



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS NATURALES Y  
DEL AMBIENTE**

**CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

**TEMA:**

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DE LA TORONJA (*Citrus paradisi*), 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:**

Bladimir Daniel Patín Manobanda

Jhony Paúl Patín Patín

**TUTOR:**

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

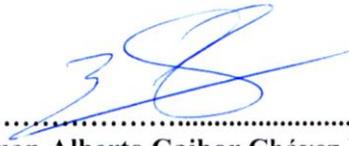
**GUARANDA - ECUADOR**

**2023**

**Certificado de aprobación del Tutor**

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

**REVISADO Y APROBADO POR:**



.....  
**Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.**

## Hoja de declaración de Autoría

### CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Bladimir Daniel Patin Manobanda, con CI: 1752464154 y Jhony Paul Patin Patin, con CI: 0250148830, declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que 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.

Bladimir Daniel Patin Manobanda

CI: 1752464154

Jhony Paul Patin Patin

CI: 0250148830

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

CI: 0201051687





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

ESCRITURA N° 20230201004P00073

**DECLARACIÓN JURAMENTADA**

**OTORGAN:**

**BLADIMIR DANIEL PATIN MANOBANDA ,**

**JHONY PAUL PATIN PATIN**

**CUANTÍA: INDETERMINADA**

**Di 2 COPIAS**

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy viernes a los tres días del mes de febrero del año dos mil veinticuatro, ante mi **DRA. MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRIÓN, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA** comparecen con plena capacidad, libertad y conocimiento, a la celebración de la presente escritura los señores, **BLADIMIR DANIEL PATIN MANOBANDA** de estado civil soltero; y, **JHONY PAUL PATIN PATIN**, de estado civil casado, 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 ambos estudiantes, domiciliado el primero en la parroquia Guanujo, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve ocho seis siete dos seis dos cinco; y, con correo electrónico [bladimirpatin95@gmail.com](mailto:bladimirpatin95@gmail.com); y, el segundo en la parroquia Guanujo, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve nueve dos dos uno cinco nueve dos; y, con correo electrónico [jhopatin@mailes.ueb.edu.ec](mailto:jhopatin@mailes.ueb.edu.ec), hábiles en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quienes de conocer 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, **BLADIMIR DANIEL PATIN MANOBANDA** de estado civil soltero; y, **JHONY PAUL PATIN PATIN**, de estado civil casado, declaramos que los criterios e ideas emitidos en el presente Proyecto de investigación de titulación es de nuestra absoluta autoría, titulado **APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS BIOMASICOS DE LA TORONJA (Citrus paradisi), EN LA OBTENCION DE ACEITES ESENCIALES, PARA LA ELABORACION DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN LA PROVINCIA BOLIVAR**, 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 la Notaria, aquellos se ratifican en 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. BLADIMIR DANIEL PATIN MANOBANDA  
C.C. 1752464154

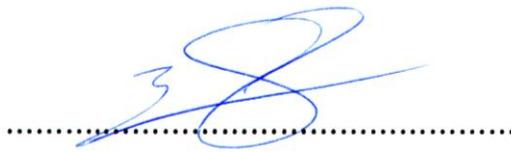
  
SR. JHONY PAUL PATIN PATIN  
C.C. 025014883

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



Documento	<a href="#">TESIS TORONJA-BLADIMIR PATIN-PAUL PATIN-2023.docx</a> (D157467716)
Presentado	2023-01-31 08:42 (-05:00)
Presentado por	bpatin@mailles.ueb.edu.ec
Recibido	fbayas.ueb@analysis.orkund.com
Mensaje	<a href="#">Mostrar el mensaje completo</a>

5% de estas 40 páginas, se componen de texto presente en 9 fuentes.



Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

CI: 0201051687

**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación a Dios quien estuvo todos los días de mi vida, de manera especial a mi madre María Rosa Manobanda Guaranda, por ser mi amiga y consejera, quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional, enseñándome a no rendirme en situaciones difíciles que se presentaron en mi vida.

De una manera muy especial a mi padre Toribio Patín Chacha por el apoyo, la fortaleza, enseñanza para seguir adelante y nunca rendirme, de la misma forma a mis queridos hermanos Segundo, Juana, Miryam, Esthela, Rosita, Oscar, Stalin y Pamela por estar siempre conmigo brindándome el aliento, en luchar cada día.

A todos quienes fueron y serán mis amigos en especial a la persona que está muy lejos y me dijo que “Me enfrento al miedo para vivir un final feliz”. También voy a recordar siempre esta frase luchadora que son exclamado en nuestros pueblos “Todos los triunfos nacen cuando nos atrevemos a comenzar”.

Este trabajo es la recompensa de todo el amor, cariño, apoyo y confianza de quienes estuvieron presentes en los buenos y malos momentos.

**Bladimir Patin**

## **DEDICATORIA**

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza, su mano de fidelidad y amor, ha estado conmigo hasta el día de hoy.

A mi madre quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades y obstáculos porque Dios siempre está conmigo.

A mi hermano Isaac, mi esposa Margoth por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos/as, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el aprecio brindado cada día.

**Paul Patin**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a Dios y a mi madre protectora Churonita del Cisne por bendecirnos día a día, por brindarnos la salud y sabiduría.

A mis padres Patín Chacha Toribio, María Rosa Manobanda Guaranda y mis hermanos por ser el eje y el ejemplo de nuestras vidas. Hoy sé que el cielo está de fiesta porque Dios celebra conmigo sus promesas, porque con el tiempo mis oraciones han sido escuchadas.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar por abrirnos sus puertas para instruirnos y formarnos como unas excelentes profesionales de principios ética y moral.

A los docentes que con todo el cariño y vocación han sabido impartir sus enseñanzas a lo largo de esta carrera, en especial al Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD. un agradecimiento profundo hacia usted por ser ese apoyo incondicional para guiarnos en todo el proceso de nuestra carrera universitaria, esto lo he logrado con su apoyo y su conocimiento.

Al tribunal de titulación Director Dr. Favian Bayas PhD Coordinador de la Unidad de Integración Curricular, a mis pares evaluadores Ing. José Luis Altuna e Ing. Franz Verdezoto. Ing. Alim. Patricia Iza docente de la carrera por su ayuda durante el desarrollo de la investigación, gracias por la paciencia y los conocimientos brindados.

A mis amigos/as de carrera y de vida y compañero de tesis Jhony Paul Patin Patin, por motivarnos a dar lo mejor de nosotros, por regalarnos momentos inolvidables y por tantas alegrías compartidas.

“La gratitud convierte lo que tenemos en suficiente. Es la señal de las almas nobles.”  
Esopo

**Bladimir Patin**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Agradezco a mi madre, a mi hermano, a mi esposa, a mi abuelita Luz María, por todo el apoyo incondicional que me han brindado durante todo el trayecto en la lucha de llegar a ser profesional y a quienes amo con todo el corazón.

Agradezco al Dr. Juan Gaibor Chávez PhD. director de tesis quien supo brindarme su apoyo, conocimiento y facilitó los medios necesarios para concluir este trabajo de investigación. A la Universidad Estatal de Bolívar, especialmente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, por permitir ser parte de ellos, a la Carrera de Agroindustria y docentes que con sus conocimientos y apoyo motivaron a forjarme como persona y llegar a ser excelente profesional y servir a la sociedad.

**Paul Patin**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Página.
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
SUMMARY.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1. Objetivo general .....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. PROBLEMA.....	3
1.3.1. Formulación del problema .....	4
1.3.2. Sistematización del problema.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Toronja ( <i>Citrus paradisi</i> ).....	5
2.1.1. Generalidades de la toronja .....	5
2.1.2. Características de la toronja .....	6
2.1.3. Clasificación taxonómica de la toronja .....	6
2.1.4. Valor nutricional de la toronja .....	7
2.1.5. Beneficios de la toronja.....	7
2.2. Variedades de la toronja.....	7
2.2.1. Toronja duncan( <i>Citrus paradisi</i> ).....	7

2.2.2. Toronja red blush ( <i>Citrus paradisi macfad</i> ).....	8
2.3. Producción de la toronja .....	8
2.3.1. Producción mundial de la toronja.....	8
2.3.2. Producción de toronjas en el Ecuador .....	10
2.4. Aprovechamiento de los residuos biomásicos .....	11
2.4.1. Residuos biomásicos de frutas .....	11
2.4.2. Beneficios de la cáscara de toronja .....	11
2.4.3. Industrialización de los residuos de la toronja .....	12
2.4.4. Usos industriales de la cáscara de la toronja .....	12
2.5. Métodos de separación.....	12
2.5.1. Proceso de destilación .....	12
2.5.2. Destilación simple .....	12
2.5.3. Destilación fraccionada .....	13
2.6. Aceites esenciales .....	14
2.6.1. Clasificación de los aceites esenciales .....	14
2.6.2. Propiedades físicas del aceite esencial .....	14
2.6.3. Propiedades químicas del aceite esencial.....	15
2.6.4. Caracterización de los aceites esenciales .....	15
2.7. Aceite esencial de cítricos.....	16
2.7.1. Calidad de los aceites esenciales de cítricos .....	16
2.7.2. Aceite esencial de la toronja.....	16
2.7.3. Requisitos físicos y químicos del aceite esencial de toronja.....	16
2.7.4. Análisis de los aceites esenciales .....	17
2.8. Usos del aceite esencial .....	17
2.8.1. Industria alimentaria.....	17
2.8.2. Medicina.....	17
2.8.3. Industria de limpieza .....	17

2.9. Cromatografía de gases (GC).....	18
2.10. Maceración.....	18
CAPÍTULO III .....	19
3. MARCO METODOLÓGICO .....	19
3.1. Ubicación de la investigación .....	19
3.1.1. Localización de la investigación .....	19
3.1.2. Situación geográfica y climática de la localización .....	19
3.1.3. Zona de vida .....	20
3.2. Materiales.....	20
3.2.1. Material experimental .....	20
3.2.2. Materiales de laboratorio.....	20
3.2.3. Materiales de oficina .....	20
3.3. Equipos .....	20
3.4. Reactivos.....	21
3.5. Métodos.....	22
3.5.1. Factores en estudios .....	22
3.5.2. Tratamientos.....	22
3.5.3. Características del experimento .....	23
3.5.4. Diseño experimental.....	23
3.5.5. Modelo de análisis de varianza (ANOVA) .....	24
3.5.6. Modelo de pruebas de rangos múltiples .....	24
3.6. Metodología experimental .....	25
3.6.1. Propiedades físicas de la toronja .....	25
3.6.2. Propiedades químicas de la cáscara de toronja .....	25
3.7. Parámetros de operación .....	29
3.8. Proceso de obtención de aceite esencial de toronja .....	30
3.8.1. Diagrama de proceso de la extracción de aceite esencial de toronja .....	31

3.9. Determinación de la densidad del aceite esencial.....	32
3.9.1. Densidad por el método picnométrico .....	32
3.10. Análisis por cromatografía de gases del aceite esencial .....	32
3.11. Modelos matemáticos para la extracción de aceite esencial .....	33
3.11.1. Cinética de obtención del aceite esencial.....	33
3.11.2. Rendimiento del aceite esencial .....	34
3.12. Elaboración de un desinfectante de piso .....	35
3.12.1. Descripción de las etapas del proceso de elaboración del desinfectante.....	36
3.12.2. Diagrama de flujo para la elaboración del desinfectante .....	37
CAPÍTULO IV .....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
4.1. Propiedades físicas y químicas de la toronja .....	38
4.1.1. Analisis físicos de la toronja .....	38
4.1.2. Propiedades químicas de la toronja.....	39
4.2. Resultados de la extracción del aceite esencial de la toronja.....	40
4.2.1. ANOVA del volumen del aceite esencial .....	40
4.2.2. ANOVA del rendimiento del aceite esencial .....	42
4.2.3. ANOVA de la densidad del aceite esencial .....	45
4.2.4. ANOVA del pH del aceite esencial.....	46
4.3. Evaluación de la calidad del aceite esencial .....	46
4.3.1. Resultados de la densidad como criterio de calidad.....	46
4.4. Análisis cromatográfico del aceite esencial .....	47
4.4.1. Componentes volátiles del aceite esencial de la toronja duncan.....	48
4.4.2. Componentes volátiles del aceite esencial de la toronja red blush .....	49
4.5. Balance de masa del proceso de extracción del aceite esencial .....	51
4.6. Modelación matemática del proceso de extracción .....	55
4.6.1. Cinética de extracción .....	55

4.6.2. Rendimiento del aceite esencial .....	57
4.7. Simulación del proceso de extracción del aceite esencial .....	59
4.8. Elaboración del desinfectante para piso.....	60
4.9. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	62
4.9.1. Hipótesis nula.....	62
4.9.2. Hipótesis alterna.....	62
4.9.3. Comprobación de la hipótesis .....	62
4.10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
4.10.1. Conclusiones .....	63
4.10.2. Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA .....	65
ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Nº Figura</b>	<b>Página.</b>
<b>Tabla 1.</b> Taxonomía de la toronja .....	6
<b>Tabla 2.</b> Valor nutricional de la toronja en 100 g de sustancia comestible .....	7
<b>Tabla 3.</b> Producción mundial de toronjas .....	9
<b>Tabla 4.</b> Producción de la toronja en el Ecuador .....	10
<b>Tabla 5.</b> Composición química del aceite esencial de toronja.....	16
<b>Tabla 6.</b> Localización de la investigación del estudio .....	19
<b>Tabla 7.</b> Aspectos generales del territorio .....	19
<b>Tabla 8.</b> Equipos de laboratorio.....	20
<b>Tabla 9.</b> Factores de estudio para el proceso de obtención de aceites esenciales.....	22
<b>Tabla 10.</b> Combinación de los tratamientos .....	22
<b>Tabla 11.</b> Criterios de la experimentación.....	23
<b>Tabla 12.</b> Modelo de análisis de varianza (ANOVA), para el diseño factorial $A \times B \times C$	24
<b>Tabla 13.</b> Parámetros de operación empleados para el proceso de destilación .....	29
<b>Tabla 14.</b> Valores de las propiedades físicas de la toronja como fruta.....	38
<b>Tabla 15.</b> Resultados del análisis proximal de la cáscara de toronja.....	39
<b>Tabla 16.</b> Resultados del análisis proximal de la cáscara de toronja.....	39
<b>Tabla 17.</b> ANOVA del volumen del aceite esencial.....	40
<b>Tabla 18.</b> Prueba de rangos múltiples del factor A en el volumen del aceite esencial ..	41
<b>Tabla 19.</b> Prueba de rangos múltiples del factor B en el volumen del aceite esencial ..	42
<b>Tabla 20.</b> ANOVA del rendimiento del aceite esencial .....	43
<b>Tabla 21.</b> Prueba de rangos múltiples del factor A en el rendimiento.....	44
<b>Tabla 22.</b> Prueba de rangos múltiples del factor B en el rendimiento .....	44
<b>Tabla 23.</b> ANOVA de la densidad del aceite esencial.....	45
<b>Tabla 24.</b> ANOVA del pH del aceite esencial.....	46
<b>Tabla 25.</b> Compuestos volátiles del aceite esencial de la toronja duncan .....	48

<b>Tabla 26.</b> Compuestos volátiles del aceite esencial de la toronja red blush .....	49
<b>Tabla 27.</b> Cantidad en miligramos de los compuestos mayoritarios en un mg de aceite esencial .....	50
<b>Tabla 28.</b> Datos obtenidos del proceso a escala laboratorio .....	51
<b>Tabla 29.</b> Cinética de extracción del aceite esencial .....	55
<b>Tabla 30.</b> Modelos matemáticos para la cinética de extracción .....	56
<b>Tabla 31.</b> Rendimiento del aceite esencial .....	57
<b>Tabla 32.</b> Modelos matemáticos para modelar el rendimiento .....	58
<b>Tabla 33.</b> Resultados de la simulación del proceso de extracción.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Nº Figura	Página.
<b>Figura 1.</b> Toronja ( <i>Citrus paradisi</i> ).....	5
<b>Figura 2.</b> Estructura anatómica de la toronja.....	6
<b>Figura 3.</b> Toronja Duncan.....	8
<b>Figura 4.</b> Toronja Red blush.....	8
<b>Figura 5.</b> Países con más producción de toronjas a nivel mundial.....	9
<b>Figura 6.</b> Equipo de destilación simple .....	13
<b>Figura 7.</b> Equipo de destilación fraccionada .....	13
<b>Figura 8.</b> Esquema de las partes del cromatograma de gases.....	18
<b>Figura 9.</b> Proceso de maceración de materia de origen vegetal .....	18
<b>Figura 10.</b> Diagrama de proceso para la extracción de aceite esencial de toronja .....	31
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo de elaboración de desinfectante .....	37
<b>Figura 12.</b> Medias del factor A en el volumen del aceite esencial .....	41
<b>Figura 13.</b> Medias del factor B en el volumen del aceite esencial .....	42
<b>Figura 14.</b> Medias del factor A en el rendimiento del aceite esencial.....	43
<b>Figura 15.</b> Medias del factor B en el rendimiento del aceite esencial .....	44
<b>Figura 16.</b> Valores de la densidad del aceite esencial de la toronja .....	47
<b>Figura 17.</b> Cromatograma del aceite esencial de la toronja duncan.....	48
<b>Figura 18.</b> Cromatograma del aceite esencial de la toronja red blush.....	49
<b>Figura 19.</b> Diagrama de flujo en el destilador .....	52
<b>Figura 20.</b> Diagrama del extractor con rendimientos en el proceso.....	53
<b>Figura 21.</b> Comparación de los modelos matemáticos.....	56
<b>Figura 22.</b> Comparación de los modelos matemáticos.....	58
<b>Figura 23.</b> Esquema del simulador para la extracción del aceite esencial.....	59
<b>Figura 24.</b> Desinfectante con aceite esencial de toronja.....	60
<b>Figura 25.</b> Etiqueta del desinfectante .....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Nº Anexo

**Anexo 1.** Mapa de ubicación de la investigación

**Anexo 2.** Datos de la destilación simple y fraccionada

**Anexo 3.** Análisis de cromatografía de gases del aceite esencial de la toronja

**Anexo 4.** Proceso del análisis físico y químico de la toronja

**Anexo 5.** Proceso de destilación simple y fraccionada

**Anexo 6.** Elaboración del desinfectante con aceite esencial de toronja

**Anexo 7.** Glosario de términos

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue, aprovechar los residuos biomásicos de la toronja (*Citrus paradisi*), en la obtención de aceites esenciales, para la elaboración de productos agroindustriales en la provincia Bolívar. Se realizó una revisión bibliográfica sobre la materia prima (cáscara), los métodos de extracción del aceite esencial, proceso de maceración en materias vegetales, cromatografía de gases para la determinación del porcentaje de los compuestos químicos del aceite esencial, la aplicación de modelos matemáticos en el proceso de destilación y la simulación. La materia prima fue recolectada en los cantones de la provincia Bolívar. La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Extractos del Complejo Agroindustrial de la Carrera de Agroindustria. Se empleó un diseño en arreglo factorial  $A \times B \times C$  ( $2 \times 2 \times 2$ ) con tres repeticiones; los factores en estudio fueron variedades de toronja con dos niveles, maceración con dos niveles, método de extracción con dos niveles. Para el proceso de destilación simple y fraccionada se realizó un previo proceso de maceración de 8 y 12 horas a las cáscaras de toronjas, el tiempo de destilación fue de 120 minutos. Se obtuvo un volumen de 3,96 mL, rendimiento de 1,668% y una densidad de 0,841 g/mL en la toronja Duncan (T4), un pH de 4,67 en la toronja Duncan (T3). Se realizó un análisis de cromatografía de gases para identificar los componentes mayoritarios en el aceite esencial, se identificaron compuestos como Limoneno,  $\alpha$ -Pinenos, Sabineno, Mirceno y Octanal, donde resaltó el Limoneno como el compuesto con mayor abundancia en toronja Duncan con 92,10%, toronja Red blush 90,77. Se modeló matemáticamente la cinética de extracción y el rendimiento del aceite esencial. La ecuación matemática de Von Bertalanffy presentó mayor ajuste con una  $R^2 = 0,997$ ; para el rendimiento el modelo de Gompertz presentó un mayor ajuste con una  $R^2 = 0,985$ . Se elaboró un desinfectante para superficies inanimadas con el mejor tratamiento de aceite esencial (T4). Como conclusión los residuos biomásicos de la toronja (*Citrus paradisi*), constituyen materias primas para la obtención de diferentes productos agroindustriales de calidad, tal como la obtención de aceite esencial a través del proceso destilación simple y fraccionada, presentado en esta investigación.

**Palabras clave:** toronja, cáscara, aceite esencial, destilación, cromatografía de gases, limoneno.

## SUMMARY

The objective of this research was to take advantage of the biomass residues of grapefruit (*Citrus paradisi*) to obtain essential oils for the production of agroindustrial products in the Bolivar province. A bibliographic review was carried out on the raw material (peel), the methods of extraction of the essential oil, the process of maceration in vegetable matter, gas chromatography to determine the percentage of chemical compounds of the essential oil, the application of mathematical models in the distillation process and simulation. The raw material was collected in the cantons of the Bolivar province. The research was carried out in the Extracts Laboratory of the Agroindustrial Complex of the Agroindustry Department. An AxBxC (2x2x2) factorial design with three replications was used; the factors under study were grapefruit varieties with two levels, maceration with two levels, and extraction method with two levels. For the simple and fractional distillation process, the grapefruit peels underwent a previous maceration process of 8 and 12 hours; the distillation time was 120 minutes. A volume of 3.96 mL, yield of 1.668% and density of 0.841 g/mL were obtained in Duncan grapefruit (T4), pH of 4.67 in Duncan grapefruit (T3). A gas chromatography analysis was performed to identify the major components in the essential oil, compounds such as Limonene,  $\alpha$ -Pinene, Sabinene, Myrcene and Octanal were identified, where Limonene stood out as the compound with the highest abundance in Duncan grapefruit with 92.10%, Red blush grapefruit 90.77. The extraction kinetics and the yield of the essential oil were mathematically modeled. The Von Bertalanffy mathematical equation presented the best fit with an  $R^2 = 0.997$ ; for the yield, the Gompertz model presented a better fit with an  $R^2 = 0.985$ . A disinfectant for inanimate surfaces was produced with the best essential oil treatment (T4). In conclusion, the biomass residues of grapefruit (*Citrus paradisi*) constitute raw materials for obtaining different quality agroindustrial products, such as obtaining essential oil through the simple and fractionated distillation process presented in this research.

**Key words:** grapefruit, peel, essential oil, distillation, gas chromatography, limonene.

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diferentes residuos biomásicos procedentes de municipios, plantas, mercados, restaurantes, agrícolas, ganadería, pesca, podas e industrias. Estos al ser acumulados causan problemas ambientales y de salud (Yaqoob et al., 2021). Los residuos biomásicos en el mundo sobrepasa los 90 mil millones de Tm al año, el 40% de estos residuos son aprovechados en la obtención de subproductos con valor económico (Kang et al., 2020). Los residuos de cítricos representan un mayor porcentaje de residuos biomásicos, estos residuos están compuestos por la pulpa, semillas y cáscara que representan el 50% del fruto (Jeong et al., 2021).

Los cítricos forman un rol importante en el consumismo de la sociedad y constituyen una de las frutales más producidas, comercializadas y consumidas a nivel mundial, están compuestos por un grupo muy diverso de especies, entre los que se agrupan muchas variedades de mandarinas, limones, naranjas y pomelos (Alcívar, 2022). Su producción mundial supera los 3,8 millones de Toneladas, se trata de un cultivo extensivo, por su fácil sentido de adaptación, que existe en áreas tropicales, subtropicales y templadas (Lezcano, 2018).

Los frutos cítricos son el mayor cultivo de las mismas que se generan residuos biomásicos, por lo que la producción mundial supera los 100 millones de Tm. Las industrias de procesamiento de cítricos son los que más residuos generan con un alcance de 38 millones de Tm de biomasa en el mundo (Mahato et al., 2020). En la sociedad existen diferentes variedades de frutas que son muy cotizadas en el mercado nacional y mundial, por poseer unas fuentes ricas en vitaminas, y pocas cantidades de minerales, como en este caso es la toronja o conocido como pomelo que se produce en suelos tropicales o subtropicales en diferentes partes del mundo, el pomelo no se conoce con exactitud su origen, aunque numerosas investigaciones señalan que se trata de un cruce natural entre el naranjo dulce y el pomelo (Mora, 2015). Entre los polifenoles presentes en la cáscara de la toronja, el flavonoide más abundante es la naringina, que contiene gran contenido de actividades farmacológicas. Se utiliza como aditivo alimentario para ayudar a la obesidad y diabetes (Kantar et al., 2019).

Los métodos de extracción de aceites esenciales a partir de especies vegetales tienen numerosas aplicaciones en la agroindustria. Para ellos existen diversos métodos de extracción de aceites esenciales, como destilación, prensado en frío, fluidos supercríticos, hidrodestilación y corriente de vapor (Mollaei et al., 2019). El consumo de aceites esenciales de diferentes especies vegetales y de residuos o cáscaras de frutas, que son utilizados para fines médicos, cosméticos, aromatizadores. Son muy cotizados en algunos países orientales por lo cual existe mucha demanda en la producción. Los aceites esenciales pueden presentar propiedades físicas y químicas que, al hacer en contacto, generan múltiples beneficios en la salud del usuario (Villa, 2017).

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Aprovechar los residuos biomásicos de la toronja (*Citrus paradisi*), en la obtención de aceites esenciales, para la elaboración de productos agroindustriales en la provincia Bolívar.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

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

### 1.3. PROBLEMA

La toronja (*Citrus paradisi*) dentro de la industria es utilizada para la elaboración de pulpas, jugos, resultados de este proceso se generan residuos biomásicos que componen la cáscara, albedo y semillas que pueden ser utilizados para elaborar subproductos, como harinas, aceites esenciales y pectinas.

Lezcano (2018), reporta que la producción mundial de la toronja supera los 3,8 millones de Toneladas a nivel mundial, el 50% del fruto constituye la cáscara y el 6% las semillas. Jeong et al. (2021), menciona que los residuos de la toronja son poco utilizados en la elaboración de subproductos, más del 70% de estos residuos son desechados como desperdicios a los océanos. Serrano (2019), indica que los cítricos están tomando poder en la generación de productos o diferentes transformación que se les aplican tanto en los hogares y en las industrias de la misma manera va generar desechos que se vuelve una problemática para la sociedad y para el medio ambiente.

Alayo & Vilchez (2019); Villa (2017); Villón & Huacón (2017), reportan rendimiento del aceite esencial de toronja de 0,063% al 0,33%. Božović et al. (2017), indica que para la extracción del aceite esencial los métodos más usados son la destilación simple y fraccionada, con parámetros idóneos de temperatura, flujo másico, presión y tiempo. La Provincia de Bolívar existen pocos estudios en la extracción de esencias o aceites esenciales de diferentes especies vegetales o residuos de cáscaras de frutas cítricas, y déficit en lograr implementar métodos de producción más óptimos, fácil acceso y que genere recursos económicos a la sociedad. Los beneficios que puede traer los aceites esenciales es muy extenso porque este producto es muy utilizado y cotizados en algunos mercados nacionales e internacional y la mayoría de los habitantes desconoce o sabe poca información del aceite esencial.

La presente investigación propone obtener aceites esenciales mediante residuos biomásicos de la toronja como una alternativa en la generación de un producto agroindustrial (desinfectante), los mismo que aportaran para sensibilizar a los productores en promover una alternativa para la disminución de desechos de frutas cítricas y generando costos económicos a través de un producto innovador que puede ser presentado en la sociedad.

### **1.3.1. Formulación del problema**

Para el desarrollo de la presente investigación se planteó la siguiente pregunta:

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

### **1.3.2. Sistematización del problema**

¿Cuáles son las composiciones físicas y químicas de la materia prima a ser procesada en la obtención de aceites esenciales?

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

¿Cuál es la calidad del 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?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Toronja (*Citrus paradisi*)

##### 2.1.1. Generalidades de la toronja

La toronja (*Citrus paradisi*), pertenece a la familia de los cítricos, es muy utilizada en algunos países por su contenido de zumo apreciable y transformación en algunos componentes para insumos o productos alimenticios (Alayo & Vilchez, 2019). Algunos habitantes están promoviendo la siembra del árbol del pomelo por su capacidad de adaptación en suelos tropicales, subtropicales y templadas, con la finalidad de obtener su fruto que es apetecible por su dulzor, algunas investigaciones relatan que la toronja o pomelo rosado es un híbrido, producido de manera espontánea entre la pampelmusa y la naranja dulce (Macías, 2014).

El árbol del pomelo se puede apreciar a simple vista por poseer un sin número de característica física, algunos expertos lo interpretan que este árbol, pertenece de la familia de las rutáceas, de tronco corto y de copa compacta, brotes color púrpura y pocas espinas (Lezcano, 2018). La toronja uno de los cítricos más sensibles al frío; las flores no resisten temperaturas inferiores a un grado bajo cero, por lo que su cultivo se restringe a climas semi-tropicales, templados y también a altitudes próximas al nivel del mar (Villón & Huacón, 2017).

#### Figura 1

*Toronja (Citrus paradisi)*



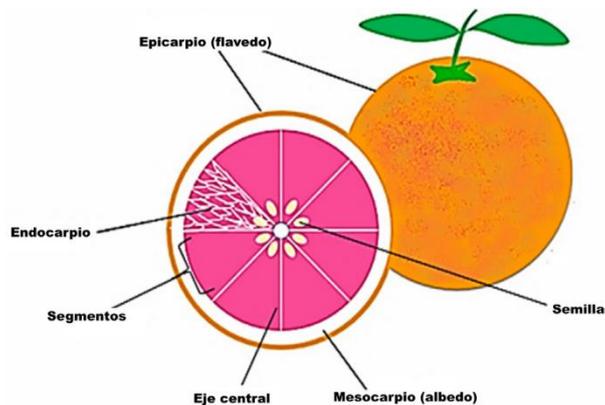
Las toronjas se encuentran entre los cítricos más notorios, estos poseen la capacidad de incrementar la biodisponibilidad en cierto tipo de drogas. La toronja contiene nutrientes que ayudan a tener una dieta saludable, entre ellos azúcares, ácidos orgánicos, carotenoides y antioxidantes (Moncerrate & Zuñiga, 2018).

### 2.1.2. Características de la toronja

La toronja se distingue de otros cítricos por su tamaño grande que recibe el nombre de hesperidio, es una baya policarpetal, de forma redondeada de color amarillo pálido en la madurez; la pulpa generalmente presenta coloración rosada, de sabor dulce y amargo. Esta fruta presenta una maduración temprana y contiene aproximadamente de 40 a 60 semillas por fruta, su pulpa es jugosa y consistente (Moncerrate & Zuñiga, 2018).

**Figura 2**

*Estructura anatómica de la toronja*



*Nota.* La figura muestra la estructura de la toronja. Tomado de *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, por Hernández et al. (2016).

### 2.1.3. Clasificación taxonómica de la toronja

La toronja pertenece a la familia Rutaceae, se presenta las características taxonómicas de la fruta.

**Tabla 1**

*Taxonomía de la toronja*

Taxonomía	
Familia	Rutaceae
Género	<i>Citrus</i>
Especie	<i>Citrus paradisi</i>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledonae

*Nota.* Tomado de *Universidad de Guayaquil*, por Tierra & Villamarin (2022).

## 2.1.4. Valor nutricional de la toronja

**Tabla 2**

*Valor nutricional de la toronja en 100 g de sustancia comestible*

Contenido	Cantidad
Calorías	41% valor diario
Colesterol	0 g
Sodio	0 g
Carbohidratos totales	10 g
Fibra	1 g
Azúcares	9 g
Proteína	1 g
Vitamina C	44 mg
Calcio	16 mg
Potasio	179 mg

*Nota.* Tomado de *Universidad de Guayaquil*, por Olvera & Quiroz (2018).

## 2.1.5. Beneficios de la toronja

El aprovechamiento de los compuestos bioactivos presentes en la toronja (*Citrus paradisi*), mismos que han sido relacionados con la capacidad para reducir el riesgo de desarrollar varios tipos de cáncer, la artritis reumatoide, estimular la pérdida de peso, reducción de efectos hipocolesterolémicos, mejorar el perfil lipídico plasmático y ejercer un efecto vasodilatador coronario (Hernández et al., 2016).

## 2.2. Variedades de la toronja

En el Ecuador se producen dos variedades de toronjas:

### 2.2.1. Toronja Duncan (*Citrus paradisi*)

Santinoni et al. (2012), menciona que la toronja duncan tiene un sabor excelente su pulpa es muy firme y jugosa, con buena acidez y niveles de azúcar elevados proporcionando un sabor equilibrado rico y dulce, contiene un elevado número de semillas (30 - 50 por fruto), a pesar de ello sigue siendo el punto de referencia en cuanto a la calidad, la presencia de semillas no se constituye en un obstáculo para su industrialización dados el sabor y la firmeza de los gajos siendo una variedad muy indicada para la transformación en zumo.

### **Figura 3**

*Toronja Duncan*



*Nota.* La figura indica a la toronja duncan como fruta.

#### **2.2.2. Toronja Red blush (*Citrus paradisi macfad*)**

También se la conoce con los nombres de Red Marsh y Red Seedless, esta se originó por mutación espontánea de pomelo Thompson (Santinoni et al., 2012). El fruto en relación a las características propias de la especie, es de tamaño mediano y de buena calidad, prácticamente sin semillas, la corteza es amarilla y con frecuencia presenta alguna zona ligeramente sonrosada y la pulpa tiene una cierta tonalidad rosa (Lezcano, 2018).

### **Figura 4**

*Toronja Red blush*



*Nota.* La figura indica a la toronja Red blush como fruta.

### **2.3. Producción de la toronja**

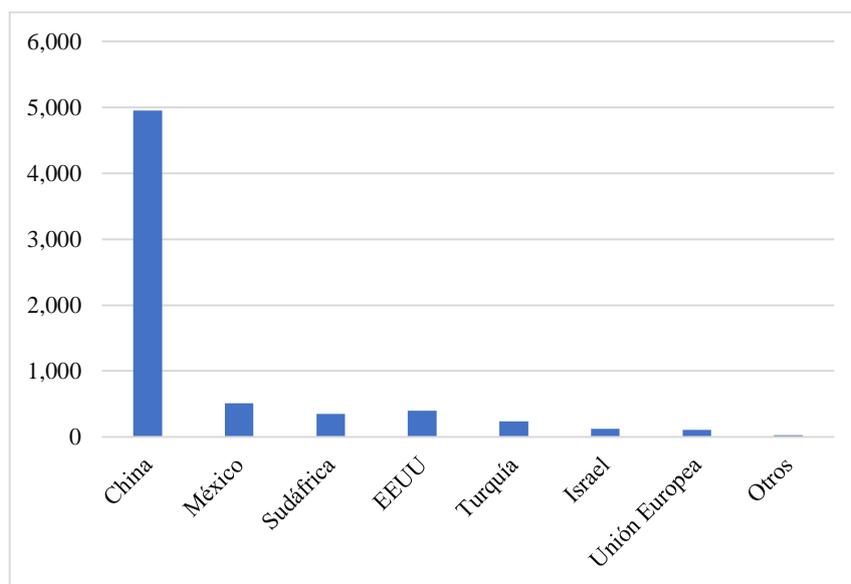
#### **2.3.1. Producción mundial de la toronja**

El cultivo de la toronja en la actualidad se lleva a cabo en diferentes países con temperaturas tropicales y subtropicales. Los países que más cultivan la toronja son Argentina, Cuba, Chipre, México, Israel, Turquía, Sudáfrica y España. Su producción mundial supera los 3,8 millones de Toneladas (Lezcano, 2018).

**Tabla 3***Producción mundial de toronjas*

Producción	2018/2019	2019/2020	2020/2021	Enero 2022
China	4.900	4.930	4.950	5.200
México	473	491	510	534
Sudáfrica	372	345	351	347
EEUU	548	517	397	343
Turquía	250	249	239	250
Israel	139	143	121	130
Unión Europea	108	95	105	108
Otros	26	27	27	27
Total	6.816	6.797	6.699	6.966

*Nota.* Producción mundial de la toronja del año 2018 a 2021. Tomado de *United States Department Of Agriculture Foreign Agricultural Service*, por USDA (2022).

**Figura 5***Países con más producción de toronjas a nivel mundial*

*Nota.* Países con más alta producción de toronjas en el año 2020/21.

### 2.3.2. Producción de toronjas en el Ecuador

Granda (2021), menciona que el Ecuador tiene un gran potencial para producir cítricos y satisfacer el consumo, pero el Gobierno no le ha dado importancia adecuada a este sector. La secretaria de fomento agropecuario indica que las especies de cítricos en el Ecuador se centran en los cambios de temperatura, la toronja se produce en climas de 24 a 32 °C.

**Tabla 4**

*Producción de la toronja en el Ecuador*

Año	Número de árboles	Producción Tm
2002	72.261	4.392
2003	70.743	5.084
2004	41.508	3.036
2005	52.175	16.368
2006	57.315	3.231
2007	69.211	5.338
2008	70.757	6.040
2009	132.011	3.622
2010	65.569	4.191
2011	74.878	5.245
2012	60.781	3.683
2013	50.943	4.126
2014	4.410	139
2015	86.776	614.366
2016	75.955	5.691
2017	90.000	7.072
2018	40.369	3.331
2019	180.155	9.986
2020	112.109	3.646
2021	102.478	11.639

*Nota.* Producción de la toronja en el Ecuador. Tomado de *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*, por ESPAC (2021).

## **2.4. Aprovechamiento de los residuos biomásicos**

La toronja generalmente se procesa en jugo, pero también se puede consumir en gajos y ensaladas; cuando la toronja se procesa, el 51% de la fruta queda en forma de residuo (cáscara), semillas y membranas (Hernández et al., 2016). Actualmente, los procesadores de jugo de cítricos convierten estos residuos en alimento para animales de bajo valor a través de la operación más intensiva en energía de la planta de procesamiento de jugo (Dorado et al., 2021).

El resultado es un margen de beneficio escaso o nulo cuando los costos de energía son altos. Sin embargo, los residuos del proceso de la toronja contienen valiosos hidrocoloides pécticos, azúcares, volátiles, fenoles y flavonoides; estos productos químicos de alto valor podrían generar nuevas fuentes de ingresos para las plantas de procesamiento de toronjas y mejorar los márgenes de ganancias (Macías, 2014).

### **2.4.1. Residuos biomásicos de frutas**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se produce alrededor de 1.600 millones de toneladas de residuos en el mundo que se desperdician. El desperdicio de alimentos como las pérdidas de calidad y cantidad de alimentos por el proceso de la cadena de suministro que tienen lugar en las fases de producción, poscosecha y transformación (Kringel et al., 2020).

Los residuos o subproductos se generan en cualquier proceso productivo y usualmente no son de utilidad posterior como materia prima para la cadena de producción. El sector agroindustrial no es la excepción, así que genera residuos que pueden ser definidos, como materiales en estado sólido o líquido obtenidos a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, que pueden ser aprovechados o transformados para obtener otro producto con valor económico, comercial o social (Vargas & Pérez, 2018).

### **2.4.2. Beneficios de la cáscara de toronja**

Según Ordoñez et al. (2018), la cáscara es descartada como desecho que contiene una amplia variedad de productos secundarios con actividad antioxidante, esta representa una rica fuente de polifenoles. El uso de residuos como fuente de polifenoles y antioxidantes puede tener considerable beneficio económico para los procesadores de alimentos.

### **2.4.3. Industrialización de los residuos de la toronja**

Se ha mostrado un gran interés en desarrollar nuevos materiales para eliminar estos contaminantes orgánicos, que se han convertido en problemas a nivel mundial. Los residuos de la toronja son considerados como un desperdicio, por lo que algunas industrias han implementado diferentes métodos para aprovechar estos residuos en un subproducto (Imran et al., 2020).

### **2.4.4. Usos industriales de la cáscara de la toronja**

Bhatnagar et al. (2015), menciona que las cáscaras de residuos agrícolas son fuentes naturales, ecológicas y económicas de adsorbentes, que pueden utilizarse en la eliminación de diversos tipos de tipos de contaminantes acuáticos y también reducir la contaminación. Los residuos de la toronja se los puede aprovechar en la obtención de subproductos como harinas, pectinas y aceites esenciales.

## **2.5. Métodos de separación**

Los métodos de extracción dentro de la agroindustria son indispensables ya que ayudan a extraer soluciones líquidas, a partir de prensado en frío, destilaciones, fluidos supercríticos y arrastre de vapor.

### **2.5.1. Proceso de destilación**

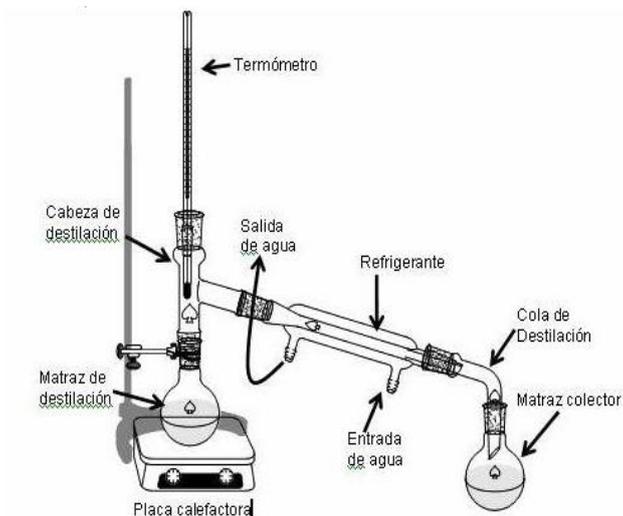
La destilación es la operación de separación más antigua y la más utilizada en la industria, esta utiliza principios de separación como: transferencia de calor y masa, equilibrio termodinámico; poniendo como criterio la temperatura de ebullición de la sustancia más volátil. En el proceso de separación hay tres etapas: formación de dos fases; transferencia de calor y masa entre las fases y separación de fases (Zapata et al., 2020).

### **2.5.2. Destilación simple**

Es un método más utilizado por su fácil utilización en obtener aceites esenciales acorde a la técnica que puede utilizar el autor, la mayoría de separación de líquidos ocurre con punto de ebullición inferior a 150 °C a presión atmosférica de impurezas no volátiles o de otros líquidos miscibles que presenten un punto de ebullición al menos 25 °C superior al primero de ellos (Valdez, 2017).

**Figura 6**

*Equipo de destilación simple*



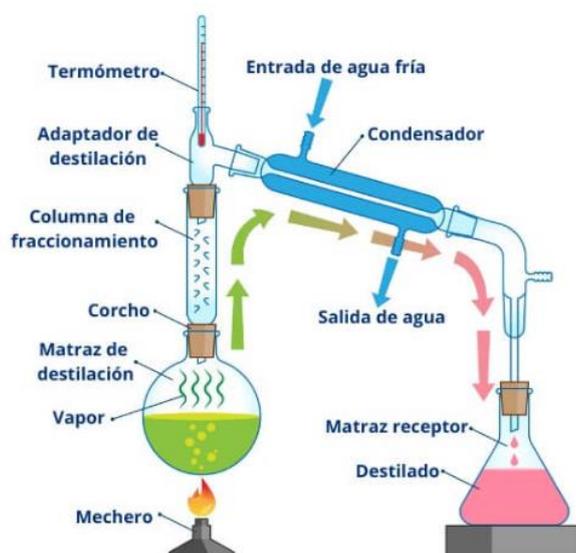
*Nota.* Tomado de *Ingeniería Química*, por Fernández (2014).

### 2.5.3. Destilación fraccionada

La destilación fraccionada se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos que se pretende destilar contiene sustancias volátiles de diferentes puntos de ebullición con una diferencia entre ellos menor a 80 °C. Al calentar una mezcla de líquidos de diferentes presiones de vapor (Tito, 2014).

**Figura 7**

*Equipo de destilación fraccionada*



*Nota.* Tomado de *Recursos Educativos de Química*, por De química (2022).

## **2.6. Aceites esenciales**

El aceite esencial es una combinación específica y compleja de sustancias químicas las cuales son biosintetizadas en las plantas, que presenta una composición y aroma característico, se lo obtiene a través de métodos de extracción (Ruiz et al., 2015). Se define al aceite esencial como un producto obtenido a partir de materia prima natural de origen vegetal mediante: destilación de vapor (hidrodestilación), por procesos mecánicos del pericarpio de cítricos, o por destilación en seco (Logroño & Lozano, 2019).

### **2.6.1. Clasificación de los aceites esenciales**

Los aceites se clasifican teniendo en cuenta su estabilidad (consistencia), su procedencia, la naturaleza química de los componentes que se encuentran en mayor cantidad.

#### **Consistencia**

- Esencias fluidas: sustancias líquidas de alta volatilidad a temperatura ambiente.
- Bálsamos: extraídos de árboles, de consistencia espesa y pueden sufrir proliferación en algunas de sus reacciones.
- Oleorresinas: contienen el aroma de la planta bien concentrado, son líquidos y de alta viscosidad.

#### **Origen**

- Naturales: se extraen de la planta y no sufren cambios fisicoquímicos.
- Aceites esenciales sintéticos: son producidos por síntesis química la producción de estos compuestos es más económica y por esto son muy utilizados como aromatizantes y saborizantes.
- Artificiales: se generan a través de procesos de enriquecimiento de una esencia con algunos de sus componentes, como, por ejemplo: anetol que se le adiciona a una mezcla de esencia de rosas (Castillo, 2020).

### **2.6.2. Propiedades físicas del aceite esencial**

- Los aceites esenciales son volátiles y son líquidos a temperatura ambiente.
- Recién destilados son incoloros o ligeramente amarillos.
- Su densidad es inferior a la del agua.
- Casi siempre son dotados de poder rotatorio, tienen un índice de refracción elevado.

- Son solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos habituales, como éter o cloroformo, y alcohol de alta gradación.
- Son liposolubles y muy poco solubles en agua, pero son arrastrables por el vapor de agua (Delgado, 2018).

### **2.6.3. Propiedades químicas del aceite esencial**

Los aceites esenciales se encuentran constituidos por: terpenos, siendo los más importantes los monoterpenos y los sesquiterpenos, los cuales constituyen un 75 a 90% del peso total del aceite. Los terpenos se caracterizan por ser inodoros o aportan muy poco al aroma del aceite, en general proporcionan la volatilidad, inflamabilidad y las características físicas tales como densidad, viscosidad al aceite esencial (Logroño & Lozano, 2019).

Los componentes de los aceites se clasifican en terpenoides y no terpenoides.

- No terpenoides. En este grupo están presentes sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. No son tan importantes como los terpenoides en cuanto a sus usos y aplicaciones.
- Terpenoides. Son los más importantes en cuanto a propiedades y comercialización (Delgado, 2018).

### **2.6.4. Caracterización de los aceites esenciales**

La caracterización comprende todos aquellos métodos que conllevan a la identificación de un compuesto puro o de tipos de compuestos presentes en una mezcla; además agrega que cuando se trata de ésta última, se tiene que realizar un análisis cuantitativo de los componentes; por lo que los métodos de análisis para aceites esenciales pueden ser la densidad, el índice de refracción y el pH (Franco, 2015).

Los aceites esenciales deben cumplir con ciertos parámetros de control de calidad, por lo que es necesario la caracterización del mismo (Castillo, 2020). Para determinar la autenticidad y calidad de un aceite se deben llevar a cabo cuatro etapas: evaluación de las propiedades organolépticas; determinación de propiedades fisicoquímicas; análisis de la composición química del aceite, tanto cuantitativa como cualitativa y otros estudios como, residuos de pesticidas, trazas de metales pesados (Delgado, 2018).

## 2.7. Aceite esencial de cítricos

Los aceites esenciales son las sustancias líquidas volátiles responsables del aroma de las frutas cítricas como limón, naranja, mandarina y toronja (Marín, 2016). Son mezclas complejas que pueden llegar a estar conformadas por 100 diferentes componentes. Los componentes que pueden estar presentes en los aceites esenciales son: alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos; los cuales son los responsables del olor característico de los mismos (Franco, 2015).

### 2.7.1. Calidad de los aceites esenciales de cítricos

La calidad del aceite depende de factores que influyen sobre la composición como las condiciones geobotánicas del medio climático, edad de la planta o fruto y estado fenológico, método de cultivo, época de recolección (Cerón & Cardona, 2011). Otro factor importante es el modo de manejo y almacenamiento del material vegetal y método de obtención del aceite esencial a través de la destilación (Castillo, 2020).

### 2.7.2. Aceite esencial de la toronja

El aceite esencial de la toronja se obtiene a partir de la destilación, no obstante, existen algunos que se extraen como grasas con disolventes orgánicos; en ellos podemos encontrar hidrocarburos alicíclicos y aromáticos, así como derivados oxigenados, los compuestos más frecuentemente derivan biogénicamente del ácido mevalónico, se les cataloga como monoterpenoides y sesquiterpenoides (Villón & Huacón, 2017).

### 2.7.3. Requisitos físicos y químicos del aceite esencial de toronja

**Tabla 5**

*Composición química del aceite esencial de toronja*

Definición	Mínimo	Máximo
Rotación óptica a 25 °C	+ 91,19°	+ 92,96°
Índice de refracción a 20 °C	1,474	1,476
Densidad relativa a 25 °C	0,850	0,853
Residuo a la evaporación, en %	6,02	8,02
Contenido de aldehídos, en %	1,67	6,02

*Nota.* Datos obtenidos de la *Normativa mexicana*, por NMX-K-446 (1978).

#### **2.7.4. Análisis de los aceites esenciales**

Algunos expertos manifiestan que se puede realizar un sin número de análisis para determinar el componente que lo contiene, pero la mayoría lo representan de esta manera para tener unos resultados más óptimos y fácil de realizar acorde a la metodología que utiliza (Logroño & Lozano, 2019). A continuación, damos a conocer lo siguiente:

- Densidad relativa
- Índice de yodo
- Índice de peróxidos
- Índice de acidez
- Índice de refracción
- Índice de saponificación

En otras investigaciones recomienda en utilizar la cromatografía de gases (GC) para tener una mejor eficacia en la muestra experimental porque es una técnica analítica que puede ser utilizada para separar compuestos orgánicos basada en sus volatilidades, además provee información cualitativa y cuantitativa de los componentes presentes (Villa, 2017).

### **2.8. Usos del aceite esencial**

#### **2.8.1. Industria alimentaria**

Los aceites esenciales de cítricos tienen una alta demanda, principalmente en la industria alimentaria, ya que son utilizados para la elaboración de aromatizantes, saborizantes, licores, entre otros productos (Castillo, 2020).

#### **2.8.2. Medicina**

- Ciertos aceites esenciales, como el de lavanda, se usan para tratar quemaduras y heridas.
- Industria cosmética y farmacéutica.
- Usados en los conservantes, perfumes, principios activos, entre otros.

#### **2.8.3. Industria de limpieza**

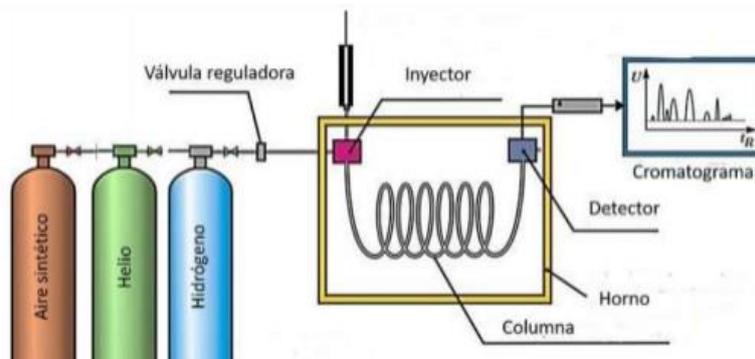
Pueden dar fragancias a los detergentes, jabones, desinfectantes, productos de usos hospitalarios.

## 2.9. Cromatografía de gases (GC)

La cromatografía de gases (GC) es una técnica de separación de sustancias de estado gaseoso que pasa por una columna en estado líquida; esta técnica permite la identificación, purificación y cuantificación de los componentes fundamentado en las diferencias de volatilidad (Pacheco, 2021). 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 8

*Esquema de las partes del cromatograma de gases*



*Nota.* Tomado de Escobar & Velasco (2022).

## 2.10. Maceración

Marcillo (2014), menciona que el proceso de maceración consiste en dejar en reposo a una materia vegetal con un líquido en cierto tiempo. El producto sólido (materia prima) posee ciertos compuestos solubles en el líquido que son los que se pretende extraer. Romero (2013), indica que en la industria se suele hablar de extracciones, mientras que cuando se trata de alimentos, hierbas y otros productos para consumo humano se emplea el término maceración.

### Figura 9

*Proceso de maceración de materia de origen vegetal*



## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el Laboratorio de Extractos del Complejo Agroindustrial de la Carrera de Agroindustria - Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar.

##### 3.1.1. Localización de la investigación

**Tabla 6**

*Localización de la investigación del estudio*

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

##### 3.1.2. Situación geográfica y climática de la localización

**Tabla 7**

*Aspectos generales del territorio*

Parámetros	Valores
Altitud promedio	2.622 msnm
Latitud	01°36'52" S
Longitud	78°59'54" W
Temperatura Máxima	21 °C
Temperatura Mínima	7 °C
Temperatura Media	14,4 °C
Precipitación media anual	980 mm
Humedad Relativa	70%
Heliofanía promedio	900 /horas/luz/año
Velocidad de viento	6 m/s

*Nota.* Tomado de Estación Meteorológica Laguacoto II. UEB 2019.

### 3.1.3. Zona de vida

La investigación en estudio se encuentra en la zona de vida según Holdridge, L. bosque Seco Montano Bajo (bs-MB).

## 3.2. Materiales

### 3.2.1. Material experimental

- Cáscara de toronja Duncan (*Citrus paradisi*)
- Cáscara de toronja Red blush (*Citrus paradisi macfad*)

### 3.2.2. Materiales de laboratorio

- Bandejas de aluminio
- Cuchillos
- Termómetros
- Vasos de precipitación
- Matraz Erlenmeyer
- Pipetas
- Probetas
- Tablas

### 3.2.3. Materiales de oficina

- Cuaderno
- Computadora portátil
- Impresora
- Hojas de papel
- Esferos
- Lápices

## 3.3. Equipos

**Tabla 8**

*Equipos de laboratorio*

Equipo	Modelo	Función	Imagen
Estufa	MEMMERT	<ul style="list-style-type: none"><li>• Esterilizar</li><li>• Secar</li><li>• incubar</li></ul>	

Mufla	SNOL, 8,2/1110	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pruebas de altas temperaturas</li> <li>• Pruebas de calentamiento</li> <li>• Incineración de muestras orgánicas e inorgánicas</li> </ul>	
Pie de rey	C/M, 8x1/128	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrumento de medición, principalmente de diámetros exteriores, interiores y profundidades.</li> </ul>	
Balanza analítica	RADWAG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar muestras</li> </ul>	
Refractómetro digital	HANNA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir el índice de refracción de un medio material</li> </ul>	
Balanza luz alógena	METTLER TOLEDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el porcentaje de agua de especies vegetales</li> <li>• Pesar muestras</li> </ul>	
Equipo de destilación simple	LAB CLASS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción de aceites y esencia</li> </ul>	
Equipo de destilación fraccionada	LAB CLASS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción de aceites y esencias</li> </ul>	

### 3.4. Reactivos

- Agua destilada (H<sub>2</sub>O)
- Bicarbonato de Sodio (NaHCO<sub>3</sub>)

### 3.5. Métodos

#### 3.5.1. Factores en estudios

Los factores considerados para el aprovechamiento de residuos de cáscara de toronja para obtención de aceites esenciales son: Factor A: variedades de toronja con dos niveles y Factor B: maceración con dos niveles, Factor C: método de destilación con dos niveles.

**Tabla 9**

*Factores de estudio para el proceso de obtención de aceites esenciales*

Factores	Código	Nivel
Variedades de toronja	A	$a_1$ : <i>Citrus paradisi</i> (Toronja Duncan) $a_2$ : <i>Citrus paradisi macfad</i> (Toronja Red blush)
Maceración con agua destilada + NaHCO <sub>3</sub> (0,7%)	B	$b_1$ : 8 h $b_2$ : 12 h
Método de extracción	C	$c_1$ : Simple $c_2$ : Fraccionada

#### 3.5.2. Tratamientos

Para determinar los tratamientos de obtención de aceite esencial se aplica un diseño en arreglo factorial AxBxC con sus diferentes niveles.

**Tabla 10**

*Combinación de niveles de cada factor*

Tratamiento	Código	Niveles		
		A	B	C
1	$a_1b_1c_1$	Toronja Duncan	8 h	Simple
2	$a_1b_1c_2$	Toronja Duncan	8 h	Fraccionada
3	$a_1b_2c_1$	Toronja Duncan	12 h	Simple
4	$a_1b_2c_2$	Toronja Duncan	12 h	Fraccionada
5	$a_2b_1c_1$	Toronja Red Blush	8 h	Simple
6	$a_2b_1c_2$	Toronja Red Blush	8 h	Fraccionada
7	$a_2b_2c_1$	Toronja Red Blush	12 h	Simple
8	$a_2b_2c_2$	Toronja Red Blush	12 h	Fraccionada

### 3.5.3. Características del experimento

**Tabla 11**

*Características de la experimentación*

Características de la experimentación	
Factores experimentales	3
Niveles factor A	2
Niveles factor B	2
Niveles factor C	2
Réplicas	3
Unidades experimentales	24
Tamaño de la muestra	200 gr
Variables respuestas	4

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

### 3.5.4. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en el estudio, fue un modelo en arreglo factorial AxBxC (2x2x2), con 3 repeticiones.

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

**Dónde:**

$\mu$ : Media general.

$\alpha_i$  : Efecto debido al i-ésimo nivel del factor A.

$\beta_j$  : Efecto del j-ésimo nivel del factor B.

$\gamma_k$  : 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 combinación  $ijk$ .

$\varepsilon_{ijk}$ : Error aleatorio.

$l$ : Repeticiones o replicas.

### 3.5.5. Modelo de análisis de varianza (ANOVA)

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

**Tabla 12**

*Modelo de análisis de varianza (ANOVA), para el diseño factorial AxBxC*

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F <sub>0</sub>	Valor-p
Efecto A	SC <sub>A</sub>	a – 1	CM <sub>A</sub>	CM <sub>A</sub> /CM <sub>E</sub>	P(F > F <sub>0</sub> <sup>A</sup> )
Efecto B	SC <sub>B</sub>	b – 1	CM <sub>B</sub>	CM <sub>B</sub> /CM <sub>E</sub>	P(F > F <sub>0</sub> <sup>B</sup> )
Efecto C	SC <sub>C</sub>	c – 1	CM <sub>C</sub>	CM <sub>C</sub> /CM <sub>E</sub>	P(F > F <sub>0</sub> <sup>C</sup> )
Efecto AB	SC <sub>AB</sub>	(a-1)(b – 1)	CM <sub>AB</sub>	CM <sub>AB</sub> /CM <sub>E</sub>	P(F > F <sub>0</sub> <sup>AB</sup> )
Efecto AC	SC <sub>AC</sub>	(a-1)(c – 1)	CM <sub>AC</sub>	CM <sub>AC</sub> /CM <sub>E</sub>	P(F > F <sub>0</sub> <sup>AC</sup> )
Efecto BC	SC <sub>BC</sub>	(b-1)(c – 1)	CM <sub>BC</sub>	CM <sub>BC</sub> /CM <sub>E</sub>	P(F > F <sub>0</sub> <sup>BC</sup> )
Efecto ABC	SC <sub>ABC</sub>	(a-1)(b-1)(c – 1)	CM <sub>BC</sub>	CM <sub>ABC</sub> /CM <sub>E</sub>	P(F > F <sub>0</sub> <sup>ABC</sup> )
Error	SC <sub>E</sub>	abc(n – 1)	CM <sub>E</sub>		
Total	SC <sub>T</sub>	abcn – 1			

*Nota.* Tomado de Gutiérrez & Salazar (2008).

### 3.5.6. Modelo de pruebas de rangos múltiples

Se aplicó el método de la diferencia mínima significativa (LSD) para aprobar la igualdad de todos los posibles pares de medias:

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

**Donde:**

**LSD:** Diferencia mínima significativa.

**k:** Número de tratamientos.

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

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

**CM<sub>E</sub>:** Cuadrado medio del error que se obtiene de la tabla ANOVA.

**n<sub>i</sub>, n<sub>j</sub>:** Número de observaciones para los tratamientos i y j, respectivamente.

### **3.6. Metodología experimental**

#### **3.6.1. Propiedades físicas de la toronja**

**Masa:** para determinar la masa de la fruta y masa de la cáscara, se pesaron en una balanza analítica y luego se registraron los datos en Excel.

**Diámetro polar:** se utilizó un pie de rey para medir el diámetro polar de la toronja.

**Diámetro ecuatorial:** el diámetro ecuatorial de la toronja se determinó con un pie de rey.

**% Sólidos solubles:** el grado Brix se determinó con ayuda de un refractómetro de 0 - 32%.

**pH:** el potencial de hidrógeno de la pulpa de toronja se determinó utilizando un pH-metro Mettler Toledo.

#### **3.6.2. Propiedades químicas de la cáscara de toronja**

##### **3.6.2.1. Análisis proximal de la cáscara de toronja**

Para el análisis y cálculos proximal se tomaron como referencia a la Normativa Técnica Española UNE-EN ISO, adaptadas para lograr dicho propósito, los análisis presentes son humedad, cenizas y volátiles. A continuación, daremos a conocer los métodos que serán utilizados para el análisis de la muestra representativa:

##### **Determinación de Humedad (UNE-EN ISO 18134-2; 2017)**

- Se toma la muestra no mayor a 0,1 g en todos los envases de muestreo, deberán llenarse y marcarse con las rúbricas de las partes interesadas. Se debe fijar a cada muestra una tarjeta que incluya número de identificación y fecha de muestreo.
- Colocar en la estufa el cristizador sin tapa y dejar secar hasta masa constante, sacar de la estufa, enfriar en un desecador y medir la masa, anotar la masa como m1.
- En el cristizador tarado, poner 10 g de muestra, medir la masa con una sensibilidad de 0,1 g registrar la masa como m2.
- Si la pérdida de masa a 110 °C es inferior a 0,01% (fracción de masa), correspondiente a la diferencia en masa (m2 - m3) de menos de 1 g, tomar 50 g de muestra y usar un cristizador de un tamaño tal, como para permitir obtener una capa tan delgada como sea posible.
- Colocar el recipiente con muestra destapado en la estufa a una temperatura controlada de (105 de  $\pm 2$ ) °C. Se calienta la bandeja hasta que se alcanza una

masa constante. El tiempo de secado requerido dependerá del tamaño de la partícula de la muestra, la velocidad de intercambio del aire en la estufa y el espesor de la capa de la muestra.

- Se retira la bandeja de la estufa y se pesa cuando aún está caliente con una aproximación de 0,1 g, en un intervalo entre 10 s y 15 s para evitar absorción de humedad. Se usan unos materiales aislantes térmicos en el platillo de la balanza para protegerlo del contacto directo con la bandeja caliente.

El contenido de humedad en la muestra se determina mediante la siguiente ecuación:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

**Donde:**

**$m_1$** : es la masa del recipiente de secado vacío (g).

**$m_2$** : es la masa del recipiente de secado y de la porción de ensayo antes del secado (g).

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

#### **Determinación de cenizas (UNE-EN ISO 18122; 2016)**

- La cápsula vacía se calienta en el horno a  $(550 \pm 10)$  °C durante al menos 60 minutos. Se retira la cápsula del horno, se deja enfriar sobre una superficie resistente al calor durante 5 a 10 minutos, se transfiere a un desecador con desecante y se deja enfriar a temperatura ambiente. Cuando la cápsula esté fría, se pesa con una precisión de 0,1 mg y se registra la masa.
- La muestra para el análisis general debe mezclarse bien antes de pesar la porción de prueba. Se coloca un mínimo de 1 g de porción de prueba en el fondo del plato y se extiende en una capa uniforme sobre la superficie inferior.
- Pesar el plato con la porción de muestra con una precisión de 0,1 mg y anotar la masa. Si la porción de muestra se ha secado previamente en el horno, la cápsula y la porción de muestra deben secarse a 105°C y pesarse a continuación como medida de precaución para evitar la absorción de humedad.
- La cápsula se coloca en una estufa fría y la porción de muestra se calienta de acuerdo con el siguiente procedimiento de calentamiento.

- La temperatura del horno se eleva uniformemente a 250°C durante un período de 30 a 50 min. Se mantiene a esta temperatura durante 60 minutos para permitir que los volátiles se evaporen antes de la ignición.
- La temperatura del horno se vuelve a elevar uniformemente a (550 ± 10) °C durante un período de 30 minutos. Esta temperatura se mantiene durante al menos 120 min.
- Se retira la fuente con su contenido del horno, se deja enfriar la fuente sobre una superficie resistente al calor durante 5 a 10 min, se transfiere a un desecador con desecante y se deja enfriar a temperatura ambiente. El plato con la ceniza se pesa con una precisión de 0,1 mg en cuanto se alcanza la temperatura ambiente y se registra la masa.

El contenido de ceniza se calcula según la ecuación:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 * \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

**Donde:**

**$m_1$ :** es la masa, en gramos, del plato vacío.

**$m_2$ :** es la masa, en gramos, del plato más de porción de ensayo.

**$m_3$ :** es la masa, en gramos, del plato más la ceniza.

**$M_{ad}$ :** es el contenido de humedad en porcentaje de la porción de ensayo usada para la determinación.

#### **Determinación de materias volátiles (UNE-EN ISO 18123; 2015)**

- Se coloca el crisol en el soporte con un crisol vacío y la tapa o el número necesario de crisoles en el soporte para crisoles múltiples con sus respectivas tapas y se introduce en el horno.
- Se mantiene a 900 °C ± 10 °C durante 7 min ± 5 s. Se retira el soporte del crisol del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente sobre una placa de material termo resistente y se guardan los crisoles en el desecador.
- El crisol vacío con su tapa se pesa en frío.
- El crisol se llena con 1 g ± 0,1 g, con una precisión de 0,1 mg, de material de muestra para el análisis general. Se vuelve a colocar la tapa del crisol sobre una

superficie limpia y dura hasta que el material forme una capa de espesor uniforme en el fondo del crisol.

- El crisol cargado se coloca de nuevo sobre un soporte frío y se introduce en el horno, que se ajusta a 900 °C. Se cierra la puerta del horno y se deja durante 7 minutos  $\pm$  5 segundos.
- Se seca el crisol del horno, se coloca sobre una superficie resistente al calor y se deja enfriar durante aproximadamente 5 a 10 minutos; a continuación, se coloca el crisol en un desecador y se deja enfriar a temperatura ambiente. Una vez frío, se pesa el crisol con una precisión de 0,1 mg.
- El contenido volátil,  $V_d$ , de la porción de ensayo como porcentaje en masa sobre una base seca se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_d = \left[ \frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{ad} \right] * \left( \frac{100}{100 - M_{ad}} \right)$$

**Donde:**

$m_1$ : es la masa, en gramos, del crisol y su tapa.

$m_2$ : es la masa, en gramos del crisol, su tapa y la porción de ensayo antes del calentamiento.

$m_3$ : es la masa, en gramos, del crisol, su tapa y el residuo después del calentamiento.

$M_{ad}$ : es la humedad, como porcentaje en masa, de la porción de ensayo.

### 3.6.2.2. Análisis elemental de la cáscara de toronja

#### Determinación de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno y Azufre (UNE-EN ISO 15104)

El análisis elemental CHNS, también conocido como microanálisis elemental, se basa en la determinación cuantitativa de la composición elemental de (C, H, N, S) en muestras orgánicas e inorgánicas, ya sean sólidas, líquidas o viscosas (Ramos et al., 2015).

- Se corre 3 sulfamidas de 20 mg con el método “Sulf 1” con el nombre “Factor Diario” (la prueba se lo realiza por triplicado).
- Repetir otra vez 3 sulfamidas de 20 mg con el método “Sulf 1” con el nombre “Sulfanilamide”.

- Se comprobó que los porcentajes de N, C, H, y S correspondan a los valores del patrón, en caso afirmativo ya se pueden correr las muestras, caso contrario, revisar la calibración (indicaciones del operador).
- Preparar las muestras de la tabla de calibración, para lo cual se pesó 20 mg de la muestra.
- Se movió el carrusel a posición cero (0), presionando SYSTEM>CARRUSEL POSITION>POSICIÓN 1>OK.
- Insertar las muestras en el carrusel, ingresando los pesos en la tabla de la pantalla junto al nombre de cada muestra de acuerdo a los códigos de los estándares utilizados.
- Empezar a correr el análisis (SYSTEM AUTO RUN).
- Finalmente se obtuvo los resultados visualizados en la pantalla.

### 3.7. Parámetros de operación

Los parámetros de operación tienen como objetivo mejorar el proceso de destilación simple o fraccionada, con el uso adecuado de las cuantificaciones se obtiene un mayor rendimiento en la extracción del aceite esencial de la cáscara de toronja. Se aplicó la maceración de 8 y 12 h para las cáscaras de las toronjas duncan y red blush antes de realizar la respectiva destilación simple y fraccionada.

**Tabla 13**

*Parámetros de operación empleados para el proceso de destilación*

Método de extracción	Maceración con NaHCO <sub>3</sub> (h)		Temperatura °C	Tiempo (min)	Flujo másico (mL/s)
Destilación simple	8	12	85 - 90	100 - 120	8,23 - 14,74
Destilación fraccionada	8	12	78 - 85		

### 3.8. Proceso de obtención de aceite esencial de toronja

Para la obtención del aceite esencial de toronja se realizó las siguientes actividades:

- a. Recepción, selección, y lavado de la materia prima
- b. Troceado de la cáscara
- c. Maceración
- d. Triturado
- e. Homogenización
- f. Destilación
- g. Decantación
- h. Aceite esencial

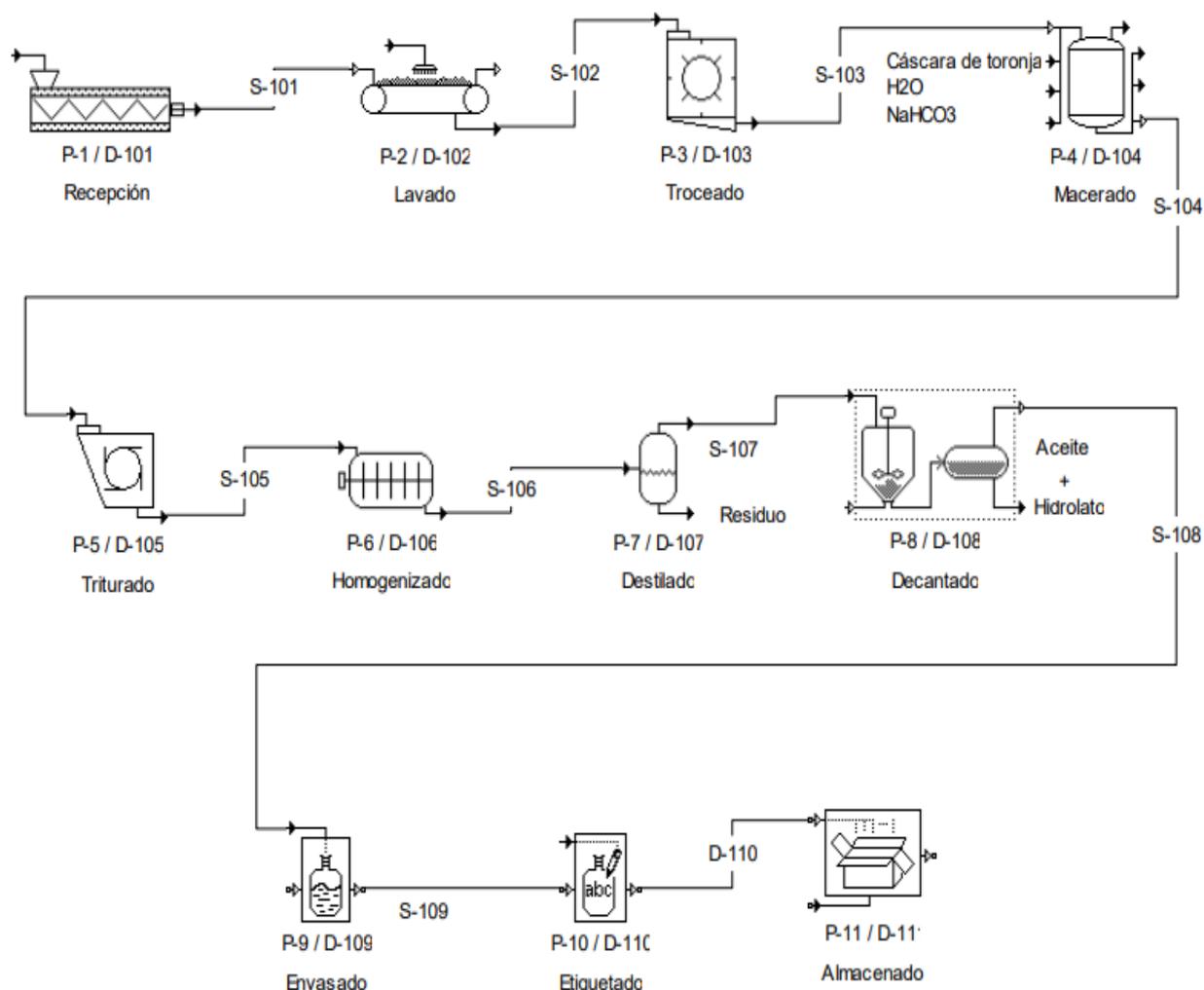
A continuación, se describe las operaciones para la obtención de aceite esencial de toronja.

- a. Recepción, selección, y lavado de materia prima.** Se receiptó muestras frescas de toronja de interés provenientes de los cantones Echeandía, Las Naves, Caluma de la Provincia Bolívar, se seleccionó de mejor calidad posterior a ello pasó a un lavado.
- b. Troceado de cáscara.** Se procedió a trocear la cáscara de un diámetro 5 mm.
- c. Maceración:** Se procedió con 200 g de cáscara, 300 mL de agua destilada y 0,7% de bicarbonato de sodio.
- d. Triturado y homogenización.** Se trituró pasado el tiempo de 8 horas y 12 horas de maceración, luego se homogenizó.
- e. Destilación.** Se agregó la muestra en el balón de destilación durante 2 horas a una temperatura de 80 - 90 °C
- f. Decantación.** Se suministró el hidrolato durante 2 horas donde el aceite se separa del agua por el fenómeno de densidades.
- g. Producto final.** Se obtuvo el aceite esencial donde se recoge en unos frascos de color ámbar.

### 3.8.1. Diagrama de proceso de la extracción de aceite esencial de toronja

**Figura 10**

*Diagrama de proceso para la extracción de aceite esencial de toronja*



Código	Proceso
P-1/D-101	Recepción
P-2/D-102	Lavado
P-3/D-103	Troceado
P-4/D-104	Macerado
P-5/D-105	Triturado
P-6/D-106	Homogenizado
P-7/D-107	Destilado
P-8/D-108	Decantado
P-9/D-109	Envasado
P-10/D-110	Etiquetado
P-11/D-111	Almacenado

Nota: P: Proceso; D: Destilación

### 3.9. Determinación de la densidad del aceite esencial

#### 3.9.1. Densidad por el método picnométrico

La densidad del aceite esencial se determinó mediante el método de picnometría, donde se utilizó un picnómetro y una balanza analítica, los resultados son expresados en g/mL, lo cual se basó a la normativa (NMX-F-075-SCFI, 2012).

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{v}$$

*Donde:*

$\rho$ : densidad del aceite esencial.

$m_1$ : masa del picnómetro.

$m_2$ : masa obtenida del aceite esencial + picnómetro.

$v$ : volumen del aceite esencial.

#### 3.10. Análisis por cromatografía de gases del aceite esencial

La composición química del aceite esencial de toronja se determinó mediante el análisis de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC/MS).

- La composición química del aceite esencial de toronja se determinó en un cromatógrafo de gases, modelo THERMO SCIENTIFIC-TRACE 1300.
- Se utilizó una columna DB-5MS; medidas: 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25  $\mu$ m de espesor.
- Se pesó 3  $\mu$ L de cada aceite esencial en viales ámbar de cromatografía y se añadió 1 mL de solución estándar de nonano con ciclohexano.
- Se pesó 10  $\mu$ L de nonano y se aforó en un balón de 10 mL con ciclohexano, el cual pesó 7 mg.
- El modo de inyección fue de Split 80 y la temperatura del horno 50°C durante 3 minutos, con una rampa de temperatura de 3°C/min hasta 230°C durante 3 minutos.

### 3.11. Modelos matemáticos para la extracción de aceite esencial

#### 3.11.1. Cinética de obtención del aceite esencial

Se procedió a tomar el peso del aceite esencial extraído en intervalos de 10 minutos.

##### Modelo matemático de Henderson and Pabis

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

*Donde:*

**k:** constante cinética de velocidad (min).

**a:** constante cinética de masa (g).

**t:** intervalo de tiempo (min).

##### Modelo matemático logarítmico

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

*Donde:*

**k:** constante cinética de velocidad (min).

**a:** constante cinética de masa (g).

**t:** intervalo de tiempo (min).

##### Modelo matemático de Von Bertalanffy

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

*Donde:*

**k:** constante cinética de velocidad (min).

**a, b:** constante cinética de masa (g).

**t:** intervalo de tiempo (min).

### 3.11.2. Rendimiento del aceite esencial

El rendimiento del aceite esencial fue acorde a la cantidad de aceite esencial tomado en el intervalo de 10 minutos.

#### Ecuación de rendimiento porcentual (experimental)

$$R = \frac{m_a}{m_{mp}} * 100$$

*Donde:*

$m_a$ : masa del aceite esencial (g).

$m_{mp}$ : masa de la materia prima (g).

100: factor matemático (%)

#### Modelo matemático de Monod

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

*Donde:*

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

$k$ : es una constante cinética (min).

$t$ : es el transcurso del tiempo (min).

#### Modelo matemático de Teissier

$$R = R_{max} \left( 1 - e^{-\frac{t}{k}} \right)$$

*Donde:*

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

$k$ : es una constante cinética (min).

$t$ : es el transcurso del tiempo (min).

### Modelo matemático de Gompertz

$$R = R_{max} - e^{(-e^{-kt+b})}$$

**Donde:**

**$R_{max}$ :** representa el rendimiento máximo (%).

**$k, b$ :** son constantes cinéticas (min).

**$t$ :** es el transcurso del tiempo (min).

### Modelo matemático de Moser

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

**Donde:**

**$R_{max}$ :** representa el rendimiento máximo (%).

**$k$ :** son constantes cinéticas (min).

**$t$ :** es el transcurso del tiempo (min).

**$n$ :** constante cinética.

### 3.12. Elaboración de un desinfectante para superficies inanimadas

El desinfectante es un producto compuesto por una serie de ingredientes químicos que ayudan a eliminar microorganismos nocivos para el ser humano.

El proceso de elaboración está compuesto por las siguientes etapas:

- a. Recepción de materia prima
- b. Pesado
- c. Mezclado
- d. Verificación de la mezcla
- e. Reposo
- f. Envasado
- g. Etiquetado
- h. Almacenado

### 3.12.1. Descripción de las etapas del proceso de elaboración del desinfectante

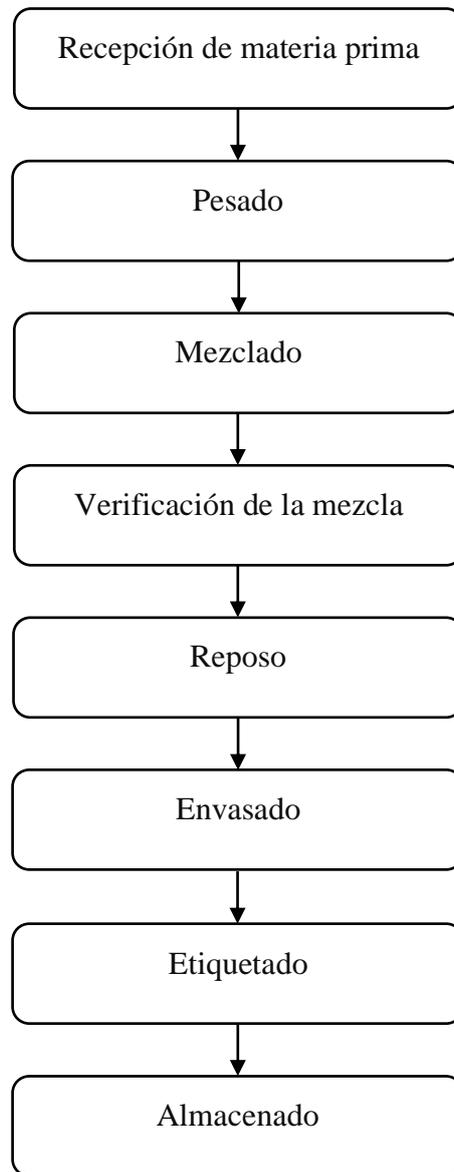
Para realizar el proceso de elaboración del desinfectante se realizó los siguientes procesos:

- a. **Recepción de materia prima.** Se define cuáles son los insumos que se van a utilizar en el proceso de elaboración del desinfectante de aceite esencial de toronja.
- b. **Pesado.** Se procedió a separar la materia prima con las respectivas medidas en gramos que se va a utilizar.
- c. **Mezclado.** Se colocó en el agitador la medida exacta de agua, de acuerdo a la Normativa NTE INEN 2985 (2015), luego se mezcló con la celulósica hasta que se espese la mezcla. Una vez que la mezcla este homogénea se adicionó el armonio, fonil, esta tetra sódico y por último el aceite esencial de toronja.
- d. **Verificación de la mezcla.** El resultado obtenido de la mezcla es supervisado en el cual verifico la textura, consistencia y fragancia.
- e. **Reposo.** Una vez que el producto haya pasado la supervisión y verificación es reposado por 10 min.
- f. **Envasado.** Después de un tiempo de 30 minutos, se realizó el respectivo llenado de los productos en las botellas de distribución.
- g. **Etiquetado.** Una vez que tengamos llenas las botellas de desinfectantes se procedió a taparlas y etiquetarlas manualmente para así darle la garantía al producto a comercializar.
- h. **Almacenado.** El producto terminado se procedió a embalarlo y almacenarlo en un lugar, donde haya una temperatura agradable.

### 3.12.2. Diagrama de flujo de la elaboración de un desinfectante

**Figura 11**

*Diagrama de flujo de la elaboración de un desinfectante*



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Propiedades físicas y químicas de la toronja

##### 4.1.1. Análisis físicos de la toronja

Se detallan los datos obtenidos de las propiedades físicas de la toronja en fruto realizada en el laboratorio de extractos.

**Tabla 14**

*Valores de las propiedades físicas de la toronja como fruta*

Parámetros	Variedades de Toronja	
	Duncan	Red Blush
Peso (g)	530,00	709,80
Diámetro polar (mm)	93,72	95,93
Diámetro ecuatorial (mm)	104,78	112,46
% sólidos solubles (Brix)	9,22	8,37
pH	2,88	3,14

La tabla 14 muestra los valores de los parámetros: peso, diámetro polar, diámetro ecuatorial, % de sólidos solubles y pH de la toronja Duncan y toronja Red blush.

Ahmed et al. (2019), reportaron para pH valores de 3,67, 3,54 y 3,38 y para % de sólidos solubles de 10,50, 11,12 y 12,41 en la toronja rio red, ray ruby y flame. Fadavi & Salari (2019), reportaron un pH de 3,8 y % de sólidos solubles de 9,2. Coello (2014), reportó un peso de 362,33 g, diámetro polar de 8,48 cm, diámetro ecuatorial de 9,19 cm, % de sólidos solubles de 7,23 y un pH de 3,98 para la toronja en estado verde. Reportó un peso de 351,78 g, diámetro polar de 8,43 cm, diámetro ecuatorial de 9,04 cm, % de sólidos solubles de 7,57 y un pH de 4,02 para la toronja en estado madura. Se menciona que existe escasa información acerca del peso, diámetro polar y diámetro ecuatorial de la toronja.

#### 4.1.2. Análisis químicos de la toronja

##### 4.1.2.1. Análisis proximal de la cáscara de toronja

**Tabla 15**

*Resultados del análisis proximal de la cáscara de toronja*

Parámetros	Variedades de Toronja		
	Método	<i>Citrus paradisi</i> (Duncan)	<i>Citrus paradisi macfad</i> (Red Blush)
Humedad (%)	UNE-ISO 18134-2	69,788	66,049
Cenizas (%)	UNE-ISO 18134-2	4,436	4,265
Volátiles totales (%)	UNE-ISO 18134-2	91,861	92,893

La tabla 15 muestra los resultados del análisis proximal de la cáscara de las dos variedades de toronja. La humedad de la toronja Duncan fue de 69,787%, de la toronja Red blush 66,049%. Mohamed & Mohamed (2015), reportaron valores superiores en humedad con 75,25% para la toronja Duncan y 75,37% para la toronja Red blush. Rahman et al. (2016), obtuvo 80,59% para humedad en la cáscara de pomelo.

En cenizas se obtuvo 4,436% para la toronja Duncan y 4,265% para la toronja Red blush. Kohajdová et al. (2013), en su estudio sobre las características de la cáscara de pomelo red blush reportó valores inferiores con 3,55%. Edet et al. (2016), reportaron 3,97% en cenizas. Por lo contrario Ahmad et al. (2016) reportaron 6,24% para cenizas.

Para volátiles totales se obtuvo 91,861% para la toronja Duncan y 92,893% para la Red blush. Cheong et al. (2011), reportaron 97,96% de volátiles totales para el pomelo rojo. Esmaili et al. (2012), en los resultados de su investigación de la cáscara de pomelo obtuvieron 97,4% de volátiles totales. La variación entre resultados, podría atribuirse al tipo de suelo, variedad de toronja, época, grado de madurez y cambios ambientales.

##### 4.1.2.2. Análisis elemental de la cáscara de toronja

**Tabla 16**

*Resultados del análisis proximal de la cáscara de toronja*

Variedades de la toronja	Propiedades			
	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)
Duncan	41,44	6,37	0,71	0,00
Red Blush	43,04	7,04	0,88	0,02

En la tabla 16 se observan los valores de la muestra seca en dos variedades de la cáscara de la toronja, estos valores numéricamente son diferentes para las propiedades de nitrógeno, carbono, hidrogeno y azufre. Tamelová et al. (2018), de los residuos de piel de cítricos obtuvieron valores de 14,26% para carbono, 1,80% para hidrógeno, 0,36% para nitrógeno. Baray (2016) reportó valores de 0,78% en nitrógeno, 6,65% en hidrógeno, 47,98% en carbono y 0% en azufre. Los datos reportados en el presente estudio no difieren con los datos reportados por los autores mencionados.

#### 4.2. Resultados de la extracción del aceite esencial de la toronja

Se reporta los resultados obtenidos del proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de la toronja, a través de la destilación simple y fraccionada.

##### 4.2.1. ANOVA del volumen del aceite esencial

Se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza, correspondiente al volumen de aceite esencial expresados en mL.

**Tabla 17**

*ANOVA del volumen del aceite esencial*

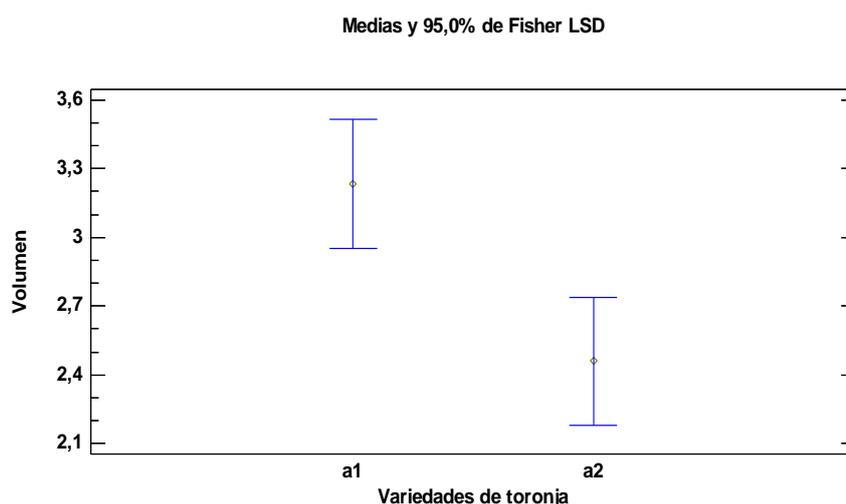
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A:Variedades de la toronja	3,6037	1	3,6037	8,5700	0,0099 **
B:Maceración	4,9504	1	4,9504	11,7800	0,0034 **
C:Método de extracción	0,0004	1	0,0004	0	0,9753 ns
Interacciones					
AB	0,3037	1	0,3037	0,7200	0,4079 ns
AC	0,2204	1	0,2204	0,5200	0,4795 ns
BC	0,0937	1	0,0937	0,2200	0,6431 ns
ABC	0,0004	1	0,0004	0	0,9753 ns
Residuos	6,7266	16	0,4204		
Total (Corregido)	15,8996	23			

*Nota.* \*\*: altamente significativo; \*: significativo; ns: no significativo

En la tabla 17 se detalla el análisis de varianza del volumen de aceite esencial de la toronja obtenido, los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores e interacciones, demostrando que 2 valores-p son menores que 0,05, estos factores tienen significancia estadística sobre el volumen del aceite esencial con un 95,0% de confianza. Al demostrar que los factores en estudio tienen significancia se realizaron pruebas de rangos múltiples por el método LSD.

**Figura 12**

*Medias del factor A en el volumen del aceite esencial*



**Tabla 18**

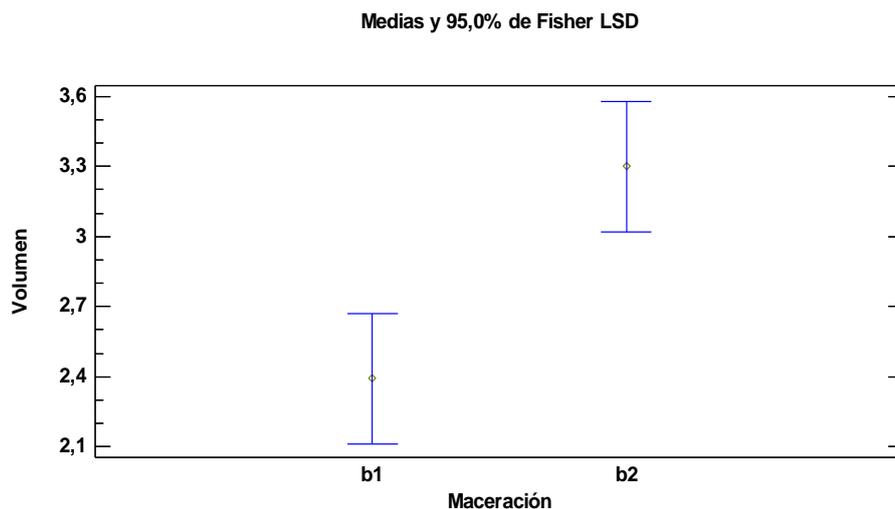
*Prueba de rangos múltiples del factor A en el volumen del aceite esencial*

Variedades de la toronja	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
$a_2$	12	2,4583	0,1871	A
$a_1$	12	3,2333	0,1871	B

En la figura 12 y la tabla 18 se muestra la comparación de medias del factor A para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se observa que el nivel  $a_1$  correspondiente a la variedad Duncan presenta un mayor volumen del aceite esencial, el nivel  $a_2$  correspondiente a la variedad Red blush presenta un menor volumen del aceite esencial a partir de 200 gramos de cáscaras de toronja.

**Figura 13**

*Medias del factor B en el volumen del aceite esencial*



**Tabla 19**

*Prueba de rangos múltiples del factor B en el volumen del aceite esencial*

Maceración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
$b_1$	12	2,3916	0,1871	A
$b_2$	12	3,3333	0,1871	B

En la figura 13 y la tabla 19 se muestra la comparación de medias del factor B para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se observa que el nivel  $b_1$  correspondiente a la destilación simple presenta el menor volumen de aceite esencial, el nivel  $b_2$  correspondiente a la destilación fraccionada presenta el mayor volumen de obtención de aceite esencial a partir de la cáscara de la toronja. Villón & Huacón (2017), obtuvieron 1,5 mL de aceite esencial a partir de 375 g de cáscara de toronja. Coello (2014), obtuvo 1,1 mL de aceite esencial a partir de 400 g de cáscara de toronja blanca. Villa (2017), obtuvo 33 mL de aceite esencial a partir de 25 kg de cáscara de toronjas. Se indica que la maceración ayudo a obtener un mayor volumen de aceite esencial. Los volúmenes obtenidos fueron de 1,97 mL a 3,97 mL a partir de 200 g de cáscara la toronja, estos valores son superiores con respecto a los autores mencionados.

#### **4.2.2. ANOVA del rendimiento del aceite esencial**

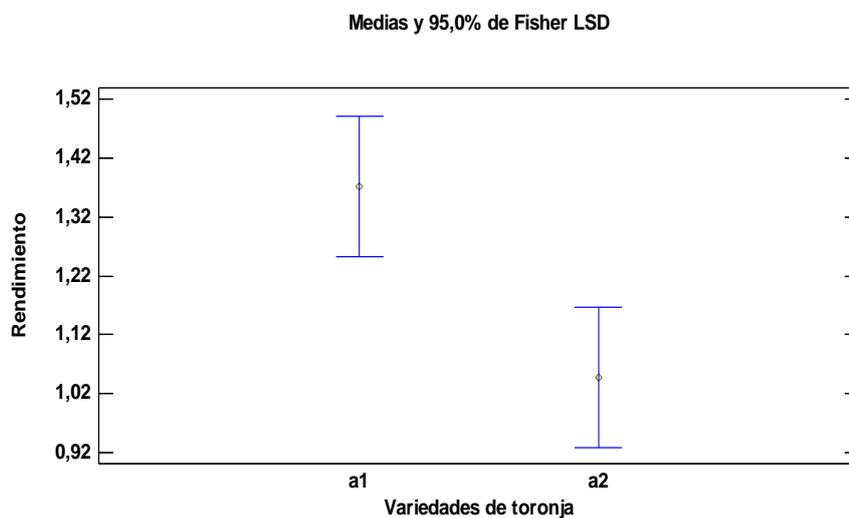
Se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza, correspondiente al rendimiento de aceite esencial expresado en (%).

**Tabla 20***ANOVA del rendimiento del aceite esencial*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A:Variedades de la toronja	0,6337	1	0,6337	8,400	0,0105 *
B:Maceración	0,8656	1	0,8656	11,4800	0,0038 **
C:Método de extracción	0,0001	1	0,0001	0	0,9626 ns
Interacciones					
AB	0,0471	1	0,0471	0,6300	0,4406 ns
AC	0,0330	1	0,0330	0,4400	0,5177 ns
BC	0,0166	1	0,01664	0,2200	0,6449 ns
ABC	0,0000	1	0,00001	0	0,9895 ns
Residuos	1,2068	16	0,0754		
Total (Corregido)	15,8996	23			

Nota. \*\*: altamente significativo; \*: significativo; ns: no significativo

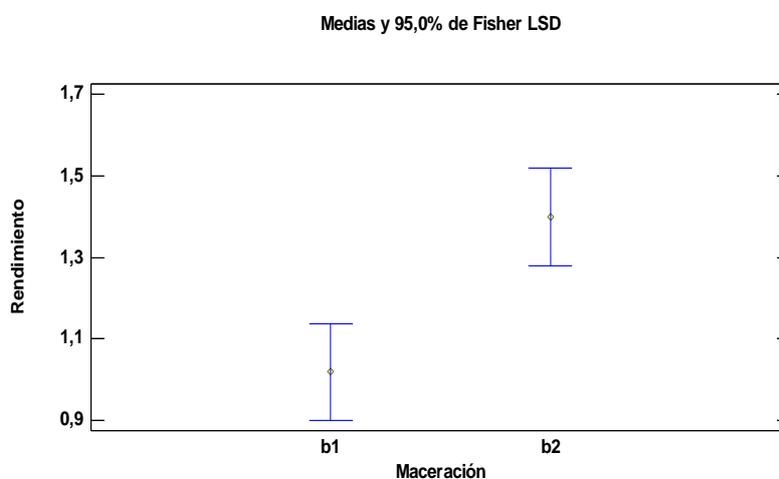
En la tabla 20 se detalla el análisis de varianza del rendimiento del aceite esencial de la toronja obtenido, los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores e interacciones, demostrando que 2 valores-p son menores que 0,05, estos factores tienen significancia estadística sobre el rendimiento del aceite esencial con un 95,0% de confianza.

**Figura 14***Medias del factor A en el rendimiento del aceite esencial*

**Tabla 21***Prueba de rangos múltiples del factor A en el rendimiento del aceite esencial*

Variedades de la toronja	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
$a_2$	12	1,0469	0,0792	A
$a_1$	12	1,3719	0,0792	B

En la figura 14 y la tabla 21 se muestra la comparación de medias del factor A para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se observa que el nivel  $a_1$  correspondiente a la variedad Duncan presenta un mayor rendimiento del aceite esencial, el nivel  $a_2$  correspondiente a la variedad Red blush presenta un menor rendimiento.

**Figura 15***Medias del factor B en el rendimiento del aceite esencial***Tabla 22***Prueba de rangos múltiples del factor B en el rendimiento del aceite esencial*

Maceración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
$b_1$	12	1,0195	0,0792	A
$b_2$	12	1,3999	0,0792	B

En la figura 15 y la tabla 22 se muestra la comparación de medias del factor B para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se observa que el nivel  $b_1$  correspondiente a la destilación simple presenta el menor rendimiento del aceite esencial, el nivel  $b_2$  correspondiente a la destilación fraccionada presenta el mayor rendimiento. Alayo & Vilchez (2019); Villa (2017); Villón & Huacón (2017), en sus investigaciones obtuvieron rendimientos del aceite esencial de toronja de 0,063%, 0,11% y 0,33%. Los

resultados obtenidos en la presente investigación fueron de 0,836% a 1,668% a partir de 200 gramos de cáscara de toronja Duncan y Red blush, valores que son superiores con respecto a los valores reportados por los autores mencionados.

#### 4.2.3. ANOVA de la densidad del aceite esencial

Se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza, correspondiente a la densidad del aceite esencial expresada en g/mL.

**Tabla 23**

*ANOVA de la densidad del aceite esencial*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
<b>Efectos principales</b>					
A:Variedades de la toronja	3,50E-05	1	3,50E-05	0,9800	0,3369 ns
B:Maceración	7,00E-05	1	7,00E-05	1,9600	0,1807 ns
C:Método de extracción	0,00014	1	0,0001	4,0600	0,0611 ns
<b>Interacciones</b>					
AB	9,20E-05	1	9,20E-05	2,5700	0,1281 ns
AC	0,0001	1	0,0001	3,7900	0,0694 ns
BC	3,75E-07	1	3,75E-07	0,0100	0,9197 ns
ABC	5,04E-06	1	5,04E-06	0,1400	0,7122 ns
Residuos	0,0005	16	0,0000		
Total (Corregido)	0,00105	23			

*Nota.* ns: no significativo

En la tabla 23 se detalla el análisis de varianza de la densidad del aceite esencial de la toronja obtenido, los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores e interacciones, demostrando que ningún valores-p son menores que 0,05, estos factores no tienen significancia estadística sobre la densidad del aceite esencial con un 95,0% de confianza. Esto se debe a que las densidades son similares con 0,841 g/mL a 0,858 g/mL. Villa (2017), en su investigación reportó una densidad de 0,852 g/mL. Deng et al. (2020), reportaron una densidad de 0,84 g/mL. Trujillo Juárez et al. (2021) reportaron densidades de 0,8521 g/mL y 0,898 g/mL. Ahmed et al. (2019), reportaron densidades de 0,861 g/mL, 0,863 g/mL y 0,859 g/mL de la toronja rio red, ray ruby y flame.

#### 4.2.4. ANOVA del pH del aceite esencial

Se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza, correspondiente al pH del aceite esencial.

**Tabla 24**

*ANOVA del pH del aceite esencial*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A:Variedades de la toronja	3,50E-05	1	3,50E-05	0,9800	0,3369 ns
B:Maceración	7,00E-05	1	7,00E-05	1,9600	0,1807 ns
C:Método de extracción	0,00014	1	0,0001	4,0600	0,0611 ns
Interacciones					
AB	9,20E-05	1	9,20E-05	2,5700	0,1281 ns
AC	0,0001	1	0,0001	3,7900	0,0694 ns
BC	3,75E-07	1	3,75E-07	0,0100	0,9197 ns
ABC	5,04E-06	1	5,04E-06	0,1400	0,7122 ns
Residuos	0,0005	16	0,0000		
Total (Corregido)	0,00105	23			

*Nota.* ns: no significativo

En la tabla 24 se detalla el análisis de varianza del pH del aceite esencial de la toronja obtenido, los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores e interacciones, demostrando que ningún valores-p son menores que 0,05, estos factores no tienen significancia estadística sobre el pH del aceite esencial con un 95,0% de confianza.

Esto se debe a que los valores del pH son similares con 4,327 a 4,667. Widyasanti & Shalsabilla (2020), reportaron un pH de 7,5% a partir del pomelo. González & Véliz (2020), obtuvieron un pH de 5,6 en el aceite esencial de mango, mencionan que el aceite esencial con un pH de 5 a 5,8 presentan mayor calidad.

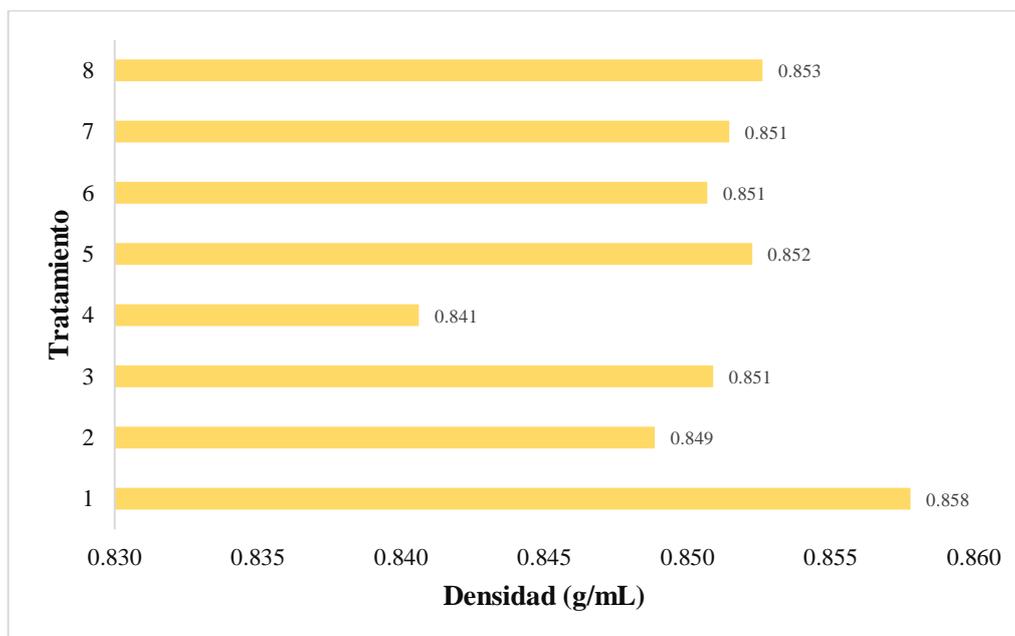
#### 4.3. Evaluación de la calidad del aceite esencial

##### 4.3.1. Resultados de la densidad como criterio de calidad

Se presenta la densidad del aceite esencial, obtenido a partir de los residuos biomásicos de la cáscara de la toronja, expresada en g/mL como criterio de calidad.

**Figura 16**

*Valores de la densidad del aceite esencial de la toronja*



En la figura 16 se indica las densidades del aceite esencial obtenido a partir de la cáscara de dos variedades de toronjas. Se reporta densidades de 0,841 g/mL a 0,858 g/mL. La Norma mexicana NMX-K-446 (1978), indica los requisitos físicos y químicos del aceite esencial de la toronja, para la densidad indica su valor mínimo de 0,850 y su valor máximo de 0,853. Yousefi et al. (2019), indica que para lograr obtener un aceite esencial de alta calidad, se debe aplicar un adecuado manejo de la extracción, esto ayuda a que el aceite esencial tenga menor densidad que la del agua, el cual presenta mayor compuestos volátiles. Ahmed et al. (2019), en sus investigaciones reportan densidades comprendidas en un rango de 0,847 g/mL a 0,863 g/mL, estos aceites presentan mayores componentes volátiles, debido a que mientras más pureza o presencia de ácidos tenga, su densidad será menor a 0,850 g/mL.

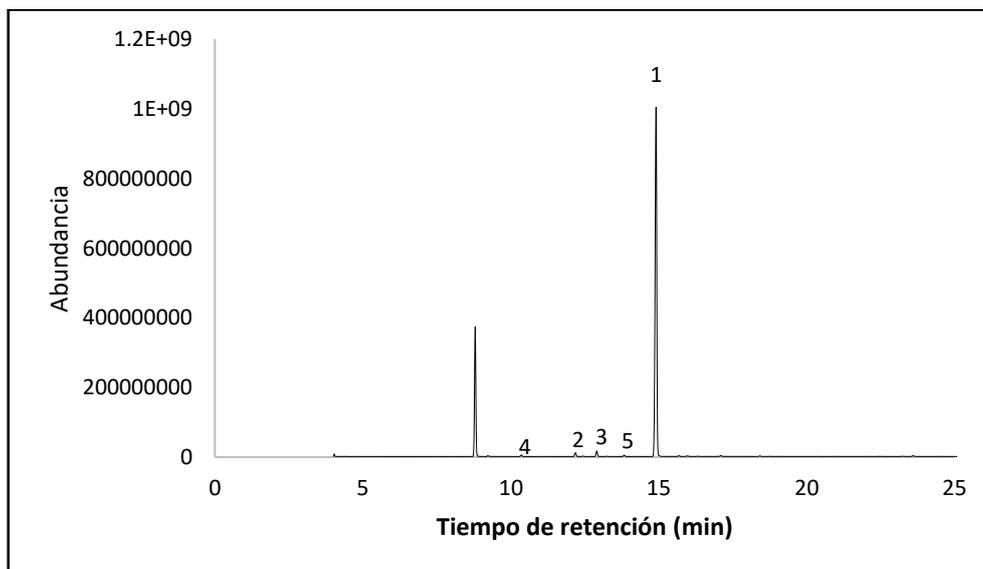
#### **4.4. Análisis cromatográfico del aceite esencial**

Se presenta los resultados del análisis cromatográfico de los compuestos volátiles presentes en el aceite esencial de la cáscara de toronja Duncan y Red blush. Se muestra la figura del cromatograma y su porcentaje de cada componente mayoritario.

#### 4.4.1. Componentes volátiles del aceite esencial de la toronja duncan

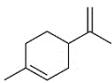
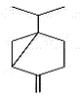
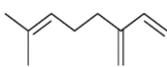
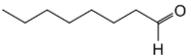
**Figura 17**

*Cromatograma del aceite esencial de la toronja duncan*



**Tabla 25**

*Compuestos volátiles del aceite esencial de la toronja duncan*

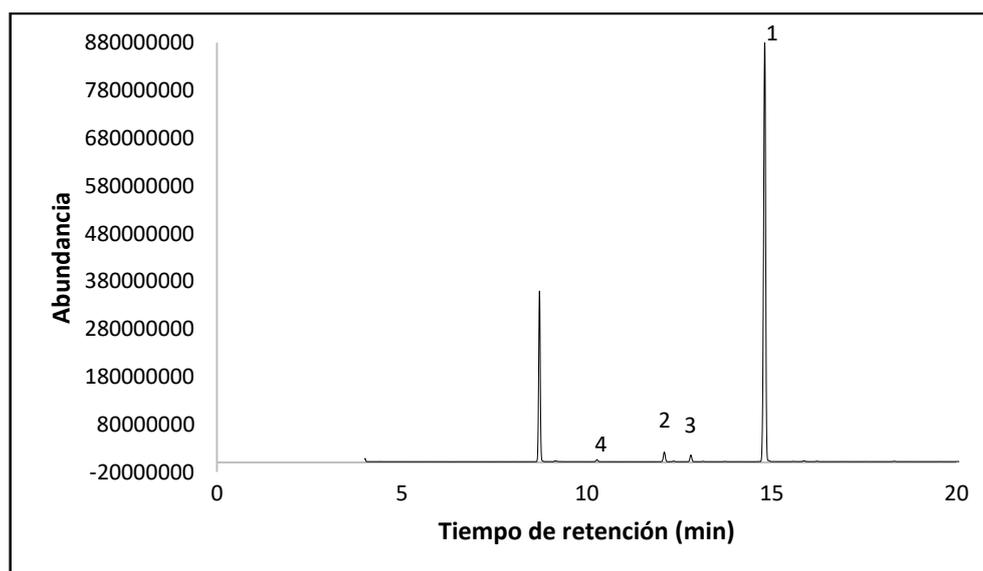
Nº	Compuesto	TR (min)	IR	Composición (%)	Fórmula general	Fórmula estructural
1	Limoneno	14,91	1036	92,10	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	
2	Sabineno	12,19	978	2,70	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	
3	Mirceno	12,91	994	3,03	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	
4	α-Pineno	10,36	937	2,20	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	
5	Octanal	13,83	1015	2,17	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	

En la figura 17 y tabla 25 se observa el análisis de los compuestos volátiles presentes en el aceite esencial de la toronja duncan. Se muestra la presencia de 5 compuestos mayoritarios como Limoneno, Sabineno, Mirceno,  $\alpha$ -Pino y Octanal. El pico 1 presenta la mayor concentración de limoneno con 92,10% y un tiempo de retención de 14,91 minuto.

#### 4.4.2. Componentes volátiles del aceite esencial de la toronja red blush

**Figura 18**

*Cromatograma del aceite esencial de la toronja red blush*



**Tabla 26**

*Compuestos volátiles del aceite esencial de la toronja red blush*

Nº	Compuesto	TR (min)	IR	Composición (%)	Fórmula general	Fórmula estructural
1	Limoneno	14,82	1034	90,77	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	
2	Sabineno	12,10	976	3,81	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	
3	Mirceno	12,82	992	3,10	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	
4	$\alpha$ -Pino	10,36	937	2,32	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	

En la figura 18 y tabla 26 se observa el análisis de los compuestos volátiles presentes en el aceite esencial de la toronja red blush. Se muestra la presencia de 4 compuestos mayoritarios como Limoneno, Sabineno, Mirceno,  $\alpha$ -Pineno. El pico 1 presenta la mayor concentración de limoneno con 90,77% y un tiempo de retención de 14,82 minuto.

**Tabla 27**

*Cantidad en miligramos de los compuestos mayoritarios en un mg de aceite esencial*

Muestra	N° pico	Compuesto	TR	IRC	IR literatura	Promedio mg/mg aceite esencial	Desviación estándar
Toronja duncan	1	Limoneno	14,81	1036	1024	40,080	0,566
	2	Sabineno	12,19	978	969	1,175	0,006
	3	Mirceno	12,91	994	988	1,317	0,000
	4	$\alpha$ -Pineno	10,36	937	932	0,958	0,003
	5	Octanal	13,83	1015	998	0,943	0,007
Toronja red blush	1	Limoneno	14,82	1034	1024	40,080	0,093
	2	Sabineno	12,10	976	969	1,629	0,070
	3	Mirceno	12,82	992	988	1,328	0,006
	4	$\alpha$ -Pineno	10,36	937	932	0,993	0,053

La tabla 27 muestra la cantidad en mg de cada componente mayoritario del aceite esencial de la toronja duncan y red blush. La toronja duncan fue la que más porcentaje de compuesto de limoneno presentó con 92,10%. La toronja red blush presentó un porcentaje de limoneno de 90,77%.

Deng et al. (2020), reportó para limoneno 93,33%,  $\alpha$ -Pineno 0,76%, Sabineno 0,60% y Octanal 0,36%. Luciardi et al. (2020), obtuvo 88,48% en limoneno, 0,972% en  $\alpha$ -Pineno, 0,487% en Sabineno y 3,45% en Mirceno. Özogul et al. (2021), en sus investigaciones reportaron valores de compuestos químicos del aceite esencial de la toronja de 82,86% en Limoneno y 2,51% en Mirceno. Khalid & Ahmed (2021), presentaron 28 compuestos mayoritarios, entre ellos los más abundantes fueron limoneno con 77,9%,  $\alpha$ -Pineno 1%, Sabineno 0,7%, Octanal 2,8%.

#### 4.5. Balance de masa del proceso de extracción del aceite esencial

Se presenta el balance de masa del proceso de extracción del aceite esencial obtenido a través de la destilación simple y fraccionada.

##### I. Balance de materia en el extractor

- a) Datos experimentales

**Tabla 28**

*Datos obtenidos del proceso a escala laboratorio*

Nº	Descripción	Valor	Unidad
1	Materia vegetal	201,4	g
2	Tiempo de extracción	120	min
3	Residuo de extracción	280,063	g
4	Volumen total obtenido	221,337	g
5	Volumen de aceite esencial	3,336	g
6	Volumen de hidrolato	218,001	g

- b) Balance general para la mezcla

$$\mathbf{Entrada} = \text{Cáscara} + \text{NaHCO}_3$$

$$F_4 = F_1 + F_2$$

$$F_4 = 200 + 1,4 = 201,4 \text{ g}$$

- c) Balance general para la obtención de extracto

$$\mathbf{Hidrolato} = \text{Aceite} + \text{Hidrolato restante}$$

$$F_6 = F_8 + F_9$$

$$F_6 = 3,336 + 218,001 = 221,337 \text{ g}$$

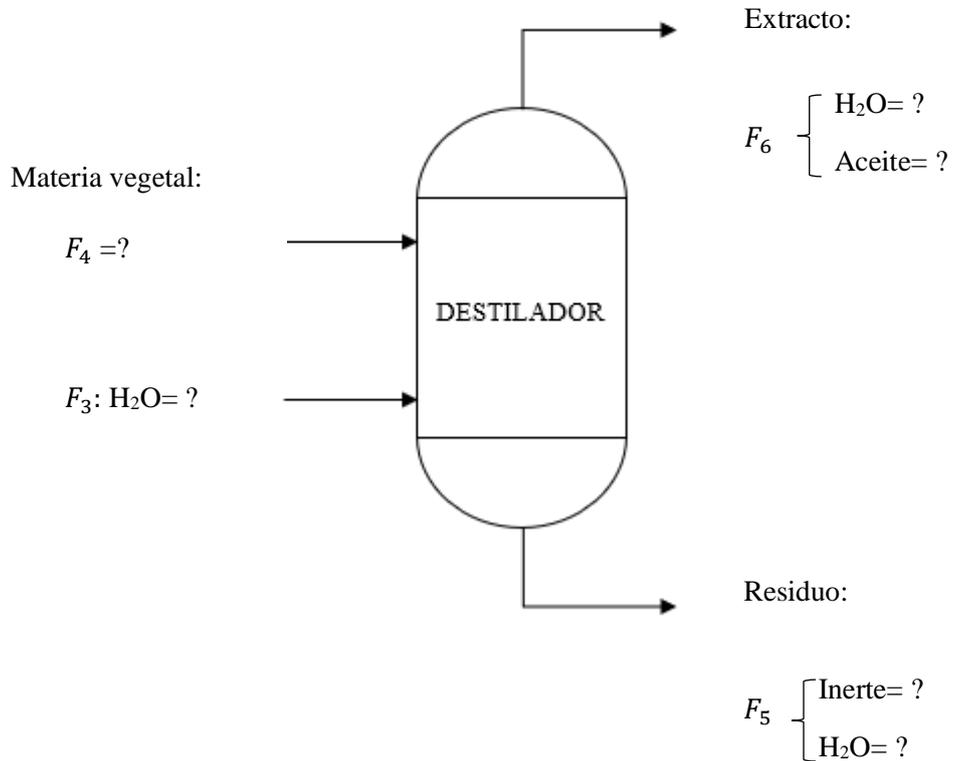
- d) Determinación del residuo obtenido

$$F_5 = 280,063 \text{ g}$$

e) Diagrama de flujo

**Figura 19**

*Diagrama de flujo en el destilador*



f) Balance general

$$F_3 + F_4 = F_5 + F_6$$

g) Determinación de alimentación de agua

$$F_3 = F_5 + F_6 - F_4 = 280,063 + 221,337 - 201,4 = 300 \text{ g}$$

h) Balances parciales

$$H_2O: F_{H_2O}^6 = F_9 = 218,001 \text{ g}$$

$$H_2O: F_3 = F_{H_2O}^5 + F_9$$

$$F_{H_2O}^5 = F_3 - F_{H_2O}^6 = 300 - 218,001 = 81,999 \text{ g}$$

$$Aceite: F_{aceite}^4 = F_8 = 3,336 \text{ g}$$

i) Determinación del inerte en materia vegetal

$$F_{inerte}^5 = F_5 - F_{H_2O}^5 = 280,063 - 81,999 = 198,064 \text{ g}$$

j) Fracciones másicas

$$W_{aceite}^4 = \frac{F_{aceite}^4}{F_1} = \frac{3,336}{200} = 0,016 = \mathbf{1,6\%}$$

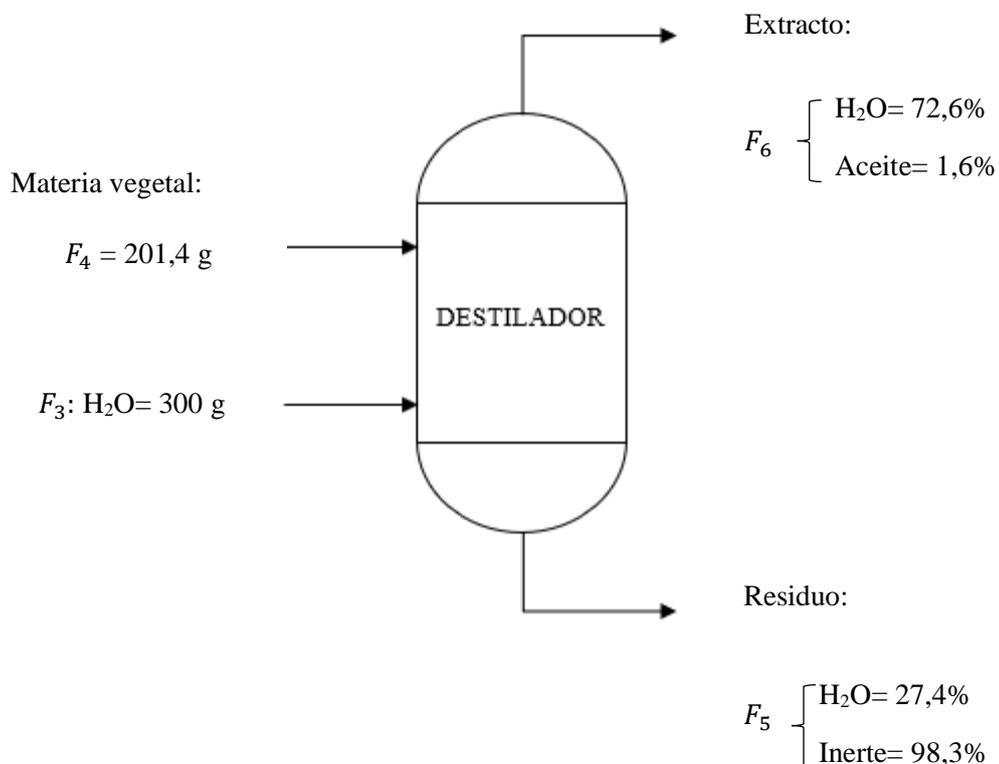
$$W_{inerte}^5 = \frac{F_{inerte}^5}{F_4} = \frac{198,064}{201,4} = 0,983 = \mathbf{98,3\%}$$

$$W_{H_2O}^6 = \frac{F_{H_2O}^6}{F_3} = \frac{218,001}{300} = 0,726 = \mathbf{72,6\%}$$

k) Diagrama de los resultados obtenidos

**Figura 20**

*Diagrama del extractor con rendimientos en el proceso*

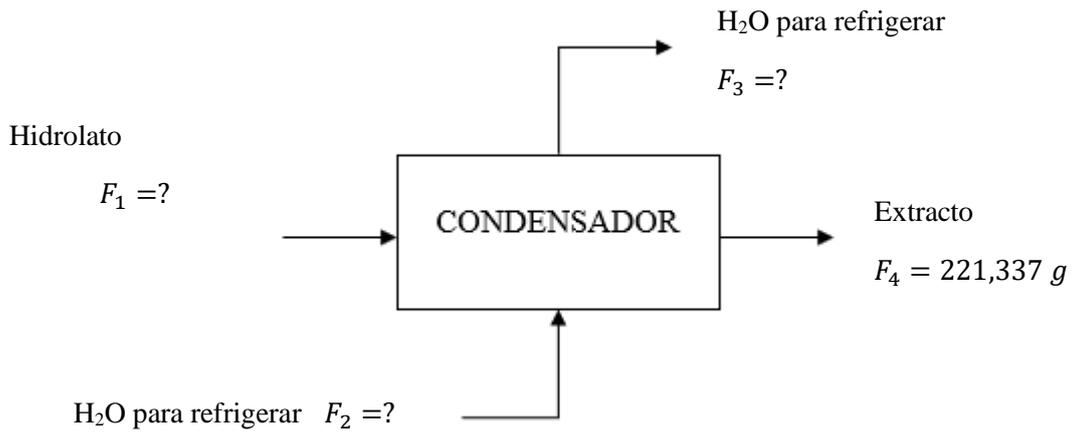


## II. Balance de materia en el condensador

a) Flujo de salida de extracto

$$F_6 = 221,337 \text{ g}$$

b) Diagrama de flujo del condensado



c) Flujo de entrada de vapor

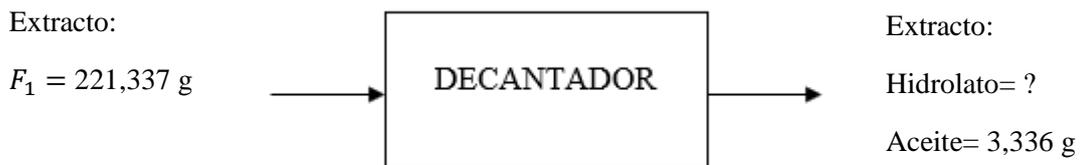
$$F_1 = F_4 = 221,337 \text{ g}$$

d) Flujo de agua del refrigerante

$$F_2 = F_3 = 602 \text{ g/min}$$

### III. Balance de materia en el decantador

a) Diagrama de flujo del decantado



b) Balance general

$$F_1 = F_2$$

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

$$F_{H_2O}^6 = F_1 - F_{aceite}^4 = 221,337 - 3,336$$

$$F_{H_2O}^6 = 218,001 \text{ g}$$

#### 4.6. Modelación matemática del proceso de extracción

La modelación matemática, nos permitió modelar los comportamientos experimentales durante el proceso de la destilación, se muestra la cinética de extracción (g) y rendimiento (%) del aceite esencial.

##### 4.6.1. Cinética de extracción

La cinética de extracción es una etapa que muestra el proceso de la destilación del aceite esencial, a medida que el tiempo avanza la masa de la cáscara de la toronja se disminuye. Se muestra los resultados experimentales de la cinética de extracción del aceite esencial obtenido en función al intervalo de tiempo.

**Tabla 29**

*Cinética de extracción del aceite esencial*

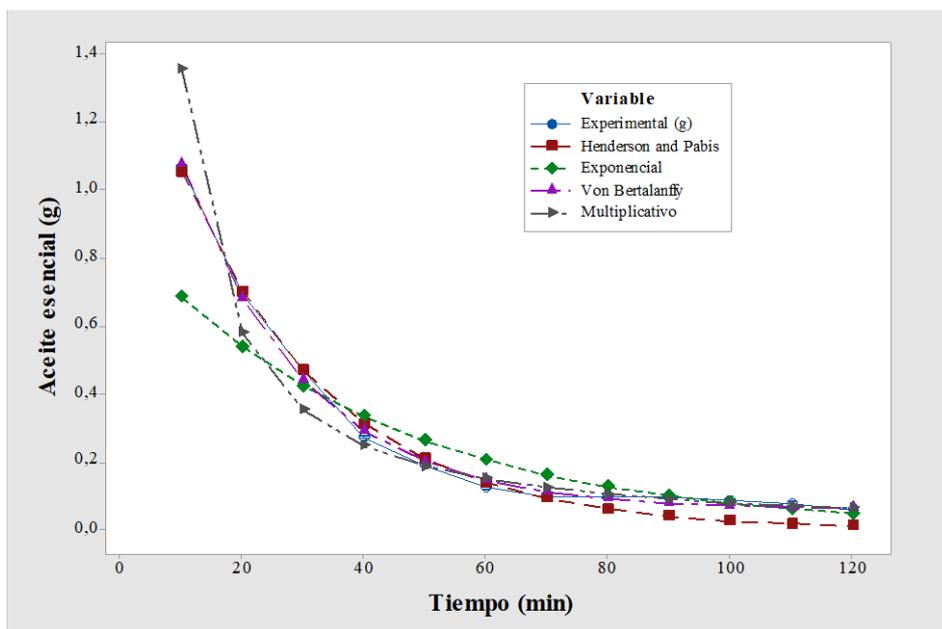
Tiempo	Cáscara de la toronja (g)	Aceite esencial (g)
0	200	0
10	198,932	1,068
20	198,238	0,694
30	197,770	0,468
40	197,497	0,273
50	197,308	0,189
60	197,183	0,125
70	197,084	0,099
80	196,986	0,098
90	196,890	0,096
100	196,803	0,087
110	196,726	0,077
120	196,665	0,061

La tabla 29 indica la cinética de extracción del aceite esencial de toronja. Los valores obtenidos, se los ajustó a cuatro modelos matemáticos de Henderson and Pabis, Von Bertalanffy, Logarítmica y Multiplicativo.

**Tabla 30***Modelos matemáticos para la cinética de extracción*

Nombre del modelo	Ecuación del modelo	Parámetros	Estadística
Henderson and Pabis	$m_{a/t} = a * e^{-k*t}$	$k = 4,048$ $a = 1,578$	$R^2 = 0,985$ RMSE = 0,040
Exponencial	$m_{a/t} = e^{a-k*t}$	$k = 0,024$ $a = 0,138$	$R^2 = 0,821$ RMSE = 0,139
Von Bertalanffy	$m_{a/t} = a * e^{-k*t} + b$	$k = 0,988$ $a = 1,667$ $b = 0,061$	$R^2 = 0,997$ RMSE = 0,016
Multiplicativo	$m_{a/t} = e^{a-k*\ln(t)}$	$k = 1,226$ $a = 3,128$	$R^2 = 0,897$ RMSE = 0,105

En la tabla 30 se muestra los modelos matemáticos aplicados para predecir la cinética de extracción del aceite esencial. El modelo matemático de Von Bertalanffy, es el más adecuado para describir la cinética de extracción del aceite esencial experimental realizado, por lo que presenta un  $R^2 = 0,997$  y RMSE = 0,016. Seguido del modelo matemático de Henderson y Pabis con un  $R^2 = 0,985$  y RMSE = 0,040.

**Figura 21***Comparación de los modelos matemáticos*

La figura 21 muestra la comparación de los modelos matemáticos, se observa cómo se ajustan a los datos experimentales de la cinética de extracción experimental. El modelo matemático de Henderson y Pabis, Von Bertalanffy indican un mejor ajuste a los datos experimentales obtenidos.

#### 4.6.2. Rendimiento del aceite esencial

Esta etapa muestra el rendimiento del aceite esencial, la curva se construyó a partir de la masa del aceite esencial extraído en el transcurso de la destilación. El rendimiento relaciona la máxima cantidad de aceite esencial, que se puede extraer y se lo expresa en porcentaje (%).

**Tabla 31**

*Rendimiento del aceite esencial*

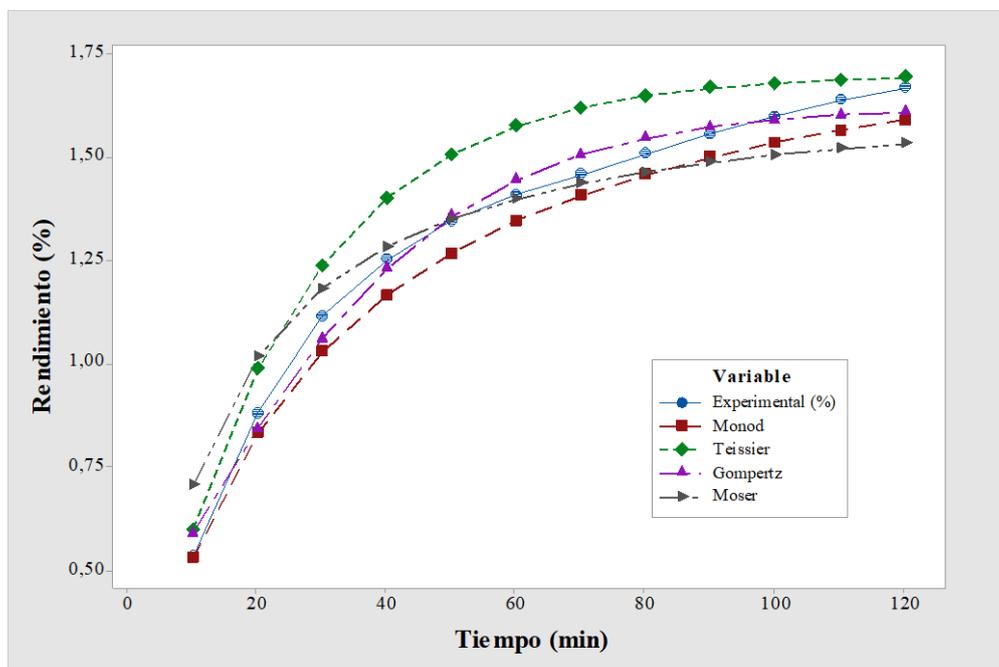
Tiempo	Aceite esencial (g)	Rendimiento (%)
0	0,000	0,000
10	1,068	0,534
20	1,762	0,881
30	2,230	1,115
40	2,503	1,252
50	2,692	1,346
60	2,817	1,409
70	2,916	1,458
80	3,014	1,507
90	3,110	1,555
100	3,197	1,599
110	3,274	1,637
120	3,335	1,668

La tabla 31 indica el rendimiento del aceite esencial de toronja. Los valores obtenidos, se los ajustó a cuatro modelos matemáticos de Monod, Teissier, Gompertz y Moser.

**Tabla 32***Modelos matemáticos para modelar el rendimiento*

Nombre del modelo	Ecuación del modelo	Parámetros	Estadística
Monod	$R = \frac{R_{max} * t}{k + t}$	$k = 26,732$ $R_{max} = 1,945$	$R^2 = 0,960$ RMSE = 0,071
Teissier	$R = R_{max} \left(1 - e^{-\frac{t}{k}}\right)$	$k = 23,059$ $R_{max} = 1,701$	$R^2 = 0,863$ RMSE = 0,131
Gompertz	$R = R_{max} - e^{(-e^{-kt+b})}$	$k = 0,433$ $b = 0,445$ $R_{max} = 1,623$	$R^2 = 0,985$ RMSE = 0,042
Moser	$R = \frac{R_{max} * t^n}{k + t^n}$	$k = 16,451$ $R_{max} = 1,677$ $n = 1,079$	$R^2 = 0,920$ RMSE = 0,100

En la tabla 32 se muestra los modelos matemáticos aplicados para predecir el rendimiento del aceite esencial. El modelo matemático de Gompertz, es el más adecuado para describir el rendimiento del aceite esencial experimental realizado, por lo que presenta un  $R^2 = 0,985$  y  $RMSE = 0,042$ .

**Figura 22***Comparación de los modelos matemáticos*

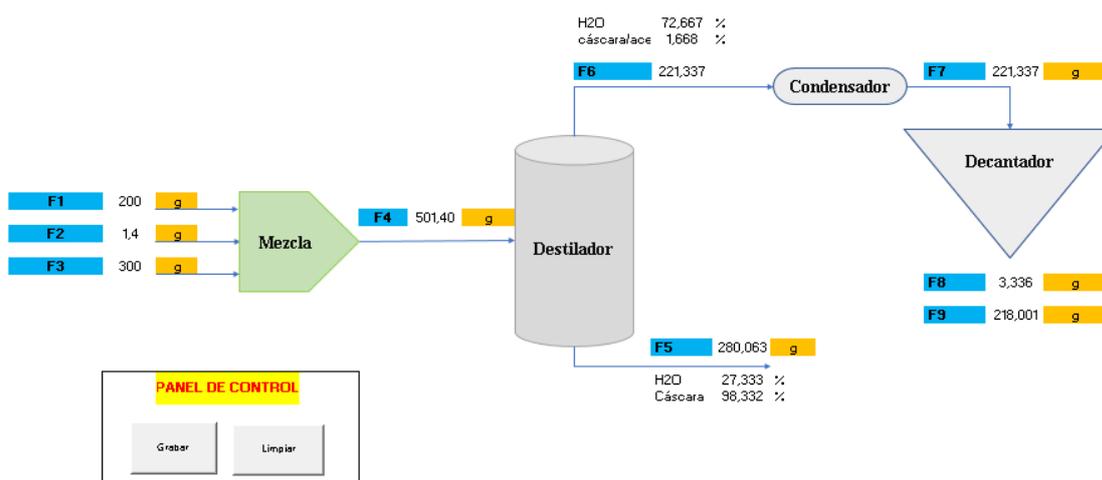
La figura 22 muestra la comparación de los modelos matemáticos, se observa cómo se ajustan a los datos experimentales del rendimiento experimental. El modelo matemático de Gompertz indica un mejor ajuste a los datos experimentales obtenidos.

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

Se procedió a realizar una simulación del proceso de destilación del aceite esencial en el Microsoft Excel. Esto nos ayuda a simular el rendimiento de diferentes cantidades de cáscara de toronja.

**Figura 23**

*Esquema del simulador para la extracción del aceite esencial*



**Tabla 33**

*Resultados de la simulación del proceso de extracción*

Cáscara (g)	NaCHO <sub>3</sub> (g)	H <sub>2</sub> O <i>i</i> (g)	Mezcla (g)	Hidrolato/vapor (g)	Residuo (g)	Hidrolato (g)	<b>Aceite (g)</b>	H <sub>2</sub> O <i>f</i> (g)
200,00	1,40	300,00	501,40	221,34	280,06	221,34	<b>3,34</b>	218,00
200,00	1,40	200,00	401,40	148,67	252,73	148,67	<b>3,34</b>	145,33
1600,00	11,20	1800,00	3411,20	1334,69	2076,51	1334,69	<b>26,69</b>	1308,01
1600,00	11,20	1400,00	3011,20	1044,03	1967,17	1044,03	<b>26,69</b>	1017,34
900,00	6,30	650,00	1556,30	487,35	1068,95	487,35	<b>15,01</b>	472,34
2400,00	16,80	1800,00	4216,80	1348,04	2868,76	1348,04	<b>40,03</b>	1308,01
650,00	4,55	800,00	1454,55	592,18	862,37	592,18	<b>10,84</b>	581,34

*Nota.* H<sub>2</sub>O *i*: Agua inicial; H<sub>2</sub>O *f*: Agua final.

#### 4.8. Elaboración del desinfectante para piso

Los desinfectantes son productos químicos que eliminan microorganismos presentes sobre superficies como pisos, paredes, ventanas y mesas (Chávez & Sánchez, 2015). La Normativa NTE INEN 2985 (2015), indica que un desinfectante es un agente que elimina la mayoría de microorganismos patógenos pero no necesariamente todas las microbianas esporuladas en las superficies inanimadas. El limpiador líquido para superficies de uso doméstico con acción desinfectante puede contener aromas, pigmentos y colorante.

Se presenta el resultado de la elaboración del desinfectante con aceite esencial de toronja, la cual da un aroma cítrico.

#### Figura 24

*Desinfectante con aceite esencial de toronja*



La figura 24 muestra el resultado final de la elaboración del desinfectante con aceite esencial de toronja, para superficies inanimadas.

## Marcado, etiquetado y embalaje

Para envasar el limpiador líquido de superficies de uso doméstico con acción desinfectante deben utilizarse materiales suficientemente resistentes a la manipulación y que garanticen la conservación de las características del producto. Cada envase de limpiador líquido debe presentar caracteres fácilmente legibles y visibles, que incluyan la información mínima siguiente:

- a) nombre o razón social de(l) (los) fabricante(s) o del (los) comercializador(es),
- b) denominación del producto y marca comercial,
- c) identificación del lote respectivo,
- d) contenido neto al envasar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades, según lo establecido en NTE INEN-OIML R 87,
- e) número de la Notificación Sanitaria Obligatoria,
- f) instrucciones de uso,
- g) precauciones y advertencias (de ser necesarias),
- h) composición básica cualitativa.

### Figura 25

*Etiqueta del desinfectante*



## **4.9. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

### **4.9.1. Hipótesis nula**

Los aceites esenciales obtenidos por sistemas de destilación simple y fraccionada a partir de la cáscara de la toronja, 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**

Los aceites esenciales obtenidos por sistemas de destilación simple y fraccionada a partir de la cáscara de la toronja, 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 la hipótesis**

Con la realización del estudio, se menciona que los aceites esenciales obtenidos por sistemas de destilación simple y fraccionada a partir de la cáscara de la toronja cumplen con las características físicas y químicas de calidad necesarias para ser utilizadas en la elaboración de un producto agroindustrial. Se procede a rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

## 4.10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.10.1. Conclusiones

- Los compuestos identificados y medidos mediante la realización del análisis proximal y elemental, denotan que no difieren significativamente de los valores reportados en otras investigaciones que utilizaron la misma materia prima.
- En el proceso de extracción del aceite esencial mediante la destilación simple y fraccionada, los parámetros idóneos aplicados para la zona localizada a 2.602 msnm fueron: temperatura de 80 - 92 °C; flujo másico 8,23 - 14,74 mL/s; presión 0,973 atm; tiempo 110 - 120 min.
- Se realizó el análisis de la composición química del aceite esencial mediante el método GC/MS, donde se reportó 5 compuestos mayoritarios de los cuales el Limoneno es el más abundante, con un tiempo de retención de 14,91 min y una cantidad de 92,10%; esto evidencia que es un aceite de calidad.
- De acuerdo a la modelación matemática utilizada para el proceso de destilación simple y fraccionada, el modelo matemático que mayor ajuste presentó para la cinética de extracción fue el de Von Bertalanffy con una  $R^2 = 0,997$  y una RMSE = 0,016; para el rendimiento el modelo matemático de Gompertz presentó un mayor ajuste con una  $R^2 = 0,985$  y una RMSE = 0,042.
- El desinfectante para superficies inanimadas, es un claro ejemplo para demostrar la eficiencia que tiene el uso de aceite esencial, extraído de la cáscara de la toronja en la elaboración de un producto agroindustrial.
- Los residuos biomásicos de la toronja (*Citrus paradisi*), constituyen una materia prima importante para la obtención de diferentes productos agroindustriales de calidad, tales como la obtención de aceite esencial a través de la destilación, presentado en esta investigación.

#### **4.10.2. Recomendaciones**

- Realizar más estudios acerca de la toronja, ya que existe escasa información en lo relacionado a la extracción de aceites esenciales.
- Utilizar más repeticiones en el proceso de obtención de aceite esencial a nivel de laboratorio para disminuir el error experimental.
- Realizar análisis de calidad y cantidad del aceite obtenido, mediante técnicas cromatográficas de mayor sensibilidad, para identificar más compuestos en el análisis cualitativo y cuantificar de mejor manera la cantidad de compuestos existentes.
- Ampliar el estudio en la utilización de modelos matemáticos, para indagar sobre el mejor ajuste en el rendimiento y en la concentración en función del tiempo del aceite esencial obtenido.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, M. M., Rehman, S.-U., Qureshi, M., Muhammad, N., & Asghar, M. (2016). Variability in peel composition and quality evaluation of peel oils of Citrus varieties. *Journal of Agricultural Research*, 54(4), 747-756. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25607.85922>
- Ahmed, S., Rattanpal, H. S., Gul, K., Dar, R. A., & Sharma, A. (2019). Chemical composition, antioxidant activity and GC-MS analysis of juice and peel oil of grapefruit varieties cultivated in India. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(7), 1634-1642. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62602-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62602-X)
- Alayo Deza, J., & Vilchez Torres, R. del P. (2019). *Actividad antifúngica in vitro del aceite esencial de la cáscara de Citrus paradisi Macfad (Toronja) frente a Aspergillus niger* [Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. [http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/5832/TESIS\\_ALAYO%20DEZA%20-%20VILCHEZ%20TORRES.pdf?sequence=1](http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/5832/TESIS_ALAYO%20DEZA%20-%20VILCHEZ%20TORRES.pdf?sequence=1)
- Alcívar Marcillo, A. G. (2022). *Respuestas de la imbibición de semillas de tres patrones de cítricos con diferentes concentraciones de Pectimorf® en la germinación* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3668/1/TESIS%20Alcivar%20Alan.pdf>
- Baray Guerrero, M. del R. (2016). *Pirólisis a baja temperatura pomasa de manzana para la producción de biocombustibles* [Centro de Investigación en Materiales Avanzados]. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/363/1/Tesis%20Mar%c3%ada%20del%20Rosario%20Baray%20Guerrero.pdf>

- Bhatnagar, A., Sillanpää, M., & Witek Krowiak, A. (2015). Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification – A review. *Chemical Engineering Journal*, 270, 244-271. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.135>
- Božović, M., Navarra, A., Garzoli, S., Pepi, F., & Ragno, R. (2017). Essential oils extraction: A 24-hour steam distillation systematic methodology. *Natural Product Research*, 31(20), 2387-2396. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1309534>
- Castillo Ramos, C. R. (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* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15263/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-62.pdf>
- Cerón Salazar, I., & Cardona Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86.
- Chávez Escalante, P. S., & Sánchez Franco, C. F. (2015). *Evaluación de la actividad germicida de desinfectantes de uso doméstico vendidos en cuatro cadenas de supermercados de la ciudad de Quito* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/10941/TESIS%20PAUL%20CH%C3%81VEZ%2001-12-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cheong, M.-W., Loke, X.-Q., Liu, S.-Q., Pramudya, K., Curran, P., & Yu, B. (2011). Characterization of Volatile Compounds and Aroma Profiles of Malaysian Pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) Blossom and Peel. *Journal of Essential Oil Research*, 23(2), 34-44. <https://doi.org/10.1080/10412905.2011.9700445>

- Coello Salazar, S. C. (2014). *Evaluación del rendimiento en la determinación de aceite esencial y pectina de tres cítricos limón «chino», mandarina «criolla» y toronja «blanca» en el cantón Ventanas año 2014* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/jspui/bitstream/43000/262/1/T-UTEQ-0019.pdf>
- De química. (2022). *Destilación fraccionada*. <https://www.dequimica.info/destilacion-fraccionada/>
- 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* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16721/3/T-UCE-0008-CQU-049.pdf>
- Deng, W., Liu, K., Cao, S., Sun, J., Zhong, B., & Chun, J. (2020). Chemical Composition, Antimicrobial, Antioxidant, and Antiproliferative Properties of Grapefruit Essential Oil Prepared by Molecular Distillation. *Molecules*, 25(1), 217. <https://doi.org/10.3390/molecules25010217>
- Dorado, C., Cameron, R. G., Manthey, J. A., Bai, J., & Ferguson, K. L. (2021). Analysis and Potential Value of Compounds Extracted From Star Ruby, Rio Red, and Ruby Red Grapefruit, and Grapefruit Juice Processing Residues via Steam Explosion. *Front Nutr*, 13(9). <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.691663>
- Edet, U., Eban, R., Ekanemesang, U., Ikon, G., Edem, E., & Mbim, E. (2016). Phytochemical Screening, Nutrient Analysis, Anti-termite and Antimicrobial Activity of Citrus paradisi Peel Powder. *Journal of Applied Life Sciences International*, 9(4), 1-9. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2016/29921>

- Escobar Aguirre, M. A., & Velasco Vargas, K. J. (2022). *Estudio de dos métodos de extracción del aceite esencial de limón real (Citrus limonum) en el Cantón Caluma* [Universidad Estatal de Bolívar]. <https://www.dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/4172/1/TESIS-%20Escobar-%20Velasco.%202022.pdf>
- Esmaeili, A., Abednazari, S., Abdollahzade, Y. M., Abdollahzadeh, N. M., Mahjoubian, R., & Tabatabaei-Anaraki, M. (2012). Peel Volatile Compounds of Apple (*Malus domestica*) and Grapefruit (*Citrus Paradisi*). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 15(5), 794-799. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2012.10644122>
- ESPAC (Ed.). (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-bbd/>
- Fadavi, A., & Salari, S. (2019). Ohmic Heating of Lemon and Grapefruit Juices Under Vacuum Pressure—Comparison of Electrical Conductivity and Heating Rate. *Journal of Food Science*, 84(10), 2868-2875. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14802>
- Fernández, G. (2014). *Operación unitaria de destilación*. Ingeniería Química. <https://www.industriaquimica.net/destilacion.html>
- 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* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/627/1/T-UTEQ-0053.pdf>

- González Diaz, Y., & Véliz Jaime, M. Y. (2020). Extracción y caracterización del aceite esencial de mango obtenido de residuos agroindustriales. *Tecnología Química*, 40(3), 488-501.
- Granda Jaramillo, J. A. (2021). *La producción de cítricos y su incidencia en las exportaciones de frutas no tradicionales en el Ecuador* [Universidad Agraria del Ecuador].  
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GRANDA%20JARAMILLO%20JOYCE.pdf>
- Gutiérrez Pulido, H., & Salazar, R. de la vara. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Segunda). McGrawHill.  
[https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis\\_y\\_diseno\\_experimentos.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf)
- Hernández, M. de la R., Wong Paz, J. E., Muñiz Márquez, D. B., Carrillo Inungaray, M. L., & Sánchez Gonzáles, J. M. (2016). Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (*Citrus paradisi*) y su importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(2), 22-35.
- Imran, M., Islam, A., Farooq, M. U., Ye, J., & Zhang, P. (2020). Characterization and adsorption capacity of modified 3D porous aerogel from grapefruit peels for removal of oils and organic solvents. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(35), 43493-43504. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09085-5>
- Jeong, D., Park, H., Jang, B.-K., Ju, Y., Shin, M. H., Oh, E. J., Lee, E. J., & Kim, S. R. (2021). Recent advances in the biological valorization of citrus peel waste into fuels and chemicals. *Bioresource Technology*, 323, 2-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124603>

- Kang, C., Huang, Y., Yang, H., Yan, X. F., & Chen, Z. P. (2020). A review of carbon dots produced from Biomass Wastes. *Nanomaterials*, *10*(11), 2-24. <https://doi.org/10.3390/nano10112316>
- Kantar, S., Rajha, H. N., Boussetta, N., Vorobiev, E., Maroun, R. G., & Louka, N. (2019). Green extraction of polyphenols from grapefruit peels using high voltage electrical discharges, deep eutectic solvents and aqueous glycerol. *Food Chemistry*, *295*, 165-171. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.111>
- Khalid, K. A., & Ahmed, A. M. A. (2021). Effect of Soil Type on Grapefruit and Shaddock Essential Oils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(3), 2048-2056. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00501-4>
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Jurasová, M. (2013). Influence of grapefruit dietary fibre rich powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Acta Alimentaria*, *42*(1), 91-101. <https://doi.org/10.1556/AAlim.42.2013.1.9>
- Kringel, D. H., Dias, A. R. G., Zavareze, E. da R., & Gandra, E. A. (2020). Fruit Wastes as Promising Sources of Starch: Extraction, Properties, and Applications. *Starch - Stärke*, *72*(3), 2-29. <https://doi.org/10.1002/star.201900200>
- Lezcano, C. C. (2018). *Caracterización genética de de pomelos «Paraná» mediante marcadores moleculares* [Universidad Nacional de Nordeste]. [https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1545/RIUNNE\\_TM\\_Lezcano\\_CC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1545/RIUNNE_TM_Lezcano_CC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Logroño López, P. E., & Lozano Calva, J. M. (2019). *Estudio de diversidad química cualitativa y cuantitativa de aceites esenciales provenientes de diferentes variedades de rosas híbridas de té* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17406/1/UPS-QT13953.pdf>

- Luciardi, M. C., Blázquez, M. A., Alberto, M. R., Cartagena, E., & Arena, M. E. (2020). Grapefruit essential oils inhibit quorum sensing of *Pseudomonas aeruginosa*. *Food Science and Technology International*, 26(3), 231-241. <https://doi.org/10.1177/1082013219883465>
- Macías Sornazo, W. G. (2014). *Proceso de obtención de extracto a partir de la semilla de la toronja (Citrus paradisi), y su aplicación en desinfección de vegetales o frutas y superficies planas* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7195/1/MACIAS.pdf>
- 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>
- Marcillo Zapata, V. P. (2014). *Estudio de factibilidad para la elaboración de macerados con frutas orientales Ecuatorianas en la ciudad de Riobamba 2013* [Escuela Superior Politécnica Superior de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9851/1/84T00312.pdf>
- Marín Soler, B. M. (2016). *Propiedades antimicrobianas y antioxidantes del aceite esencial de *Oreganum compactum* de cultivo ecológico: Revisión* [Universidad Miguel Hernández de Elche]. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/5377/1/TFM%20Mar%C3%ADn%20Soler%20Blanca%20Mar%C3%ADa.pdf>
- Mohamed, H. A., & Mohamed, B. E. (2015). Fractionation and physicochemical properties of pectic substances extracted from grapefruit peels. *Journal of Food Processing and Technology*, 6(8), 473.

- Mollaei, S., Sedighi, F., Habibi, B., Hazrati, S., & Asgharian, P. (2019). Extraction of essential oils of *Ferulago angulata* with microwave-assisted hydrodistillation. *Industrial Crops and Products*, *137*, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.015>
- Moncerrate Barberán, M. A., & Zuñiga Baque, M. A. (2018). *Evaluación de los parámetros farmacognósticos y la capacidad antioxidante de las semillas de toronja blanca (Citrus paradisi Macfad)* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28408/1/BCIEQ-T-0269%20Moncerrate%20Barber%C3%A1n%20Mayra%20Alejandra%3B%20Zu%C3%B1iga%20Baque%20Madelyne%20Andrea.pdf>
- Mora Toscano, J. A. (2015). *Evaluación del proceso de elaboración de una bebida de extracto de (Daucus carota) zanahoria combinando con distintas concentraciones de extracto de (Citrus sinensis) naranja, (Citrus paradisi) toronja y (Citrus reticulata) mandarina como potenciadores de sabores y antioxidantes* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/619/1/T-UTEQ-0045.pdf>
- NMX-F-075-SCFI. (2012). *Alimentos—Aceites y grasas vegetales o animales determinación de la densidad relativa—Método de prueba (cancela a la NMX-F-075-SCFI-2006)*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. <https://docplayer.es/60863533-Norma-mexicana-nmx-f-075-scfi-2012.html>
- NMX-K-446. (1978). *Aceite esencial de toronja (Citrus paradisi macfadyen) centrifugado*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4858816&fecha=18/08/1980](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4858816&fecha=18/08/1980)

- NTE INEN 2985. (2015). *Agentes tensoactivos, limpiador líquido para superficies de uso doméstico con acción desinfectante. Requisitos.* INEN.  
[https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2985.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2985.pdf)
- Olvera Bajaña, A. N., & Quiroz Cabrera, J. A. (2018). *Elaboración de un producto derivados de los desechos de toronja (Citrus paradisi) con capacidad antimicrobiana* [Universidad de Guayaquil].  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/34634/1/BCIEQ-T-0330%20Olvera%20Baja%c3%b1a%20Andrea%20Nicole%3b%20Quiroz%20Cabrera%20Joselyn%20Andrea.pdf>
- Ordoñez Gómez, E. S., Reátegui Díaz, D., & Villanueva Tiburcio, J. E. (2018). Total polyphenols and antioxidant capacity of peel and leaves in twelve citrus. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 123-131. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.13>
- Özogul, Y., Özogul, F., & Kulawik, P. (2021). The antimicrobial effect of grapefruit peel essential oil and its nanoemulsion on fish spoilage bacteria and food-borne pathogens. *LWT*, 136, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110362>
- Pacheco Ferrer, C. F. (2021). *Obtención y caracterización del aceite esencial de manzanilla (Matricaria recutita L.) mediante microondas y arrastre de vapor* [Universidad Nacional Agraria].  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4624/pacheco-ferrer-claudia-fernanda.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rahman, N. F. A., Shamsudin, R., Ismail, A., & Karim Shah, N. N. A. (2016). Effects of post-drying methods on pomelo fruit peels. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 85-90. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0102-y>
- Ramos, D., Castro, V., & Sánchez, E. (2015). Caracterización de la vegetación a lo largo de una gradiente altitudinal en la comunidad de Cochahuayco, Cuenca media del

- Río Lurín, Lima. *Ecología Aplicada*, 14(1), 11-25.  
<https://doi.org/10.21704/rea.v14i1-2.78>
- Romero Lozano, C. A. (2013). *Elaboración de macerados y mistelas con especies vegetales disponibles en la provincia del Azuay* [Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3697/1/Trabajo%20de%20titulaci%c3%b3n.pdf>
- Ruiz, C., Díaz, C., & Rojas, R. (2015). Composición química de aceites esenciales de 10 plantas aromáticas Peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(2), 81-94. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v81i2.10>
- Santinoni, L. A. S., Silva, N. R., & Córdoba, L. Z. (2012). Descripción de cultivares de pomelo (*Citrus paradisi* Macf.) en el valle central de Catamarca. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1-20.
- Serrano Muñoz, M. E. (2019). *Evaluación de la variación de diferentes medios en la producción de ácido cítrico mediante fermentación en estado sólido con *Aspergillus carbonarius** [Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18137>
- Tamelová, B., Malat'ák, J., & Velebil, J. (2018). Energy valorisation of citrus peel waste by torrefaction treatment. *Agronomy Research*, 16(1), 276-285.  
<https://doi.org/10.15159/AR.18.029>
- Tierra Orozco, A. G., & Villamarin Nuñez, H. A. (2022). *Efecto de la temperatura en la concentración de la actividad antioxidante del albedo de la toronja Duncan (*Citrus Paradisi*)* [Universidad de Guayaquil].  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/60222/1/BINGQ-IQ-22P25.pdf>
- Trujillo Juárez, L. G., Hernández Meléndez, Ó., Gimeno, M., Gracia Fadrique, J., & Bárzana, E. (2021). Extraction of Essential Oil from Waste Grapefruit Peel Using

- a Pilot-Scale Twin-Screw Extruder. *ACS Food Science & Technology*, 1(7), 1198-1205. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00098>
- Ttito 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 isotermico mediante uso del simulador Aspen Hysys 2007* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4022/IQttarg051.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- USDA. (2022). *Citrus: World markets and trade*. United States Department of Agriculture. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>
- Valdez Jiménez, V. J. (2017). *Optimización del rendimiento y determinación del contenido de limoneno del aceite esencial de flavedo de mandarina* [Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d06476a4-cd4d-45e3-9cfc-e60cf4fab536/content>
- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5835>
- Villa Gonzales, G. F. (2017). *Composición química del aceite esencial de Citrus paradisi «Toronja», actividad antioxidante y determinación de la actividad antibacteriana frente a Streptococcus mutans* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/9864/Villa\\_gg.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/9864/Villa_gg.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Villón Baquerizo, E. I., & Huacón López, M. M. (2017). *Evaluación de las propiedades del aceite esencial de Citrus paradisi L. (Toronja) blanca que creve en la zona*

*costera del Ecuador* [Universidad de Guayaquil].

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21907/1/BCIEQ-T->

[0222%20Vill%C3%B3n%20Baquerizo%20Edward%20Isaac%20Huac%C](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21907/1/BCIEQ-T-0222%20Vill%C3%B3n%20Baquerizo%20Edward%20Isaac%20Huac%C3%B3n%20L%C3%B3pez%20Michel%20Micaela.pdf)

[3%20L%C3%B3pez%20Michel%20Micaela.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21907/1/BCIEQ-T-0222%20Vill%C3%B3n%20Baquerizo%20Edward%20Isaac%20Huac%C3%B3n%20L%C3%B3pez%20Michel%20Micaela.pdf)

- Widyasanti, A., & Shalsabilla, R. T. (2020). Karakterisasi Sediaan Antiseptik Gel Handmade dengan Penambahan Bahan Aktif Alami Minyak Atsiri Eucalyptus dan Grapefruit. *Agroindustrial Technology Journal*, 4(2), 136-144. <https://doi.org/10.21111/atj.v4i2.4965>
- Yaqoob, H., Teoh, Y. H., Ud Din, Z., Sabah, N. U., Jamil, M. A., Mujtaba, M. A., & Abid, A. (2021). The potential of sustainable biogas production from biomass waste for power generation in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 307, 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127250>
- Yousefi, M., Rahimi Nasrabadi, M., Pourmortazavi, S. M., Wysokowski, M., Jesionowski, T., Ehrlich, H., & Mirsadeghi, S. (2019). Supercritical fluid extraction of essential oils. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.038>
- Zapata Benabithé, Z., Vanegas, D., Rendon Montoya, J. C., & Velásquez, J. A. (2020). Caso de estudio de la destilación etanol-agua en operación continua y discontinua y su simulación con ecuaciones cúbicas de estado y modelos de actividad. *TecnoLógicas*, 23(49), 223-249. <https://doi.org/10.22430/22565337.1638>

# ANEXOS

## Anexo 1. Mapa de ubicación de la investigación



## Anexo 2. Datos de la destilación simple y fraccionada

Variedades de Toronja	Maceración	Tipos de destilación	Bicarbonato de sodio	Materia prima (cáscara)	H2O destilada	Temperatura de termómetro	Flujo másico	Primera gota	Tiempo final de extracción	Volumen de hidrolato	Volumen aceite esencial	Peso del aceite esencial
			gr	gr	ml	° C	ml/s	min	min	ml	ml	g
Duncan	8	Simple	1,4	200	350	85-90	14,74	32	120	187	2,60	2,10
Duncan	8	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	14,74	27	120	214	2,90	1,90
Duncan	12	Simple	1,4	200	350	85-90	13,22	32	120	211	2,90	3,50
Duncan	12	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	13,22	27	120	189	3,10	3,70
RedBlush	8	Simple	1,4	200	350	85-90	8,23	32	120	198	1,70	1,70
RedBlush	8	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	8,23	27	120	201	1,90	1,90
RedBlush	12	Simple	1,4	200	350	85-90	10,05	32	120	203	2,10	2,70
RedBlush	12	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	10,05	27	120	185	2,10	2,40
Duncan	8	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	9,87	32	120	187	3,40	3,00
Duncan	12	Simple	1,4	200	350	85-90	9,87	27	120	199	3,70	2,90
Duncan	12	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	10,14	32	120	201	3,90	4,20
Duncan	8	Simple	1,4	200	350	85-90	10,14	27	120	206	4,00	4,00
RedBlush	8	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	9,74	32	120	199	1,50	1,50
RedBlush	12	Simple	1,4	200	350	85-90	9,74	27	120	201	1,80	1,50
RedBlush	12	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	12,33	32	120	211	1,20	2,50
RedBlush	8	Simple	1,4	200	350	85-90	12,33	27	120	255	1,40	2,30
Duncan	8	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	10,11	32	120	201	3,10	2,80
Duncan	12	Simple	1,4	200	350	85-90	10,11	27	120	200	3,60	3,30
Duncan	12	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	9,05	32	120	210	2,90	3,20
Duncan	8	Simple	1,4	200	350	85-90	9,05	27	120	189	3,50	4,20
RedBlush	8	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	12,04	32	120	189	4,10	3,60
RedBlush	12	Simple	1,4	200	350	85-90	12,04	27	120	187	3,10	2,50
RedBlush	12	Fraccionada	1,4	200	350	78-85	11,01	32	120	198	2,80	3,30
RedBlush	8	Simple	1,4	200	350	85-90	11,01	27	120	205	2,40	3,60

### Anexo 3. Análisis de cromatografía de gases del aceite esencial de la toronja



## 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, MANDARINA Y TORONJA
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	<b>Temperatura del inyector:</b> 230°C; <b>Modo de inyección:</b> Split, Split 80, volumen de inyección: 1 µl; <b>Programa térmico:</b> Temperatura del horno 50°C durante 3 minutos, con una rampa de temperatura de 3°C/min hasta 230°C durante 3 minutos. <b>Tiempo total de corrida:</b> 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

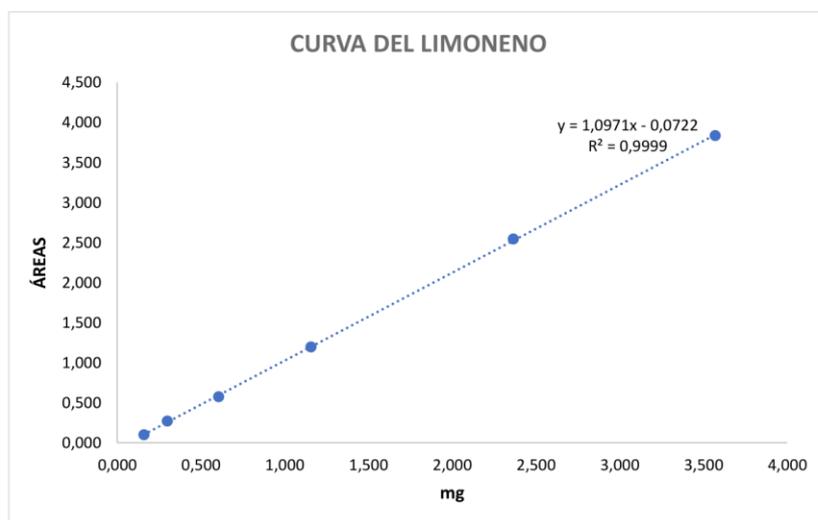
##### PREPARACIÓN DE LA CURVA DEL LIMONENO:

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:

MUESTRA	CANTIDAD (μL)	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2
		CANTIDAD (mg)	CANTIDAD (mg)
TORONJA DUCAN	3	2,4	2,4
TORONJA RED BLUSH	3	2,3	2,4

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

**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 %
TORONJA DUCAN	Limoneno	1	14,91	1036	1024	89,945	94,26	92,10
TORONJA RED BLUSH	Limoneno	1	14,82	1034	1024	90,600	90,93	90,77

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

MUESTRA	COMPUESTO	N° PICO	TR	IRC	IR literatura	PROMEDIO mg/mg aceite esencial	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
TORONJA DUCAN	Limoneno	1	14,91	1036	1024	40,080	0,566
TORONJA RED BLUSH	Limoneno	1	14,82	1034	1024	38,820	0,093

### ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO

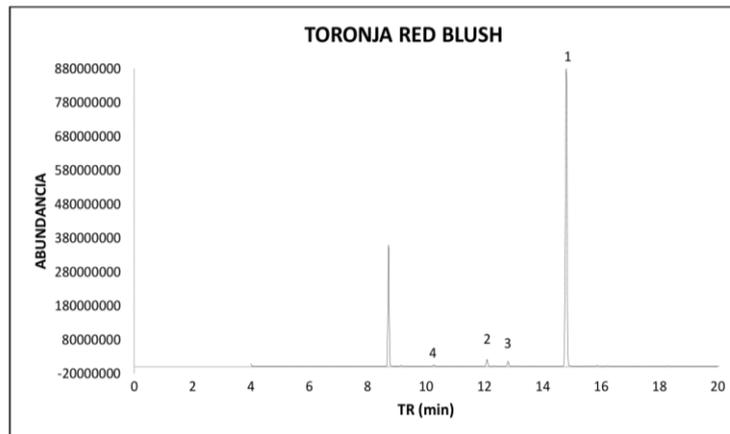
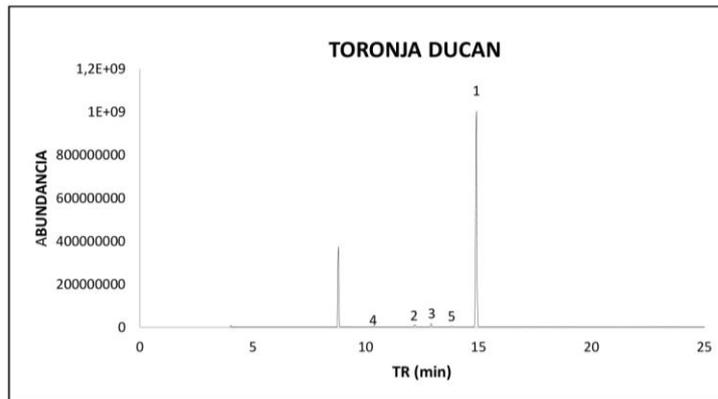
Cantidad en porcentaje:

MUESTRA	N° PICO	COMPUESTO	TR	IRC	IR literatura	PROMEDIO %	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
TORONJA DUCAN	2	Sabineno	12,19	978	969	2,70	0,000
	3	Mirceno	12,91	994	988	3,03	0,014
	4	$\alpha$ -Pino	10,36	937	932	2,20	0,018
	5	Octanal	13,83	1015	998	2,17	0,026
	4	$\alpha$ -Pino	10,36	937	932	4,38	0,023
TORONJA RED BLUSH 1	5	Mirceno	12,91	994	988	3,42	0,058
	2	Sabineno	12,10	976	969	3,81	0,136
	3	Mirceno	12,82	992	988	3,10	0,008
	4	$\alpha$ -Pino	10,36	937	932	2,32	0,107

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	
TORONJA DUCAN	2	Sabineno	12,19	978	969	1,175	0,006
	3	Mirceno	12,91	994	988	1,317	0,000
	4	α-Pineno	10,36	937	932	0,958	0,003
	5	Octanal	13,83	1015	998	0,943	0,007
TORONJA RED BLUSH	2	Sabineno	12,10	976	969	1,629	0,070
	3	Mirceno	12,82	992	988	1,328	0,006
	4	α-Pineno	10,36	937	932	0,993	0,053

#### CROMATOGRAMAS




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

#### Anexo 4. Proceso del análisis físico y químico de la toronja



Recepción de la materia prima



Toronja duncan y red blush



Medición del diámetro polar y ecuatorial



Determinación del pH de la pulpa



Troceado de la cáscara de toronja



Pesado de la cáscara



Preparación de las muestras



Crisoles de muestras para los análisis



Determinación de cenizas



Determinación de la humedad



Determinación de volátiles



Resultado del análisis químico

## Anexo 5. Proceso de destilación simple y fraccionada



Preparación de la cáscara



Proceso de maceración



Cáscara en el balón de destilación



Preparación del equipo para destilar



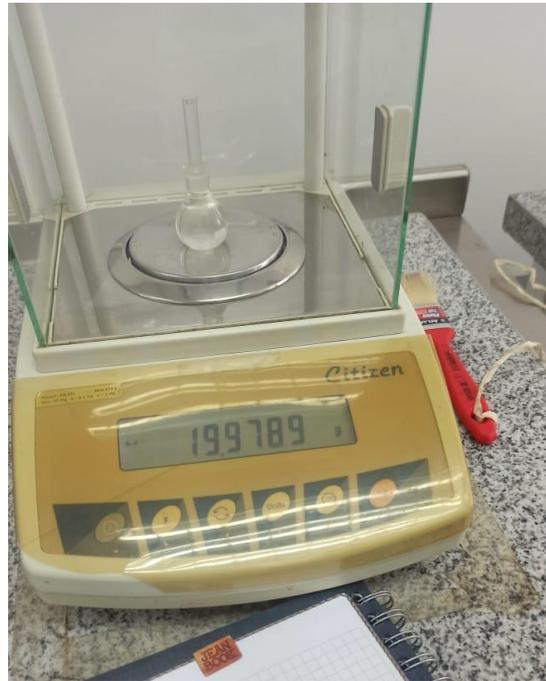
Obtención del aceite esencial



Decantación del aceite esencial



Análisis del pH del aceite esencial



Determinación de la densidad

**Anexo 6.** Elaboración del desinfectante con aceite esencial de toronja



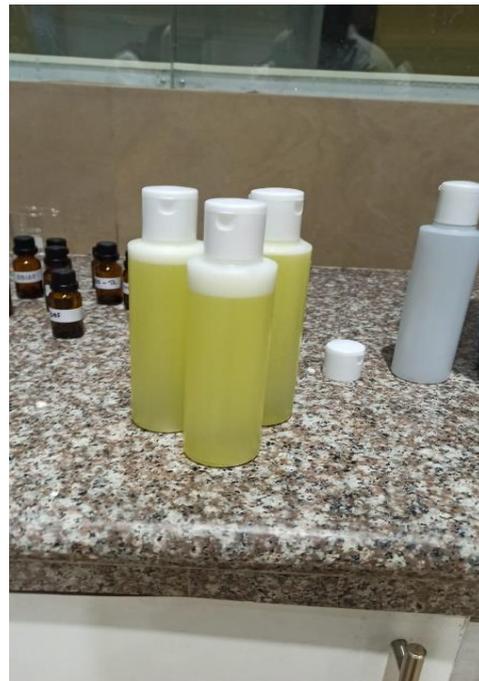
Materiales para la elaboración del desinfectante



Agregación de los materiales



Adición de agua



Producto final (desinfectante)

## **Anexo 7.** Glosario de términos

**Albedo.** Es la parte blanca esponjosa de la piel de los cítricos, es la parte que contiene más pectinas.

**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.

**Biomasa.** Puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

**Cromatografía.** Es una técnica analítica común que se utiliza para separar y analizar compuestos volátiles y semivolátiles de una mezcla.

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

**Desinfectante.** Son productos químicos que eliminan microorganismos presentes sobre superficies como pisos, paredes, ventanas y mesas

**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.

**Limoneno.** Es una sustancia natural que se extrae de los cítricos. Es la sustancia que da olor característico a las naranjas, mandarinas, toronjas y los limones. Pertenece al grupo de los terpenos.

**Modelación.** Es el proceso mediante el cual se crea una representación o modelo para investigar la realidad o procesos de operación.

**Terpenos.** Tipo de sustancia química de olor fuerte que se encuentra en algunas plantas, en especial los árboles que tienen conos.

**Volátiles.** Son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura.