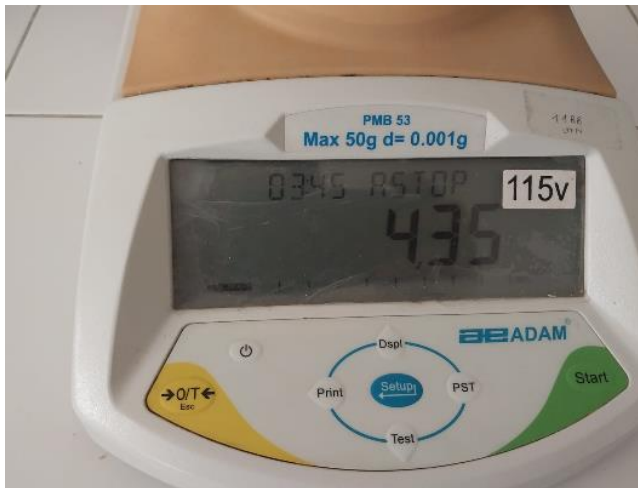
- Guerra Baños, E. C., Baños Dorantes, M. I., Luna-Jiménez, A. L., González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2020). Caracterización de Harina de Naranja (*Citrus x sinensis*) para Uso Alimentario. *European Scientific Journal ESJ*, 16(6).
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n6p12>
- Gutiérrez la T., E., & Pascual C., G. (2016). *Caracterización de cáscara de mandarina (Citrus reticulata) en polvo e inclusión en una formulación panaria*.
- Hussain, G. (2023). *Principio de extracción, funcionamiento y uso de Soxhlet*.
<https://www.researchgate.net/publication/372658021>
- Ikarini, I., Yuwono, S. S., Putri, W. D. R., & Winarti, C. (2024). Mandarin citrus (*Citrus reticulata* Blanco cv. Terigas) peel essential oil as a potential nanoemulsion ingredient: Formulation, physicochemical characterization, and antibacterial activity. *BIO Web of Conferences*, 123.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202412302004>
- Jiménez Careaga, M. G. (2015). *Superficies de Respuesta mediante un Diseño Central Compuesto*.
- Karne, H., Kelkar, V., Mundhe, A., Ikar, M., Betawar, S., & Chaudhari, N. (2023). Essential Oil Extraction from Orange and Lemon Peel. *EDP Sciences*.
- Kaur, S., Singh, V., Chopra, H. K., & Panesar, P. S. (2024). Extraction and characterization of phenolic compounds from mandarin peels using conventional and green techniques: a comparative study. *Discover Food*, 4(1).
<https://doi.org/10.1007/s44187-024-00139-y>
- Kim, Y.-K., Hyun, S.-W., & Ko, Y.-H. (1999). Analysis of Essential Oils from the Peel of Mandarine. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 31(5), 1178–1183.
- Kumar, S. P. J., Prasad, S. R., Banerjee, R., Agarwal, D. K., Kulkarni, K. S., & Ramesh, K. V. (2017). Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds. In *Chemistry Central Journal* (Vol. 11, Issue 1). BioMed Central Ltd.
<https://doi.org/10.1186/s13065-017-0238-8>
- Lasprilla, D. M., Figueroa Ramírez, J., Orlando, J., Rodríguez, O., Caicedo, Á., Claudia, A., Pérez, P., Fabián, R., Alfonso, P., Rodríguez, R., & Arias Barrera, T. E. (2024). *Mandarina (Citrus reticulata Blanco) Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*.
- Llorens-Molina, J. A. (2021). *Los aceites esenciales y su actividad biológica*.
- Méndez Silva, P. (2022). *APLICACIÓN DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDOS Y MICROONDAS A LA RECUPERACIÓN DE BIOMOLÉCULAS*.
- Mondragón Cortez, P. (2020). *Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas*.

- Organización Mundial de la Salud. (15 de septiembre de 2022). *Residuos de plaguicidas en los alimentos*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
- Ortiz Andrade, R., Araujo León, J. A., Centeno Hoil, G., & Sansores Chuc, M. (2023). *Las cáscaras de naranja: ¿Desechos de la agricultura o riqueza farmacéutica?* http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
- Padrón Chávez, J. E., & Rocha Peña, M. A. (2007). *variedades comerciales-citricos-nltams*.
- Park, S. M., Ko, K. Y., & Kim, I. H. (2015). Optimization of d-limonene Extraction from Tangerine Peel in Various Solvents by Using Soxhlet Extractor. *Korean Chem. Eng. Res.*, 53 - 59.
- Paucarchuco Soto, J., Torres Gutiérrez, E. R., Javier Ninahuaman, H. J., & Flores Poma, I. G. (2023). Optimización de ultrasonido para extracción de aceites esenciales de manzanilla “*Chamaemelum nobile*” utilizando metodología superficie respuesta. *KANYÚ*, 1(1), 45–55. <https://doi.org/10.61210/rck.v1i1.28>
- Paz Díaz, H. J., Ramírez Gómez, L. E., Pacheco Valderrama, M. M., Carreño Castaño, L. A., Montesino, S., Palencia Blanco, C. G., Bedoya Chavarro, K. L., & Mantilla Mancipe, D. F. (2021). OBTENCIÓN DE HARINA NO CONVENCIONAL A PARTIR DEL EXOCARPO DE LA NARANJA VALENCIA (*Citrus x sinensis*) Y BAGAZO DE PIÑA CRIOLLA (*Ananas comosus*) PARA APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA PASTELERA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER. *EDITORIA ARTEMIS*.
- Perera, W. P. S. N., Arachchige, U. S. P. R., & Koliyabandara, P. A. (2025). Optimization of Essential Oil Extraction Using Pomelo Peels as the Raw Material: A Process Study. *Journal of Advances in Engineering and Technology*, 3(1), 38–48. <https://doi.org/10.54389/SMXA3915>
- Pino Peralta, L. S., Aguilar, H. R., Apolo Loayza, A. G. E., & Sisalema Morejón, L. A. (2018). *Contribution of the agricultural sector to the economy of Ecuador. Critical analysis of its evolution in the period of dollarization. Years 2000-2016* (Vol. 39).
- POBEL. (2025). *Extracción Soxhlet: el método, el equipo y sus aplicaciones esenciales en laboratorio*. <https://pobel.com/es/blog/guias/extraccion-soxhlet#:~:text=Componentes>
- Rueda, Y. X., Mancilla L, L. L., & Parada Y, P. D. (2007). Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia). *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 5, 3–8. www.infoagro.com

- Sánchez Barquero, D., Hortigón-Vinagre, M. P., Blanco Salas, J., & Ruiz Téllez, T. (2021). *Limoneno, un componente de los aceites esenciales con interesantes aplicaciones*.
- Servicio de Información Agroalimentaria y pequeña (SIAP). (2023). *Mandarina_monografi_a_2023*.
- Shaw, D., Tripathi, A. D., Paul, V., Agarwal, A., Mishra, P. K., & Kumar, M. (2023). Valorization of essential oils from citrus peel powder using hydro-distillation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101036>
- Suministro de especialidades s.a. de c.v. (2020). *Hoja Técnica Alcohol etílico*.
- Suri, S., Singh, A., Nema, P. K., Malakar, S., & Arora, V. K. (2022). Sweet lime (Citrus limetta) peel waste drying approaches and effect on quality attributes, phytochemical and functional properties. *Food Bioscience*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101789>
- Taípe Pardo, F., Barrial Lujan, A. I., Nauto, N. G., Laqui-Estaña, J., & Choque Quispe, D. (2021). *LA PRESIÓN DE EXTRACCIÓN AFECTA EL RENDIMIENTO, LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y LOS COMPUESTOS QUÍMICOS*. <https://doi.org/10.24941/ijcr.40984.03.2021>
- Ulibarry, P. G. (2019). *Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana Exposición e impactos Autor*.
- Universidad Zaragoza. (2018). *FICHAS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS EQUIPOS DE TRABAJO EN LABORATORIOS Y TALLERES MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O PRECAUCIÓN RIESGOS MEDIDAS PREVENTIVAS PROTECCIÓN INDIVIDUAL O COLECTIVA OBLIGATORIA*.
- Vasquez-Gomez, K. L., Mori-Mestanza, D., Caetano, A. C., Idrogo-Vasquez, G., Culqui-Arce, C., Auquiñivin-Silva, E. A., Castro-Alayo, E. M., Cruz-Lacerna, R., Perez-Ramos, H. A., Balcázar-Zumaeta, C. R., Torrejón-Valqui, L., Yoplac-Collantes, C., Yoplac, I., & Chavez, S. G. (2024). Exploring chemical properties of essential oils from citrus peels using green solvent. *Heliyon*, 10(21). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40088>
- Zambrano-Salazar, P. G., & Quinde-Alvear, A. G. (2023). Enfermedades por exposición a plaguicidas agrícolas en la empresa florícola “Fresh Market of Ecuador.” *MQRInvestigar*, 7(3), 2229–2258. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.3.2023.2229-2258>

ANEXOS

Anexo 1 Análisis de Humedad de la cáscara de mandarina deshidratada



Anexo 2 Molienda de la cáscara



Anexo 3 Almacenamiento de la harina de cáscara de mandarina



Anexo 4 *Extracción del aceite esencial*



Anexo 5 *Separación del aceite esencial del disolvente*



Anexo 6 *Aceite esencial*



Anexo 7 *Análisis de Densidad*



Anexo 8 *Polarímetro Manual WXG-4*



Anexo 9 *Preparación de la Muestra para el Análisis de Rotación Óptica*



TRABAJO DE TITULACIÓN 2026

7%
Textos
sospechosos



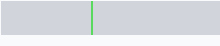
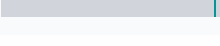
- 2% Similitudes
- 0 % similitudes entre comillas
- 0 % entre las fuentes mencionadas
- 2% Idiomas no reconocidos
- 4% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TRABAJO DE TITULACIÓN 2026.docx	Depositante: Adela Janet Vaca Auz	Número de palabras: 10,145
ID del documento: 93e662aad60c564278d3f0d74344e06c5636e934	Fecha de depósito: 23/2/2026	Número de caracteres: 64,503
Tamaño del documento original: 2,01 MB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 23/2/2026	

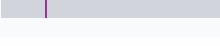
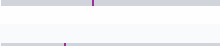


Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 oa.upm.es https://oa.upm.es/id/eprint/71650/contents 1 fuente similar	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (42 palabras)
2	 core.ac.uk https://core.ac.uk/download/491214031.pdf 7 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
3	 www.infoagro.com Agroalimentación - La Mandarina: Cultivo y Manejo de la M... https://www.infoagro.com/citricos/mandarina.htm	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
4	 journalingeniar.org https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/download/12/26?inline=1	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 rinacional.tecnm.mx https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/7217	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
2	 localhost Efecto in vitro del aceite esencial y extracto etanólico de mandarina cit... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/123456789/8800/1/PIUAMFCH032-2018.pdf	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
3	 view.genially.com reflujo soxhlet presentación Genially https://view.genially.com/6289bfda92fbc40012be0ebe/presentation-reflujo-soxhlet-presenta...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
4	 1library.co Extracción y caracterización físicas y química del aceite esencial de hi... https://1library.co/document/zln3prgq-extraccion-caracterizacion-fisicas-quimica-esencial-foe...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
5	 dgsa.uaeh.edu.mx http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/6014/ATD634.pdf?s...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)