



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agroindustria

TEMA:

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DEL LIMÓN (*Citrus limon*), EN LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES, PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN LA PROVINCIA BOLÍVAR.

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustria.

AUTORES:

Daniel Isaías Aucatoma Tandapilco

Nancy Janeth Santillan Santillan

TUTOR:

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD

Guaranda – Ecuador

2023

Certificado de aprobación del Tutor

“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DEL LIMÓN (*Citrus limon*), EN LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES, PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN LA PROVINCIA BOLÍVAR”

REVISADO Y APROVADO POR:



Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

Hoja de declaración de Autoría

CERTIFICACIÓN DE AUDITORÍA

Yo, Aucatoma Tandapilco Daniel Isaías con CI:0250208360 y Santillan Santillan Nancy Janeth con CI: 0202518700, declaramos que el trabajo y los resultados presentados en esta investigación, no han sido previamente presentados para ningún grado; y las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.



Daniel Isaías Aucatoma Tandapilco

CI:0250208360



Nancy Janeth Santillan Santillan

CI: 0202518700



Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

CI: 0201051687



DRA. MSc. GINA CLAVIJO CARRION
Notaria Cuarta del Cantón Guaranda.

ESCRITURA N° 20230201004P00006

DECLARACIÓN JURAMENTADA

OTORGAN:

DANIEL ISAIAS AUCATOMA TANDAPILCO Y
NANCY JANETH SANTILLAN SANTILLAN

CUANTÍA: INDETERMINADA

Di 1 COPIA

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy miércoles a los cuatro días del mes de enero del año dos mil veintitrés, ante mi DOCTORA MS. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA, comparecen con plena capacidad, libertad y conocimiento, a la celebración de la presente escritura, el señor DANIEL ISAIAS AUCATOMA TANDAPILCO, de estado civil soltero y la señorita NANCY JANETH SANTILLAN SANTILLAN, de estado civil soltera, ambas por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTES. Los comparecientes declaran ser de nacionalidad ecuatorianos, mayores de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación estudiantes ambas partes, domiciliado el primero en la parroquia Guanujo, cantón Guaranda, Provincia Bolívar, con número celular cero nueve nueve dos siete nueve dos cero seis cero y con correo electrónico daniel1998aucatoma@gmail.com y la segunda en la parroquia Echeandía, Cantón Echeandía, Provincia Bolívar y de paso por este cantón de Guaranda, con número celular cero nueve seis siete uno nueve siete dos cuatro nueve y con correo electrónico janethsantillan2018@gmail.com, hábiles en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quienes de conocerles doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación cuyas copias fotostáticas debidamente certificadas por mí, agrego a esta escritura como documentos habilitantes. Advertidos los comparecientes por mí la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinados que fueron en forma aislada y separada de que comparecen al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruidos por mí de la obligación que tienen de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertidos sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicitan que recepte su declaración juramentada: Nosotros el señor DANIEL ISAIAS AUCATOMA TANDAPILCO, de estado civil soltero y la señorita NANCY JANETH SANTILLAN SANTILLAN, de estado civil soltera, declaramos bajo juramento que los criterios e ideas emitidos en el presente proyecto de investigación, es de nuestra absoluta autoría, titulado "APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DEL LIMÓN (*Citrus limon*), EN LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESCENCIALES, PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN LA PROVINCIA BOLÍVAR". previo a la obtención del título de Ingenieros Agroindustriales, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, carrera de Agroindustria.- Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad.- Para su otorgamiento se observaron los preceptos de ley y leída que les fue a los comparecientes íntegramente por mí el Notaria, aquellos se ratifican en la aceptación de todas sus partes y firman junto conmigo en unidad de acto, incorporando al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo lo cual doy Fe.-----

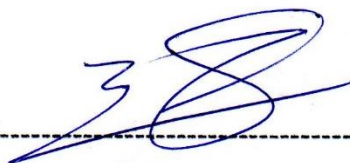
SR. DANIEL ISAIAS AUCATOMA TANDAPILCO.
C.C. 0250208360

SRTA. NANCY JANETH SANTILLAN SANTILLAN.
C.C. 0202518700

DRA. MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA



Documento [TESIS LIMON AUCATOMA SANTILLAN FINAL 2022.pdf](#) (D154893003)
Presentado 2023-01-04 09:26 (-05:00)
Presentado por daucatoma@mailes.ueb.edu.ec
Recibido fbayas.ueb@analysis.orkund.com
Mensaje [Mostrar el mensaje completo](#)
2% de estas 51 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.



Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

CI: 02001051687

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios, por darme la inteligencia, sabiduría y el conocimiento para poder llegar a este paso importante de mi formación profesional; y a las personas a quien más amo en este mundo como son mis padres, María Santillan y Víctor Rumiguano, quienes han sido mi pilar fundamental de cada día y por creer en mi capacidad para hacer realidad este sueño tan anhelado.

A mis hermosas hermanas Jessica y María, quienes siempre estuvieron dándome ánimos en los buenos y malos momentos. A mi hijo que llegó en el momento preciso para ser mi inspiración, mi alegría y a mi esposo que estuvo dispuesto ayudarme, quien con su amor y esfuerzo me apoyado incondicionalmente.

Nancy Santillan

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con mucho amor y cariño a mi padre, mi compañero, mi eterno amigo: Ángel Aucatoma Tualombo, por tu cariño, tu amor y sobre todo tus buenos consejos, que aun en tu ausencia has sido y seguirá siendo mi sustento fundamental de cada día, Aunque no te tengo conmigo físicamente, seguro estoy que desde el cielo estarás muy feliz de verme cumpliendo este gran sueño. También a mi querida y adorada madre: María Tandapilco, por ser un padre y una madre en los momentos más difíciles de mi vida, por ser esa guerrera que luchó todos los días con tal de ver a su hijo convertirse en profesional, por los principios y valores que me inculcaste. Muchas gracias madre.

También esta tesis va dedicado al amor de mi vida Lisbeth Rumiguano y mi hija Keyla Aucatoma, por el apoyo, la confianza, el amor y la motivación brindada todos estos años. Muy agradecido con ustedes por formar parte de mi vida por enseñarme que todo es posible. Muchas gracias, sin sus apoyos nada de esto sería posible.

Daniel Aucatoma

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, salud por sus bendiciones, protección brindada y por haberme permitido llegar hasta este momento importante de mi formación profesional. Mi mayor gratitud y agradecimientos a mis queridos padres por todo su apoyo incondicional, amor, cariño y paciencia, a mis queridas hermanas por su cariño y comprensión, a mi esposo por su inmenso cariño y paciencia, a mi hijo por llegar en el momento preciso para ser inspiración los cuales fueron fundamentales a la hora de culminar mi carrera profesional y en mi vida personal.

Al tribunal de titulación, Ing. Favian Bayas PhD, Ing. Hugo Vásquez PhD; en especial al tutor Dr. Juan Gaibor PhD por su apoyo, paciencia y dedicación, ya que, con su sabiduría pudo guiarnos durante todo este tiempo, siendo de gran ayuda para la culminación de nuestro proyecto de investigación

De igual manera agradezco a mi compañero de tesis Daniel Aucatoma por su ayuda, paciencia en el trascurso de todo el proceso y a mis amigos por cada uno de sus buenos anhelos.

Nancy Santillan

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, mi agradecimiento es a Dios por la salud y vida sobre todo por la bendición, sabiduría e inteligencia que ha derramado todos los días de mi vida.

Mi profundo agradecimiento a mi madre: María Tandapilco y mi querida esposa: Lisbeth Rumiguano, por sus esfuerzos, sacrificios y apoyos incondicionales durante estos años de vida estudiantil, gracias al apoyo y motivación que me brindaron pude concluir con éxito esta experiencia estudiantil. A mi hija: Keyla Aucatoma, por ser mi motor y mi inspiración de seguir adelante.

A mis hermanos: Ángel, Alberto, Pedro, Julio, José y sobrinos por las palabras de apoyo y motivación que me dieron en los momentos más difíciles, que a pesar de los problemas siempre permanecieron y me apoyaron para que pueda cumplir este sueño de ser profesional. También a mis amigos: Cristhian, Byron, Jimmy, Elvia y Esmeralda por brindarme su amistad, apoyo, motivación en los buenos y malos momentos.

Mi agradecimiento especial a mi compañera de Tesis Nancy Santillán por la comprensión, paciencia y sobre todo por la amistad brindada en el transcurso del estudio académico.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, por la oportunidad de acogerme y a la vez por permitir formar parte de esta prestigiosa institución. De igual manera agradezco a nuestro Director de Tesis; Ing. Juan Gaibor PhD, miembros del tribunal; Ing. Hugo Vásquez PhD, Ing. Favian Bayas PhD y a todos los docentes de la carrera por habernos guiado a lo largo de toda nuestra carrera universitaria.

Daniel Aucatoma

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pág.
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVIII
RESUMEN.....	XIX
SUMMARY.....	XX
CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PROBLEMA.....	3
1.2.1. Enunciado del problema.....	3
1.2.2. Formulación del problema.....	4
1.2.3. Sistematización del problema.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Limón.....	6
2.1.1. Generalidades del limón.....	6
2.1.2. Características del limón.....	7
2.1.3. Valor nutricional del limón.....	8
2.1.4. Beneficios del limón.....	9
2.2. Variedades del limón.....	9

2.2.1. Limón Sutil (<i>Citrus aurantifolia swingle</i>)	9
2.2.2. Limón Mandarino (<i>Citrus limonia</i>)	10
2.2.3. Limón Real (<i>Citrus limonum</i>).....	11
2.2.4. Limón Tahití (<i>Citrus latifolia</i>).....	11
2.2.5. Producción mundial del limón.....	12
2.2.6. Producción del limón en el Ecuador	13
2.2.7. Producción del limón en la provincia Bolívar	15
2.3. Aprovechamiento de residuos (Cáscara)	16
2.3.1. Cáscara del limón	17
2.3.2. Composiciones químicas de la cáscara del limón.....	17
2.3.3. Parámetros de selección de la cáscara del limón	18
2.3.4. Beneficios de la cáscara del limón.....	18
2.3.5. Industrialización de los residuos biomásicos del limón	18
2.3.6. Usos industriales de la cáscara del limón	19
2.4. Métodos de extracción	19
2.4.1. Destilación simple	20
2.4.2. Destilación fraccionada.....	21
2.4.3. Proceso de extracción	22
2.4.4. Maceración	22
2.4.5. Decantación	22
2.5. Aceites esenciales	23
2.5.1. Clasificación de los aceites esenciales.....	23
2.5.2. Propiedades físicas de los aceites esenciales	24
2.5.3. Propiedades químicas de los aceites esenciales.....	24
2.5.4. Caracterización de los aceites esenciales.....	25
2.5.5. Cromatografía de gases.....	25
2.5.6. Aceites esenciales cítricos	26

2.5.7. Calidad de los aceites esenciales cítricos.....	26
2.5.8. Aceite esencial de limón.....	27
2.5.9. Requisitos físicos y químicos del aceite esencial del limón	27
2.6. Usos del aceite esencial de cítricos.....	27
CAPÍTULO III	28
3. MARCO METODOLÓGICO	28
3.1. Ubicación de la investigación.....	28
3.2. Localización de la investigación.....	28
3.3. Situación geográfica y climática.....	28
3.4. Zona de vida	29
3.5. Materiales	29
3.5.1. Material experimental.....	29
3.5.2. Materiales de laboratorio	29
3.5.3. Equipos	30
3.5.4. Reactivos.....	31
3.5.5. Material de oficina.....	31
3.6. Métodos	31
3.6.1. Factores de estudio	31
3.6.2. Tratamientos	32
3.6.3. Característica del experimento.....	32
3.6.4. Diseño experimental	33
3.7. Modelo de análisis de varianza (ANOVA).....	34
3.7.1. Modelo de pruebas de rangos múltiples	34
3.8. Metodología experimental	35
3.8.1. Caracterización física del limón	35
3.8.2. Caracterización química de limón	36
3.8.3. Análisis proximal.....	36

3.8.4. Análisis elemental.....	38
3.9. Proceso de extracción de aceite esencial del limón	38
3.9.1. Descripción y diagrama de flujo del proceso	38
3.9.2. Diagrama de proceso de extracción del aceite esencial.....	41
3.10. Evaluación de la calidad del aceite esencial	42
3.10.1. Determinación de la densidad del aceite esencial.....	42
3.10.2. Determinación por cromatografía de gases (GC-MSD)	42
3.11. Modelamiento del proceso de extracción de aceite esencial	43
3.11.1. Modelos matemáticos para la cinética de extracción.....	43
3.11.2. Modelos matemáticos para el rendimiento	44
3.12. Elaboración de un producto agroindustrial a base de aceite esencial.....	46
3.12.1. Procedimiento para la elaboración de un jabón en barra.....	46
3.12.2. Diagrama de flujo de la elaboración de jabón en barra	48
CAPÍTULO IV	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Propiedades físicas y químicas de las variedades del limón.....	49
4.1.1. Propiedades físicas.....	49
4.1.2. Propiedades químicas	50
4.2. Extracción de aceite esencial del limón	52
4.2.1. Análisis de varianza de volumen del aceite esencial	52
4.2.2. Análisis de varianza del rendimiento de aceite esencial.....	55
4.2.3. Análisis de varianza de la densidad del aceite esencial	58
4.2.4. Análisis de varianza del pH de aceite esencial	59
4.3. Evaluación de la calidad del aceite esencial extraído	60
4.3.1. Densidad absoluta como criterio de calidad del aceite esencial	60
4.4. Identificación de los compuestos volátiles por cromatografía de gases	61
4.4.1. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Sutil	61

4.4.2. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Mandarino	62
4.4.3. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Real	63
4.4.4. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Tahití	64
4.5. Balance de materia prima para la extracción del aceite esencial	65
4.6. Modelamiento matemático de la destilación del aceite esencial de limón	69
4.6.1. Cinética de extracción.....	70
4.6.2. Rendimiento del aceite esencial extraído.....	72
4.7. Simulación del proceso de extracción del aceite esencial de limón	74
4.8. Elaboración de un Jabón en barra, utilizando el aceite esencial del limón.....	75
4.8.1. Etiquetado y envasado	76
4.8.2. Logo y presentación del jabón en barra a base de aceite esencial de limón .	76
4.9. Comprobación de hipótesis.....	77
4.9.1. Hipótesis nula (H_0)	77
4.9.2. Hipótesis alterna (H_a).....	77
4.9.3. Comprobación de hipótesis para el método de extracción	77
4.10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
4.10.1. Conclusiones.....	78
4.10.2. Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	1
GLOSARIO	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°	Pág.
Tabla 1. Información nutricional del limón por cada 100 gramos	8
Tabla 2. Producción mundial del limón en toneladas.....	12
Tabla 3. Producción del limón en el Ecuador 2002-2021	14
Tabla 4. Producción del limón en la provincia Bolívar	15
Tabla 5. Composiciones físicas y químicas de la cáscara del limón	17
Tabla 6. Parámetros de selección de la cáscara del limón.....	18
Tabla 7. Requisitos físicos y químicos del aceite esencial del limón.....	27
Tabla 8. Localización de la investigación.....	28
Tabla 9. Aspectos generales del territorio	28
Tabla 10. Equipos utilizados en el laboratorio	30
Tabla 11. Factores de estudio	31
Tabla 12. Tratamientos del estudio.....	32
Tabla 13. Criterio del experimento.....	33
Tabla 14. Modelo de análisis de varianza (ANOVA).....	34
Tabla 15. Valores de las propiedades físicas de las variedades del limón	49
Tabla 16. Análisis proximal de la cáscara del limón.....	50
Tabla 17. Análisis elemental de la cáscara del limón.....	51
Tabla 18. Análisis de varianza de la extracción de aceite esencial del limón	52
Tabla 19. Pruebas de medias del factor A en el volumen del aceite esencial.....	53
Tabla 20. Pruebas de medias del factor C en el volumen del aceite esencial.....	54
Tabla 21. Análisis de varianza de rendimiento del aceite esencial.....	55
Tabla 22. Pruebas de medias del factor A para el rendimiento del aceite esencial	56
Tabla 23. Pruebas de medias del factor C para el rendimiento del aceite esencial	57
Tabla 24. Análisis de varianza para la densidad del aceite esencial.....	58
Tabla 25. Análisis de varianza del pH de aceite esencial	59

Tabla 26. Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Sutil	61
Tabla 27. Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Mandarino	62
Tabla 28. Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Real	63
Tabla 29. Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Tahití	64
Tabla 30. Datos experimentales para el balance de materia.....	65
Tabla 31. Cinética de extracción del aceite esencial	70
Tabla 32. Modelos matemáticos para determinar la cinética de extracción	71
Tabla 33. Rendimiento del aceite esencial extraído en función del tiempo	72
Tabla 34. Modelos matemáticos para determinar el rendimiento del aceite esencial ...	73
Tabla 35. Simulación del proceso de extracción	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°	Pág.
Figura 1. Anatomía de los frutos cítricos	6
Figura 2. Limón Sutil (<i>Citrus aurantifolia</i> swingle)	9
Figura 3. Limón Mandarino (<i>Citrus limonia</i>).....	10
Figura 4. Limón Real (<i>Citrus limonum</i>).....	11
Figura 5. Limón Tahití (<i>Citrus latifolia</i>).....	11
Figura 6. Producción mundial del limón en toneladas	13
Figura 7. Producción del limón en el Ecuador	15
Figura 8. Producción del limón en la provincia Bolívar	16
Figura 9. Equipo de destilación simple	20
Figura 10. Equipo de destilación fraccionada	21
Figura 11. Esquema de las partes de una cromatografía de gases.....	26
Figura 12. Etapas del enfoque ingenieril para la extracción de aceite esencial	41
Figura 13. Diagrama de flujo para la elaboración de jabón en barra	48
Figura 14. Gráfico de medias de aceite esencial del factor A	53
Figura 15. Gráfico de medias del aceite esencial del factor C	54
Figura 16. Gráfico de medias para el rendimiento del factor A	56
Figura 17. Gráfico de medias para el rendimiento en el factor C.....	57
Figura 18. Diferencia de la densidad del aceite esencial por tratamiento	60
Figura 19. Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Sutil	61
Figura 10. Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Mandarino	62
Figura 21. Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Real.....	63
Figura 22. Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Tahití	64
Figura 23. Diagrama de flujo del extractor	66
Figura 24. Diagrama de flujo del extractor representado su rendimiento	68
Figura 25. Diagrama de flujo del condensador	68

Figura 26. Diagrama de flujo del decantador	69
Figura 27. Cinética de extracción del aceite esencial en función del tiempo.....	71
Figura 28. Comparación de las curvas del rendimiento de aceite esencial extraído	73
Figura 29. Simulación del proceso de extracción del aceite esencial.....	74
Figura 30. Jabón en barra con esencia de limón.....	75
Figura 31. Etiqueta del producto	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°

Anexo 1. Mapas de las ubicaciones en donde se realizó la investigación

Anexo 2. Propiedades físicas y químicas de las variedades del limón

Anexo 3. Extracción de aceite esencial de limón (**Réplica 1**)

Anexo 4. Datos experimentales del secado de la cáscara de limón

Anexo 5. Análisis elemental de la cáscara de limón

Anexo 6. Resultados de los componentes volátiles del aceite esencial

Anexo 7. Proceso de secado de la materia prima

Anexo 8. Proceso de destilación simple y fraccionada

Anexo 9. Determinación de pH del aceite esencial extraído

Anexo 10. Determinación de humedad, cenizas y volátiles totales

Anexo 11. Elaboración de jabón en barra

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue aprovechar de los residuos biomásicos del limón (*Citrus limon*), en la obtención de aceites esenciales, para la elaboración de productos agroindustriales en la provincia Bolívar. Se realizó una revisión bibliográfica acerca de la materia prima (Cáscara), los métodos de extracción del aceite esencial a través de la destilación simple y fraccionada, la maceración como método de ablandamiento de la cáscara, se abordó el análisis de cromatografía de gases para la determinación de compuestos principales del aceite esencial y los modelos matemáticos que se pueden aplicar para el modelamiento de cinética de extracción y rendimiento del proceso de destilación. La materia prima fue proveniente de las zonas de Echeandía, Caluma, Las Naves perteneciente a la provincia Bolívar. La experimentación se realizó en el Laboratorio de extractos del Complejo Agroindustrial de la Carrera Agroindustria. Para la realización se aplicó un diseño en arreglo factorial $A \times B \times C$ ($4 \times 2 \times 2$), con tres repeticiones, donde los factores de estudios fueron: la variedad de limón con (4 niveles), maceración con (2 niveles), método de extracción con (2 niveles). Se empleó el método de destilación simple y fraccionada, aplicando un proceso de maceración de 8 y 12 horas a la cáscara de limón, el tiempo empleado para la destilación fue de 120 minutos. Las variables de estudio fueron, volumen, rendimiento, densidad y pH. Se obtuvo un volumen de 2,300 mL y un rendimiento de 0,970% perteneciente a la variedad de limón Sutil (T2), la densidad fue 0,850 g/mL correspondiente al (T4) y pH de 4,64 en la variedad de limón Mandarino (T11). Se determinaron 7 compuestos principal, el mayor componente fue el limoneno con 60,35 % en limón Sutil, 72,84% en limón Mandarino, 82,50% en limón Real y 81,75% en limón Tahití, por lo que demuestra que el aceite esencial es de buena calidad. Los resultados experimentales fueron ajustados a 4 modelos matemáticos para cinética de extracción y para rendimiento; puesto que el modelo que mejor se ajustó a la cinética de extracción fue el modelo Multiplicativo con $R^2 = 0,998\%$; para el modelamiento del rendimiento se ajustó el modelo de Gompertz con una $R^2 = 0,992\%$. Se elaboró un jabón en barra utilizando el mejor tratamiento del aceite esencial acorde a la densidad (T4). Como conclusión se indica que los residuos biomásicos de limón (*Citrus limon*), contribuyen una abundante materia prima para la obtención de diferentes productos agroindustriales de calidad, tales como la extracción de aceite esencial de limón, presentados en esta investigación.

Palabras claves: residuo biomásico, aceite esencial, limón, destilación, limoneno.

SUMMARY

The objective of the research was to take advantage of the biomass residues of the lemon (*Citrus limon*), to obtain essential oils, for the production of agroindustrial products in the province of Bolivar. A bibliographic review was made about the raw material (peel), the methods of extraction of the essential oil through simple and fractional distillation, maceration as a method of softening the peel, gas chromatography analysis for the determination of the main compounds of the essential oil and the mathematical models that can be applied for the modeling of extraction kinetics and yield of the distillation process. The raw material came from the areas of Echeandía, Caluma, Las Naves belonging to the Bolivar province. The experimentation was carried out in the Extracts Laboratory of the Agroindustrial Complex of the Agroindustry Career. An AxBxC (4x2x2), factorial arrangement design was applied with three replications, where the study factors were: lemon variety with (4 levels), maceration with (2 levels), extraction method with (2 levels). The simple and fractional distillation method was used, applying a maceration process of 8 and 12 hours to the lemon peel, the time used for distillation was 120 minutes. The study variables were volume, yield, density and pH. A volume of 2,300 mL was obtained and a yield of 0,970% belonging to the Sutil lemon variety (T2), the density was 0,850 g/mL corresponding to (T4) and pH was 4,64 in the Mandarino lemon variety (T11). Seven main compounds were determined, the major component was limonene with 60,35% in the Subtle lemon, 72,84% in the Mandarin lemon, 82,50% in the Royal lemon and 81,75% in the Tahiti lemon, which shows that the essential oil is of good quality. The experimental results were adjusted to 4 mathematical models for extraction kinetics and for yield; since the model that best adjusted to the extraction kinetics was the Multiplicative model with $R^2 = 0,998\%$; for the yield modeling the Gompertz model was adjusted with an $R^2 = 0,992\%$. A bar soap was produced using the best treatment of the essential oil according to density (T4). In conclusion, it is indicated that lemon (*Citrus limon*), biomass residues contribute an abundant raw material for obtaining different quality agroindustrial products, such as the extraction of lemon essential oil, presented in this research.

Key words: biomass residue, essential oil, lemon, distillation, limonene.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

El término biomasa, hace referencia a la materia orgánica producida por un proceso biológico, espontáneo o provocado, es aprovechable como fuente de energía, este término se suele utilizar para dar a conocer a cultivos energéticos, maderas, algas marinas, proceso forestales y residuos de actividades agrícolas, así también como residuos animales e industriales (Castro & Ocampo, 2015). En el mundo se genera un aproximado de 86 mil millones de Tm de residuos biomásicos anualmente, generados de procesos industriales, consumo, mercados, restaurantes y podas (Hurtado, 2017).

Jami & Jaramillo (2019), mencionan que actualmente los frutos cítricos son de gran importancia a nivel mundial, estos se clasifican según su especie en naranjas, mandarinas, limones y toronjas. En el 2020 la producción de los cítricos alcanzo un valor de 98 millones de Tm. Orús (2021), indica que la producción del limón a nivel mundial en el 2020 fue de 8,3 millones de toneladas. Según la INEC (2022), en el Ecuador la producción del limón alcanzo un valor de 21.682 Tm.

Mahato et al. (2020), menciona que los frutos cítricos son el mayor cultivo las mismas que generar mayores residuos, con una producción anual que supera los 124,3 millones de toneladas en todo el mundo de biomasa. Las industrias de procesamientos de productos desechan enormes cantidades de residuos; más de 40 millones de toneladas de biomasa en todo el mundo. De acuerdo a Zannini et al. (2021), los residuos biomásicos de la cáscara de limón dan lugar a tres productos principales cuyos porcentajes son el 35 - 45% de jugos, 0,2 - 0,5% aceite esencial y 55 - 65% fracción residual de la pulpa, los residuos biomásicos del limón sirven para obtener subproductos como harinas, pectinas, pigmentos y aceites esenciales.

Cardete (2020), menciona que la cáscara del limón se constituye de dos tejidos, albedo y flavedo, generalmente allí se almacena el aceite esencial, la cáscara del limón es rico en compuestos como carotenoides, pectinas, fibra dietética, flavonoides, aceites esenciales, carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y de azufre en proporción baja y de elementos inorgánicos. Aziz et al. (2018), relata que los aceites esenciales son extractos de materias vegetales, tienen numerosas aplicaciones en la Agroindustria. Existen distintos métodos

de extracción para la obtención de los aceites esenciales, el más frecuente es la extracción en corriente de vapor.

Según Jami & Jaramillo (2019), los aceites esenciales están formados por monoterpenos, terpenos y sesquiterpenos (alcoholes, cetonas e hidrocarburos), sustancia azufrada y nitrogenadas. Los aceites esenciales a partir de frutos cítricos muestran un alto porcentaje de compuestos volátiles, su densidad es menor a la del agua, tiene un alto índice de refracción, son altamente solubles en alcoholes, dietil, éter e insolubles en agua.

La modelación matemática es una herramienta de gran importancia en la Agroindustria, puesto que permite estudiar sistemas reales que no se pueden evaluar analíticamente. El desarrollo de diferentes variables de proceso y ajuste a un modelo matemático ayudan a mostrar de mejor manera el proceso de extracción del aceite esencial (Rodríguez et al., 2018). Los modelos matemáticos describen el comportamiento cinético y el rendimiento de extracción durante el procesamiento experimental del material vegetal. Cada modelo matemático seleccionado describe dos etapas importantes en la destilación, lo cual corresponde a la primera es un rápido aumento en la concentración del aceite esencial en función del tiempo, el segundo modelo es el aumento lento de la concentración del aceite esencial a medida que aumenta el proceso de extracción (Gómez et al., 2021).

1.2. PROBLEMA

1.2.1. Enunciado del problema

El limón (*Citrus limon*) es un fruto que se utiliza para la elaboración de diferentes productos agroindustriales, los resultados obtenidos del proceso generan residuos biomásicos que componen la cáscara, albedo y semillas, estos son utilizados en la preparación de alimentos funcionales, alimentos para animales, compost, bioetanol y biocombustibles.

En el Ecuador se produjo 22.403 Tm de limón ESPAC (2021). El 80% es utilizado para el consumo directo y el 20% para la elaboración de diferentes productos agroindustriales. De acuerdo a Riera et al. (2018), en el Ecuador existe 2.203 millones de toneladas métricas de residuos agroindustriales entre ellas de origen cítricos, los cuales son generados por las industrias que se dedican a la elaboración de pulpas, jugos y concentrados. Consecuencia a esto algunas industrias han planteado una solución, donde se pueda aprovechar estos residuos y a su vez extraer los compuestos importantes para la creación de un subproducto, tales como el aceite esencial (Castillo, 2020).

En estudios realizados por Akuso et al. (2022); Tran et al. (2021); Ngo et al. (2020); reportan rendimientos de la extracción de aceite esencial del limón a partir de la cáscara, desde 0,38% a 3%; generalmente los aceites extraídos de los cítricos se obtienen por destilación simple y fraccionada, con parámetros óptimos que se aplican en el proceso tales como temperatura, flujo másico, presión y tiempo. Aunque el rendimiento obtenido no se ha comprobado científicamente para la extracción de aceite en la zona de Guaranda, comprendiendo entre los 2.400 y 2.600 msnm por lo que es necesario estudiar los parámetros de proceso en este sector; además, se deben realizar estudios experimentales para obtener resultados científicamente relevantes que aprueben o rechacen los resultados obtenidos en otros estudios, esto da como resultado un mayor uso de materias primas, insumos materiales reactivos, aumenta costos y tiempo de procesamiento. Es necesario modelar y simular matemáticamente variables de proceso que no se reflejan en la revisión científica.

Si esta situación continúa, la agroindustria en el Ecuador pierde la oportunidad de procesar materia prima de alta calidad (cáscara de limón) para la extracción de aceites esenciales; un aspecto de importe que debe ser considerado en la generación de empleo, desarrollo rural, desarrollo agroindustrial a través de la producción de un producto agroindustrial de calidad.

1.2.2. Formulación del problema

De acuerdo a lo mencionado en la investigación se planteó la siguiente pregunta general:

¿Cómo aprovechar los residuos biomásicos del limón en la obtención de aceites esenciales, para la elaboración de productos agroindustriales en la provincia Bolívar?

1.2.3. Sistematización del problema

Para dar cumplimiento a la pregunta general, se planteó las siguientes preguntas específicas:

¿Cuáles son la composición físico química de la materia prima (cáscara de limón) a ser procesada en la obtención de aceites esenciales?

¿Cuáles son los parámetros de proceso que deben ser tomado en cuenta en los procesos de extracción, mediante la utilización de destilación simple y fraccionada?

¿Cuál es la calidad de aceite esencial obtenido?

¿Cuáles son los modelos matemáticos que se ajustan a los procesos de destilación simple y fraccionada en la obtención de aceite esencial?

¿En qué producto agroindustrial se puede utilizar el aceite esencial obtenido?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Aprovechar los residuos biomásicos del limón (*Citrus limon*), en la obtención de aceites esenciales, para la elaboración de productos agroindustriales en la provincia Bolívar.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a los residuos biomásicos obtenidos de especies vegetales de origen cítrico de la cáscara de limón en las que se va a realizar la extracción.
- Cuantificar los parámetros de operación del proceso de destilación simple y fraccionada.
- Evaluar la calidad de aceite esencial extraído.
- Modelar los procesos de destilación simple y fraccionada en la obtención de aceite esencial.
- Utilizar el aceite obtenido en la elaboración de un producto agroindustrial.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

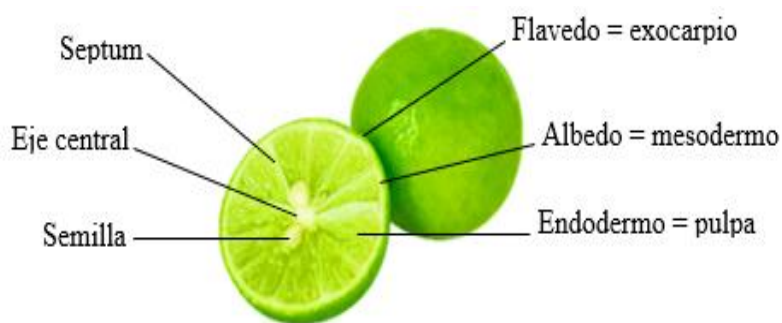
2.1. Limón

2.1.1. Generalidades del limón

El limón (*Citrus limon*) según Penelo (2018), es el fruto del árbol limonero, frutal perenne, perteneciente a la familia de las rutáceas. Existen numerosas variedades de la misma especie a diferente de que cumplen con características muy particulares; de las múltiples variedades existentes a nivel mundial, en Ecuador la más común es Limón Sutil (*Citrus Aurantifolia Swigle*), Limón Mandarinero (*Citrus Limonia*), Limón Real (*Citrus Limonum*) y Limón Tahití (*Citrus Latifolia*). Según López (2018), los cítricos tiene una pulpa suave, jugoso y perfumada por lo general son frutos de tamaño mediano, su forma es oval y circular; la corteza es delgada de un color amarillo verdoso. En el interior de los cítricos se encuentra una pulpa carnosa de color amarillo y verde, el sabor ácido y jugoso, es separada por unas capas delgadas de color blanco.

Figura 1

Anatomía de los frutos cítricos



Nota. Descripción de la parte anatómica tomada de (Ortiz, 2018)

Según Tinoco (2016), el limón es parte de las plantas cítricos; generalmente se dice que tienen un aspecto esférico u ovalado comúnmente dependiendo de su variedad, como es de tener una piel gruesa, además es consideradas poliembrionarias por lo que poseen 2 o más plantas por cada pepa. Macías et al. (2021), la pulpa interna de los cítricos es de color amarillo pálido, jugosa y de sabor ácido y posee un aroma característico la misma que

está dividida en gajos; el color de la corteza es amarillo intenso e incluso anaranjado conforme avance la madurez.

Según Díaz (2020), el limón es clasificado como un fruto no climatérico, lo cual implica que no se generan aumentos en la respiración ni en la producción de etileno a lo largo de la maduración, sino que experimentan una disminución gradual.

2.1.2. Características del limón

El limón esta constitución por dos partes fundamentales; corteza o parte exterior la misma que tiene dos tejidos totalmente diferentes, como el flavedo (epicarpio) y el albedo (mesocarpio); el endocarpio pertenece a la parte interior del fruto (Lorente, 2015).

Franco (2017), menciona que el limón es muy apreciado por sus características nutricionales, debido a que cuentan con una alta concentración de ácido ascórbico o vitamina C y tienen un sabor delicioso, es decir, el consumo de las frutas cítricas es recomendable porque contribuye a mantener una excelente salud.

Según Lorente (2015), el flavedo es la parte subepidérmica que tiene cromoplastos, que otorgan al fruto los colores amarillo o verde, también numerosas glándulas llenas de aceites esenciales; el albedo o también conocido como mesocarpio lo cual está formado por capas esponjosas de células parenquimáticas lo cual son ricas en pectina, el endocarpio está formado gajos distribuidos a los lados del núcleo blando la misma que forman el eje céntrico del fruto.

Forma: El limón tiene las hojas ovadas de acuerdo a la variedad de limón (Tinoco, 2016).

Tamaño y peso: Se determina por el diámetro ecuatorial y diámetro polar donde se calibran en grande, mediano y pequeño.

Color: El color del fruto es verde y amarillo, pero va cambiando de acuerdo a su grado de madurez.

Sabor: El sabor del limón es amargo.

Frutos: Los frutos son pequeños, elípticos a esféricos; comúnmente el pericarpio es delgado, el área del limón es rugoso o lisa tienen un color amarillo verdoso de acuerdo a su grado de crecimiento, el endocarpio tiene nueve a doce segmentos, de sabor ácido.

Semillas: Los frutos tienen escasas o son sin pepa y de pequeños tamaños; son Poliembriónicas o monoembriónica (Quirumbay, 2021).

2.1.3. Valor nutricional del limón

El limón tiene enormes características antioxidantes, antimicrobianas y antiparasitarias, el limonero tiene aceites fundamentales que tienen la posibilidad de ser extraídos o destilados tanto en las hojas, tallos, cortezas, raíces y frutas los cuales tienen la posibilidad de tener características antifúngicas, antivirales e inclusive antiinflamatorio. La tabla 1 indica el contenido de macronutrientes y micronutrientes del limón (Rocha, 2020).

Tabla 1

Información nutricional del limón por cada 100 gramos

Nutriente	Unidad	Valor
Agua	g	88,98
Energía	kcal	29,00
Proteína	g	1,10
Totales de lípidos	g	0,30
Carbohidratos	g	9,32
Fibra dietética	g	2,80
Azúcares totales	g	2,50
Minerales		
Calcio (Ca)	mg	26,00
Hierro (Fe)	mg	0,60
Magnesio (Mg)	mg	8,00
Fósforo (P)	mg	16,00
Potasio (K)	mg	138,00
Vitaminas		
Vitamina C	mg	53,00
Vitamina B6	mg	0,08
Vitamina A	ug	1,00
Vitamina E	ug	0,15
Vitamina D	ug	0,00
Vitamina K	ug	0,00

Nota: Descripción del contenido de macronutrientes y micronutrientes de limón USDA (2018).

2.1.4. Beneficios del limón

El limón tiene beneficios terapéuticos, higiénicos y alimenticios, es el cítrico que contiene más vitaminas, principalmente B, C, A, K y P; tiene un poder antiséptico más fuerte que los demás cítricos, es más oxidante y muy alcalinizante; estimula de un modo especial en funciones del hígado, es diurético y astringente, es un tónico para el organismo y constituye el mejor depurativo (Pincay, 2021).

2.2. Variedades del limón

Según la información de Valarezo et al. (2014), en el Ecuador existen infinidad de variedades de limones, sin embargo, son cuatro las variedades más comunes existentes en nuestro país. De acuerdo a Quiroz (2019), el limón sutil, criollo, y la lima son más para consumos nacional, debido que a los ecuatorianos les gusta por su acidez; mientras que la variedad de limón Tahití es destinada más para las exportaciones. García (2014), indica que existen otras variedades de limón como: limón Meyer, limón Mandarino, que producen a menor cantidad, sobre todo en las provincias de Loja, Azuay, Imbabura y pichincha. Por otra parte, las variedades de limones se diferencian en su contenido de zumo, su calidad, albedo y la presencia de semilla.

Es de gran importancia mencionar que, Ecuador al ser un país con tres tipos de clima variado y a su vez un clima apropiado, permite cultivar un sin número de variedades de cítricos entre ellas las variedades de limones, siendo las más cultivadas, las siguientes:

2.2.1. Limón Sutil (*Citrus aurantifolia swingle*)

Figura 2

Limón Sutil (Citrus aurantifolia swingle)



Santistevan et al. (2016), menciona que el limón Sutil (*Citrus aurantifolia swingle*), es la variedad de cítrico más cultivada en el Ecuador; esta variedad de limón es muy delicada a temperaturas bajas, por tal motivo se cultivan en las regiones tropicales, subtropicales y semitropicales. Ladino (2020), afirma que esta variedad es considerada un arbusto pequeño que rara vez supera los 3 metros de elevación, sus frutos son pequeños en promedio miden de 4 a 5 centímetros, son de forma redonda u ovalada, son de color verde y cuando el fruto está maduro toma un color amarillento, su pulpa es jugosa, altamente ácida y posee un aroma característico. Penjor et al. (2014), informa que el fruto de la variedad *Citrus aurantifolia* tiene un jugo muy ácido de aroma distintivo, con varias semillas que son considerados poliembriónica debido a que pueden producir de dos o más plantas por cada semilla.

2.2.2. Limón Mandarino (*Citrus limonia*)

Figura 3

Limón Mandarino (Citrus limonia)



De acuerdo a González & Tullo (2019), el limón mandarino (*Citrus limonia*) es un híbrido sensible al frío, de buen tamaño de fruto y con una buena calidad de producción. Castro et al. (2014), ratifica que el limón mandarino es la mezcla entre la mandarina y el limón, normalmente el fruto es pequeño o mediano, de forma redonda 3 - 4 cm de diámetro, su cáscara delgada y brillante, de color verde o con un tono amarillento, su pulpa anaranjada, su piel lisa y ligeramente rugosa, lo cual se caracteriza por tener pecas o manchas, su sabor es fuertemente ácido, es abundante en semillas pequeñas poliembriónicas.

2.2.3. Limón Real (*Citrus limonum*)

Figura 4

Limón Real (Citrus limonum)



González & Tullo (2019), menciona que el limón Real (*Citrus limonum*) es un híbrido natural con características diferentes a los verdaderos limones. Su fruto alcanza una consistencia rugosa de color amarillo en su estado de madurez. Además, las diferentes variedades de cítricos injertadas en esta planta son vigorosas y de gran tamaño, su producción en fruto es de tamaño grande, pero la mayoría de veces son con cáscara gruesa, posee poca cantidad de jugo y una escasa calidad interna.

El limón Real o limón Rugoso es un árbol vigoroso de crecimiento erecto, con numerosas espinas pequeñas: hojas de tamaño mediano o pequeño, sensible a temperatura baja tanto como las diferentes variedades de limones. El fruto generalmente es mediano y ovalada, posee un pequeño surco en la parte de inserción del pedúnculo, contiene una corteza bastante gruesa y sobre todo tiene poca cantidad de zumo en su interior (Garavello et al., 2019).

2.2.4. Limón Tahití (*Citrus latifolia*)

Figura 5

Limón Tahití (Citrus latifolia)



El limón Tahití es un híbrido de cruces entre limón (*Citrus aurantifolia*) y (*Citrus medica linn*), su árbol es de tamaño mediano a grande, vigoroso, con pocas espinas, con follaje pesado y su floración es casi todo el año, se caracteriza por producir frutos sin semilla y su jugo representa cerca de 59 % del peso, su fruto al madurar es de color verde intenso u oscuro, es de forma redonda, los frutos están listos para ser cosechados de 100 a 120 días aproximadamente después de la floración (Ladino, 2020). Los frutos son de forma semi redondas con un color amarillento cuando alcanzado su madurez ideal, pesa aproximadamente 50 a 100 gramos. La producción de esta variedad inicia a los dos años de haber trasplantado el injerto, además la planta puede llegar a durar de 30 a 50 años (DANE, 2015).

2.2.5. Producción mundial del limón

Para Orús (2021), la producción del limón a nivel mundial se registró en 2018, año en que llegó a producir 8,8 millones de toneladas de limones, de esta manera alcanzando una producción máxima en el mundo. De la misma manera en 2020 se produjeron aproximadamente 8,3 millones de toneladas de limón en el mundo, siendo los países principales en producir limones a nivel mundial; India, México, Argentina, Brasil, China, Estados Unidos, Irán, Turquía, España, Italia, Egipto, Perú y otros.

Tabla 2

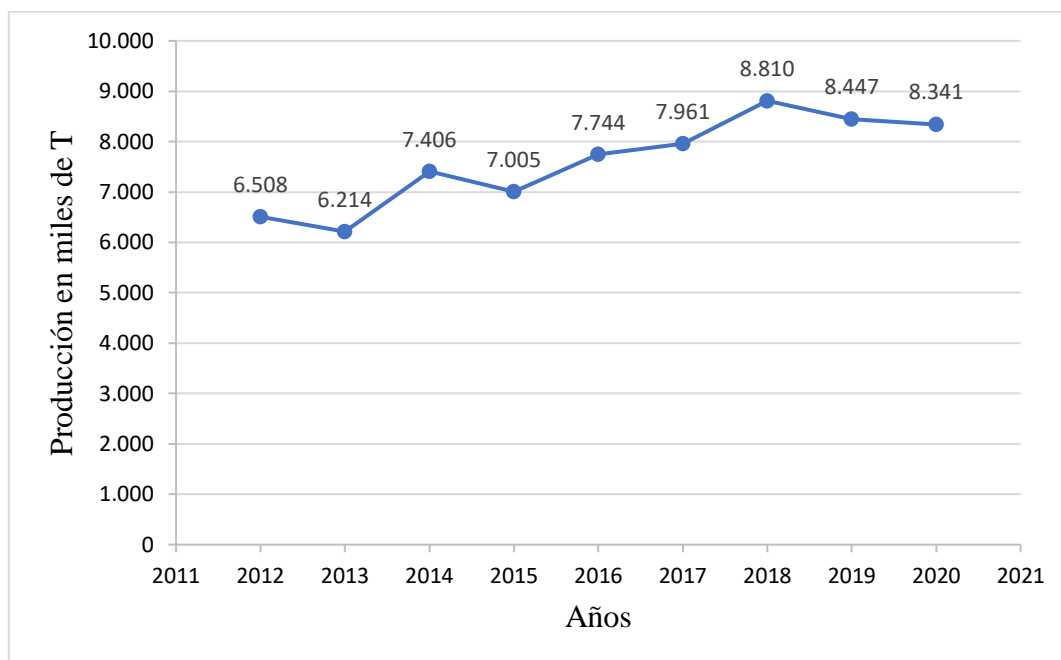
Producción mundial del limón en toneladas

Año	Producción toneladas métricas
2012	6.508
2013	6.214
2014	7.406
2015	7.005
2016	7.744
2017	7.961
2018	8.810
2019	8.447
2020	8.341

Nota. Datos tomados de Orús (2021), producción mundial del limón 2012 - 2021.

Figura 6

Producción mundial del limón en toneladas



Nota. Figura desarrollada con datos de Orús (2021), producción mundial del limón en toneladas 2012 - 2020.

2.2.6. Producción del limón en el Ecuador

La producción de limón en el Ecuador apareció en la época de la conquista española, siendo uno de los países que cuenta con un clima variado y a su vez adecuado para este cultivo. Según los datos de la ESPAC, afirma que en 2021 se plantó 5.230 hectáreas de limón, se cosechó 4.178 hectáreas, alcanzó una producción de 22.403 toneladas métricas que generó ventas de 21.682 toneladas métricas (INEC, 2022).

La ESPAC muestra los resultados de los últimos 6 años indicando un descenso claro con respecto a la producción, sin embargo, indica que en el año 2015 fue mayor la producción de limón, alcanzando un récord de 1 609.039 producción en tonelada métricas.

Tabla 3*Producción del limón en el Ecuador 2002-2021*

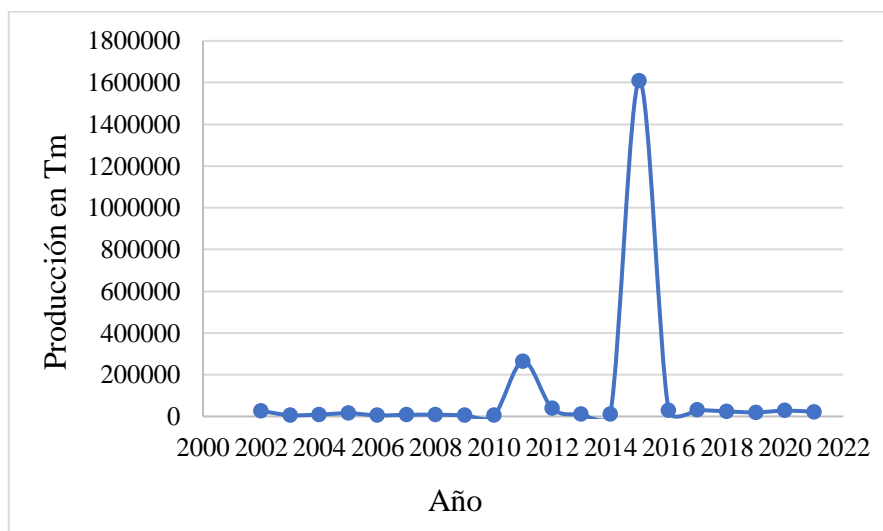
Año	Número de árboles	Producción (Tm)
2002	288.505	26.258
2003	227.768	6.199
2004	242.521	9.082
2005	274.159	15.412
2006	257.377	5.165
2007	217.132	7.863
2008	319.485	8.694
2009	238.510	5.568
2010	257.647	5.582
2011	795.797	264.229
2012	219.238	38.850
2013	253.579	10.594
2014	379.230	121.89
2015	346.672	1 609.039
2016	6.308	28.881
2017	8.152	30.702
2018	5.726	24.114
2019	6.871	19.672
2020	6.212	27.914
2021	5.230	22.403

Nota. Tomado de *Instituto Nacional de Estadística y Censo*, por INEC (2022).

Se puede observar la producción de limón en el Ecuador, puesto que muestra la diferencia de producción de cada año, dado que el limón se cultiva en diferentes tipos de climas ideales de 16 a 28 °C, en zonas cálidas o en las zonas subtrópicas de la sierra; las variedades más producidas en el Ecuador son el limón Sutil, Real, Mandarinero y Tahití.

Figura 7

Producción del limón en el Ecuador



Nota. Producción del limón en el Ecuador 2002 - 2021. Tomado de *Instituto Nacional de Estadística y Censo*, por INEC (2022).

2.2.7. Producción del limón en la provincia Bolívar

De acuerdo a cifras tomadas de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), se registra datos reales de la provincia Bolívar.

Tabla 4

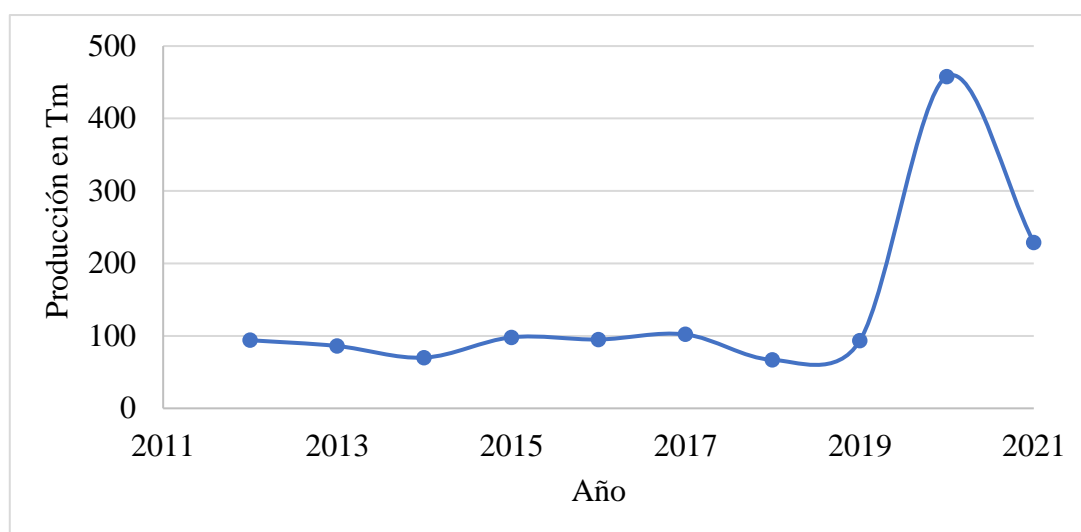
Producción del limón en la provincia Bolívar

Año	Superficie plantada	Producción (Tm)
2012	43	94
2013	33	86
2014	27	70
2015	44	98
2016	30	95
2017	49	102
2018	32	67
2019	47	93
2020	70	458
2021	46	229

Nota. Producción del limón en la provincia Bolívar 2012 - 2021.

Figura 8

Producción del limón en la provincia Bolívar



Nota. Se muestra la producción del limón en la provincia Bolívar del año 2012 - 2021, por INEC (2022).

2.3. Aprovechamiento de residuos (Cáscara)

Según menciona González (2015), en la actualidad el aprovechamiento de residuos de especies cítricos, se han convertido en una actividad primordial, puesto que intervienen empresas que ofrecen la cadena productiva (productoras, procesadoras, centros de comercialización y exportadores), es decir, empresas que se dedican a elaborar: pulpas, jugos, concentrados y por último ofrecen frutas frescas; sin embargo, mientras la producción crece, los residuos sólidos y líquidos también incrementa en gran manera.

Los residuos cítricos conformados por: cáscara, pulpa y semillas contienen fitoquímicos activos conocidos como pectina, aceite esencial, flavonoides polifenólicos, carotenoides, fibra dietética, limonoides, ácidos orgánicos y vitaminas, estos desechos ya se están utilizando de diferentes maneras, en la preparación de alimentos funcionales o a su vez también como alimento para animales, compost, bioetanol y biocombustible (Suri et al., 2022).

El aprovechamiento de los residuos agroindustriales ha evolucionado en gran manera a pasar de los años, debido a las distintas industrias existentes en los países desarrollados, notablemente se ha visto a los residuos, que han dejado de ser productos de desechos que no sirven a convertirse en materia prima potencial, teniendo en cuenta que estos residuos

se puede dar un valor agregado, así mismo prevenir problemas ambientales debido a su descomposición residual (Castillo, 2020).

2.3.1. Cáscara del limón

Llamoca (2017), menciona que la cáscara del limón es la piel del fruto o también conocido como corteza de limón, generalmente es delgada y adherente, tiene una superficie lisa y una tonalidad amarilla pálida cuando ha alcanzado su estado de madurez fisiológica, es de color verde oscuro durante su periodo de desarrollo, a medida que va madurando su color va cambiando, es decir, verde claro a amarillo, conforme avanza su maduración o envejecimiento. Aguilar & Del Castillo (2020), mencionan que la fruta posee alrededor de 10 a 12 segmentos con pulpa de grano fino de color amarillento, verdoso pálido, muy ácida y con un aroma característico. En otro estudio realizado por Land (2020), indica que la cáscara es la capa externa del fruto en donde se encuentra el flavedo, generalmente allí se almacena el aceite esencial.

2.3.2. Composiciones químicas de la cáscara del limón

Se observa la composición físico y químico de la cáscara de limón con sus respectivas cantidades nutricionales:

Tabla 5

Composiciones físicas y químicas de la cáscara del limón

Parámetro	Valor
Fibra	11,00 g
Proteínas	1,50 g
Calcio	134,00 mg
Vitamina C	129,00 mg
Vitamina B6 (piridoxina)	0,17 mg
Riboflavina (vitamina B2)	0,08 mg
Ácido pantoténico (Vitamina B5)	0,32 mg
Flavonoides, pectinas	Varios

Nota. Información tomados de Cordova & Velasquez (2021).

2.3.3. Parámetros de selección de la cáscara del limón

Se refleja los parámetros para la selección de la cáscara del limón:

Tabla 6

Parámetros de selección de la cáscara del limón

Parámetro	Rango
Color	Color característico de la fruta
Olor	Olor característico de la fruta
Plagas (cucarachas, babosas, roedores, entre otros)	No tolerable
Material extraño (contaminación química, heces, entre otros)	No tolerable
Hongos	No tolerable
pH	3,43 - 3,69
Ceniza (%)	4,57 - 6,26

Nota. Información tomado de Castillo (2020).

2.3.4. Beneficios de la cáscara del limón

La cáscara de limón presenta alto contenido de fitoquímicos y tiene mayor antimicrobiana y antioxidante, es un agente antimicrobiano, antidermatofítica, actúan como protectores de impacto en el colesterol, y en el estado inmunológico, además es fuente de pectina, péptico-oligosacáridos y capacidad absorbente (Irfan et al., 2019).

Las propiedades que ofrece la cáscara de limón son muchos, sin embargo, podemos mencionar que es rica en vitaminas, minerales y antioxidante. Además, es benéfico para nuestra salud siendo el principal fuente de vitaminas y minerales, ayuda al mejoramiento de la digestión, fortifica el sistema inmunológico, excluye las toxinas existentes en el cuerpo, evita la creación de cálculos renales, ayuda a la conservación de la piel (Battan, 2022).

2.3.5. Industrialización de los residuos biomásicos del limón

De acuerdo a Stechina (2005), la cáscara de limón representa el 20 al 60% de desperdicio, debido a que existen industrias que se dedican a la elaboración de pulpas, jugos, concentrados etc. Los residuos biomásicos de limón son considerados como desperdicio, sin imaginar que estos residuos pueden ser aprovechados, por esta razón, algunas

industrias han implementado distintos métodos para aprovechar estos residuos, tales como en la extracción de pectina, extracción de aceites esenciales, corteza deshidratada entre otras.

2.3.6. Usos industriales de la cáscara del limón

En la actualidad la cáscara del limón es utilizado para:

Extracción de pectina: El principal componente que lo caracteriza al albedo es la protopectina, esta pectina se puede utilizar para preparar mermeladas, jaleas, compotas, conservas, productos de panadería, confitería, productos dietéticos, yogurt, bebidas lácteas, postres (Danovich, 2019). La pectina presenta gran cantidad de fibra dietética que protege enfermedades como diabetes y cáncer a colon (Beyech & Abdissa, 2021).

Extracción de aceites esenciales: Los aceites esenciales son considerados como líquidos aromáticos grasos que son extraídos de diferentes partes de las plantas vegetales: tallo, hojas; flores y frutos, los aceites esenciales son volátiles que al elevar la temperatura se separan del material botánico. El aceite esencial se puede utilizar en las industrias: alimentaria, no alimentaria, cosmética y farmacéutica (Castillo, 2020).

Corteza deshidratada: La deshidratación es un efecto causado por la pérdida de agua de un material vegetal. La cáscara deshidratada de frutos cítricos se puede utilizar en diversos productos alimentarios y no alimentarios, siendo considerado como saborizante o conservantes naturales. Además, la cáscara deshidratada es una de las materias principales utilizados en la fabricación de pectina, el cual se utiliza en la industria alimentaria como espesante y texturizaste y en la industria farmacéutica se utiliza normalmente como aglutinante (Molina, 2018).

2.4. Métodos de extracción

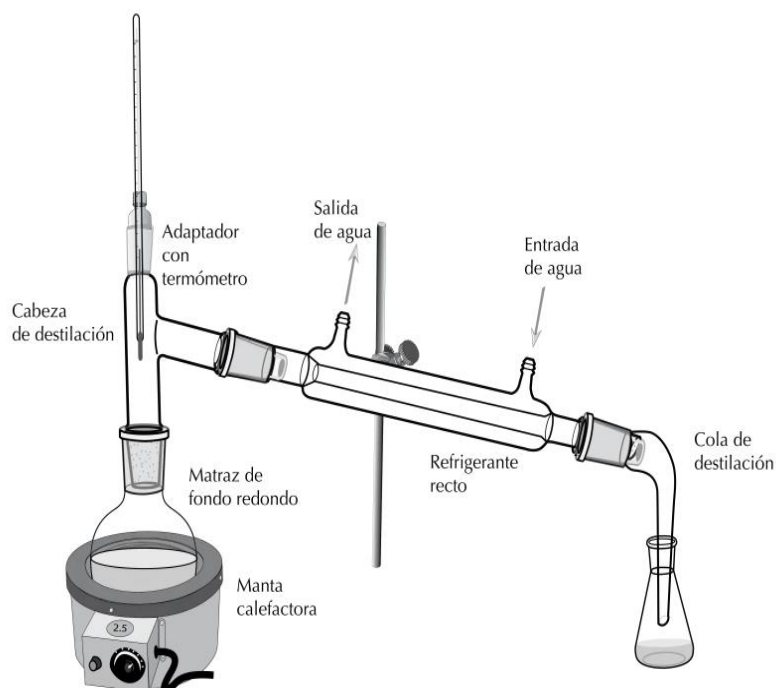
Los métodos empleados para la extracción de aceites esenciales son: destilación simple y destilación fraccionada. Para la obtención de aceites esenciales se toma en cuenta ciertos factores, como el tiempo de macerado, el porcentaje de agua, y sobre todo el tiempo a destilar, puesto que pueden alterar la composición de la calidad de aceite.

2.4.1. Destilación simple

El tipo de destilación simple se emplea cuando la materia a destilar contenga únicamente una o más sustancias volátiles, sin embargo, el punto de ebullición del material más volátil sea menor a 80 °C (Arapa, 2014).

Figura 9

Equipo de destilación simple



Nota. Partes del equipo de destilación simple. Tomado *Recursos Educativos de Química*, por De Química, (2022).

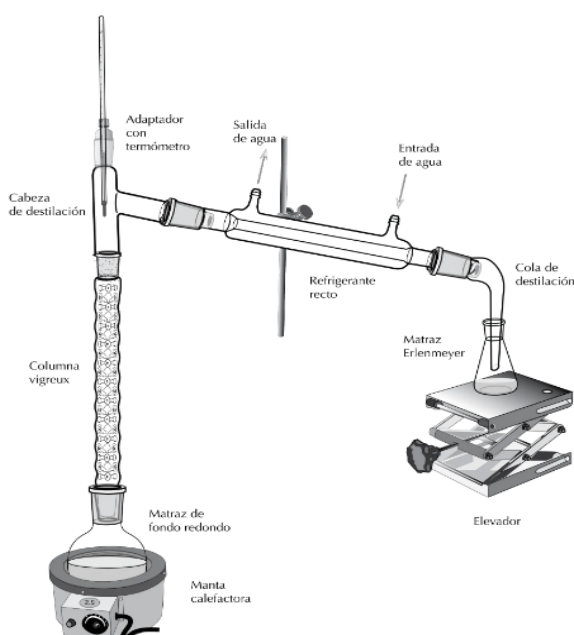
Vega (2019), en su investigación menciona que la destilación simple es el método de separación más utilizada en la obtención de esencias de especies vegetales, este método transfiere un calor frecuente el cual permite evaporar a la muestra. Montero (2016), la destilación simple o también llamada destilación sencilla se emplea para la separación de líquidos de una mezcla homogénea con punto de ebullición inferior a 150°C a presión atmosférica, este método se caracteriza por separar las sustancias no volátiles de otros líquidos miscibles y su punto de ebullición sean diferentes al resto en al menos 25°C.

2.4.2. Destilación fraccionada

El método de destilación fraccionada se emplea para la separación de diferentes fracciones volátiles con mayor proporción de componente oxigenados, este método se caracteriza por tener la columna o torre de destilación el cual ayuda a la alimentación constante del material vegetal, este tipo de destilación se utiliza cuando la materia a destilar contenga sustancias volátiles y su punto de ebullición sea menor a 82 °C (Arapa, 2014).

Figura 10

Equipo de destilación fraccionada



Nota. Partes del equipo de destilación fraccionada. Tomado de *Recursos Educativos de Química* por De Química, (2022).

De acuerdo a Gutiérrez & Tunqui (2017), en su investigación menciona que la destilación fraccionada o continua se basa en una alimentación constante y regulable del material a ser separado, con la ayuda de una columna o torren de destilación se separan las sustancias de diferentes fracciones obteniendo por un lado el componente más liviano y por el otro lado el componente más pesado. Montero (2016), el método de destilación fraccionada es utilizada para la separación de mezclas muy complejas y de volátil similar, este método es más eficaz puesto que tiene una columna de destilación, dentro de ello posee varios

platos, donde cada plato es equivalente a una redestilación y sobre todo hace que el producto destilado sea más puro, de 96 % de pureza con una sola destilación.

2.4.3. Proceso de extracción

La destilación es considerada como una operación unitaria que consiste en variar la temperatura, el cual permita separar mezclas comúnmente líquidas, de sustancias que tienen distintos puntos de ebullición o que se encuentren juntos. La destilación es utilizada en distintas industrias para refinar petróleo, purificar agua, producir licor, cerveza o vino, y sobre todo para producir diversos productos químicos (Rodríguez, 2015).

Casado (2018), menciona que la destilación es una técnica de separación que consiste en hacer hervir una mezcla de disolución con diferentes densidades, condensar por enfriamiento los vapores que producen, al hervir la mezcla se genera una corriente de vapor que conforme asciende por la columna se enriquece del componente más volátil, esta corriente se condensa en el condensador. Bautista (2020), una parte de este vapor condensado regresa a la columna como reflujo y otra parte es arrastrado como líquido destilado, la corriente de líquido de reflujo desciende por gravedad (del condensador hacia los platos) y se va enriqueciendo con el componente más pesado, para que posteriormente los aceites esenciales sean condensados y aislados.

2.4.4. Maceración

De acuerdo Moposita & Núñez (2012), la maceración es un proceso de extracción sólida - líquido que se lo realiza a temperatura ambiente, lo cual consiste en remojar la cáscara de limón en un solvente (agua destilada), utilizando bicarbonato de sodio como ablandador del tejido vegetal; se puede utilizar un recipiente con tapa en éste se colocan las cáscaras de limón con el disolvente a utilizar y el bicarbonato de sodio, tapado se deja en reposo por un tiempo de 8 a 12 horas con agitación esporádica.

2.4.5. Decantación

La decantación es un proceso físico, en este proceso se separa el aceite del agua por la discrepancia de densidades; la decantación estimula a los átomos de mayor densidad que el H₂O sedimenten en la parte inferior del decantador, el aceite y el agua sale del decantador de forma separada por el tubo estrecho de goteo, debido a la inmiscibilidad del solvente en el extracto será más fácil de aislar, el aceite extraído se debe conservar en un frasco ámbar debido que es un producto foto sensible (Pillasagua, 2021).

2.5. Aceites esenciales

Según Arévalo (2021), en la actualidad se define como aceites esenciales las fracciones líquidas volátiles, generalmente son extraídas por destilación simple y fraccionada, que tienen componentes encargados de la fragancia; tienen gran importancia en las industrias de cosméticos lo cual son empelados para perfumes, en la industria de alimentos utilizan como saborizantes y aromatizantes mientras que en la farmacología hacen uso de los aceites esenciales para saborizantes de jarabes.

Ccoñas (2012), indica que los aceites esenciales son conocidos también como aceites éteres o esencias es una mezcla compleja de sustancias aromáticas son obtenidos de materia prima vegetal, de las diferentes partes de las plantas como hojas, flores, tallos y frutos.

2.5.1. Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se clasifican de acuerdo a diferentes criterios según su consistencia, origen y naturaleza química:

Por su consistencia

- **Esencias fluidas:** Son sustancias líquidas que tienen volatilidad a temperatura ambiente.
- **Oleorresinas:** Tienen el aroma de la planta bien concentrada, generalmente son líquidos viscosos o sustancia semisólidas; por ejemplo, los colorantes y aceites fijos.
- **Bálsamos:** Son de consistencia más espesos tienen poca volatilidad y pueden sufrir reacciones y polimerizar; se obtienen de los árboles como del bálsamo de copaiba (Páez, 2013).

Por su origen

- **Aceites esenciales naturales:** Se extrae directamente de la planta, son de origen vegetal o a su vez puede ser de origen animal, la misma que no están sujetos a ninguna modificación fisicoquímico o químico.
- **Aceites esenciales sintéticos:** Son hechos por síntesis orgánicos, la misma que se puede obtenerse de los diferentes aceites esenciales, tales como compuestos ajenos a estos; se puede mencionar que estos compuestos son más baratos de

fabricar y por esta razón común mente se usan como agentes saborizantes y aromatizantes.

- **Aceites esenciales artificiales:** Es la combinación de las dos mezclas anteriores, también se obtienen por la preparación de mezclas de diferentes esencias naturales extraídas de distintas plantas, como el anetol que se agrega a una mezcla de esencia de rosa (Mendoza & Ventura, 2017).

Por su naturaleza química

La estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres principales grupos: Monoterpenoides (por ejemplo; la albahaca, hierbabuena y salvia), Sesquiterpenoides (por ejemplo; canela, clavo de olor y anís) y Compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos y cetonas) (Siancas, 2021).

2.5.2. Propiedades físicas de los aceites esenciales

Según Delgado (2018), detalla las siguientes propiedades físicas:

- ✓ Son líquidos y volátiles cuando se encuentran a temperatura ambiente.
- ✓ No tienen color cuando son recién extraídos.
- ✓ Tienen una densidad inferior a la del agua.
- ✓ Todos los aceites esenciales tienen un alto índice de refracción y fuerza de rotación.
- ✓ Son disolventes orgánicos, como (éter o cloroformo, y alcohol de alto grado) también se puede decir que es muy poco solubles en H₂O y solubles en grasas.
- ✓ Son solubles en alcoholes.

2.5.3. Propiedades químicas de los aceites esenciales

En sus investigaciones Mite et al. (2022), menciona que los componentes de los aceites esenciales se clasifican en no terpenoides y terpenoides.

No terpenoides: En este se agrupa a mezclas alifáticas de cada enlace, los componentes de los saborizantes, mezclas con azufre (S) y mezclas nitrogenadas (N); se puede indicar que no son de mayor importancia a diferencia de los isoprenoides en sus aplicaciones y usos.

Terpenoides o isoprenoides: Estos son los más importantes en cuanto a propiedades y comercialización; son petróleo que se hallan en vegetaciones, especialmente en especies citrus.

2.5.4. Caracterización de los aceites esenciales

a. Densidad relativa

Es la unión de la densidad de una sustancia y una densidad de referencia, por lo general es el H₂O; por lo tanto, la densidad relativa es un volumen adimensional, la variación de la densidad de las sustancias es probablemente pequeña (Moscoso & Ochoa, 2018).

b. Índice de refracción

En la gran mayoría de los aceites esenciales indican el índices de refracción; por lo que, es un parámetro que es utilizado para la determinación de la pureza de los aceites esenciales, para la determinación del índice de refracción se puede utilizar con un refractómetro (Franco, 2015).

c. Potencial de Hidrógeno - pH

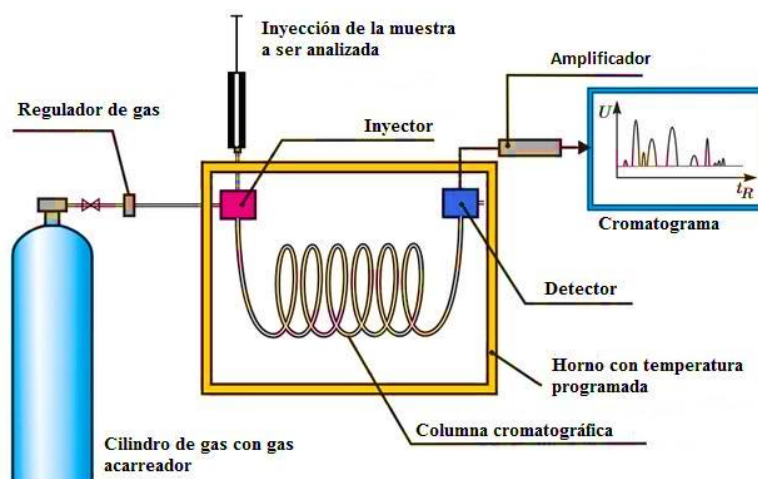
El pH es una abreviatura del potencial de hidrógeno; lo cual sirve para determinar la acidez y la alcalinidad de una sustancia de una solución, por lo tanto, las disoluciones con pH menores de 7 son acidas y alcalinas con un pH mayor de 7 (Palacios, 2018).

2.5.5. Cromatografía de gases

La GC es la técnica de separación de sustancias de estado gaseosa (estado estacionaria) pasa por una columna en estado líquida (fase móvil); esta técnica permite la identificación, purificación y cuantificación de los componentes fundamentado en las diferencias de volatilidad y solubilidad de la mezcla de los solutos a separar (Meza, 2017). Para el análisis de cromatografía de gases se necesita poca cantidad de muestra, cuando los compuestos son volátiles pueden llegar a ser analizadas a temperaturas de 350-400 °C, lo cual es capaz de detectar concentraciones a niveles de ppm y ppb; esta tiende aplicarse en controles de calidad de productos farmacéuticos, el análisis de drogas, determinación de contaminantes en estudios ambientales y alimentarios (Escobar & Velasco, 2022).

Figura 11

Esquema de las partes de una cromatografía de gases



Nota. Se describe los elementos principales presentes en la cromatografía de gases Meza (2017).

2.5.6. Aceites esenciales cítricos

De acuerdo a Lossi (2012), los aceites esenciales de cítricos son mezclas de diferentes sustancias químicas biosintetizadas por algunas plantas, que proporcionan el aroma característico que son procedentes de frutos, flores, arboles, especias, hierbas y semillas; estos son productos químicos intensamente aromáticos, no grasos, volátiles, alterables con la luz, insolubles en agua, livianos, solubles en alcohol, ceras y aceites vegetales; todos los aceites esenciales son antisépticos, pero cada uno cumple diferentes funciones en específicas, como fungicidas, analgésicos, expectorantes o diuréticos.

2.5.7. Calidad de los aceites esenciales cítricos

Según Martínez (2014), la calidad del aceite es dependiente de diferentes factores tales como las condiciones geobotánicas del medio (cantidad de lluvia tipo de suelo , altitud y clima) edad de la planta o fruto, método de siembra (abono, uso de fertilizantes, pesticidas, otros químicos), en la etapa de recolección, modo de recolección y almacenamiento del material vegetal (fresco, seco, fermentado) y procedimientos de obtención del aceites esenciales (prensado, destilación, maceración).

2.5.8. Aceite esencial del limón

Los aceites esenciales de limón son extraídos de sus cáscaras; son mezclas de sustancias volátiles, generalmente odoríferas, lipofílicas, líquidas, acarameladas e incoloras; los aceites obtenidos de la cáscara de limón son utilizados para dar sabor a las bebidas, también se hacen uso en la fabricación de medicamentos, cosméticos y perfumes; cabe mencionar que el limoneno tiene componentes con la mayor cantidad de aceite en la cáscara de limón (Herrera et al., 2019).

2.5.9. Requisitos físicos y químicos del aceite esencial del limón

Se muestra los parámetros físicos y químicos del aceite esencial del limón.

Tabla 7

Requisitos físicos y químicos del aceite esencial del limón

Definición	Mínimo	Máximo
Rotación óptica a 20 °C	+ 34,00°	+ 45,00°
Índice de refracción a 20 °C	1,47	1,47
Densidad relativa a 25 °C	0,85	0,86
Residuo a la evaporación, en %	0,20	2,20
Contenido de aldehídos, en %	0,50	2,00
Solubilidad en etanol de 90 % v/v	0,50	5,00

Nota. Descripción de la Normativa mexicana del aceite esencial del limón, por NMX-F-062 (1974), Tomado de Castillo (2020).

2.6. Usos del aceite esencial de cítricos

En actualidad diferentes industrias emplean los aceites esenciales para impartir aromas; a continuación, se puede detallar algunas de las industrias que son partícipe.

- **Perfumes:** Son utilizados para acentuar el aroma de aguas de perfumes, aguas de tocador, aguas de baño y aguas de colonia.
- **Cosméticos:** Para que su solución sea más agradable, atractivo o para poder identificar un producto cosmético: champú, jabones, desodorantes, labiales.
- **Farmacología:** Son utilizado para la obtención de diferentes principios activos como mezclas y saborizantes que son incluidos en la elaboración de jarabes, suspensiones, elixires (Andrade, 2016).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la investigación

La presente investigación realizó en el laboratorio de extractos del Complejo Agroindustrial de la Carrera de Agroindustria y en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente.

3.2. Localización de la investigación

Tabla 8

Localización de la investigación

Provincia	Bolívar
Cantón	Guaranda
Parroquia	Veintimilla
Sector	Laguacoto II
Dirección	Laguacoto II. (Km.1 1/2 Vía San Simón)

Nota. Tomado del PODT de la provincia Bolívar.

3.3. Situación geográfica y climática

Tabla 9

Aspectos generales del territorio

Parámetro	Valor
Altitud	2612msnm
Latitud	01°36'40''sur
Longitud	78°59'50''oeste
Temperatura mínima	8 °C
Temperatura media anual	13 °C
Temperatura máxima	26,44 °C
Heliofanía	900 horas/luz/año
Humedad	30 %

Nota. Tomado de estación metodológica, Laguacoto II. UEB (2022).

3.4. Zona de vida

La investigación en estudio se encuentra en la zona de vida De acuerdo a Holdridge, L. bosque húmedo montano bajo (BHMB).

3.5. Materiales

3.5.1. Material experimental

- Limón Sutil (*Citrus aurantifolia swingle*)
- Limón Mandarino (*Citrus limonia*)
- Limón Real (*Citrus limonum*)
- Limón Tahití (*Citrus latifolia*)







3.5.2. Materiales de laboratorio

- Matraz
- Vaso de precipitación de 25mL, 50mL, 100mL
- Probetas
- Pipetas
- Balones de aforo
- Soportes metálicos
- Envases de color ámbar
- Decantadores
- Gradillas
- Cuchillos
- Tabla de picar
- Embudo
- Pinza
- Desecador
- Crisoles
- Bandejas plásticas

3.5.3. Equipos

Tabla 10

Equipos utilizados en el laboratorio

Equipo	Modelo	Función	Imagen
Estufa	MEMMERT	<ul style="list-style-type: none"> • Esterilizar • Secar • Incubar 	
Mufla	SNOL, 8,2/1110	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de altas temperaturas • Pruebas de calentamiento • Incineración de muestras orgánicas e inorgánicas 	
Balanza analítica	RADWAG	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar muestras 	
Balanza luz alógena	METTLER TOLEDO	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el porcentaje de agua • Pesar muestras 	
Equipo de destilación simple	LAB CLASS	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción de aceites y esencia 	
Equipo de destilación fraccionada	LAB CLASS	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción de aceites y esencias 	

3.5.4. Reactivos

- Agua destilada (H₂O)
- Bicarbonato de sodio (NaHCO₃)

3.5.5. Material de oficina

- Computadora
- Teléfono celular
- Calculadora
- Impresora
- USB
- Lápiz
- Portafolio
- Tijera
- Regla
- Internet
- Libreta de apuntes

3.6. Métodos

3.6.1. Factores de estudio

Los factores de estudio considerados para la investigación son los siguientes:

Tabla 11

Factores de estudio

Factor	Código	Niveles
Variedad de limón	A	a ₁ : Limón Sutil (<i>Citrus aurantifolia swingle</i>) a ₂ : Limón Mandarinino (<i>Citrus limonia</i>) a ₃ : Limón Real (<i>Citrus limonum</i>) a ₄ : Limó Tahití (<i>Citrus latifolia</i>)
Maceración, agua destilada + bicarbonato de sodio (0,7%)	B	b ₁ : 8 h b ₂ : 12 h
Métodos de extracción	C	c ₁ : Destilación simple c ₂ : Destilación fraccionada

3.6.2. Tratamientos

Para determinar los tratamientos de obtención de aceite esencial se combinó los factores AxBxC con sus diferentes niveles.

Tabla 12

Tratamientos del estudio

Tratamientos	Código	Niveles		
		A	B	C
1	$a_1b_1c_1$	Limón Sutil	8 h	Destilación simple
2	$a_1b_1c_2$	Limón Sutil	8 h	Destilación fraccionada
3	$a_1b_2c_1$	Limón Sutil	12 h	Destilación simple
4	$a_1b_2c_2$	Limón Sutil	12 h	Destilación fraccionada
5	$a_2b_1c_1$	Limón Mandarino	8 h	Destilación simple
6	$a_2b_1c_2$	Limón Mandarino	8 h	Destilación fraccionada
7	$a_2b_2c_1$	Limón Mandarino	12 h	Destilación simple
8	$a_2b_2c_2$	Limón Mandarino	12 h	Destilación fraccionada
9	$a_3b_1c_1$	Limón Real	8 h	Destilación simple
10	$a_3b_1c_2$	Limón Real	8 h	Destilación fraccionada
11	$a_3b_2c_1$	Limón Real	12 h	Destilación simple
12	$a_3b_2c_2$	Limón Real	12 h	Destilación fraccionada
13	$a_4b_1c_1$	Limó Tahití	8 h	Destilación simple
14	$a_4b_1c_2$	Limó Tahití	8 h	Destilación fraccionada
15	$a_4b_2c_1$	Limó Tahití	12 h	Destilación simple
16	$a_4b_2c_2$	Limó Tahití	12 h	Destilación fraccionada

3.6.3. Característica del experimento

Se procedió a detallar las características de la experimentación, se evidencia el número de factores, niveles de cada factor, réplica y lo más importante el tamaño de la muestra aplicada al estudio.

Tabla 13*Criterio del experimento*

Criterio	
Factores experimentales	3
Niveles factor A	4
Niveles factor B	2
Niveles factor C	2
Réplicas	3
Unidades experimentales	48
Variables respuestas	4
Tamaño de unidad experimental	200 g

Nota: Las variables respuestas son volumen, rendimiento, densidad y pH.

3.6.4. Diseño experimental

El modelo aplicado para la presente investigación fue un diseño en arreglo factorial $A \times B \times C$ ($4 \times 2 \times 2$) con tres repeticiones, se presenta el modelo matemático:

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

Donde:

Y_{ijkl} : Variable sujeta de medición.

μ : Media general.

α_i : Efecto debido al i -ésimo nivel del factor A.

β_j : Efecto del j -ésimo nivel del factor B.

γ_k : Efecto del k -ésimo nivel del factor C.

$(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$, $(\beta\gamma)_{jk}$: Efecto de interacción doble en los niveles ij , ik , jk .

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: Efecto de interacción triple en la combinación ijk .

ε_{ijkl} : Error aleatorio.

l : Repeticiones o réplicas.

3.7. Modelo de análisis de varianza (ANOVA)

Se aplicó el siguiente modelo de análisis de varianza (ANOVA):

Tabla 14

Modelo de análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p
Efecto A	SC _A	a-1	CM _A	CM _A /CM _E	P(F > F ₀ ^A)
Efecto B	SC _B	b-1	CM _B	CM _B /CM _E	P(F > F ₀ ^B)
Efecto C	SC _C	c-1	CM _C	CM _C /CM _E	P(F > F ₀ ^C)
Efecto AB	SC _{AB}	(a-1)(b-1)	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P(F > F ₀ ^{AB})
Efecto AC	SC _{AC}	(a-1)(c-1)	CM _{AC}	CM _{AC} /CM _E	P(F > F ₀ ^{AC})
Efecto BC	SC _{BC}	(b-1)(c-1)	CM _{BC}	CM _{BC} /CM _E	P(F > F ₀ ^{BC})
Efecto ABC	SC _{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	CM _{ABC}	CM _{ABC} /CM _E	P(F > F ₀ ^{ABC})
Error	SC _E	abc(n-1)	CM _E		
Total	SC _T	abcn-1			

3.7.1. Modelo de pruebas de rangos múltiples

Se aplicó el método de la deferencia mínima significativa (LSD), para probar la igualdad de todo los posibles pares de medias:

Método LSD (diferencia mínima significativa)

$$\text{LSD} = |\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\text{CM}_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

Donde:

LSD_A : Valor de la diferencia mínima significativa.

$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$: Valor absoluto entre las medias muestrales.

$t_{(\frac{\alpha}{2}, N-k)}$: Distribución T de Student con N-k grados de libertad que corresponden al error.

CM_E : Cuadrado medio del error que se obtiene de la tabla de ANOVA.

n_i, n_j : El número de observaciones para los tratamientos i y j .

3.8. Metodología experimental

3.8.1. Caracterización física del limón

- **Peso (g)**

Se pesaron 60 frutos de limón fresco tomados al azar de manera individual, en una balanza analítica, se registraron los pesos de manera directa a una base de datos.

- **Diámetro polar (mm)**

Con un equipo pie de rey, se midió en forma individual a los frutos el ápice hasta la base; la determinación se realizó en 60 frutos por cada variedad y se registró los datos en una base de datos.

- **Diámetro ecuatorial (mm)**

Esta determinación se realizó de forma individual en los mismos 60 frutos de cada variedad. Se colocó horizontalmente el ápice de cada fruto de limón en el pie de rey.

- **% sólidos solubles (Brix)**

Se tomó 60 frutos por cada variedad. Se procedió a extraer el jugo de limón, haciendo uso del exprimidor de palanca para cítricos. Para la determinación de grados Brix se utilizó el refractómetro de mano previamente se limpió con algodón impregnado en alcohol; por consiguiente, se calibró el equipo colocando una gota de agua destilada en el prisma, posteriormente se colocó en el prisma una gota de la muestra de jugo de limón a analizar, finalmente se realizó la lectura de grados Brix, los datos obtenidos se los paso a Microsoft Excel para sus respectivos cálculos.

- **pH**

Se determinó, utilizando el jugo de limón extraído de los 60 frutos mencionados anteriormente, mediante el uso del potenciómetro en el laboratorio de Investigación.

Siguiendo los siguientes lineamientos:

- Se cortó la fruta por la mitad,
- Se obtuvo 50 ml de jugo de limón de la muestra en un vaso con ayuda de un colador se retiraron las pepas,
- Se realizó la lectura del pH introduciendo el electrodo, en el contenido,

- Luego de leer el pH los datos fueron pasados al Microsoft Excel,
- Se lavó el electrodo con agua destilada.

3.8.2. Caracterización química de limón

3.8.3. Análisis proximal

- **Humedad**

La metodología empleada fue UNE-EN ISO 18134-2 (2017).

Se colocó 1,017 g de muestra (cáscara de las variedades del limón) en cada una de los crisoles vacíos, seguidamente con una pinza se colocó en una estufa de la marca MEMMERT a 105 °C por 24 h. Posteriormente se retiran los crisoles con las muestras y se trasladan al desecador por 10 min hasta obtener un peso constante. Todos estos análisis se realizaron por triplicado, los resultados expresados en porcentaje del peso total.

Para el cálculo del % de humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \left[\frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \right] * 100$$

Donde:

m_1 : Masa del recipiente de secado vacío (g).

m_2 : Masa del recipiente de secado y de la porción de ensayo antes del secado (g).

m_3 : Masa del recipiente de secado y de la porción de ensayo después del secado (peso cuando aún está caliente) (g).

- **Cenizas**

Se aplicó el método UNE-EN ISO 18122 (2016).

Se colocó 1,017 g de muestra (cáscara de las variedades de limón) en cada uno de los crisoles vacíos, con una pinza los crisoles fueron colocados en la mufla horno a una temperatura de 550 °C por 1 hora. Para finalizar las muestras fueron colocada en un desecador por 10 min hasta que se enfrié y tener un peso constante.

Para el cálculo del % de cenizas se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \left[\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right] * 100 * \frac{100}{100 - H}$$

Donde:

m_1 : Masa del plato vacío (g).

m_2 : Masa del plato más la porción de ensayo (g).

m_3 : Masa del plato más la ceniza (g).

% H: es el contenido de humedad en porcentaje de la porción de ensayo usada para la determinación.

- **Volátiles totales**

Se aplicó el método UNE-EN ISO 18123 (2015).

Se colocó 1,053 g de muestra de (cáscaras del limón) en cada uno de los crisoles vacíos con tapa, tomando con una pinza se colocó en la estufa a temperatura de 900 °C durante 7 min. Transcurrido ese tiempo se retira los crisoles y se coloca en un desecador por 10 min. Luego se pesa el crisol con las muestras para obtener un peso final constante.

Para determinar el % de volátiles totales se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Volátiles totales} = \left[\frac{100 * (m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{ad} \right] * \left(\frac{100}{100 - H} \right)$$

Donde:

m_1 : Masa del crisol vacío y su tapa (g).

m_2 : Masa del crisol, su tapa y la porción de ensayo antes del calentamiento (g).

m_3 : Masa del crisol, su tapa y el residuo después del calentamiento (g).

% H: Humedad, como porcentaje en masa, de la porción de ensayo determinada según la Norma ISO 181 34-3.

3.8.4. Análisis elemental

Se realizó el análisis elemental para la determinación de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno, Azufre (C, H, N, S), se utilizó biomasa seca de la cáscara de las variedades del limón, se detalla los siguientes pasos:

- La muestra seca se trituró en un molino hasta que se convierta en polvo,
- Se pasó la muestra a través de un tamiz de 0,25 mm,
- Se preparó las láminas de titanio y zinc para la muestra,
- Según el método de análisis a emplear en el analizador se pesó una cantidad de 20 mg a 100 mg en la balanza,
- El peso total de la muestra contiene las dos terceras partes de reactivo de (óxido de tungsteno) y una tercera parte de biomasa seca,
- Una vez anotado el peso de la biomasa, con el reactivo ya colocado en la lámina, se procedió al cierre de la misma con la ayuda de una prensa manual,
- Por último, se colocó las pastillas en el Analizador elemental para su determinación.

3.9. Proceso de extracción de aceite esencial del limón

Para la obtención de aceites esenciales se aplicó el siguiente proceso:

3.9.1. Descripción y diagrama de flujo del proceso

- a. Recepción y preparación de la materia prima
- b. Selección
- c. Troceado de la cáscara de limón
- d. Maceración
- e. Triturado
- f. Destilación
- g. Decantación y separación
- h. Envasado
- i. Almacenamiento

A continuación, se describe cada uno de las etapas del proceso de destilación.

- **Recepción y preparación de la materia prima**

El material experimental de limón (*Citrus limon*) es procedente del cantón Echeandía, Caluma y las Naves, provincia de Bolívar - Ecuador. Se recibió la materia prima en la planta de la Universidad y se colocó en gavetas para facilitar su manejo. Los limones fueron lavados para quitar cualquier suciedad que pueda afectar a la composición del aceite esencial. Para esto se colocó los limones en el lavamanos y se los lavó una por una con agua de la llave.

- **Selección**

Para este proceso se seleccionó próximamente 60 limones que estuviesen en buen estado separándolos de las impurezas y de los tallos que posee este fruto para evitar cualquier impureza en el producto final del aceite esencial.

- **Troceado**

Para la realización de esta etapa se pelaron 20 limones para cada extracción realizada teniendo cuidado de sacar sólo la parte del flavedo que es donde se encuentra el aceite esencial de limón. Una vez obtenida la cantidad necesaria de cáscara de limón se procede a trocear para esto se utilizó una tabla de picar y un cuchillo, obteniendo pequeñas partículas y se procedió a pesar 200 g de materia prima.

- **Maceración**

En frascos separados se colocó 200 g de cáscara picada y 250 mL de agua destilada al 0,7 de bicarbonato de sodio (este se ubicó en todos los frascos), durante 8 y 12 horas para para cada extracción.

- **Triturado**

Para la realización de este paso se utilizó una licuadora en el que realizamos un leve triturado a la cáscara, para mayor facilidad de extracción del aceite esencial, una vez que esté semi-triturado lo pasamos al balón para comenzar la destilación.

- **Destilación**

Se colocó el licuado en un balón de destilación, a esto se le agregó el 15% de agua destilada en relación de la cáscara, se procedió a encender el equipo para llegar al punto de ebullición.

- **Decantación y separación**

Una vez terminado la destilación, es colocado en un embudo de decantación con tapa, para lograr la facilidad de separación de agua y el aceite se dejó en reposo por 24 horas, para la separación de las dos capas de acuerdo a las densidades lo cual se obtiene que el aceite es la capa superior y capa inferior el agua.

- **Envasado**

Toda la muestra del aceite esencial 100% puro se colocó en frascos color ambar, rotulados para cada tratamiento para posteriormente evaluar el rendimiento.

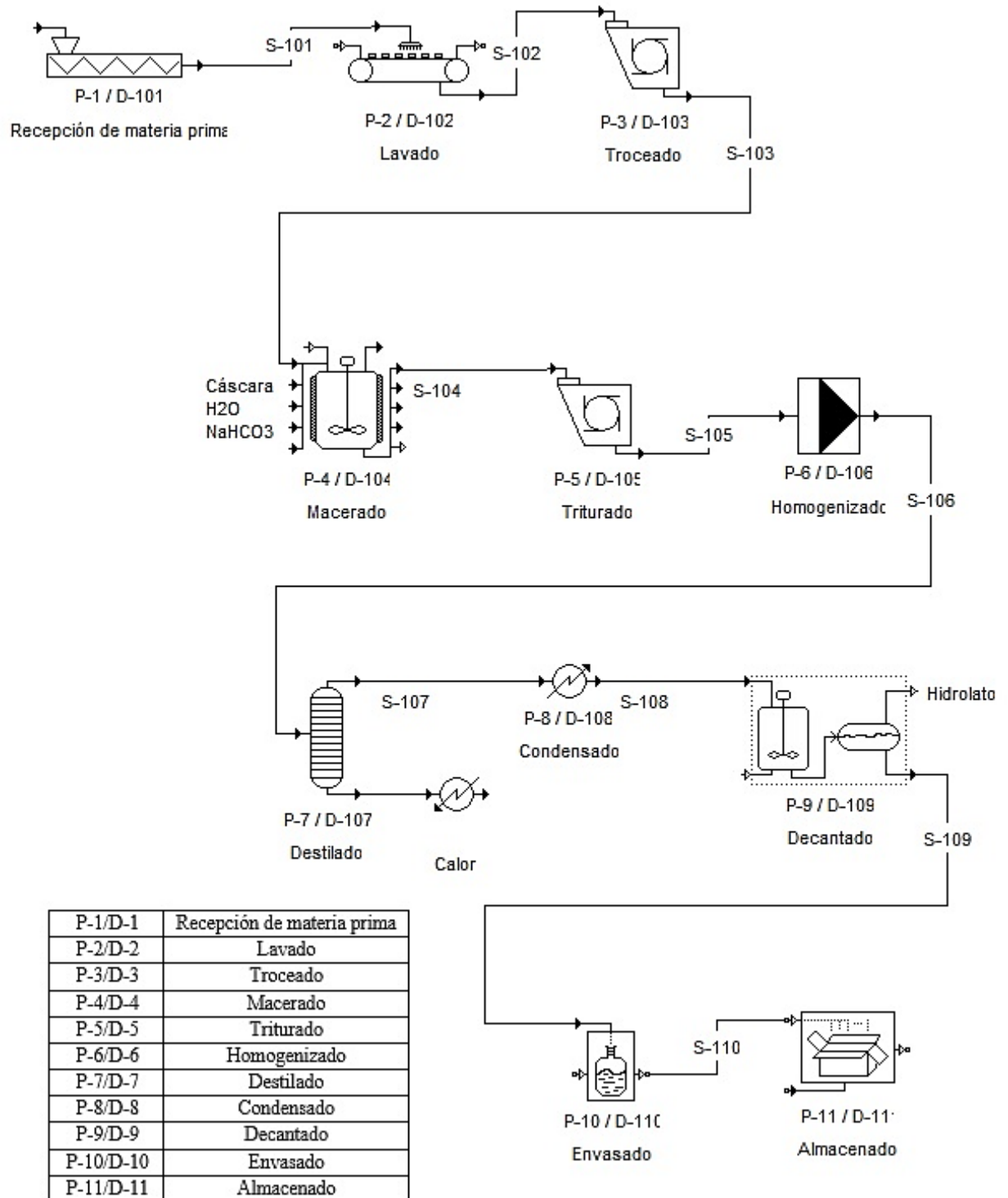
- **Almacenamiento**

Se colocó las muestras en un lugar fresco, seco y limpio a una temperatura menor a 20 °C y mayores a 4 °C.

3.9.2. Diagrama de proceso de extracción del aceite esencial

Figura 12

Etapas del enfoque ingenieril para la extracción de aceite esencial



3.10. Evaluación de la calidad del aceite esencial

3.10.1. Determinación de la densidad del aceite esencial

La densidad se lo realizó una vez extraído el aceite esencial a partir de las cuatro variedades utilizados en la investigación y así obtener el parámetro de calidad basándose en los resultados que se obtuvieron en la fase de campo y posterior comparación con la Normativa mexicana (NMX-F-062 -1974).

La densidad absoluta a 25 °C se calculará por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{25} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

Donde:

P_{25} : Densidad relativa a 25 °C.

m_2 : Masa en gramos del picnómetro lleno de muestra.

m_1 : Masa en gramos del picnómetro lleno de agua.

m_0 : Masa en gramos del picnómetro vacío.

La densidad relativa es adimensional y se debe expresar con tres cifras decimales.

- **pH**

Se determinar el pH de los aceites esenciales de limón, extraídos se utilizó el pH-metro digital respectivamente calibrado, este se sumergió en 3 mL de cada muestra donde automáticamente arrojó los respectivos valores.

3.10.2. Determinación por cromatografía de gases (GC-MSD)

Para la determinación de los compuestos volátiles del aceite esencial extraído de la cáscara de limón por destilación fraccionada se realizaron en un espectrómetro de masas.

Para la obtención de compuestos volátiles se pesó 3 μ L de aceite esencial de limón en viales ámbar de cromatografía y se añadió 1 mL de solución estándar de nonano con ciclohexano, la cual se preparó de la siguiente manera; se empleó 10 μ L de nonano y se aforó en un balón de 10 mL con ciclohexano, el cual pesó 7 mg, se inyectó 1 μ L de muestra en modo de splitless, la T de inyección ocurrió de 250 °C, la temperatura de horno ocurrió en 50 °C durante 3 minutos, con una rampa de temperatura de 3°C/min hasta 230 °C durante 3 minutos. Se utilizó una columna DB-5MS (30 m \times 0.25 mm \times 0,25 mm \times μ m).

3.11. Modelamiento del proceso de extracción de aceite esencial

El modelamiento consiste en hacer una predicción cuantitativa de los procesos realizados a nivel laboratorio. Para modelar el proceso de destilación simple y fraccionada, se tomó en cuenta la cantidad del aceite esencial extraído cada 10 minutos, puesto que esto permite correlacionar los datos experimentales con los modelos matemáticos utilizados.

3.11.1. Modelos matemáticos para la cinética de extracción

Se modeló la cinética de extracción de los aceites esenciales, con el cual se ajustó los datos a cuatro modelos matemáticos (Henderson and Pabis, Tipo Exponencial, Von Bertalanffy y Multiplicativo), puesto que el comportamiento de la cinética de extracción se asemeja a estas ecuaciones:

Henderson and Pabis

$$m_{a/t} = a * e^{-k*t}$$

Donde:

a : Constante cinética de masa (g).

k : Constante cinética de velocidad (min).

t : Intervalo de tiempo (min).

Exponencial

$$m_{a/t} = e^{-a-k*t}$$

Donde:

a : Constante cinética de masa (g).

k : Constante cinética de velocidad (min).

t : Intervalo de tiempo (min).

Von Bertalanffy

$$m_{a/t} = a * e^{-k*t} + b$$

Donde:

a, b: Constante cinética de masa (g).

k: Constante cinética de velocidad (min).

t: Intervalo de tiempo (min).

Multiplicativo

$$m_{a/t} = e^{a-k*\ln(t)}$$

Donde:

a: Constante cinética de masa (g).

k: Constante cinética de velocidad (min).

t: Intervalo de tiempo (min).

3.11.2. Modelos matemáticos para el rendimiento

Se modeló la cinética de rendimiento del aceite esencial extraído cada 10 minutos, se ajustó datos a los modelos matemáticos de (Monod, Teissier, Gompertz y Moser), puesto que el comportamiento de la curva de rendimiento se asemeja a las siguientes ecuaciones:

Ecuación de rendimiento porcentual (Experimental)

El rendimiento de aceite esencial de limón tuvo la finalidad de cuantificar el volumen final obtenido mediante los dos métodos como es destilación simple y fraccionada, el mismo que contribuyó determinar la eficiencia de los diferentes tratamientos planteados. Este cálculo se desarrolló mediante la aplicación de una ecuación y se reportó como porcentaje (%) de aceite extraído, según se especifica a continuación;

$$R = \left(\frac{M_a}{M_{mp}} \right) \times 100$$

Donde:

R: Es el rendimiento (%).

M_a : Es la masa del aceite esencial (g).

M_2 : Es la masa de la materia prima (g).

100: Es un factor matemático.

Ecuación de Monod

$$R = \frac{R_{max} * t}{k + t}$$

Donde:

R_{max} : Es el rendimiento máximo (%).

k : Es una constante cinética (min).

t : Es el transcurso de tiempo (min).

Ecuación de Teissier

$$R = R_{max}(1 - e^{-t/k})$$

Donde:

R_{max} : Es el rendimiento máximo (%).

k : Es una constante cinética (min).

t : Es el transcurso de tiempo (min).

Ecuación de Gompertz

$$R = R_{max} * e^{-e^{b-k*t}}$$

Donde:

R_{max} : Es el rendimiento máximo (%).

k, b : Es una constante cinética (min).

t : Es el transcurso de tiempo (min).

Ecuación de Moser

$$R = \frac{R_{max} * t^n}{k + t^n}$$

Donde:

R_{max} : Es el rendimiento máximo (%).

k : Es una constante cinética (min).

t : Es el transcurso de tiempo (min).

n : Constante cinética.

3.12. Elaboración de un producto agroindustrial a base de aceite esencial

En lo que concierne a la investigación sobre los aceites esenciales de cítricos, se usan en muchos ámbitos como aromatizantes y en perfumería, específicamente el aceite extraído de limón, existen reportes de sus múltiples propiedades antimicrobianas contra microorganismos patógenos (Montero, 2009). Por sus múltiples propiedades, se escoge elaborar un jabón de tocador en barra.

3.12.1. Procedimiento para la elaboración de un jabón en barra

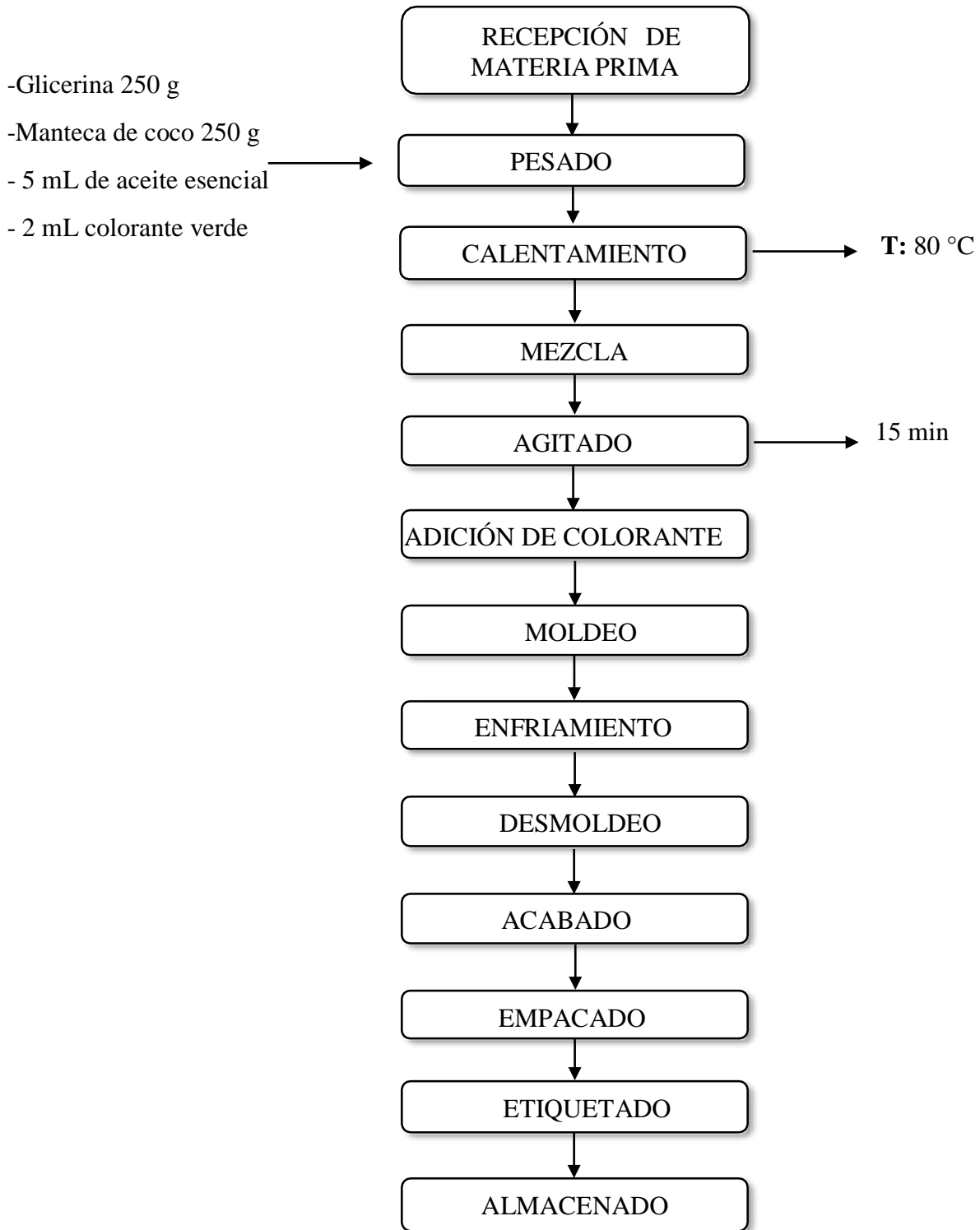
- **Recepción de materia prima.** Se obtuvo el aceite esencial de limón.
- **Pesado.** Se pesaron 250 g de manteca de coco y 250 g de glicerina. Se lo realizó utilizando una balanza gramera.
- **Calentamiento.** Esta operación que se realizó mediante baño maría a una temperatura de 80 °C para ser disuelto.
- **Mezclado.** Se mezcló 5 mL de aceite esencial y se agito por 15 min, se incorporaron entre sí, para formar la mezcla definitiva para el jabón.
- **Agitado.** Esta operación se realizó mediante agitación manual, con la finalidad de alcanzar la temperatura óptima (85 °C).
- **Adición de colorante.** En la mayoría de jabones de tocador, se utilizan colorantes para mejorar la estética del producto. En este caso únicamente se utilizó 2 mL colorante verde en el jabón, por ser un producto cosmético.
- **Moldeo.** Una vez alcanzada la temperatura y la consistencia adecuada de la mezcla, el jabón se colocó en moldes de 50 mL de capacidad.

- **Enfriamiento.** Se dejó enfriar a temperatura ambiente para que se desarrolle sus propiedades más importantes como son: consistencia, color, y olor, debido a que, por acción del cambio de temperatura, dichas propiedades se ven modificadas.
- **Desmoldeo.** Para desmoldar, se presionó en la parte central del molde. Una vez que el producto estuvo listo se retiró con facilidad sin que se afecte su forma y textura.
- **Acabado.** Consistió en pulir el jabón frotándolo con un trapo de algodón o una esponja humedecidos con alcohol (etanol o alcohol isopropílico).
- **Empacado.** Se colocó el producto obtenido en un envase plástico y se selló el envase.
- **Etiquetado.** Se procedió a etiquetar la misma que contiene información detallada del producto.
- **Almacenado.** Finalmente se procedió a almacenar a temperatura ambiente.

3.12.2. Diagrama de flujo de la elaboración de jabón en barra

Figura 13

Diagrama de flujo para la elaboración de jabón en barra



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas y químicas de las variedades del limón

4.1.1. Propiedades físicas

En la siguiente tabla se da a conocer los valores promedios de las propiedades físicas.

Tabla 15

Valores de las propiedades físicas de las variedades del limón

Parámetros	Variedades de limón			
	Sutil	Mandarino	Real	Tahití
Peso (g)	44,60	189,90	245,30	246,20
Diámetro polar (mm)	43,00	60,29	84,85	82,69
Diámetro ecuatorial (mm)	42,93	70,93	80,58	77,36
% sólidos solubles (Brix)	6,90	6,74	5,95	5,32
pH	2,26	2,30	2,39	2,23

En la tabla 15 se detallan los resultados de los análisis físicos de las cuatro variedades de limón en lo relacionado a peso, diámetro polar, diámetro ecuatorial, % sólidos solubles y pH. En la variedad de limón Sutil los valores promedios son: peso 44,60 g, diámetro polar 43 mm, diámetro ecuatorial 42,93 mm, % sólidos solubles 6,90 y pH 2,26. Puente (2011), analizó los mismos parámetros de la variedad limón sutil: peso 33,48 mm, diámetro polar 3,86 mm, diámetro ecuatorial 3,98 mm, % sólidos solubles 3,37 y pH de 7,72. Orrala et al. (2012), reportó un: peso 31,65 g, diámetro 3,82mm, % sólidos solubles 8,28. En la investigación realizado por Quirumbay (2021), obtuvo valores de: peso 37,10 g y el diámetro 4,03 mm. Estos valores reportados por los autores mencionados varían con respecto a los datos de esta investigación.

Para la variedad de limón Mandarino se observa los valores promedios: peso 189,90 g, diámetro polar 60,29 mm, diámetro ecuatorial 70,93 mm, % sólidos solubles 6,74 y pH 2,30, los datos encontrados son superiores a la investigación de Rocha (2020), con peso de 108,5 g, % sólidos solubles 6,23 y pH de 1,99. Alcívar (2022), en su investigación

detalla el único valor del diámetro 3 - 4 cm, no se encuentran referencias bibliográficas para esta variedad limón Mandarino.

Para la variedad de limón Real se evidencia resultados del peso fue 245,30 g, diámetro polar 84,85 mm, diámetro ecuatorial 80,58 mm, grados brix 5,95 y pH 2,39. Domínguez (2013), indica valores de: peso promedio 7 - 12 cm, para la variedad limón Real. no se encontraron referencias bibliográficas, por tanto, es la primera investigación en realizar de esta variedad.

Para la variedad de limón Tahití se obtuvo un peso de 246,20 g, diámetro polar 82,69 mm, diámetro ecuatorial 77,36 mm, % sólidos solubles 5,32 y pH de 2,23, valores superiores con relación a los datos obtenidos por Arévalo et al. (2016), donde obtuvieron: peso 103,91 g, diámetro polar 5,56 cm, diámetro ecuatorial 5,02 cm. En la investigación de Almeida et al. (2021), sus datos fueron: peso 186,97 g, diámetro 68,96 mm, % sólidos solubles 7,75, pH 1,24 - 1,29; en otro estudio los valores son similares a los analizados por Sindhu & Singh (2018), encontrándose valores de: % sólidos solubles 7 y pH 1,96, se comprueba que existe diferencia entre los valores obtenidos de nuestra investigación.

4.1.2. Propiedades químicas

4.1.2.1. Análisis proximal de la cáscara del limón

Tabla 16

Análisis proximal de la cáscara del limón

Variables	Método	Variedades de limón			
		Sutil	Mandarino	Real	Tahití
Humedad (%)	UNE – ISO 18134-2	83,30	79,94	86,21	82,76
Cenizas (%)	UNE – ISO 18122	4,55	5,48	4,40	4,99
Volátiles totales (%)	UNE – ISO 18123	84,45	80,04	82,74	87,93

En la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos del análisis proximal de la cáscara de limón. Para la humedad el limón Sutil 83,30 % Mandarino 79,94 % Real 86,21 % y Tahití 82,76 %. Según Pham et al. (2020), en su estudio obtuvo datos inferiores para humedad 60,96 %. Ghanem et al. (2012), obtuvo 75,04 % de humedad en cáscaras frescas de la variedad lunario. Ozcan et al. (2021), reportó 82,08 % de humedad para la variedad de

limón Mandarino. La variación de los resultados, difieren con los encontrados de otros autores.

En cenizas la variedad de limón Sutil fue de 4,55 %, Mandarino 5,48 %, Real 4,40 % y Tahití 4,99 %. Janati et al. (2012) & Ahmed et al. (2016), en sus estudios reportaron valores superiores a los reportados en la tabla 16, Sutil 6,26 % y 6,58 %. Jiménez et al. (2021), reporta valores en la variedad Tahití de 3,69 %; Akhtar et al. (2020), reportaron para la variedad Real 3,39 %; los valores mencionados son inferiores a los mencionados en el presente estudio.

El porcentaje de volátiles totales determinado en el limón Sutil fue de: 84,45 %, Mandarino 80,04 %, Real 82,74 % y Tahití 87,93 %; no se reportan datos bibliográficos por lo cual es la primera investigación en realizar este parámetro de estudio.

4.1.2.2. Análisis elemental de la cáscara del limón

Tabla 17

Análisis elemental de la cáscara del limón

Propiedades	Método	Variedad de limón			
		Sutil	Mandarino	Real	Tahití
Carbono (%)	UNE-EN-15104	42,00	42,07	42,06	42,03
Hidrógeno (%)		6,30	6,31	6,37	6,35
Nitrógeno (%)		0,90	0,94	0,95	0,91
Azufre (%)		0,00	0,00	0,00	0,00

En la tabla 17 se detallan los valores obtenidos del análisis elemental de la cáscara del limón, se muestra el % de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre.

Rojas & Flórez (2019), analizó las mismas variedades, encontrándose valores de carbono 48,20 %, hidrógeno 6,02 %. Lema (2021), analizó los mismos parámetros encontrando datos superiores de carbono 43,64 %, hidrógeno 6,48 %. En otros estudios los datos encontrados por Adeniyi et al. (2019), fue nitrógeno 1,27 %, azufre 0,19 %, inferior a los valores obtenidos por Chiodo et al. (2017), con 1,3 % de nitrógeno y 0,1 en azufre. Meseldzija et al. (2019), sus datos de estudio fue 0,83 % de nitrógeno y 0 % de azufre.

4.2. Extracción de aceite esencial del limón

Se reporta los resultados del proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de limón, por medio de destilación simple y fraccionada.

4.2.1. Análisis de varianza de volumen del aceite esencial

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al volumen extraído de las cuatro variedades de limón.

Tabla 18

Análisis de varianza de la extracción de aceite esencial del limón

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A: Variedades del limón	3	2,8808	0,9603	13,4800	0,0000**
B: Maceración	1	0,0075	0,0075	0,1100	0,7477 ns
C: Métodos de extracción	1	1,4008	1,4008	19,6600	0,0001**
Interacciones					
AB	3	0,1242	0,0414	0,5800	0,6318 ns
AC	3	0,0042	0,0014	0,0200	0,9962 ns
BC	1	0,0075	0,0075	0,1100	0,7477 ns
ABC	3	0,5475	0,1825	2,5600	0,0722 ns
Residuos	32	2,2800	0,0713		
Total (corregido)	47	7,2525			

Nota. *: significativo, **: altamente significativo, ns: no significativo

En la tabla 18 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza del volumen del aceite esencial de limón, los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores e interacciones. Puesto que 2 valores-p son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre volumen obtenido con un 95 % de nivel de confianza. Al demostrar que los factores en estudio tienen diferencia altamente significativa, se procede a realizar las pruebas de rangos múltiples por el método de diferencia mínima significativa (LSD).

Figura 14

Gráfico de medias de aceite esencial del factor A

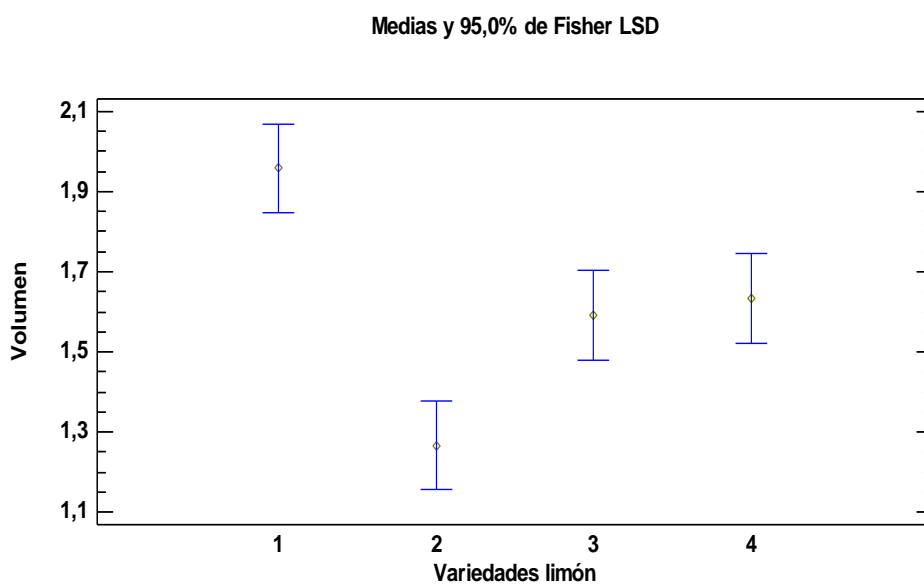


Tabla 19

Pruebas de medias del factor A en el volumen del aceite esencial

Variedades del limón	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	12	1,2667	0,0771	A
3	12	1,5917	0,0771	B
4	12	1,6333	0,0771	B
1	12	1,9583	0,0771	C

En la tabla 19 y la figura 14, se observa que existe diferencia entre los cuatro grupos homogéneos, donde las medias más altas corresponde al nivel 1 limón Sutil con un valor de 1,9583 mL de aceite esencial, de tal manera que la variedad de limón sutil se obtiene el aceite esencial en mayor volumen.

Figura 15

Gráfico de medias del aceite esencial del factor C

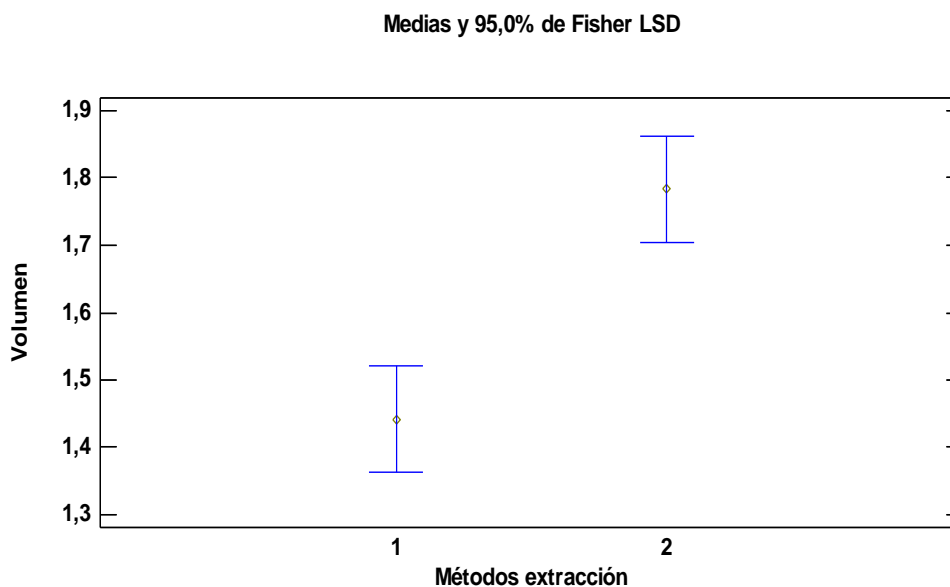


Tabla 20

Pruebas de medias del factor C en el volumen del aceite esencial

Métodos de extracción	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	24	1,4417	0,0545	A
2	24	1,7833	0,0545	B

En la tabla 20 y la figura 15, se observa que existe diferencia entre los dos grupos homogéneos, donde las medias más altas corresponde al nivel 2 (destilación fraccionada) con un valor de 1,7833 mL de aceite esencial, de tal manera que en la destilación fraccionada proporciona mayor volumen de aceite esencial.

En el estudio realizada por Delgado (2019), se extrajo 0,6 a 1 mL de aceite esencial de 500 g de la cáscara del limón (*Citrus latifolia*), en otra investigación realizada por Siancas (2021), obtuvo un volumen de 4,5 mL de aceite esencial extraído de 700 g de cáscara de limón.

4.2.2. Análisis de varianza del rendimiento de aceite esencial

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al rendimiento de aceite esencial extraído de las cuatro variedades de limón.

Tabla 21

Análisis de varianza de rendimiento del aceite esencial

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A: Variedades del limón	3	0,5176	0,1725	13,2700	0,0000**
B: Maceración	1	0,0014	0,0014	0,1100	0,7423 ns
C: Métodos de extracción	1	0,2558	0,2558	19,6700	0,0001**
Interacciones					
AB	3	0,0229	0,0076	0,5900	0,6275 ns
AC	3	0,0007	0,0002	0,0200	0,9969 ns
BC	1	0,0011	0,0011	0,0900	0,7709 ns
ABC	3	0,1037	0,0346	2,6600	0,0651 ns
Residuos	32	0,4162	0,0130		
Total (corregido)	47	1,3193			

Nota. *: significativo, **: altamente significativo, ns: no significativo

En la tabla 21 se detalla el análisis de varianza del rendimiento del aceite esencial obtenido de las cuatro variedades de limón, de manera que los valores-p prueban la diferencia estadística de cada factor. Puesto que 2 valores-p son inferiores que 0,05, el cual corresponde al factor A (variedad de limón) y factor C (métodos de extracción) tienen un efecto estadísticamente significativo en el rendimiento porcentual al 95% de confianza. En la siguiente tabla se empleó pruebas de medias por el método LSD (diferencia mínima significativa), donde se muestran el nivel de incidencia entre los factores A (variedad de limón) y factor C (métodos de extracción) con 95 % de confianza.

Figura 16

Gráfico de medias para el rendimiento del factor A

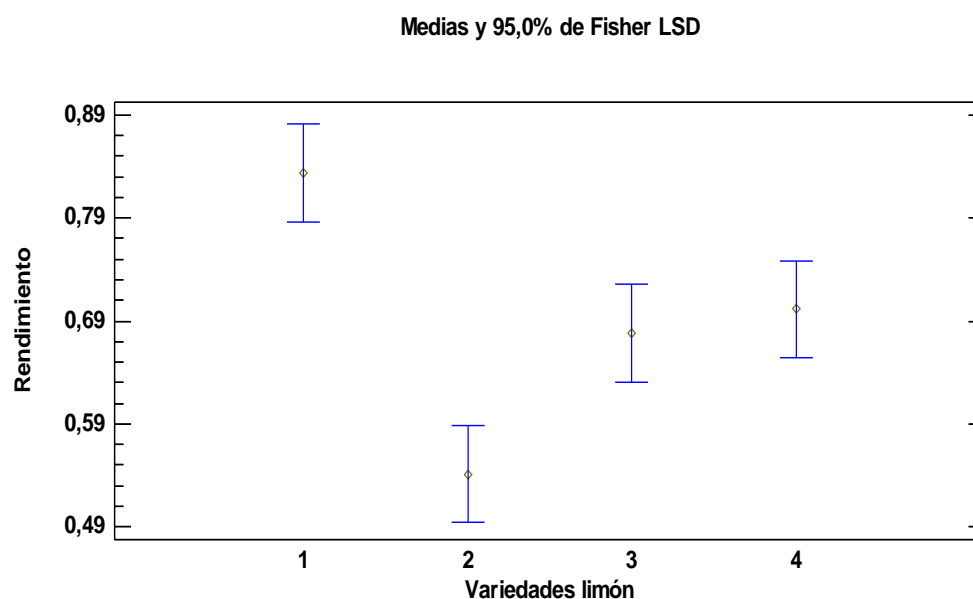


Tabla 22

Pruebas de medias del factor A para el rendimiento del aceite esencial

Variedades del limón	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	12	0,5411	0,0329	A
3	12	0,6779	0,0329	B
4	12	0,7013	0,0329	B
1	12	0,8338	0,0329	C

En la tabla 22 y figura 16, se evidencia la diferencia que existe entre los cuatro grupos homogéneos, dado que el valor medias más alto es 0,8338%, perteneciente al nivel a₁, de tal manera que el aceite esencial extraído de la variedad de limón Sutil, obtuvo un mayor rendimiento.

Figura 17

Gráfico de medias para el rendimiento en el factor C

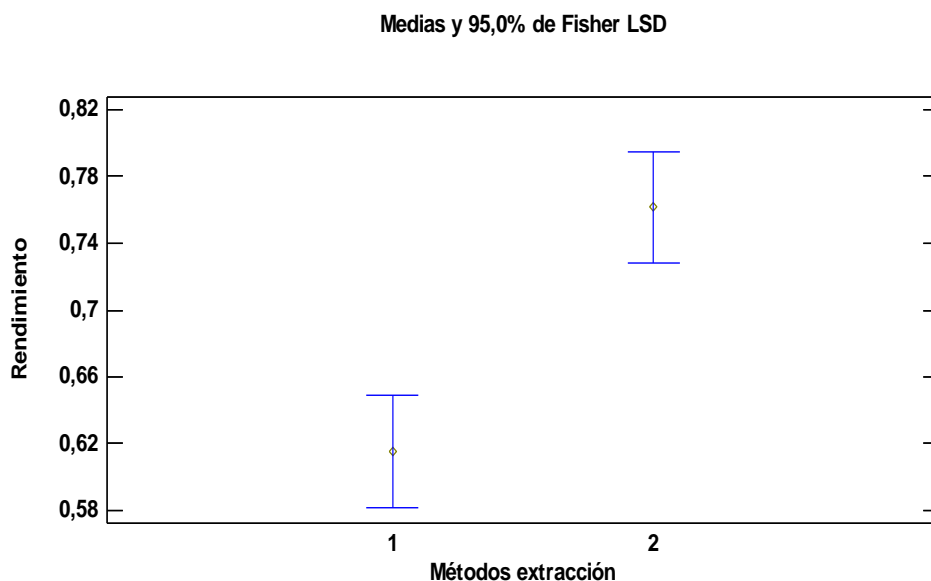


Tabla 23

Pruebas de medias del factor C para el rendimiento del aceite esencial

Métodos de extracción	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	24	0,6155	0,0233	A
2	24	0,7615	0,0233	B

En la tabla 23 y figura 17, se evidencia la diferencia que existe entre los dos grupos homogéneos, dado que el valor medias más alto es 0,7615 %, perteneciente al nivel c₂, de tal manera que en la destilación fraccionada proporciona mayor rendimiento de aceite esencial.

Casado (2018), informa un rendimiento de 0,31 % a 0,07 % de aceite esencial de limón; Cordova & Velasquez (2021), tuvo un porcentaje de 0,53 % de rendimiento del aceite esencial; Siancas (2021), reporta un rendimiento 0,618 % a 0,025 % , demostrando que otros autores obtuvieron resultados inferiores a la de nuestra investigación.

4.2.3. Análisis de varianza de la densidad del aceite esencial

Se presenta, los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la densidad de aceite esencial extraído de las cuatro variedades de limón.

Tabla 24

Análisis de varianza para la densidad del aceite esencial

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A: Variedades del limón	3	0,0004	0,0001	1,2500	0,3091 ns
B: Maceración	1	0,0000	0,0000	0,0100	0,9110 ns
C: Métodos de extracción	1	0,0000	0,0000	0,0100	0,9110 ns
Interacciones					
AB	3	0,0000	0,0000	0,1100	0,9524 ns
AC	3	0,0000	0,0000	0,1100	0,9549 ns
BC	1	0,0000	0,0000	0,1300	0,7167 ns
ABC	3	0,0002	0,0001	0,7300	0,5425 ns
Residuos	32	0,0034	0,0001		
Total (corregido)	47	0,0041			

Nota. ns: no significativa

En la tabla 24 se detalla el análisis de varianza de densidad de aceite esencial extraído de las cuatro variedades de limón, de manera que los valores-p prueban la diferencia estadística de cada factor. Puesto que ningún valor-p es menor que 0,05, ninguno de los factores o interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad con un 95,0% de nivel de confianza.

Permanasari et al. (2020), analizó el mismo parámetro encontrando valores promedios de: 0,853 kg/litro de densidad. León (2017), en su investigación obtuvo una densidad de: 0,86 g/cm³. Argote et al. (2017), encontraron valores promedios de densidad 0,858 g/cm³. Estos valores reportados por los tres autores son valores muy cercanos a los que se obtuvo en este trabajo experimental, lo cual significa que nuestro aceite esencial extraído de la cáscara de limón es de muy buena calidad.

4.2.4. Análisis de varianza del pH de aceite esencial

A continuación, se muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al pH de aceite esencial extraído de las cuatro variedades de limón.

Tabla 25

Análisis de varianza del pH de aceite esencial

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A: Variedades del limón	3	0,0146	0,0049	0,1200	0,9463 ns
B: Maceración	1	0,0050	0,0050	0,1300	0,7254 ns
C: Métodos de extracción	1	0,1170	0,1170	2,9400	0,0962 ns
Interacciones					
AB	3	0,0523	0,0174	0,4400	0,7277 ns
AC	3	0,0167	0,0056	0,1400	0,9353 ns
BC	1	0,0035	0,0035	0,0900	0,7688 ns
ABC	3	0,0544	0,0181	0,4600	0,7156 ns
Residuos	32	1,2746	0,0398		
Total (corregido)	47	1,5381			

Nota: ns: no significativo

En la tabla 25 se detalla el análisis de varianza del pH de aceite esencial extraído de las cuatro variedades de limón, de manera que los valores-p prueban la diferencia estadística de cada factor. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores o interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre pH con un 95,0% de nivel de confianza.

Plaza & Ricalde (2015), reporta valores entre 4,49 y 5,31. De acuerdo a la investigación de Benoudjit et al. (2020), su valor de pH fue de 6. Judith (2020), el valor que reporta de pH fue 7; Franco (2015), en su investigación indica un pH de 6,1. Se comprueba que existe diferencia entre los valores obtenidos a la de nuestra investigación.

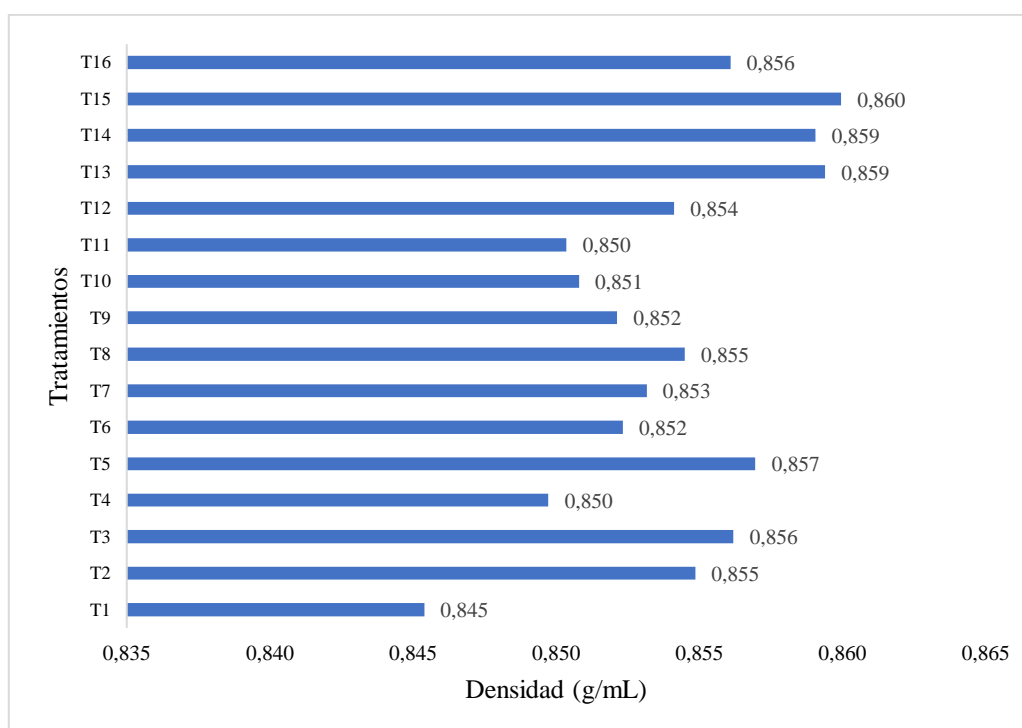
4.3. Evaluación de la calidad del aceite esencial extraído

4.3.1. Densidad absoluta como criterio de calidad del aceite esencial

La densidad es un parámetro que ayuda a determinar la calidad del aceite esencial del limón, se presenta la densidad de cada tratamiento expresada en g/mL.

Figura 18

Diferencia de la densidad del aceite esencial por tratamiento



En la figura 17 se observa el resultado de la densidad de cada tratamiento; para determinar la calidad del aceite se tomó en cuenta la densidad, lo cual nos basamos a la Norma mexicana NMX-F-062 (1974), nos da a conocer los requisitos físicos y químico del aceite esencial de limón, su valor mínimo a 25 °C es 0,855 y máximo de 0,863 (Castillo, 2020). Según Yauce & Alberto (2018), la densidad en sus investigaciones fue de 0,8719 g/mL. Argote et al. (2017), reportó una densidad de 0,858 g/mL; en otros estudios realizados por Carrión, (2019), obtuvo 0,8695 g/mL; Coello (2014), el valor fue 1,035 g/mL; lo cual demuestra que los datos reportados en el estudio son valores superiores a la de nuestra investigación. En general, se puede decir que los valores de la densidad es un indicador de la calidad y pureza del aceite, cuanto menos es el valor, el aceite es más puro, es decir, el componente activo se encuentra en mayor proporción y se considera un aceite de mejor calidad.

4.4. Identificación de los compuestos volátiles por cromatografía de gases

Se muestra los resultados de los análisis cromatográficos de compuestos volátiles existentes en el aceite esencial extraídos de la cáscara de limón (Sutil, Mandarino, Real, Tahití), extraído por método de destilación fraccionada con su respectiva maceración, el cual en esta investigación se destacó por el mejor tratamiento ante la calidad del aceite.

4.4.1. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Sutil

Figura 19

Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Sutil

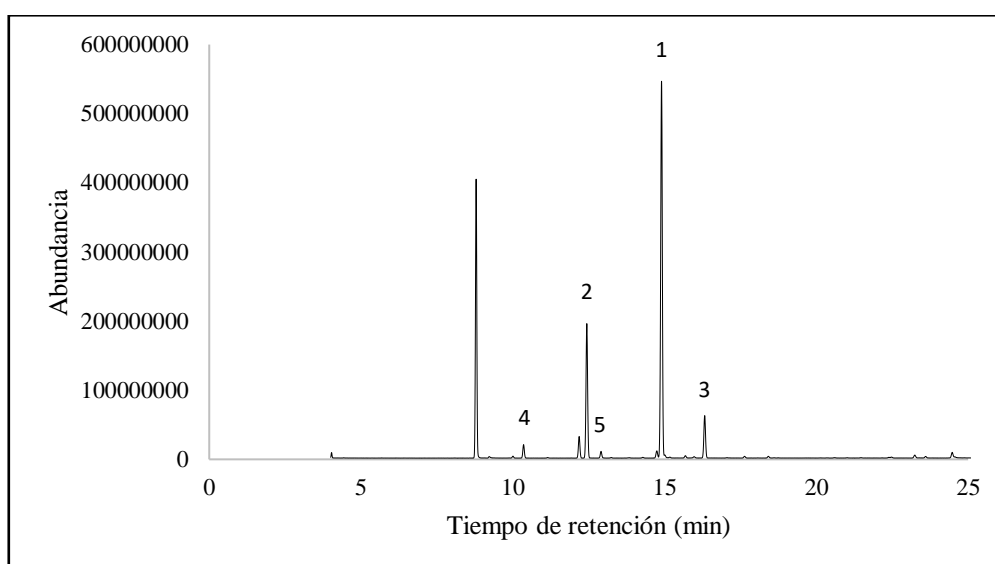


Tabla 26

Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Sutil

N° Pico	Compuesto	TR (min)	Promedio (%)	Tipo de compuesto	Fórmula general	Fórmula estructural
1	Limoneno	14,90	60,35	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
2	β-Pineno	12,44	22,71	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
3	γ-Terpineno	16,32	9,14	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
4	α-Pineno	10,36	4,38	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
5	Mirceno	12,91	3,42	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	

En la figura 19 y tabla 26 se observa el cromatograma del aceite esencial extraído de la cáscara de limón Sutil por el método de destilación fraccionada, se demuestra la presencia de siete compuestos mayoritarios como Limoneno, β -Pineno, γ -Terpineno, α -Pineno, Mirceno, Sabineno y o-Cimeno, determinando al número de pico 1 con mayor concentración de limoneno de 60,35% y con un tiempo de retención de 14,90 min; mientras que el número de pico 5 en el menor porcentaje de concentración de Mirceno con 3,42% y un tiempo de retención de 12,91 min.

4.4.2. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Mandarinino

Figura 20

Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Mandarinino

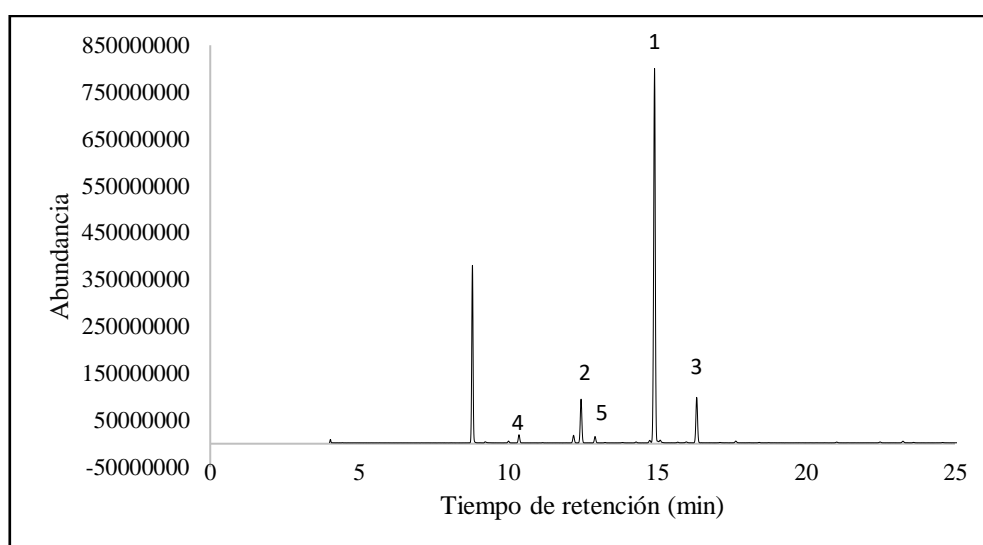


Tabla 27

Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Mandarinino

N° Pico	Compuesto	TR (min)	Promedio (%)	Tipo de compuesto	Fórmula general	Fórmula estructural
1	Limoneno	14,91	72,84	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
2	β -Pineno	12,45	10,01	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
3	γ -Terpineno	16,33	10,76	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
4	α -Pineno	10,36	3,34	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
5	Mirceno	12,91	3,04	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	

En la figura 20 y tabla 27 se muestra el cromatograma del aceite esencial extraído de la cáscara de limón Mandarinino por el método de destilación fraccionada, en el cual se identificó un total de 5 compuestos mayoritarios para esta variedad, identificando al número de pico 1 con mayor concentración de limoneno de 72,84% y con un tiempo de retención de 14,91 min; mientras que el número de pico 5 en el menor porcentaje de concentración de Mirceno con 3,04% y un tiempo de retención de 12,91 min.

4.4.3. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Real

Figura 21

Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Real

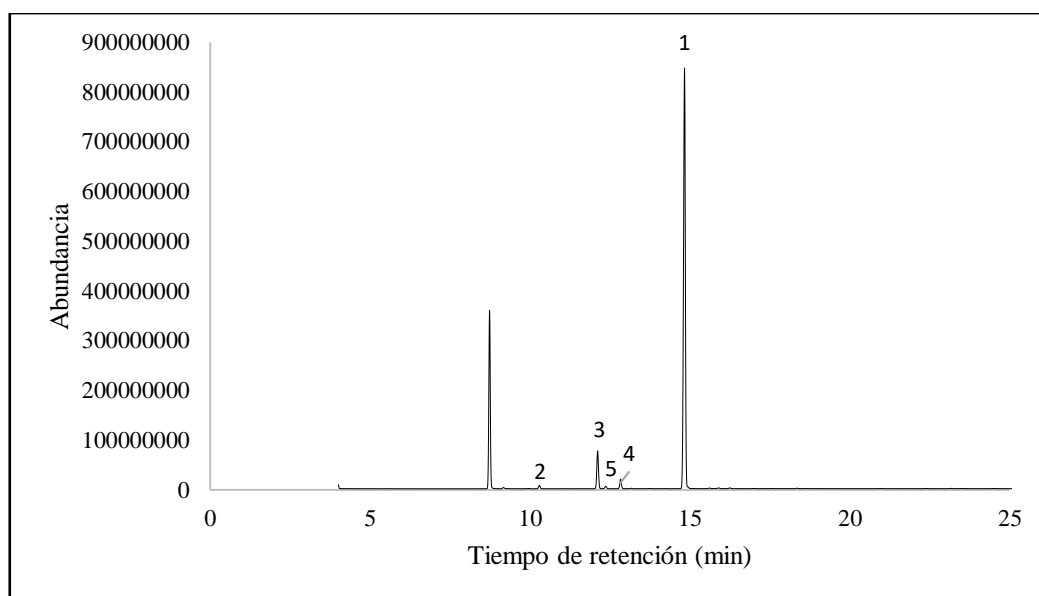


Tabla 28

Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Real

N° Pico	Compuesto	TR (min)	Promedio (%)	Tipo de compuesto	Fórmula general	Fórmula estructural
1	Limoneno	14,83	82,50	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
2	α -Pino	10,29	2,57	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
3	Sabineno	12,11	8,93	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
4	Mirceno	12,83	3,58	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
5	β- Pino	12,37	2,42	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	

En la figura 21 y tabla 28 se muestra el cromatograma del aceite esencial extraído de la cáscara de limón Real por el método de destilación fraccionada, en el cual se identificó un total de 5 compuestos mayoritarios para esta variedad, demostrando al número de pico 1 con mayor concentración de limoneno de 82,50% y con un tiempo de retención de 14,83 min; mientras que el número de pico 5 en el menor porcentaje de concentración de β -Pineno con 2,42% y un tiempo de retención de 12,37 min.

4.4.4. Componentes volátiles del aceite esencial de limón Tahití

Figura 22

Cromatograma del aceite esencial de la cáscara de limón Tahití

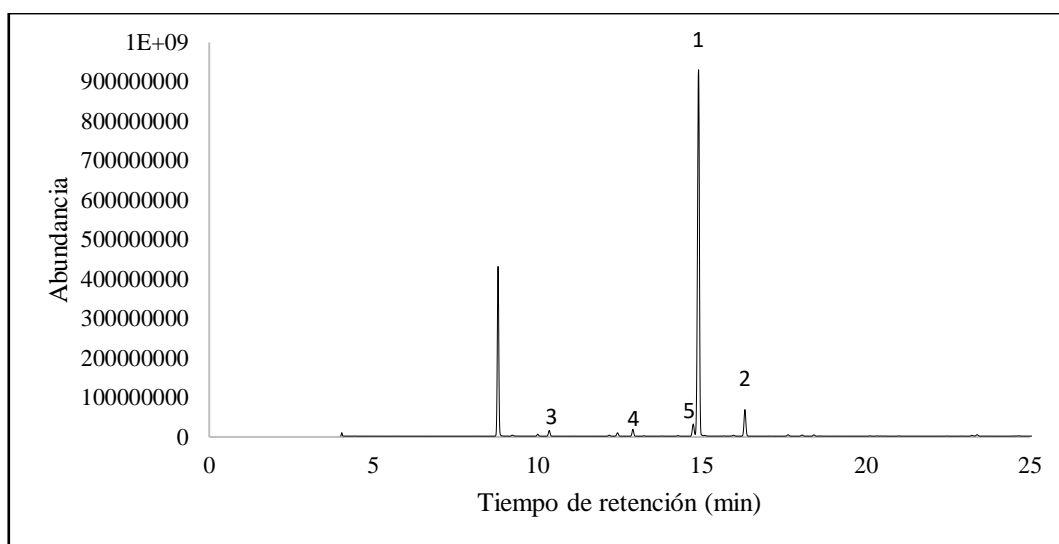


Tabla 29

Compuestos volátiles del aceite esencial de limón Tahití

Nº Pico	Compuesto	TR (min)	Promedio (%)	Tipo de compuesto	Fórmula general	Fórmula estructural
1	Limoneno	14,91	81,75	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
2	γ -Terpineno	16,32	7,58	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
3	α -Pineno	10,36	3,13	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
4	Mirceno	12,91	3,35	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	
5	o-Cimeno	14,74	4,20	Terpenos	C ₁₀ H ₁₆	

En la figura 22 y tabla 29 se muestra el cromatograma del aceite esencial extraído de la cáscara de limón Tahití por el método de destilación fraccionada, en el cual se identificó un total de 5 compuestos mayoritarios para esta variedad, demostrando al número de pico 1 con mayor concentración de limoneno de 81,75 % y con un tiempo de retención de 14,91 min; mientras que el número de pico 5 en el menor porcentaje de concentración de α - Pineno con 3,13 % y un tiempo de retención de 10,36 min.

Lee et al. (2018), muestran resultados de los compuestos analizados como limoneno 67,57%, β -pineno 10% y γ -terpineno 9,95%, también estaban presentes sabineno, α -pineno, mirceno y geranial, pero la cantidad estaba en el rango de 1 - 2%. Según Thapa et al. (2022), revelaron la presencia de compuestos principales como β -Pineno 15,46%, Limoneno 28,94%, γ -Terpineno 8,64%, Terpineno-4-ol 3,29%, Neral 4,20%, Geranial 5,28%. Otra investigación por Tran et al. (2020), quien estudio la presencia de componentes que fueron pineno 11,7% a 12,6%, γ -berpineno 10,5% a 11, 2%, limoneno 44,8% a 47,6%, α -citral 3,9% - 4,4% y β -citral 3% - 3,3%). Tran et al. (2021), reportó los resultados de la GC-MS de 15 compuestos identificados en el aceite esencial de limón siendo el limoneno el principal compuesto, con un 66% del contenido total.

4.5. Balance de materia prima para la extracción del aceite esencial

a) Datos experimentales

Tabla 30

Datos experimentales para el balance de materia

Nº	Descripción	Valor
1	Tiempo de extracción	110 min
2	Material vegetal	201,4 g
3	Residuo de extracción	246,906 g
4	Volumen total obtenido	154,494 g
5	Volumen del aceite esencial	1,670 g
6	Volumen del hidrolato	152,824 g
7	Densidad del aceite esencial	0,85 g/mL
8	Densidad del hidrolato	1,0085 g/mL

b) Balance de materia en la mezcla

$$F_4 = F_1 + F_2$$

$$F_4 = 200 \text{ g} + 1,4 \text{ g}$$

$$F_4 = 201,4 \text{ g}$$

c) Balance de materia en el destilador

$$F_6 = F_8 + F_9$$

$$F_6 = 1,670 \text{ g} + 152,824 \text{ g}$$

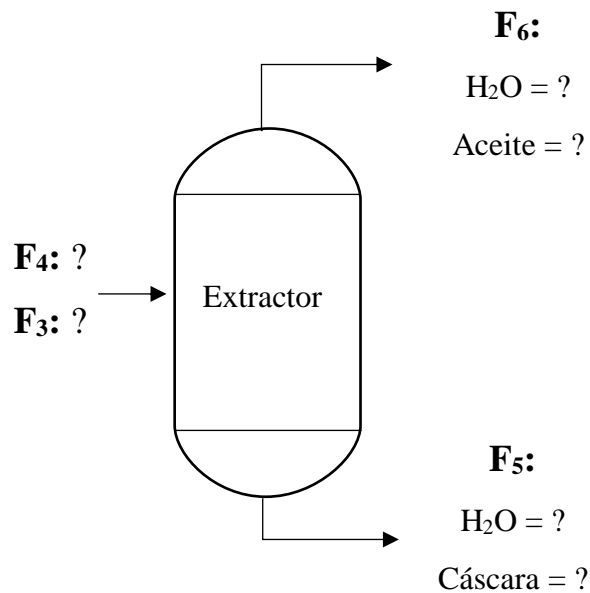
$$F_6 = 154,494 \text{ g}$$

$$F_5 = 246,906 \text{ g}$$

d) Diagrama de flujo en el extractor

Figura 23

Diagrama de flujo del extractor



e) Balance general

$$F_4 + F_3 = F_5 + F_6$$

f) Determinación de entrada agua (H₂O)

$$F_3 = F_5 + F_6 - F_4$$

$$F_3 = 246,906 \text{ g} + 154,494 \text{ g} - 201,4 \text{ g}$$

$$F_3 = 200 \text{ g}$$

g) Balances principales

$$H_2O: F_{H_2O}^6 = F_9 = 152,824 \text{ g}$$

$$H_2O: F_3 = F_{H_2O}^5 + F_{H_2O}^6$$

$$F_{H_2O}^5 = F_3 - F_{H_2O}^6$$

$$F_{H_2O}^5 = 200 \text{ g} - 152,824 \text{ g}$$

$$F_{H_2O}^5 = 47,176 \text{ g}$$

$$\text{Aceite: } F_{\text{aceite}}^4 = F_8 = 1,670 \text{ g}$$

h) Determinación de inerte en la materia vegetal

$$F_{\text{inerte}}^5 = F_5 - F_{H_2O}^5$$

$$F_{\text{inerte}}^5 = 246,906 \text{ g} - 47,176 \text{ g}$$

$$F_{\text{inerte}}^5 = 199,73 \text{ g residuo sin agua}$$

$$F_{\text{inerte}}^1 = F_{\text{inerte}}^5 = 199,73 \text{ g}$$

i) Fracciones másicas

$$W_{\text{aceite}}^4 = \frac{F_{\text{aceite}}^4}{F_1} = \frac{1,670 \text{ g}}{200 \text{ g}} = 0,0083 \text{ g} * 100 = \mathbf{0,83\%}$$

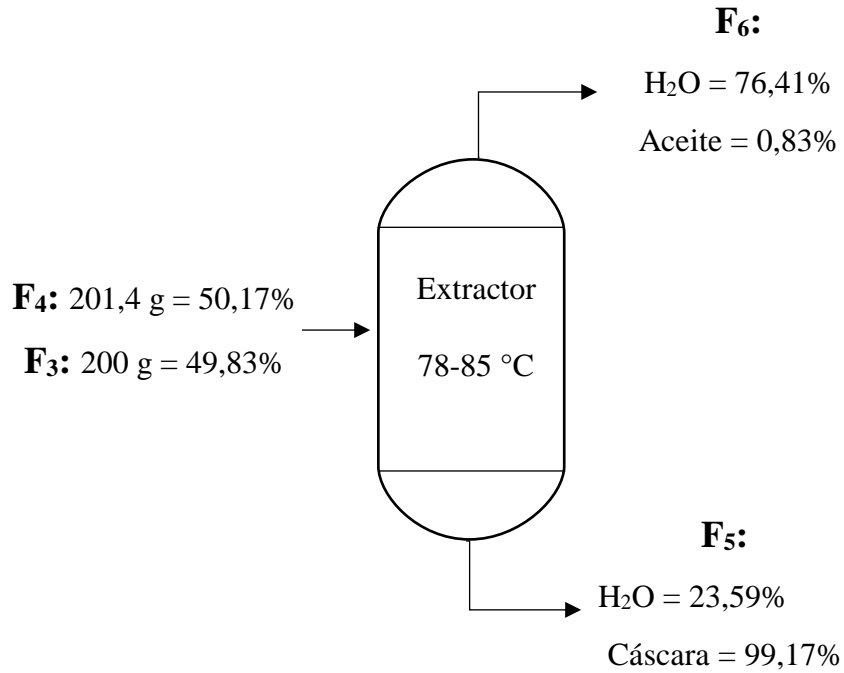
$$W_{\text{inerte}}^5 = \frac{F_{\text{inerte}}^5}{F_4} = \frac{199,73 \text{ g}}{201,4 \text{ g}} = 0,9917 \text{ g} * 100 = \mathbf{99,17\%}$$

$$W_{H_2O}^6 = \frac{F_{H_2O}^6}{F_3} = \frac{152,824 \text{ g}}{200 \text{ g}} = 0,7641 \text{ g} * 100 = \mathbf{76,41\%}$$

j) Diagrama con los resultados obtenidos

Figura 24

Diagrama de flujo del extractor representado su rendimiento



4.5.1. Balance de materia en el condensador

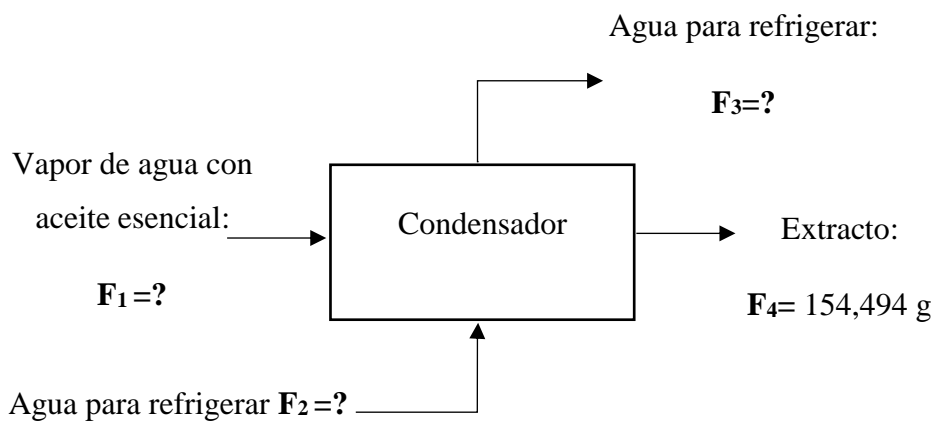
a. Flujo de salida del extracto:

$$F_6 = 154,494 \text{ g}$$

b. Diagrama de flujo:

Figura 25

Diagrama de flujo del condensador



c. Flujo de entrada de vapor:

$$F_1 = F_4 = 154,494 \text{ g}$$

d. Flujo de agua refrigerante:

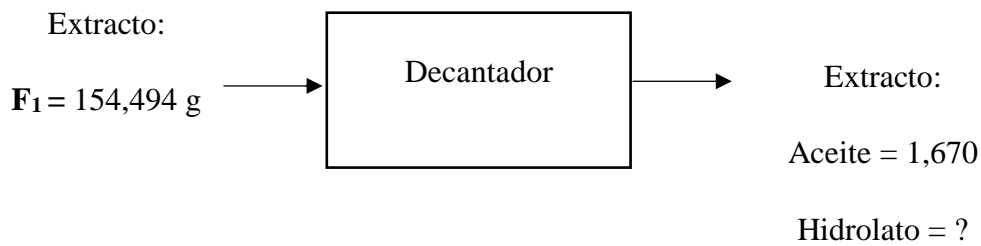
$$F_2 = F_3 = 621 \text{ g/min}$$

Balance de materia en el decantador

a. Diagrama de flujo:

Figura 26

Diagrama de flujo del decantador



b. Balance general:

$$F_1 = F_2$$

$$F_1 = F_{H_2O}^6 + F_{aceite}^4$$

$$F_{H_2O}^6 = F_1 - F_{aceite}^4$$

$$F_{H_2O}^6 = 154,494 - 1,670$$

$$F_{H_2O}^6 = 152,824$$

4.6. Modelamiento matemático de la destilación del aceite esencial de limón

La modelación son procesos que nos permitió modelar los comportamientos experimentales de la destilación, puesto que en este proceso ocurrieron cambios como la cinética de extracción (g) y rendimiento (%). Los datos experimentales de la extracción de aceite esencial fueron ajustados a 8 modelos matemáticos, siendo (4 modelos para cinética de extracción y 4 modelos para el rendimiento obtenido).

4.6.1. Cinética de extracción

La cinética de extracción es una etapa que indica el comportamiento del proceso de destilación del aceite esencial, a medida que el tiempo pasa la masa de la cáscara de limón disminuye, esto debido a que durante el proceso de destilación el vapor de agua va extrayendo su contenido volátil. Se muestra los resultados experimentales de la cinética de extracción del aceite esencial obtenido en función al intervalo de tiempo.

Tabla 31

Cinética de extracción del aceite esencial

Tiempo	Cáscara de limón (g)	Aceite esencial (g)
0	200,000	-
10	199,449	0,551
20	199,163	0,286
30	198,984	0,179
40	198,856	0,128
50	198,748	0,108
60	198,655	0,093
70	198,572	0,083
80	198,501	0,071
90	198,439	0,062
100	198,382	0,057
110	198,330	0,052

Para determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a la cinética de extracción se realizó regresiones no lineales en software Minitab 18 y Statgraphics, donde se ajustó a los modelos matemáticos de Henderson and Pabis, Exponencial, Von Bertalanffy y Multiplicativo.

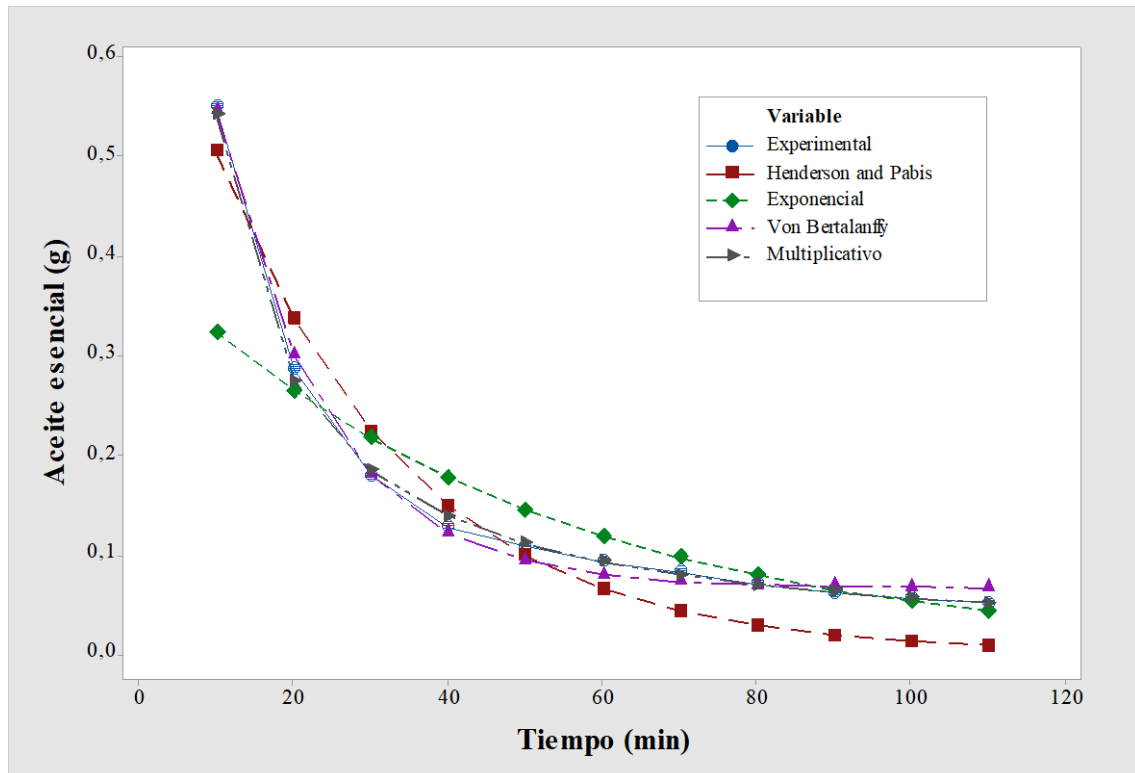
Tabla 32

Modelos matemáticos para determinar la cinética de extracción

Nombre del modelo	Ecuación del modelo	Parámetros	Estadística
Henderson and Pabis	$m_{ae} = a * e^{-k*t}$	$k = 4,069$ $a = 0,759$	$R^2 = 0,924$ RMSE = 0,043
Exponencial	$m_{ae} = e^{a-k*t}$	$k = 0,020$ $a = 0,930$	$R^2 = 0,736$ RMSE = 0,080
Von Bertalanffy	$m_{ae} = a * e^{-k*t} + b$	$k = 0,721$ $a = 0,985$ $b = 0,067$	$R^2 = 0,994$ RMSE = 0,011
Multiplicativo	$m_{ae} = e^{a-k*\ln(t)}$	$a = 1,651$ $k = 0,983$	$R^2 = 0,998$ RMSE = 0,006

Figura 27

Cinética de extracción del aceite esencial en función del tiempo



En la tabla 33 y figura 25 se puede apreciar la diferencia de ajustes entre modelos matemáticos en la extracción de aceite esencial, lo cual muestra que el modelo

matemático que mejor se ajusta a la cinética de extracción es: Multiplicativo con $R^2 = 0,998\%$; RMSE = 0,006 y Von Bertalanffy con $R^2 = 0,994\%$; RMSE = 0,011.

4.6.2. Rendimiento del aceite esencial extraído

Para graficar la curva del rendimiento del aceite esencial del limón, se realizó a partir de la masa del aceite esencial extraído en función del proceso de destilación. El rendimiento se lo expresa en porcentaje (%). Se muestra los resultados experimentales del rendimiento de aceite esencial obtenido.

Tabla 33

Rendimiento del aceite esencial extraído en función del tiempo

Tiempo	Aceite esencial (g)	Rendimiento (%)
0	0,000	0,000
10	0,551	0,276
20	0,837	0,419
30	1,016	0,508
40	1,144	0,572
50	1,252	0,626
60	1,345	0,673
70	1,428	0,714
80	1,499	0,750
90	1,561	0,781
100	1,618	0,809
110	1,670	0,835

Para determinar el modelo matemático que mejor se ajusta al rendimiento del aceite esencial se utilizó los modelos matemáticos de Monod, Teissier, Gompertz y Moser. Se muestra los modelos matemáticos utilizados y el resultado del ajuste a los datos experimentales.

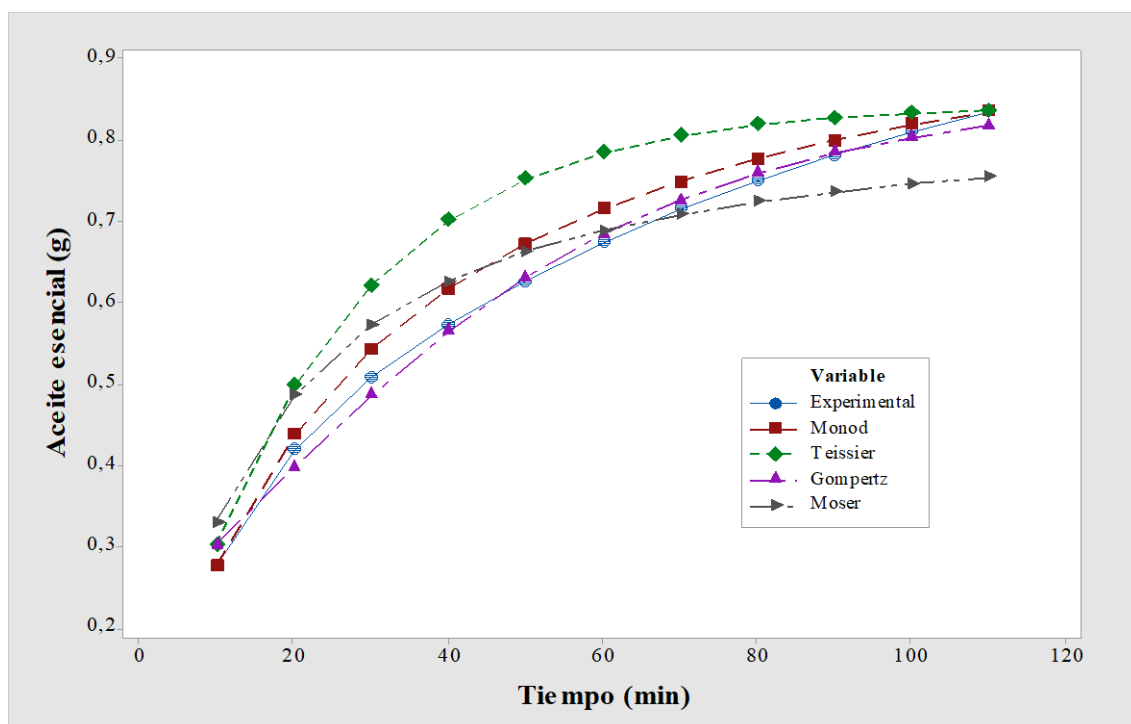
Tabla 34

Modelos matemáticos para determinar el rendimiento del aceite esencial

Nombre del modelo	Ecuación del modelo	Parámetros	Estadística
Monod	$R = \frac{R_{max} * t}{k + t}$	$k = 27,901$ $R_{max} = 1,047$	$R^2 = 0,968$ RMSE = 0,032
Teissier	$R = R_{max} \left(1 - e^{-\frac{t}{k}}\right)$	$k = 22,415$ $R_{max} = 0,842$	$R^2 = 0,740$ RMSE = 0,094
Gompertz	$R = R_{max} - e^{(-e^{-kt+b})}$	$k = 0,303$ $b = 0,345$ $R_{max} = 0,859$	$R^2 = 0,992$ RMSE = 0,016
Moser	$R = \frac{R_{max} * t^n}{k + t^n}$	$k = 18,955$ $R_{max} = 0,840$ $n = 1,088$	$R^2 = 0,905$ RMSE = 0,057

Figura 28

Comparación de las curvas del rendimiento de aceite esencial extraído



En la tabla 35 y figura 26 se puede apreciar la diferencia de ajustes entre modelos matemáticos para determinar el rendimiento de aceite esencial extraído en relación al tiempo, lo cual muestra que el modelo matemático que mejor se ajusta a la curva de

rendimiento con respecto a los datos experimentales es el modelo de Gompertz con una $R^2 = 0,992\%$; $RMSE = 0,016$.

4.7. Simulación del proceso de extracción del aceite esencial de limón

Se procedió a realizar una simulación del proceso de extracción del aceite esencial mediante el Microsoft Excel. Esto nos ayuda a simular el rendimiento de diferentes cantidades de cáscara de limón en la obtención del aceite esencial a través de la destilación simple y fraccionada.

Figura 29

Simulación del proceso de extracción del aceite esencial

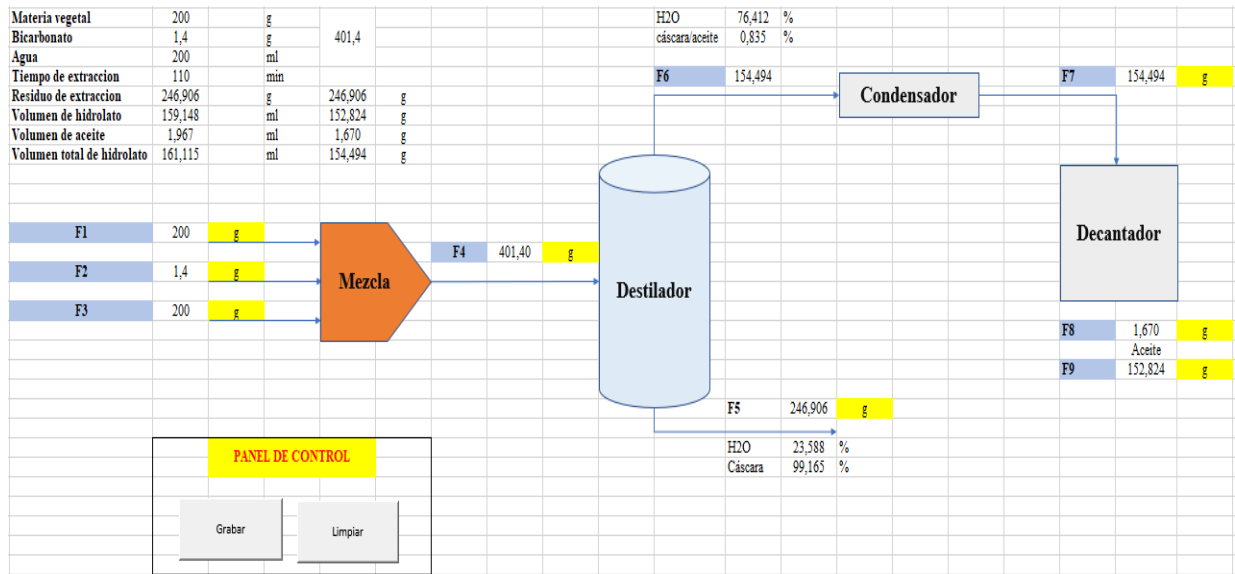


Tabla 35

Simulación del proceso de extracción

Cáscara (g)	NaCHO ₃ (g)	H ₂ O i (g)	Mezcla (g)	Hidrolato/ vapor (g)	Residuo (g)	Hidrolato (g)	Aceite (g)	H ₂ O f (g)
200,00	1,40	200,00	401,40	154,49	246,91	154,49	1,67	152,82
200,00	1,40	350,00	551,40	269,11	282,29	269,11	1,67	267,44
900,00	6,30	400,00	1306,30	313,16	993,14	313,16	7,52	305,65
900,00	6,30	500,00	1406,30	389,58	1016,73	389,58	7,52	382,06
500,00	3,50	500,00	1003,50	386,24	617,27	386,24	4,18	382,06
500,00	3,50	300,00	803,50	233,41	570,09	233,41	4,18	229,24

4.8. Elaboración de un Jabón en barra, utilizando el aceite esencial del limón

Según NTE INEN 2867 (2015), toda sustancia o formulación de aplicación local a ser usada en las diversas partes superficiales del cuerpo humano: epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos o en los dientes y las mucosas bucales, con el fin de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto y protegerlos o mantenerlos en buen estado y prevenir o corregir los olores corporales.

Es un agente detergente o limpiador que se fabrica usando aceites vegetales y/o grasas animales; químicamente, es la sal potásica o sódica de un ácido graso que se obtiene por hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en los materiales grasos; el jabón es soluble en agua y, por sus propiedades detergentes se usa comúnmente en productos destinados a la higiene personal y para lavar determinados objetos o tejidos (Castillo, 2020).

Para la elaboración de jabón de tocador usando aceite esencial extraído mediante el método de destilación simple y fraccionada se empleó la norma (NTE INEN 841, 2016).

Figura 30

Jabón en barra con esencia de limón



4.8.1. Etiquetado y envasado

Para el etiquetado se tomó en cuenta la normativa NTE INEN 2867, que trata sobre productos cosméticos, esta normativa tiene como objetivo establecer los requisitos que deben cumplir los productos cosméticos de uso humano INEN (2015).

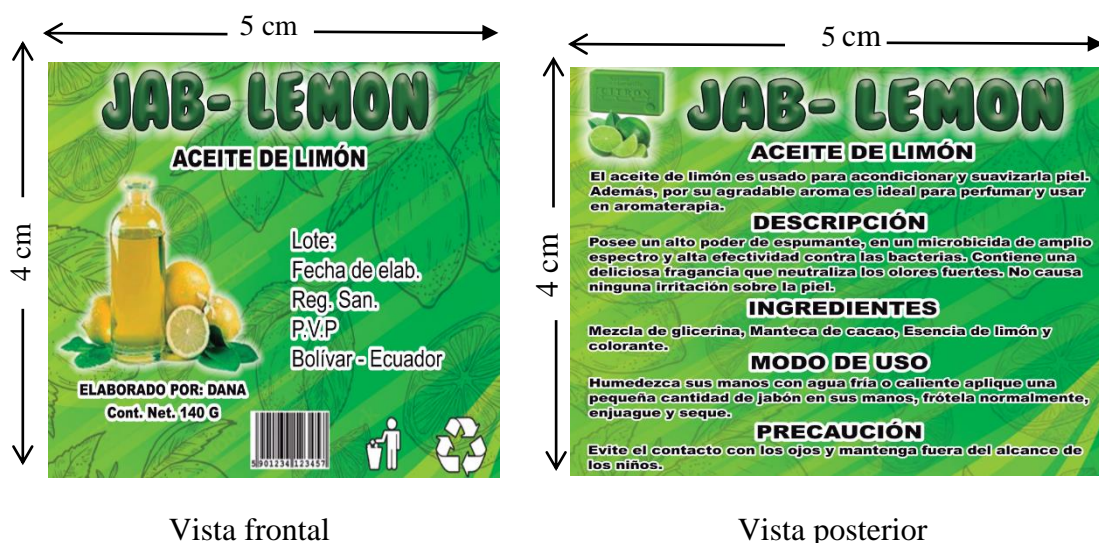
Para el envase o empaque los productos cosméticos se ha considerado los siguientes aspectos de acuerdo a la normativa mencionada.

- Nombre y marca del producto
- Lista de ingredientes
- Contenido nominal en peso
- Identificación del fabricante, envasador, importador o distribuidor
- Ciudad y país de origen
- Identificación del lote
- Instrucciones para el uso
- Registro sanitario

4.8.2. Logo y presentación del jabón en barra a base de aceite esencial de limón

Figura 31

Etiqueta del producto



4.9. Comprobación de hipótesis

Las hipótesis que se plantearon en la investigación fueron las siguientes

4.9.1. Hipótesis nula (H_0)

Los aceites esenciales obtenidos por sistemas de destilación simple y fraccionada a partir de los residuos biomásicos de la cáscara de limón, no cumplen con las características físicas y químicas de calidad necesarias para ser utilizadas en la elaboración de un producto agroindustrial.

4.9.2. Hipótesis alterna (H_a)

Los aceites esenciales obtenidos por sistemas de destilación simple y fraccionada a partir de los residuos biomásicos de la cáscara de limón, si cumplen con las características físicas y químicas de calidad necesarias para ser utilizadas en la elaboración de un producto agroindustrial.

4.9.3. Comprobación de hipótesis para el método de extracción

Una vez realizado el estudio se encontró que los aceites esenciales obtenidos por sistemas de destilación simple y fraccionada a partir de los residuos biomásicos de la cáscara de limón, cumplen con las características físicas y químicas de calidad necesaria para ser utilizadas en la elaboración de un producto agroindustrial; afirmaciones que las respaldan los análisis de laboratorios reportados en la investigación, por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

4.10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.10.1. Conclusiones

- Los residuos biomásicos de limón (*Citrus limon*), contribuyen una abundante materia prima para la obtención de diferentes productos agroindustriales de calidad, tales como la extracción de aceite esencial de limón, presentados en esta investigación.
- Con respecto al análisis proximal y elemental, la materia prima (cáscara) posee componentes físicos y químicos como: Humedad 79,94 - 86,21%; Cenizas 4,40 - 5,48%; Volátiles totales 80,04 - 87,93%, Carbono 42,00 - 42,07%; Hidrógeno 6,30 - 6,37%; Nitrógeno 0,90 - 0,95%.
- Los parámetros ideales de operación del proceso de destilación simple y fraccionada que se tomaron en cuenta en la extracción de aceite esencial en la zona experimental localizada a 2.602 msnm fueron: la temperatura que oscila desde 78 - 90 °C; flujo masico 8,02 - 3,77 mL/s; presión 0,973 atm; tiempo 100 - 120 min.
- En el análisis de la cromatografía de gases se demostró que el aceite esencial obtenido presenta 7 compuestos principal, donde el limoneno presentó mayor abundancia con 60,35 - 82,50%; seguido por β -Pineno con 2,42 - 22,71%, por lo que demuestra que el aceite esencial es de buena calidad.
- De acuerdo a la modelación realizada del proceso de destilación, el modelo matemático que mejor se ajustó a la cinética de extracción fue el modelo Multiplicativo con $R^2 = 0,998$; RMSE = 0,006 y Von Bertalanffy con $R^2 = 0,994$; RMSE = 0,011; para el modelamiento del rendimiento de aceite esencial extraído se ajustó la ecuación de Gompertz con una $R^2 = 0,992$; RMSE = 0,016.
- El jabón en barra es un claro ejemplo para demostrar la eficiencia que tiene el uso de aceite esencial extraído de la corteza de limón en la elaboración de un producto agroindustrial.

4.10.2. Recomendaciones

- Utilizar más recipientes en el proceso de extracción de aceites esenciales a nivel de laboratorio para disminuir en error experimental del resultado.
- Realizar análisis de calidad y cantidad del aceite esencial extraído, utilizando el método de cromatografía de gases para la identificación de compuestos mayoritarios en el análisis cuantitativo y cualitativo, para conocer la cantidad de compuestos presentes.
- Aplicar en el estudio, la utilización de modelos matemáticos para relacionar de mejor forma el ajuste en el rendimiento y en la concentración en función del tiempo del aceite esencial extraído.
- Se recomienda trabajar con otras variedades de materias primas en estudios experimentales para la obtención de aceites esenciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeniyi, A. G., Otoikhian, K. S., Ighalo, J. O., & Alhassan, I. (2019). *Pyrolysis of Different Fruit Peel Waste Via a Thermodynamic Model*. 2(2), 9.
- Aguilar, A., & Del Castillo, C. (2020). *Boro total en hojas de limón Tahití (Citrus latifolia) en finca alemán Martínez por el método azometina-h empleando espectroscopia uv/vis, labsa-una, julio-diciembre 2019*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/14084/1/14084.pdf>
- Ahmed, A., Ibrahim, H. M., Hassan, I. M., Fattah, A. A. A., & Mahmoud, M. H. (2016). Peels of Lemon and Orange as Value-Added Ingredients: Chemical and Antioxidant Properties. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(12), Art. 12. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.512.089>
- Akhtar, J., Abrha, M. G., Omre, P. K., & Gebru, G. G. (2020). *Extraction and Characterization of Pectin From Lemon Peels Waste*. 8, 13. <http://www.aelsindia.com/rjcesfeb2020/5.pdf>
- Akuso, S. A., Victor, O., Nwobi, B. E., Ayilara, S. I., Batari, M. L., & Samson, J. O. (2022). *Efecto de la temperatura y el tiempo de extracción sobre el de aceite extraído de la cáscara de limón mediante la técnica de hidrodestilación*. 10(2), 8. <https://www.unn.edu.ng/wp-content/uploads/2022/06/Effect-of-Extraction-Temperature-and-Time-on-the-Percentage-Yield-of-Oil-Extracted-from-Lemon-Peel-using.pdf>
- Alcívar, A. (2022). *Respuestas de la imbibición de semillas de tres patrones de cítricos con diferentes concentraciones de Pectimorfo en la germinación*. [Tesis pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].

<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3668/1/TESIS%20Alcivar%20Alan.pdf>

Almeida, L. B. de, Pereira, M. C. T., Bastos, D. C., Pimenta, S., Pinheiro, J. M. da S., & Nietsche, S. (2021). Fruit quality of Tahiti acid lime and Sicilian lemon trees grown on different rootstocks and spacings in the semi-arid region. *Comunicata Scientiae*, 12, e3257.

<https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3257>

Andrade, A. (2016). *Determinación de las propiedades físicas, composición química, evaluación de la actividad biológica y antioxidante de aceite esencial del fruto Copal (Dacryodes peruviana) de la provincia de Zamora Chinchipe* [Tesis pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/15382/1/Andrade%20Gonzalez%20c%20Amada%20Nathaly%20valida.pdf>

Arapa, G. (2014). *Diseño de una planta para obtención de alcohol etílico, partiendo de un producto fermentado, por destilación, absorción y lavado, en un proceso isotérmico, mediante uso del simulador ASPEN HYSYS 2007*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4022/IQttarg051.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arévalo Villagómez, L. X. (2021). *Implementación de un destilador prototipo por arrastre de vapor para la obtención de aceites esenciales de "Eucalipto" (Eucalyptus globulus)*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8296/1/TESIS%20FINAL%20AR%20LX.pdf>

C3%89BALO%20LIZETH%20-
%20S%C3%81NCHEZ%20EVELYN%281%29.pdf

- Arévalo, P., Parra, A. P., & Orduz, J. (2016). Caracterización físico-química en poscosecha de diferentes materiales de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) para exportación. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), Art. 2. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5749>
- Argote, F., Suarez, Z., Tobar, M., Perez, J., Hurtado, A., & Delgado, J. (2017). Evaluación de la capacidad inhibitoria de aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(Edición Especial 2). <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/593>
- Aziz, Z. A. A., Ahmad, A., Setapar, S. H. M., Karakucuk, A., Azim, M. M., Lokhat, D., Rafatullah, M., Ganash, M., Kamal, M. A., & Ashraf, G. M. (2018). Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential - A Review. *Current Drug Metabolism*, 19(13), Art. 13. <https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850>
- Battan, V. (2022). *Todos los beneficios de la cáscara de limón*. Infobae. <https://www.infobae.com/mix5411/2022/02/15/todos-los-beneficios-de-la-cascara-de-limon/>
- Bautista, A. M. (2020). *Obtención de aceite esencial de molle (*schinus molle* l.) y su evaluación antifúngica sobre *colletotrichum* spp. In vitro*. [Tesis pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6998/Bautista%20Toro%20Alex%20Mait.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Benoudjit, F., Maameri, L., & Ouared, K. (2020). *Evaluation of the quality and composition of lemon (Citrus limon) peel essential oil from an Algerian fruit juice industry*. (N.º 4). 6(4), Art. 4. Algerian Journal of Environmental Science and Technology. <https://www.aljest.net/index.php/aljest/article/view/318>
- Beyech, K., & Abdissa, D. (2021). Extraction and Characterization of Pectin from Lemon Waste for Commercial Applications. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 8(4), 1111-1120. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.901973>
- Cardete, R. M. (2020). *Valorización de la biomasa resultante del exprimido de la fruta en la industria de zumos cítricos. Recuperación del flavonoide hesperidina y aplicación de la fibra para alimentación humana*. (p. 1) [Tesis pregrado, Universitat Politècnica de València]. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=293148>
- Carrión, D. T. (2019). *Composición química, propiedades físicas y actividad biológica del aceite esencial de limón*. [BachelorThesis, Universidad Técnica Particular de Loja]. Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/24079>
- Casado, I. (2018). *Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor*. [Tesis postgrado, Universidad Politécnica de Madrid]. Obtenido de https://oa.upm.es/49669/1/TFG_IRENE_CASADO_VILLAVERDE.pdf
- Castillo, C. (2020). *Extracción de aceites esenciales de los residuos de las cáscaras de naranja (Citrus sinensis L.), mandarina (Citrus reticulata) y limón (Citrus aurantifolia Swingle) para su uso como aditivo en la elaboración de un jabón artesanal*. [Tesis pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15263/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-62.pdf>

- Castro, N., Flores, S., Guzmán, A., Cantor, J., Velásquez, F., & Leiva, M. (2014). *Situación actual en el limón Mandarina (Citrus limonia) en el departamento de Suchitepéquez*. (p. 56) [Seminario]. Universidad San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1503/1/022%20S%20%28259%29Agr%20INFORME%20FINAL%20SEMINARIO.pdf>
- Castro Ycaza, K. V., & Ocampo Chávez, J. E. (2015). *Caracterización físico- química de la biomasa residual del cultivo de cacao (Theobroma cacao l), Naranja (Citrus Sinensis, variedad valenciana,) y Mandarina (Citrus Reticulata) en la Provincia Bolívar*. [Tesis pregrado, Universidad Estatal de Bolívar]. Obtenido de <https://www.dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/1253/1/078.pdf>
- Ccoñas Antezana, W. (2012). *Extracción y caracterización de aceite esencial de chikchipay (Tagetes terniflora H.B.K.)* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2311>
- Chiodo, V., Urbani, F., Zafarana, G., Prestipino, M., Galvagno, A., & Maisano, S. (2017). Syngas production by catalytic steam gasification of citrus residues. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(46), 28048-28055. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.085>
- Coello, S. (2014). *“Evaluación del rendimiento en la determinación de aceite esencial y pectina de tres cítricos limón «chino», mandarina «criolla» y toronja «blanca» en el canton ventanas año 2014”*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/262/1/T-UTEQ-0019.pdf>
- Cordova, Y., & Velasquez, J. (2021). *Cinética de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor a escala piloto de la naranja, mandarina, lima y limón*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Obtenido de

http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12535/IQcohayl_v ehujm.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DANE. (2015). *Cultivo del limón o lima Tahití (Citrus latifolia Tanaka) frente a los efectos de las condiciones climáticas adversas*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_nov_2015.pdf

Danovich, C. (2019). *Extracción de pectina de albedo de limón mediante enzimas pécticas producidas por una levadura autóctona*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Misiones.]. Obtenido de https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/2781/Danovich%20CL_2019_Extracci%C3%B3n%20de%20pectina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

De Química. (2022a). *Destilación fraccionada*. Recursos Educativos de Química. <https://www.dequimica.info/destilacion-fraccionada/>

De Química. (2022b). *Destilación simple*. Recursos Educativos de Química. <https://www.dequimica.info/destilacion-simple>

Delgado Güiz, D. E. (2018). *Evaluación del rendimiento, calidad y actividad antioxidante del aceite esencial de cáscara de naranja fresca de la especie Citrus maxima (Burm.) Merr. Familia Rutaceae, obtenido por dos métodos de extracción* [Tesis pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16721/3/T-UCE-0008-CQU-049.pdf>

Delgado, L. (2019). *Evaluación in vitro de los aceites esenciales de naranja (Citrus sinensis L.) y limón (Citrus limon), frente a Sclerotinia sp., agente causal del moho blanco en lechuga*. [Tesis pregrado, Universidad de Cundinamarca]. Obtenido de

<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2675/EVALUACION%20in%20vitro%20DE%20LOS%20ACEITES%20ESENCIALES%20DE%20NARANJA%20%28Citrus%20sinensis%20L.%29%20Y%20LIMON%20%28Citrus%20lat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz Puertas, R. (2020). *Estudio de los cambios fisiológicos durante la maduración de las variedades de limón Eureka, Fino y Verna* [Tesis posgrado, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Obtenido de <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/6867/1/TFM%20D%20c%20adaz%20Puertas%20c%20Rocio.pdf>

Domínguez, A. (2013). *Análisis de las alternativas para el aprovechamiento del limón real (citrus sp)*. (p. 76). Instituto Tecnológico Tuxtla Gutiérrez. <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2848/MDRPIQ2013008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Escobar, M. A., & Velasco, K. J. (2022). “*Estudio de dos métodos de extracción del aceite esencial de limón real (Citrus limonum) en el Cantón Caluma*”. [Tesis pregrado, Universidad Estatal de Bolívar]. Obtenido de <https://www.dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/4172/1/TESIS-%20Escobar-%20Velasco.%202022.pdf>

Franco, K. (2017). “*Estudio comparativo de costos y rentabilidad de dos empresas familiares dedicadas a la producción de viveros de cítricos injertos en la zona norte del cantón Mocache, provincia de Los Ríos*”. [Tesis pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3349/1/T-UTEQ-0041.pdf>

Franco Torres, Y. L. (2015). *Evaluación del proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de Citrus aurantifolia (Limón Sutil) Citrus sinensis (Naranja) y Citrus*

- nobilis (Mandarina) Mediante Hidrodestilación*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/627/1/T-UTEQ-0053.pdf>
- Garavello, M., Beltran, V., & Kornowski, M. (2019). *Catálogo de portainjertos cítricos*. Ediciones INTA. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/5761/INTA_CREn treRios_EEAConcordia_Garavello_M_catalogo_de_variedades_de_portainjerto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, B. (2014). *Estudio de mercado y prefactibilidad del cultivo de limón Tahití (citrus aurantifolia) en la provincia de Santa Elena*. [Tesis pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2710/1/T-UCSG-PRE-TEC-EADR-13.pdf>
- Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., & Mihoubi, N. B. (2012). Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*, 40, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.009>
- Gómez Córdoba, E., Jiménez Panchalo, A. L., & Vallejo Castillo, V. E. (2021). Modelamiento matemático de la extracción asistida con ultrasonido de compuestos bioactivos presentes en la cebolla (*Allium cepa* L.): Revisión y análisis teórico. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 9(2), Art. 2. <https://doi.org/10.17081/invinno.9.2.4772>
- González, D. (2015). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: Una aproximación desde la nutrición animal*. [Tesis

- pregrado, Corporación Universitaria Lasallista]. Obtenido de <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/1032>
- González, L., & Tullo, C. (2019). *Guía técnica cultivo de cítricos*. San Lorenzo-Paraguay: Universidad Nacional de Asunción. https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_03.pdf
- Gutiérrez, L., & Tunqui, C. (2017). *Evaluación de la calidad del destilado alcohólico de anís (Pimpinella anisum L.) obtenidos por destilación simple y fraccionada en una industria licorera*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5375/QUgucrld.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Herrera-Plasencia, P., Garcia-Rupaya, C., & Delgado-Cotrino, L. (2019). Eficacia disolvente y citotoxicidad del aceite de cáscara de limón (Citrus limon). *Revista Estomatológica Herediana*, 29(3), 196-202. <https://doi.org/10.20453/reh.v29i3.3603>
- Hurtado Castro, R. del C. (2017). *“Evaluación energética de la biomasa de los residuos forestales, como alternativa de uso de energía renovable en la ciudad de Pucallpa – Ucayali”* [Tesis pregrado, Universidad Alas Peruanas]. Obtenido de https://repositorio.uap.edu.pe/jspui/bitstream/20.500.12990/7655/1/Tesis_evaluaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica_biomasa_residuos%20forestales_uso%20de%20energ%C3%ADa%20renovable_Pucallpa_Ucayali.pdf
- INEC. (2022). *Censo Nacional Agropecuario*. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua – ESPAC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>

- Irfan, S., Ranjha, M., Ranjha, N., Mahmood, S., Saeed, W., & Alam, M. (2019). *Lemon Peel: A Natural Medicine*. 7(10), 185-194.
https://www.researchgate.net/publication/338362305_Lemon_Peel_A_Natural_Medicine
- Jami Toaquiza, G. V., & Jaramillo Cando, L. E. (2019). *Quimio-biodiversidad de aceites esenciales producidos de variedades híbridas provenientes de diferentes tipos de rosas*. [Tesis pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17575/1/UPS-QT14012.pdf>
- Janati, S. S. F., Beheshti, H. R., Feizy, J., & Fahim, N. K. (2012). *Chemical composition of lemon (citrus limon) and peels its considerations as animal food*. 37(5), 267-271. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/78876>
- Jiménez, V., Gómez, Á., & Colina, J. (2021). Evaluation of Tahiti lemon shell flour (*Citrus latifolia* Tanaka) as a fat mimetic. *Journal of Food Science and Technology*, 58(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04588-y>
- Judith, E. O. A. (2020). *Ctividad antimicrobiana del aceite esencial de tres especies de citrus limon contra escherichia coli y staphylococcus aureus*. [Tesis pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ESPINEL%20OBREGOSO%20ANDREA%20JUDITH.pdf>
- Ladino, E. (2020). *Evaluación del fungicida imazalil en el control de Penicillium spp., en limón Meyer (Citrus meyerii Y.)*. [Tesis pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21499/1/T-UCE-0004-CAG-262.pdf>

- Land, L. (2020). The Difference Between Lemon Rind and Zest. *New England Today*.
<https://newengland.com/today/food/cooking-advice/kitchen-tips/difference-between-lemon-rind-and-zest/>
- Lee, H., Woo, M., Kim, M., Noh, J. S., & Song, Y. O. (2018). Antioxidative and Cholesterol-Lowering Effects of Lemon Essential Oil in Hypercholesterolemia-Induced Rabbits. *Preventive Nutrition and Food Science*, 23(1), Art. 1.
<https://doi.org/10.3746/pnf.2018.23.1.8>
- Lema, K. (2021). *Evaluación de la capacidad de adsorción de cromo hexavalente en aguas sintéticas mediante el uso de la cáscara de naranja (Citrus Sinensis) y cáscara de limón (Citrus Limon)*.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24485/1/UCE-FIQ-LEMA%20KATHERINE-PEREZ%20ANTHONY.pdf>
- León, C. (2017). *Aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón sutil Citrus aurantifolia*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Obtenido de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/21327>
- Llamoca, M. (2017). *Efecto de la aplicación de tres dosis proma T-Lina en el proceso para la obtención de plantones en citrus jambhiri (limón rugoso) y citrus volkameriana (limón volkameriano) aptos para la injertación de citrus aurantifolia (limón sutil)*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. Obtenido de <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/352/TESIS%20-%20LLAMOCA%20VERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López Aita, J. P. (2018). *“Propuesta de mejora del proceso de cultivo de limón basado en modelos predictivos de rendimiento agrícola en los valles: Alto Piura y San Lorenzo, 2018”* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Obtenido de

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1769/IND-LOP-AIT-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lorente Fernández, J. (2015). *Caracterización del zumo de limón español (Citrus limon (L.) Burm.) y valorización de subproductos industriales* [Tesis posgrado, Universitat de Lleida]. Obtenido de <https://www.tdx.cat/handle/10803/664901#page=2>

Lossi Nisthal, E. A. (2012). *Obtención de aceite esencial del flavelo del fruto del naranjo dulce (Citrus Sinensis l.) tipo blanca, variedad valencia, empleando el método de destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio, en función de diferentes tipos de corte y contenido de humedad* [Tesis pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1233_Q.pdf

Macías, R., Vásquez, F., & Miranda, S. (2021). *Frutas tropicales diversidad, procesos y beneficios para la salud* (Editorial Grupo Compás). <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/645>

Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Baral, E. R., Koteswararao, R., Dhyani, A., Hwan Cho, M., & Cho, S. (2020). Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review. *Journal of Advanced Research*, 23, 61-82. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.01.007>

Martinez, A. (2014). *Evaluación Antibacteriana y Antioxidante de Extractos de la Cáscara de naranja (Citrus sinensis) variedad Valencia* [Tesis pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/557/62923s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mendoza Huayta, M. H., & Ventura Ventura, J. N. (2017). *“Efecto hipolipemiante del aceite esencial de cáscara de naranja (Citrus sinensis) En Rattus Norvegicus Variedad Wistar. Arequipa-2014-2016”* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa]. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5117/NUMehujl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meseldzija, S., Petrovic, J., Onjia, A., Volkov-Husovic, T., Nestic, A., & Vukelic, N. (2019). Utilization of agro-industrial waste for removal of copper ions from aqueous solutions and mining-wastewater. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 75, 246-252. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.031>
- Meza Ipanaqué, E. I. (2017). *Extracción y evaluación del aceite esencial de las cáscaras de la naranja dulce (Citrus sinensis)* [Tesis pregrado, Universidad de Guayaquil]. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20142/1/BCIEQ-T-0203%20Meza%20Ipanaqu%C3%A9%20Eduardo%20Ignacio.pdf>
- Mite, A. I. A., Loor, J. L. M., Casillas, D. O. C., & Larreta, F. S. G. (2022). Estudio Comparativo de la Composición Química, Fenoles Totales y Actividad Antioxidante de Citrus síntesis, Citrus reticulata y Citrus máxima. *RECIAMUC*, 6(3), Art. 3. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(3\).julio.2022.535-545](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.535-545)
- Molina, J. (2018). *Acidfrut Lactic*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5169/6/PC-000337.pdf>
- Montero, M. E. (2016). *Destilación simple y fraccionada como estrategia metodológica para fortalecer el aprendizaje de la separación de los componentes de una mezcla en los estudiantes de primer año de bachillerato del Colegio Hernán Gallardo Moscoso de la Ciudad de Loja periodo académico 2013-2014*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Obtenido de

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10859/1/TESIS%20Magdalena%20Elizabeth%20Montero%20Paccha.pdf>

Montero, Y. (2009). *Evaluación de la actividad antimicrobiana del aceite esencial de limón persa (Círus latifoïia Tanaka)* [Tesis posgrado, Universidad Veracruzana]. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46805/MonteroCelisYanina.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Moposita Vásquez, D., & Núñez Torres, D. (2012). “*Obtención de aceites esenciales de la cáscara de naranja (Citrus sinensis, variedad valenciana) a través del método de destilación por arrastre de vapor, utilizando tres concentraciones de bicarbonato de sodio para incrementar su rendimiento*” [Tesis pregrado, Universidad Estatal de Bolívar]. Obtenido de <https://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/921/1/056.pdf>

Moscoso Aguilar, M. D., & Ochoa Barreto, M. E. (2018). *Catálogo de densidades y consistencias de alimentos como herramienta para estimación de porciones alimentarias en niños y adultos de la ciudad de cuenca* [Tesis pregrado, Universidad de Cuenca]. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29931/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>

Ngo, T. C. Q., Tran, T. H., Tran, T. T., Huynh, X. P., Do, V. D., Nguyen, K. T., Nguyen, M. V., & Bach, L. G. (2020). Yields and Composition of Persian Lime Essential Oils (*Citrus latifolia*) from Hau Giang province, Vietnam extracted by Three Different Extraction Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991(1), 012130. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012130>

- NTE INEN 841. (2016). *Productos cosméticos. Jabón de tocador en barra. Requisitos*. [Cosmetic products Bar toilet soap requirements]. Norma Técnica Ecuatoriana. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_841.pdf
- NTE INEN 2867. (2015). *Productos cosméticos. Requisitos*. Norma Técnica Ecuatoriana. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2867.pdf
- Orrala, N., Solís, A., & Tomalá, M. (2012). Efecto de NPK en la Producción de Citrus Aurantifolia Swingle V. Sutil en Sinchal, Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 1(1), Art. 1. <https://doi.org/10.26423/rctu.v1i1.5>
- Ortiz, K. (2018). “*Caracterización físico—Química del jugo de limón sutil conservado mediante congelación rápida por aire forzado y un análisis comparativo con el jugo de limón sutil en fresco*” [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1387/IND-ORT-FLO-2018.pdf?sequence=1>
- Orús, A. (2021). *Producción mundial de limones 2012-2020*. [Statista]. Bienes de consumo. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/529261/produccion-mundial-de-limones/>
- Ozcan, M. M., Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Uslu, N., Babiker, E. E., Mohamed Ahmed, I. A., & Almusallam, I. A. (2021). Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04524-0>
- Páez Perilla, Á. V. (2013). *Aceites esenciales: Extracción, usos y aplicación*. Servicio Nacional de Aprendizaje. 12. Obtenido de https://www.academia.edu/29012998/Unidad_1._Generalidades_de_los_acei

- Palacios Coronado, P. C. (2018). *Estudio del potencial de hidrógeno salival en niños con ingesta de leche materna y leche evaporada modificada atendidos en el centro de salud Gerardo Villegas Gonzales, Tumbes – Perú, 2017*. [Tesis pregrado, Universidad Alas Peruanas]. Obtenido de [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/4646/Tesis_Estudio_Hidr% c3% b3geno_Ni% c3% b1os.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/4646/Tesis_Estudio_Hidr%c3%b3geno_Ni%c3%b1os.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Penelo, L. (2018). Cítricos: Propiedades, beneficios y valor nutricional. *La Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/comer/frutas/20181107/452776147501/alimentos-propiedades-beneficios-citricos-valor-nutricional-naranjas-limones-mandarinas-pomelos.html>
- Penjor, T., Mimura, T., Matsumoto, R., Yamamoto, M., & Nagano, Y. (2014). Characterization of limes (*Citrus aurantifolia*) grown in Bhutan and Indonesia using high-throughput sequencing. *Scientific Reports*, 4(4853), 9. <https://doi.org/10.1038/srep04853>
- Permanasari, A. A., Sukarni, S., Wulandari, R., Puspitasari, P., Mauludi, M. N., & Ramadani, R. (2020). Density, flash point, viscosity, and heating value of waste cooking biodiesel (B20) with bioadditive essential oil (lemon, lemongrass, eucalyptus). *Journal of Physics: Conference Series*, 1595(1), 012005.
- Pham, T., Nguyen, N. T. P., Dinh, D. V., Kieu, N. T., Bach, L. G., Phong, H. X., Muoi, N. V., & Truc, T. T. (2020). Evaluate the Chemical Composition of Peels and Juice of Seedless Lemon (*Citrus latifolia*) Grown in Hau Giang Province, Vietnam. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012127>

- Pillasagua Guerrero, T. O. (2021). *“Diseño de la segunda etapa de decantación primaria de la planta depuradora de aguas residuales de Jipijapa del sector Joa.”* [Tesis pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3340/1/TESIS%20FINAL%20PILLASAGUA%20TYRONE%20CON%20CORRECCIONESvv.pdf>
- Pincay Tomalá, W. E. (2021). *“Renovación de cultivo de limón de la asociación de producción agrícola y citricultores 1° de mayo (asopacima), en la comuna barcelona, provincia de SANTA ELENA”* [Tesis pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6295/1/UPSE-TIA-2021-0064.pdf>
- Plaza, M., & Ricalde, M. (2015). *Establecer parámetros de control de calidad físico-químicos del aceite esencial del Schinus molle l. Obtenido por arrastre de vapor.* (12 693-696). 11(12 693-696), Art. 12 693-696. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Puente, C. (2011). *Determinación de las Características Físicas y Químicas del Limón sutil (Citrus aurantifolia swingle).* [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/352>
- Quiroz, J. (2019). *La producción de limón y su incidencia en los ingresos de los productores de la parroquia Ayacucho del cantón Santa Ana.* [Tesis pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1767/1/UNESUM-ECUADOR-ECONOMIA-2019-14.pdf>
- Quirumbay, J. (2021). *“Determinación de las propiedades físicas y relaciones matemáticas de limón sutil (citrus aurantifolia swingle) cultivado en la comuna*

- Febres Cordero*” [Tesis pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/6423/UPSE-TIA-2021-0117.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Riera, M., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3). <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924>
- Rocha, P. (2020). *Determinación de la capacidad antioxidante del zumo de la especie cítrica híbrida limón-mandarina “Citrus x limonia” durante su tiempo de vida útil* [Tesis pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22545/1/T-UCE-0008-CQU-288.pdf>
- Rodríguez, J. (2015). Obtención de las funciones de transferencia de las temperaturas del tope y fondo de una de destilación binaria. *Dialnet*, 5(2), 796. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5282244>
- Rodríguez-González, O., Florido-Bacallao, R., & Varela-Nualles, M. (2018). Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 121-126.
- Rojas, A. F. R., & Flórez, C. (2019). Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis. *Revista Politécnica*, 15(28), Art. 28. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a4>
- Santistevan, M., Helfgott, S., Loli, O., & Julca, A. (2016). Comportamiento del cultivo del limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) en dos localidades de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(2), 15-20. <https://doi.org/10.26423/rctu.v3i2.146>

- Siancas, J. (2021). *Determinación de la presión de vacío óptima para mejorar el rendimiento y la calidad del aceite esencial de limón sutil (Citrus aurantifolia) obtenido por hidrodestilación*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2821/IQUI-SIA-FEB-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sindhu, R., & Singh, B. (2018). *Effects of Chemical Treatments on Storage Stability of Lemon (Citrus Limon) Juice*. 5(2), 4. <https://iarjset.com/upload/2018/february-18/IARJSET%2013.pdf>
- Stechina, D. (2005). *Estudios de obtención de pectina aplicando procesos de membrana*. [Tesis postgrado, Universidad Nacional del Litoral]. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/241/tesis.pdf?sequence=1>
- Suri, S., Singh, A., & Nema, P. (2022). Current applications of citrus fruit processing waste: A scientific outlook. *Applied Food Research*, 2(1), 100050. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100050>
- Thapa, S., Pudel, K., Limbu, S., Dahal, G., & Pokhrel, S. (2022). Phytochemical Screening, GC Analysis and Antibacterial Activity of Citrus limon Peel Extract and Essential Oil. *Journal of Nepal Chemical Society*, 43(1), 69-75. <https://doi.org/10.3126/jncs.v43i1.46961>
- Tinoco Reyes, I. (2016). *“Ventajas competitiva revelada del limón Mexicano: Análisis con España, Argentina y Turquía, en el periodo 2000-2012”* [Tesis pregrado, Universidad Michoacana de san Nicolás de hidalgo]. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/1024/1/ININEE-M-2016-0490.pdf

- Tran, T. H., Nguyen, T. N. Q., Le, X. T., Phong, H. X., & Long, T. B. (2021). Optimization of operating conditions of Lemon (*Citrus aurantifolia*) essential oil extraction by Hydro-distillation Process using Response Surface Methodology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1092(1), 012094. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1092/1/012094>
- Tran, T. K. N., Ngo, T. C. Q., Tran, T. H., Tran, T. T., Huynh, X. P., Do, V. D., Nguyen, K. T., Nguyen, M. V., & Bach, L. G. (2020). Rendimiento y composición de los aceites esenciales de lima persa (*Citrus latifolia*) de la provincia de Hau Giang, Vietnam, extraídos mediante tres métodos de extracción diferentes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991(1), 012130. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012130>
- USDA. (2018). *Departamento de Agricultura de EE. UU. Servicio de Investigación Agropecuaria*. Obtenido de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1102594/nutrients>
- Valarezo, A., Valarezo, O., Mendoza, A., & Álvarez, H. (2014). *Guía técnica sobre el manejo de los cítricos en el Litoral ecuatoriano*. Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa Nacional de Fruticultura. (Manual Técnico no. 101). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1194>
- Vega, R. (2019). *Actividad antimicrobiana de aceites esenciales obtenidos por dos métodos de extracción diferentes de tres especies vegetales medicinales peruanas frente a Streptococcus pneumoniae* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4306>
- Yauce, B. R., & Alberto, M. (2018). "Evaluación del aceite esencial de limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) como conservante natural en carne de cerdo (*Sus scrofa*)"

domesticus).” [Tesis pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

Obtenido de

<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8400/BC-4804%20RIVAS%20YAUCE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zannini, D., Dal Poggetto, G., Malinconico, M., Santagata, G., & Immirzi, B. (2021).

Citrus Pomace Biomass as a Source of Pectin and Lignocellulose Fibers: From Waste to Upgraded Biocomposites for Mulching Applications. *Polymers*, *13*(8), 1280. <https://doi.org/10.3390/polym13081280>

ANEXOS

Anexo 1

Mapas de las ubicaciones en donde se realizó la investigación



Anexo 2

Propiedades físicas y químicas de las variedades del limón

Limón sutil

Muestra	Ancho 1(mm)	Ancho 2(mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso (g)	Cáscara (g)	Fruto (g)	Brix	Refractómetro	Brix Total	pH
1	35,92	36,02	35,97	36,69	26	12	14	7,4	7,4	7,4	2,21
2	41,31	41,70	41,51	49,56	45	18	27	7,2	7	7,1	2,13
3	42,10	43,52	42,81	43,46	43	15	28	7,4	7,5	7,45	2,17
4	46,89	46,57	46,73	42,04	59	22	37	6,3	6,3	6,3	2,32
5	42,48	42,50	42,49	43,89	43	24	19	6,9	6,9	6,9	2,27
6	41,69	42,53	42,11	41,07	41	23	18	6,2	6,4	6,3	2,23
7	42,70	43,49	43,10	41,30	41	24	17	6,9	6,9	6,9	2,33
8	40,24	40,68	40,46	38,21	36	23	13	6,4	6,6	6,5	2,36
9	44,75	45,82	45,29	45,29	49	17	32	7,1	7	7,1	2,26
10	48,74	48,98	48,86	48,50	63	11	52	7	7,2	7,1	2,31
Media	42,68	43,18	42,93	43,00	44,60	18,90	25,70	6,88	6,92	6,90	2,26
Desviación Estándar	3,55	3,54	3,54	4,08	10,63	5,00	12,22	0,44	0,40	0,41	0,07
CV	8,32	8,20	8,24	9,49	23,83	26,45	47,55	6,38	5,73	5,99	3,28

Limón mandarino

Muestra	Ancho 1(mm)	Ancho 2(mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso (g)	Cáscara (g)	Fruto (g)	Brix	Refractómetro	Brix Total	pH
1	71,38	69,68	70,53	62,07	205	64,69	140,31	7,2	6,4	6,8	2,17
2	63,5	64,78	64,14	55,28	250	40,31	209,69	8	7	7,5	2,27
3	70,72	73,35	72,035	58,5	177	71,23	105,77	7,2	7	7,1	2,35
4	66,02	69,82	67,92	56,46	155	47,97	107,03	7,1	7	7,05	2,32
5	78,3	78,05	78,175	62,42	197	83,03	113,97	6,4	5,6	6	2,33
6	63,89	69,61	66,75	55,3	151	41,18	109,82	7,1	6,3	6,7	2,28
7	76,03	78,51	77,27	65,55	224	67,16	156,84	7,4	6,8	7,1	2,31
8	64,4	68,2	66,3	54,41	145	41,21	103,79	7	6,2	6,6	2,29
9	74,55	75,7	75,125	63,49	207	70,35	136,65	6,1	5,6	5,85	2,28
10	69,64	72,4	71,02	69,41	188	57,29	130,71	7,1	6,3	6,7	2,35
Media	69,84	72,01	70,93	60,29	189,90	58,44	131,46	7,06	6,42	6,74	2,30
Desviación Estándar	5,05	4,21	4,54	4,81	32,04	14,35	31,09	0,49	0,51	0,48	0,05
CV	7,23	5,84	6,40	7,98	16,87	24,56	23,65	6,94	7,91	7,11	2,17

Limón Real

Muestra	Ancho 1(mm)	Ancho 2(mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso (g)	Cáscara (g)	Fruto (g)	Brix	Refractómetro	Brix Total	pH
1	76,79	82,49	79,64	91,38	252	105	147	6,4	6,4	6,4	2,25
2	77,09	77,85	77,47	77,8	209	101	108	6,1	6	6,05	2,28
3	84	86,71	85,355	90,65	257	137	120	6	5,9	5,95	2,29
4	81,14	81,44	81,29	91,07	268	134	134	6,3	6,1	6,2	2,34
5	81,95	77,26	79,605	90,42	247	130	117	5,3	5,4	5,35	2,33
6	75,14	80,28	77,71	75,3	215	105	110	6	6	6	3,23
7	77,11	75,84	76,475	76,24	220	100	120	6	6	6	2,32
8	79,41	78,84	79,125	86,36	243	129	114	5,4	5,6	5,5	2,28
9	91,56	82,88	87,22	81,49	271	145	126	6,2	6	6,1	2,26
10	80,23	83,61	81,92	87,82	271	124	147	6	5,8	5,9	2,27
Media	80,44	80,72	80,58	84,85	245,30	121,00	124,30	5,97	5,92	5,95	2,39
Desviación Estándar	4,76	3,34	3,46	6,53	23,34	16,69	14,12	0,36	0,27	0,31	0,30
Cv	5,92	4,14	4,30	7,69	9,51	13,80	11,36	5,96	4,63	5,22	12,51

Limón Tahití

Muestra	Ancho 1(mm)	Ancho 2(mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso (g)	Cáscara (g)	Fruto (g)	Brix	Refractómetro	Brix Total	pH
1	82,91	81,44	82,175	86,26	284	112	172	5,3	5,2	5,25	2,18
2	73,9	74,23	74,065	86,02	225	65	160	5,2	4,9	5,05	2,22
3	72,45	71,24	71,845	81,24	204	50	154	5,2	5	5,1	2,19
4	75,42	71,39	73,405	80,49	216	61	155	5,3	5,5	5,4	2,19
5	76,8	75,46	76,13	80,07	226	64	162	5,3	5	5,15	2,34
6	79,11	76,17	77,64	84,35	252	67	185	5,2	5	5,1	2,21
7	74,69	73,25	73,97	74,03	197	62	135	5,3	5,6	5,45	2,22
8	79,49	83,62	81,555	85,87	268	81	187	5,4	5,3	5,35	2,22
9	77,15	78,83	77,99	83,56	244	72	172	5,3	5	5,15	2,25
10	82,98	86,7	84,84	84,99	346	103	243	6,2	6,1	6,15	2,23
Media	77,49	77,23	77,36	82,69	246,20	73,70	172,50	5,37	5,26	5,32	2,23
Desviación Estándar	3,42	5,00	4,09	3,63	42,28	18,59	27,67	0,28	0,36	0,31	0,04
CV	4,42	6,47	5,28	4,39	17,17	25,22	16,04	5,27	6,81	5,78	1,94

Anexo 3

Extracción de aceite esencial de limón (Réplica 1)

Tratamiento	Código	Materia prima (Cáscara)	Bicarbonato de sodio	H2O destilada	Temperatura del termómetro	Flujo masico	Tiempo primera goteo	Tiempo final de extracción	Volumen de hidrolato	Volumen de aceite esencial	Peso del aceite esencial
		g	g	mL	°C	mL/s	min	min	mL	mL	g
1	S8S	200	1,4	250	85 - 90	8,02	27	120	110	1,3	1,102
2	S8F	200	1,4	250	78 - 85	8,02	24	120	130	2	1,712
3	S12S	200	1,4	250	85 - 90	10,35	28	120	70	2	1,712
4	S12F	200	1,4	250	78 - 85	10,35	23	120	100	2,3	1,948
5	M8S	200	1,4	250	85 - 90	11,11	33	120	115	1,1	0,942
6	M8F	200	1,4	250	78 - 85	11,11	30	120	165	1,7	1,467
7	M12S	200	1,4	250	85 - 90	13,64	37	120	138	1,2	1,035
8	M12F	200	1,4	250	78 - 85	13,64	40	120	79	1,5	1,285
9	R8S	200	1,4	250	85 - 90	11,81	30	120	98	1,1	0,947
10	R8F	200	1,4	250	78 - 85	11,81	23	120	118	1,5	1,268
11	R12S	200	1,4	250	85 - 90	10,24	47	120	125	1,2	1,033
12	R12F	200	1,4	250	78 - 85	10,24	49	120	98	1,9	1,636
13	S8S	200	1,4	250	85 - 90	9,74	73	120	108	1,8	1,556
14	S8F	200	1,4	250	78 - 85	9,74	88	120	32	1,8	1,555
15	S12S	200	1,4	250	85 - 90	11,64	55	120	52	1,2	1,037
16	S12F	200	1,4	250	78 - 85	11,64	44	120	28	1,8	1,558

Extracción de aceite esencial de limón (**Réplica 2**)

Tratamiento	Código	Materia prima (Cáscara)	Bicarbonato de sodio	H2O destilada	Temperatura del termómetro	Flujo masico	Tiempo primera goteo	Tiempo final de extracción	Volumen de hidrolato	Volumen de aceite esencial	Peso del aceite esencial
		g	g	mL	°C	mL/s	min	min	mL	mL	g
1	S8S	200	1,4	250	85 - 90	10,35	30	120	120	2,2	1,884
2	S8F	200	1,4	250	78 - 85	10,35	32	120	68	2,6	2,250
3	S12S	200	1,4	250	85 - 90	7,47	27	120	170	1,2	1,039
4	S12F	200	1,4	250	78 - 85	7,47	22	120	140	1,7	1,471
5	M8S	200	1,4	250	85 - 90	11,9	31	120	117	1,2	1,021
6	M8F	200	1,4	250	78 - 85	11,9	32	120	82	1,5	1,287
7	M12S	200	1,4	250	85 - 90	13,58	30	120	135	1,0	0,854
8	M12F	200	1,4	250	78 - 85	13,58	35	120	98	1,2	1,035
9	R8S	200	1,4	250	85 - 90	4,52	44	120	97	1,7	1,447
10	R8F	200	1,4	250	78 - 85	4,52	40	120	94	1,7	1,475
11	R12S	200	1,4	250	85 - 90	13,02	38	120	72	1,5	1,272
12	R12F	200	1,4	250	78 - 85	13,02	38	120	118	1,9	1,623
13	S8S	200	1,4	250	85 - 90	13,77	43	120	50	1,5	1,297
14	S8F	200	1,4	250	78 - 85	13,77	46	120	47	1,6	1,379
15	S12S	200	1,4	250	85 - 90	12,16	31	120	131	1,5	1,294
16	S12F	200	1,4	250	78 - 85	12,16	35	120	54	2,2	1,885

Extracción de aceite esencial de limón (**Réplica 3**)

Tratamiento	Código	Materia prima (Cáscara)	Bicarbonato de sodio	H2O destilada	Temperatura del termómetro	Flujo masico	Tiempo primera goteo	Tiempo final de extracción	Volumen de hidrolato	Volumen de aceite esencial	Peso del aceite esencial
		g	g	mL	°C	mL/s	min	min	mL	mL	g
1	S8S	200	1,4	250	85 - 90	10,33	31	120	122	1,6	1,331
2	S8F	200	1,4	250	78 - 85	10,33	28	120	98	2,2	1,855
3	S12S	200	1,4	250	85 - 90	7,42	27	120	112	2,5	2,118
4	S12F	200	1,4	250	78 - 85	7,42	23	120	132	1,9	1,590
5	M8S	200	1,4	250	85 - 90	11,9	35	120	107	1,1	0,949
6	M8F	200	1,4	250	78 - 85	11,9	31	120	99	1,5	1,254
7	M12S	200	1,4	250	85 - 90	13,50	30	120	135	1,0	0,843
8	M12F	200	1,4	250	78 - 85	13,50	27	120	94	1,2	1,014
9	R8S	200	1,4	250	85 - 90	8,52	44	120	107	1,5	1,266
10	R8F	200	1,4	250	78 - 85	8,52	40	120	85	1,7	1,426
11	R12S	200	1,4	250	85 - 90	12,05	38	120	79	1,5	1,263
12	R12F	200	1,4	250	78 - 85	12,05	30	120	118	1,9	1,609
13	S8S	200	1,4	250	85 - 90	13,77	43	120	58	1,5	1,274
14	S8F	200	1,4	250	78 - 85	13,77	42	120	87	1,6	1,362
15	S12S	200	1,4	250	85 - 90	11,16	38	120	140	1,2	1,024
16	S12F	200	1,4	250	78 - 85	11,16	33	120	132	1,9	1,607

Anexo 4

Datos experimentales del secado de la cáscara de limón

Limón sutil

Temperatura	Tiempo	Peso	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
107 °C	0:00	m1	20,044	20,064	20,080	20,063
107 °C	0.30	m2	15,629	17,665	16,080	16,458
107 °C	1.0	m3	12,220	15,189	12,836	13,415
107 °C	1.30	m4	8,973	12,039	9,217	10,076
107 °C	2.0	m5	6,725	8,579	6,782	7,362
107 °C	2.30	m6	5,921	6,265	6,164	6,117
107 °C	3	m7	5,846	5,954	6,110	5,970
107 °C	3.3	m8	5,818	5,902	6,063	5,928
107 °C	4	m9	5,804	5,883	6,078	5,922
107 °C	4.3	m10	5,796	5,872	6,067	5,912
107 °C	5	m11	5,796	5,870	6,062	5,909
107 °C	5.3	m12	5,787	5,863	6,060	5,903
107 °C	6	m13	5,785	5,860	6,059	5,901
107 °C	6.3	m14	5,780	5,855	6,055	5,897
107 °C	7	m15	5,779	5,851	6,053	5,894
107 °C	7.30	m16	5,766	5,842	6,044	5,884
107 °C	8	m17	5,550	5,826	6,022	5,799
107 °C	8.30	m18	5,770	5,846	6,047	5,888
107 °C	9	m19	5,766	5,843	6,046	5,885
107 °C	9.30	m20	5,754	5,831	6,032	5,872
107 °C	10	m21	5,753	5,842	6,043	5,879
107 °C	10.30	m22	5,753	5,826	6,026	5,868
107 °C	11	m23	5,745	5,816	6,023	5,861
107 °C	11.30	m24	5,751	5,821	6,021	5,864
107 °C	12	m25	5,742	5,813	6,015	5,857
107 °C	12.30	m26	5,738	5,808	6,011	5,852

Limón mandarino

Peso	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
m1	20,052	20,043	20,055	20,050
m2	14,985	17,957	16,786	16,576
m3	12,076	15,710	13,157	13,648
m4	8,754	12,885	9,753	10,464
m5	6,144	9,496	6,883	7,508
m6	5,133	6,097	5,278	5,503
m7	5,007	4,965	5,043	5,005
m8	4,972	4,827	4,992	4,930
m9	4,945	4,785	4,965	4,898
m10	4,927	4,763	4,945	4,878
m11	4,914	4,751	4,935	4,867
m12	4,904	4,732	4,923	4,853
m13	4,895	4,724	4,915	4,845
m14	4,883	4,715	4,905	4,834
m15	4,877	4,707	4,898	4,827
m16	4,863	4,689	4,883	4,812
m17	4,841	4,665	4,859	4,788
m18	4,857	4,675	4,872	4,801
m19	4,842	4,671	4,868	4,794
m20	4,836	4,656	4,857	4,783
m21	4,833	4,656	4,854	4,781
m22	4,83	4,647	4,847	4,775
m23	4,819	4,636	4,836	4,764
m24	4,814	4,635	4,831	4,760
m25	4,812	4,630	4,829	4,757
m26	4,807	4,624	4,824	4,752

Limón Real

Peso	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
m1	20,037	20,036	20,021	20,031
m2	16,352	17,664	17,126	17,047
m3	10,119	12,562	10,900	11,194
m4	5,953	7,607	6,060	6,540
m5	4,489	4,623	4,577	4,563
m6	4,426	4,324	4,513	4,421
m7	4,402	4,302	4,487	4,397
m8	4,386	4,286	4,470	4,381
m9	4,382	4,281	4,468	4,377
m10	4,373	4,275	4,459	4,369
m11	4,371	4,273	4,458	4,367
m12	4,358	4,264	4,446	4,356
m13	4,357	4,255	4,441	4,351
m14	4,353	4,252	4,436	4,347
m15	4,347	4,245	4,432	4,341
m16	4,345	4,241	4,431	4,339
m17	4,340	4,241	4,425	4,335
m18	4,333	4,232	4,418	4,328
m19	4,331	4,231	4,414	4,325
m20	4,330	4,230	4,413	4,324
m21	4,323	4,226	4,412	4,320
m22	4,322	4,225	4,412	4,320
m23	4,318	4,218	4,408	4,315
m24	4,311	4,216	4,407	4,311
m25	4,310	4,212	4,404	4,309
m26	4,308	4,211	4,403	4,307

Limón Tahití

Peso	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
m1	20,018	20,012	20,015	20,015
m2	17,723	18,610	17,192	17,842
m3	12,019	13,842	11,420	12,427
m4	7,171	9,237	6,189	7,532
m5	4,578	5,047	4,508	4,711
m6	4,314	4,361	4,213	4,296
m7	4,298	4,441	4,195	4,311
m8	4,284	4,318	4,175	4,259
m9	4,282	4,314	4,164	4,253
m10	4,276	4,306	4,155	4,246
m11	4,274	4,304	4,150	4,243
m12	4,267	4,295	4,137	4,233
m13	4,258	4,280	4,122	4,220
m14	4,256	4,278	4,120	4,218
m15	4,251	4,274	4,113	4,213
m16	4,242	4,246	4,086	4,191
m17	4,240	4,245	4,074	4,186
m18	4,237	4,242	4,059	4,179
m19	4,232	4,241	4,058	4,177
m20	4,231	4,240	4,057	4,176
m21	4,230	4,239	4,056	4,175
m22	4,230	4,238	4,056	4,175
m23	4,219	4,230	4,047	4,165
m24	4,217	4,229	4,045	4,164
m25	4,216	4,225	4,043	4,309
m26	4,215	4,222	4,037	4,158

Anexo 5

Análisis elemental de la cáscara de limón

Determinación de humedad 105° C /24 horas de la cáscara de limón

	M1 Peso crisol+ tapa vacío			Peso muestra			M2 Crisol vacío + muestra			M3 Peso crisol después del proceso			(M2-M3)			(M2-M1)			100	MAR			
	P1	P2	P3	RM1	RM2	RM3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	100	R1	R2	R3	Promedio
Limón Sutil	31,53	28,71	31,02	1,01	1,01	1,01	32,54	29,72	32,03	31,70	28,87	31,20	0,84	0,85	0,83	1,01	1,01	1,01	100	83,44	83,69	82,18	83,10
Limón Mandarino	29,70	33,21	31,83	1,01	1,01	1,01	30,71	34,22	32,84	29,90	33,41	32,04	0,81	0,81	0,80	1,01	1,01	1,01	100	80,52	80,20	79,21	79,98
Limón Real	27,83	27,13	28,20	1,01	1,01	1,01	28,84	28,14	29,21	27,97	27,27	28,34	0,87	0,87	0,87	1,01	1,01	1,01	100	86,22	86,14	86,14	86,17
Limón Tahití	30,78	31,65	29,64	1,01	1,01	1,01	31,79	32,66	30,65	30,95	31,82	29,81	0,84	0,84	0,84	1,01	1,01	1,01	100	82,80	83,17	83,17	83,05

Determinación de cenizas 550°C/1 hora de la cáscara de limón

	M1 Peso crisol+ tapa vacío			Peso muestra			M2 Crisol vacío + muestra			M3 Peso crisol después del proceso			(M2-M3)			(M2-M1)			100	MAR			
	P1	P2	P3	RM1	RM2	RM3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	100	R1	R2	R3	Promedio
Limón Sutil	31,420	30,505	30,995	1,018	1,018	1,014	32,438	31,523	32,008	31,429	30,516	31,006	1,008	1,008	1,003	1,018	1,018	1,014	100	83,652	83,600	86,101	84,451
Limón Mandarino	28,250	30,117	30,144	1,038	1,039	1,032	29,288	31,156	31,176	28,744	31,085	30,164	0,543	0,071	1,012	1,038	1,039	1,032	100	79,325	80,901	79,888	80,038
Limón Real	29,866	30,141	23,459	1,016	1,014	1,012	30,882	31,156	24,471	29,868	30,148	23,462	1,014	1,007	1,009	1,016	1,014	1,012	100	81,412	82,505	84,313	82,744
Limón Tahití	29,423	29,627	28,703	1,018	1,001	1,012	30,441	30,628	29,715	30,069	27,601	29,909	0,371	3,027	-0,194	1,018	1,001	1,012	100	87,739	81,881	94,177	87,932

Determinación de volátiles 900°C/7 min de la cáscara de limón

	M1 Peso crisol+ tapa vacío			Peso muestra			M2 Crisol vacío + muestra			M3 Peso crisol después del proceso			(M2-M3)			(M2-M1)			100	MAR			
	P1	P2	P3	RM1	RM2	RM3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	100	R1	R2	R3	Promedio
Limón Sutil	28,51	28,21	32,60	1,05	1,06	1,05	29,56	29,27	33,65	28,52	28,22	32,62	1,04	1,05	1,03	1,05	1,06	1,05	100	151,33	152,73	148,71	150,92
Limón Mandarino	32,29	31,20	32,75	1,06	1,05	1,05	33,35	32,25	33,80	32,30	31,21	32,76	1,04	1,04	1,04	1,06	1,05	1,05	100	83,09	83,78	84,74	83,87
Limón Real	29,87	30,14	23,46	1,02	1,01	1,01	30,88	31,16	24,47	29,87	30,15	23,46	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	100	81,41	82,50	84,31	82,74
Limón Tahití	33,44	31,20	31,60	1,06	1,06	1,06	34,50	32,26	32,66	33,45	31,21	31,57	1,05	1,05	1,09	1,06	1,06	1,06	100	60,18	58,84	58,15	59,06

Anexo 6

Resultados de los componentes volátiles del aceite esencial



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

PROFORMA: LAB-QA-2022-005

ENTREGA DE RESULTADOS	
FECHA	16 de diciembre del 2022
ENSAYO REALIZADO	Análisis en GC/MS
MUESTRAS	ACEITES ESENCIALES DE LIMÓN.
EQUIPO	GC THERMO SCIENTIFIC-TRACE 1300
DETECTOR	ESPECTRÓMETRO DE MASAS SIMPLE CUADRUPOLO ISQ 7000
COLUMNA	DB-5MS; Medidas: 30 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor.
MÉTODO CROMATOGRÁFICO	Temperatura del inyector: 230°C; Modo de inyección: Split, Split 80, volumen de inyección: 1 µl; Programa térmico: Temperatura del horno 50°C durante 3 minutos, con una rampa de temperatura de 3°C/min hasta 230°C durante 3 minutos. Tiempo total de corrida: 66 minutos.
OBSERVACIONES:	Se realizó análisis cuantitativo y semicuantitativo

ANÁLISIS CUANTITATIVO Y SEMICUANTITATIVO DE COMPUESTOS MAYORITARIOS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADA A ESPECTROMETRÍA DE MASAS

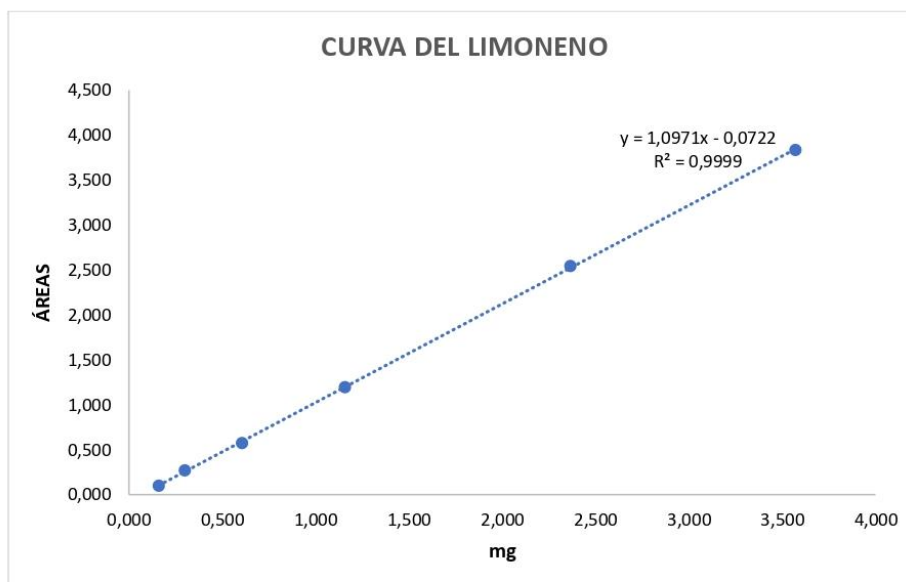
PREPARACIÓN DE LA CURVA DEL LIMONENO:

1. Se preparó 6 concentraciones distintas del estándar de limoneno, empleándose además un estándar interno que fue el nonano. Para esto se pesó 10 µL de nonano en 6 balones de aforo de 10 mL y se añadió el estándar de limoneno en cantidades crecientes en volumen: 1, 2.5, 5, 10, 20 y 30 µL y en peso 1.1, 2.1, 4.3, 8.1, 16.8 y 25 mg, aforándose con ciclohexano. Los pesos en mg del nonano y del limoneno se describen a continuación:

CURVA DE CALIBRACIÓN

ÍTEM	NONANO			LIMONENO			Relación mg	Relación áreas
	Volumen (µL)	Peso (mg)	AREA	Volumen (µL)	Peso (mg)	AREA		
1	10	6,9	16972379,514	1,0	1,1	1666633,93	0,159	0,098
2	10	7,0	16888862,417	2,5	2,1	4560353,37	0,300	0,270
3	10	7,1	16178926,727	5,0	4,3	9293800,64	0,606	0,574
4	10	7,0	16599150,732	10,0	8,1	19870551,29	1,157	1,197
5	10	7,1	14491167,405	20,0	16,8	36875780,86	2,366	2,545
6	10	7,0	15646559,930	30,0	25,0	59990584,42	3,571	3,834

La curva se construyó con la relación de las áreas del limoneno y del nonano y la relación de las cantidades en mg del limoneno y el nonano.



PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS:

Se pesó 3 μL de cada aceite esencial en viales ámbar de cromatografía y se añadió 1 mL de solución estándar de nonano con ciclohexano, la cual se preparó de la siguiente manera: se pesó 10 μL de nonano y se aforó en un balón de 10 mL con ciclohexano, el cual pesó 7 mg. Los pesos de las muestras se describen a continuación:

TABLA 1. Peso en mg de muestras de aceite esencial inyectadas en GC-MS.

MUESTRA	CANTIDAD (μL)	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2
		CANTIDAD (mg)	CANTIDAD (mg)
LIMÓN MANDARINA	3	2,5	2,5
LIMÓN REAL	3	2,4	2,5
LIMÓN SUTIL	3	2,3	2,4
LIMÓN TAHITÍ	3	2,5	2,4

RESULTADOS: Los resultados se expresan como análisis cuantitativo para el limoneno por cuanto la curva se realizó con este estándar y como análisis semicuantitativo para los demás compuestos mayoritarios por emplearse la misma curva al no contar con los estándares de los demás compuestos. La ecuación de la curva ($y = 1,0971x - 0,0722$), despejando x permitió obtener los mg de limoneno por mg de aceite esencial.

ANÁLISIS CUANTITATIVO

Cantidad en porcentaje:

MUESTRA	COMPUESTO	N° PICO	TR	IRC	IR literatura	%	%	PROMEDIO %
LIMÓN MANDARINA	Limoneno	1	14,91	1036	1024	72,763	72,93	72,84
LIMÓN REAL	Limoneno	1	14,83	1034	1024	82,879	82,12	82,50
LIMÓN SUTIL	Limoneno	1	14,90	1036	1024	60,227	60,47	60,35
LIMÓN TAHITÍ	Limoneno	1	14,91	1036	1024	81,602	81,90	81,75

Cantidad en miligramos: mg de limoneno en un mg de aceite esencial.

MUESTRA	COMPUESTO	N° PICO	TR	IRC	IR literatura	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
						mg/mg aceite esencial	
LIMÓN MANDARINA	Limoneno	1	14,91	1036	1024	27,568	0,132
LIMÓN REAL	Limoneno	1	14,83	1034	1024	32,518	0,703
LIMÓN SUTIL	Limoneno	1	14,90	1036	1024	20,333	0,326
LIMÓN TAHITÍ	Limoneno	1	14,91	1036	1024	29,706	0,498

ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO

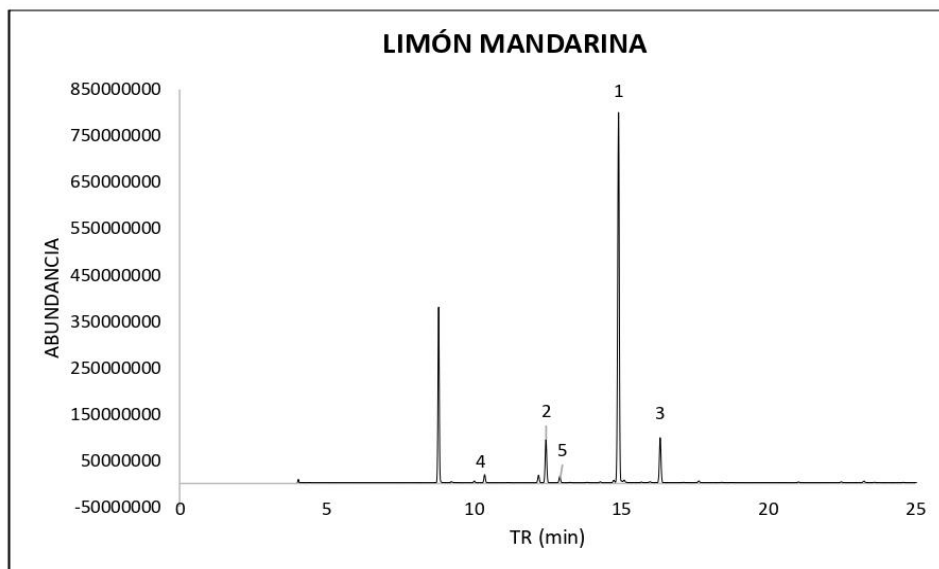
Cantidad en porcentaje:

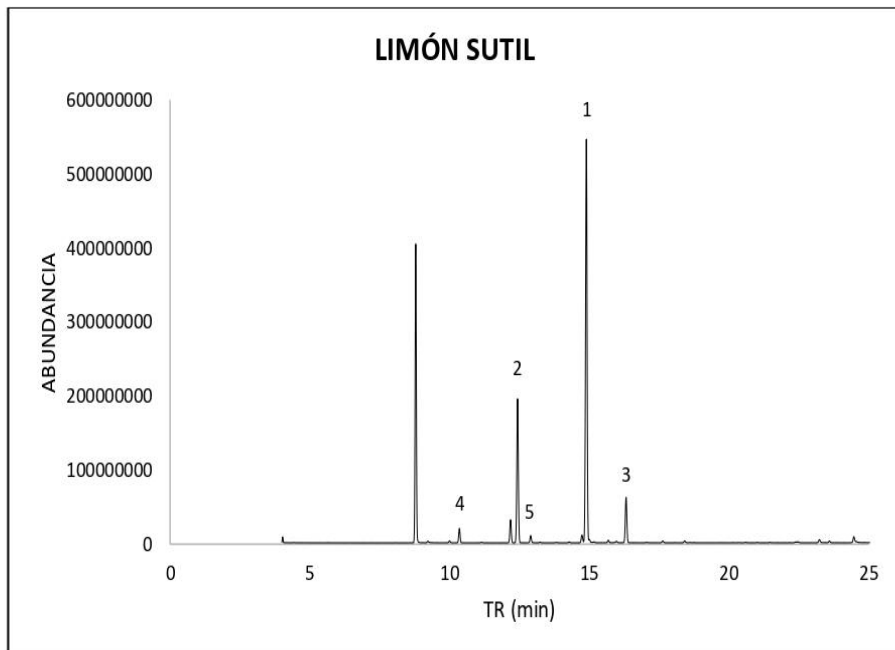
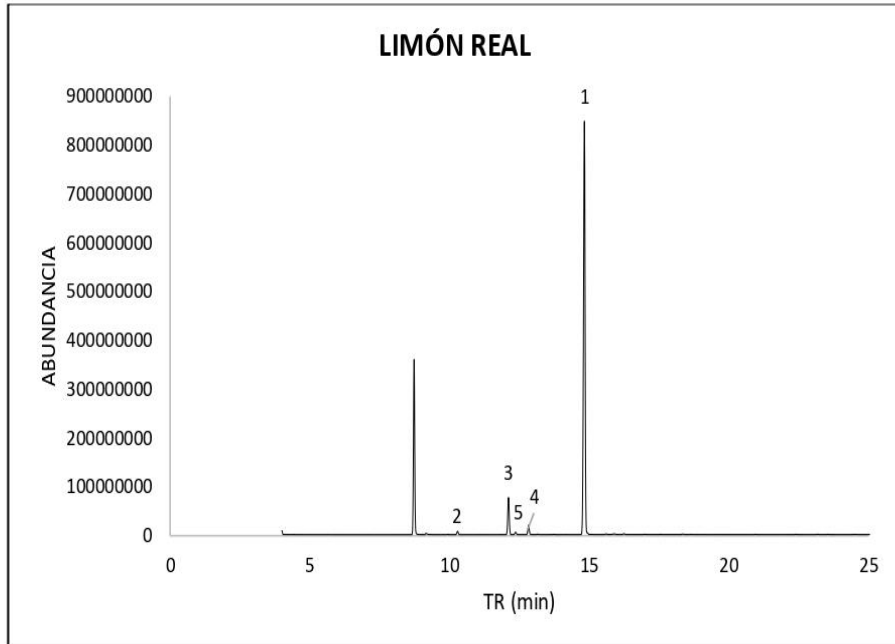
MUESTRA	N° PICO	COMPUESTO	TR	IRC	IR literatura	PROMEDIO %	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
LIMÓN MANDARINA	2	β -Pinoeno	12,45	984	974	10,01	0,094
	3	γ -Terpineno	16,33	1065	1054	10,76	0,024
	4	α -Pinoeno	10,36	937	932	3,34	0,023
	5	Mirceno	12,91	994	988	3,04	0,022
LIMÓN REAL	2	α -Pinoeno	10,29	935	932	2,57	0,062
	3	Sabineno	12,11	976	969	8,93	0,353
	4	Mirceno	12,83	992	988	3,58	0,107
	5	β -Pinoeno	12,37	982	974	2,42	0,014
LIMÓN SUTIL	2	β -Pinoeno	12,44	983	974	22,71	0,034
	3	γ -Terpineno	16,32	1065	1054	9,14	0,058
	4	α -Pinoeno	10,36	937	932	4,38	0,023
	5	Mirceno	12,91	994	988	3,42	0,058
LIMÓN TAHITÍ	2	γ -Terpineno	16,32	1065	1054	7,58	0,088
	3	α -Pinoeno	10,36	937	932	3,13	0,043
	4	Mirceno	12,91	994	988	3,35	0,026
	5	o-Cimeno	14,74	1032	1022	4,20	0,056

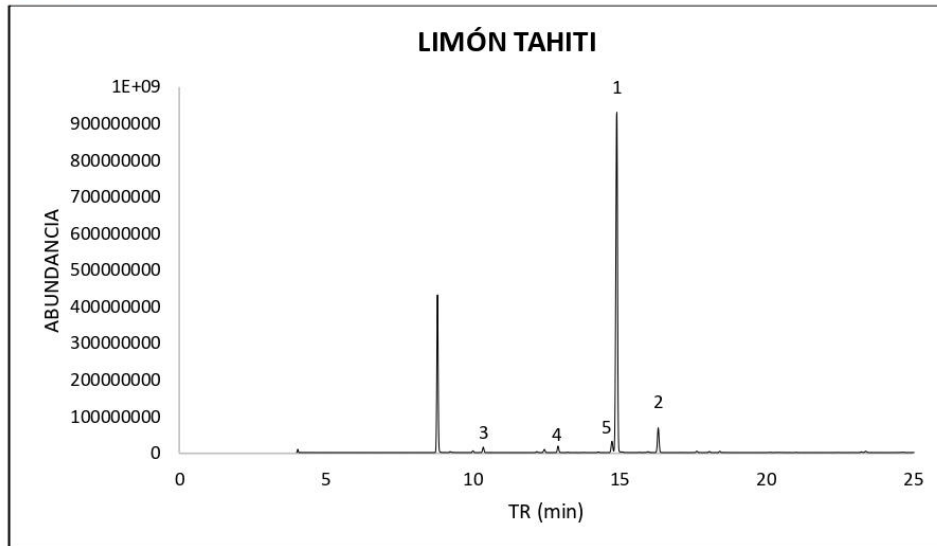
Cantidad en miligramos: mg de los compuestos mayoritarios en un mg de aceite esencial.

MUESTRA	N° PICO	COMPUESTO	TR	IRC	IR literatura	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
						mg/mg aceite esencial	
LIMÓN MANDARINA	2	β -Pino	12,45	984	974	3,789	0,005
	3	γ -Terpino	16,33	1065	1054	4,074	0,042
	4	α -Pino	10,36	937	932	1,264	0,001
	5	Mirceno	12,91	994	988	1,150	0,001
LIMÓN REAL	2	α -Pino	10,29	935	932	1,011	0,013
	3	Sabineno	12,11	976	969	3,518	0,010
	4	Mirceno	12,83	992	988	1,411	0,010
	5	β -Pino	12,37	982	974	0,953	0,030
LIMÓN SUTIL	2	β -Pino	12,44	983	974	7,653	0,278
	3	γ -Terpino	16,32	1065	1054	3,079	0,127
	4	α -Pino	10,36	937	932	1,475	0,059
	5	Mirceno	12,91	994	988	1,154	0,060
LIMÓN TAHITÍ	2	γ -Terpino	16,32	1065	1054	2,753	0,053
	3	α -Pino	10,36	937	932	1,136	0,019
	4	Mirceno	12,91	994	988	1,215	0,028
	5	o-Cimeno	14,74	1032	1022	1,524	0,027

CROMATOGRAMAS







Abreviaturas:

TR: Tiempo de retención

IR: Índice de retención

IRC: Índice de retención del compuesto

mg: miligramos

μl: microlitros

ml: mililitros

IR literatura: Índice de retención de literatura



Bq. Mayra Montalván
RESPONSABLE LABORATORIO QUIMICA ANALITICA
DEPARTAMENTO DE QUIMICA - UTPL

Anexo 7

Proceso de secado de la materia prima



Cortes pequeños de la cáscara de limón



Platos de papel aluminio con la cáscara de limón para ser secado en la estufa



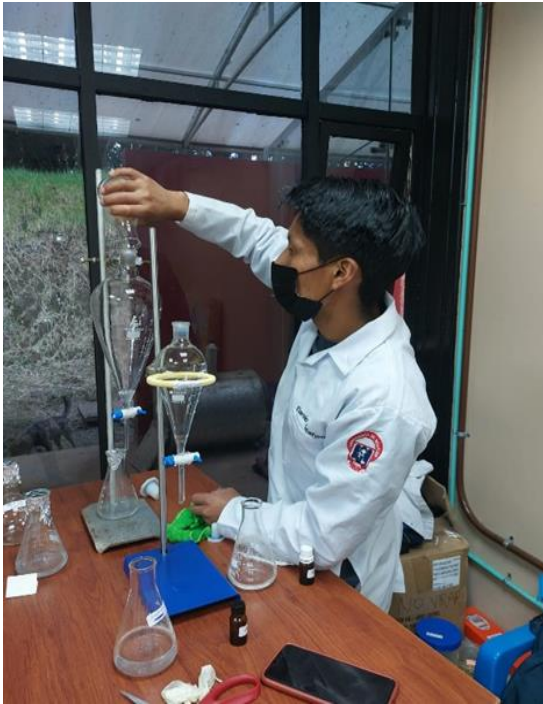
Introducción de materia prima en la estufa



Secado y pesado

Anexo 8

Proceso de destilación simple y fraccionada



Armazón del equipo de destilación



Equipo armado



Cortes de la cáscara de limón



Maceración



Licudo



Balón con licuado de cáscara de limón



Destilación



Decantación

Anexo 9

Determinación de pH del aceite esencial extraído



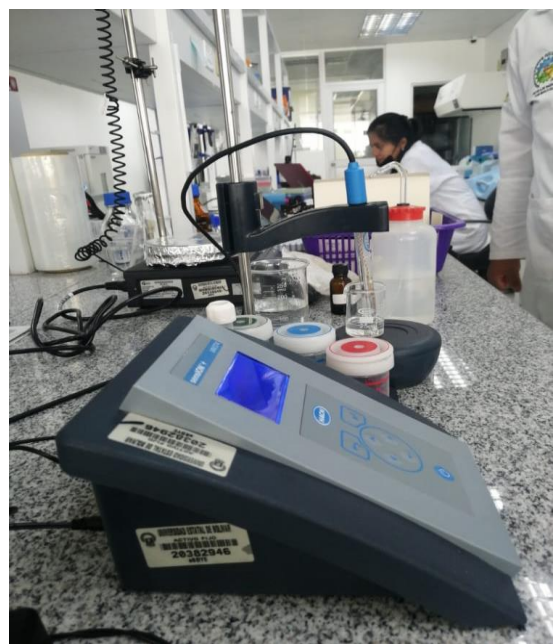
Preparación de muestra



muestras



Colocación de muestra



Registro de pH

Anexo 10

Determinación de humedad, cenizas y volátiles totales



Esterilización de crisoles



Introducción de crisoles en la mufla con materia prima (cáscara de limón)



Retiro de crisoles en la mufla



Obtención de cenizas

Anexo 11

Elaboración de jabón en barra



Aceite esencial de limón



Colorante verde



Manteca de coco y glicerina



pH- metro

Proceso



Peso de la glicerina y manteca



Baño maría a 80°C



Deretimos la glicerina y manteca de coco





Añadimos colorante y aceite esencia de limón



Moldeado de productos



Sellado



Producto obtenido

GLOSARIO

Aceite esencial: Son esencias aromáticas generalmente son extraídas de diferentes partes de la planta de la flor, semilla, tallo, corteza y raíces; lo cual se obtienen mediante un sistema de extracción.

Destilación simple: Se emplea cuando la materia a destilar contenga únicamente una o más sustancia volátil.

Destilación fraccionada: Se emplea para la separación de diferentes fracciones volátiles con mayor proporción de componente oxigenados, este tipo de destilación se utiliza cuando la materia a destilar contenga sustancias volátiles.

Extracción: Es la técnica de separar un componente a partir de una mezcla sólida o líquida es el método más utilizado a nivel de laboratorio.

Decantación: La decantación es un proceso físico, en este proceso se separa dos disolventes inmiscibles por la discrepancia de densidades.

Cromatografía de gases: Es la técnica de separación de sustancias de estado gaseosa (estado estacionario) pasa por una columna en estado líquida (fase móvil); esta técnica permite la identificación, purificación y cuantificación de los componentes fundamentado en las diferencias de volatilidad y solubilidad de la mezcla de los solutos a separar.

Maceración: Consiste en remojar materia prima vegetal en un solvente (agua destilada o etanol), utilizando bicarbonato de sodio como ablandador del tejido vegetal.

Cáscara de limón: Es la piel del fruto o también conocido como corteza de limón, generalmente es delgada y adherente.

Corteza deshidratada: Es un efecto causado por la pérdida de agua de un material vegetal.

pH: El pH es una abreviatura del potencial de hidrógeno; lo cual sirve para determinar la acidez y la alcalinidad de una sustancia de una solución.

Flavedo: Es la parte que dan origen al color de los frutos.

Albedo: Es la capa interna blanquecina y esponjosa del fruto cítrico, es amargo.

Endocarpio: Es la parte comestible del fruto conocida también como pulpa.