



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN CAMPO I

**“Método sostenible para la extracción de  
aceite esencial, naringina y pectina, presentes  
en el bagazo de *Citrus x paradisi* Macfaed”**

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIOLÓGICO  
P R E S E N T A

**MARTÍNEZ VARGAS LIDIA**

ASESOR: QFB BRÍGIDA DEL CARMEN CAMACHO  
ENRÍQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO, 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Método sostenible para la extracción de aceite esencial, narangina y pectina, presentes en el bagazo de *Citrus x paradisi Macfaed.*

Que presenta la pasante: Lidia Martínez Vargas

Con número de cuenta: 304023613 para obtener el Título de la carrera: Química Farmacéutico Biológica.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de Agosto de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Q. Mario Arturo Morales Delgado	
VOCAL	M. en C. Lidia Rangel Trujano	
SECRETARIO	QFB. Brígida del Carmen Camacho Enriquez	
1er. SUPLENTE	QFB. Olimpia Roxana Ponce Crippa	
2do. SUPLENTE	M. en C. Judith García Arellanes	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga\*



## AGRADECIMIENTOS

Desde hace 14 años mi vida tuvo un giro trascendental en relación a mi formación académica. Lograr ser aceptada dentro de la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM), sin duda alguna, ha sido la mejor experiencia y vivencia que Dios y la vida misma me han permitido experimentar, y les estaré eternamente agradecida por eso.

Gracias **UNAM**, por ser una gran y bella institución cuyo objetivo principal, ha sido brindarle a toda su comunidad universitaria, una educación continua y constante, por mantener un aprendizaje actualizado, una orientación en su amplia difusión tanto en el área cultural como científica. Te agradezco porque a través de ti, pude conocer y aprender de personas que fueron de gran impacto e importancia en mi vida, tanto, profesores, amigos como pareja; así como de muchas experiencias y aprendizajes que tuve durante mi trayectoria académica. Gracias porque a pesar de los años nos permites seguir dentro de tus instalaciones, nos cobijas y nos ofreces opciones para ampliar nuestra formación profesional.

Con mención especial quiero agradecerle a una persona que ha sido un gran pilar y soporte para mí. Gracias, muchas gracias **mamá**, te debo no solo la vida, te debo todo, sin tu apoyo, compañía y confianza en mí, simplemente no hubiese concluido esta etapa de mi vida. Te agradezco mamá por haberte esforzado tanto, por procurar que no nos faltará nada a mi hermana y a mí (siempre y cuando estuvieran dentro de tus posibilidades). Gracias por alentar tanto a tus hijas en seguir estudiando y luchar por nuestros sueños, gracias mamá por ser el mejor ejemplo que pude tener, por anteponer primero a tus hijas antes que cualquier cosa; muchas gracias por ser la mejor madre y padre que pude tener en mi vida, me faltan palabras para decirte lo importante que eres para mí, **TE QUIERO MUCHO**.

**Emily**, desde que llegaste a mi vida me cambiaste muchas cosas por completo. En lo personal eres una personita que me alegras mi vida, haces que recuerde un poco de mi niñez, contigo puedo sacar mi lado travieso, loquillo y divertido. Gracias sobrinita enorme por formar parte de mi vida y permitirme verte crecer.

Algo que suele caracterizar mi personalidad, es mi poca capacidad de socializar o interactuar con otras personas o no saber entablar una conversación, (diferentes y muy parecidos a la vez), esos fueron algunos de los factores con los cuales tú y yo, nos comenzamos a relacionar. **Cesar**, sin duda alguna fuiste no solo un gran apoyo





para mí en su momento, eres una persona que le tengo un gran respeto, cariño y admiración; sin tu ayuda y confianza simplemente nunca hubiese podido concluir mi carrera, eso es algo que te agradeceré eternamente. Gracias por haber confiado y creído en mí, gracias por haber sido un hombro en el cual pude llorar, gracias por escucharme, aconsejarme y no dejarme sola en mis peores momentos, gracias por haberme permitido conocer a esa gran persona que eres, siempre te desearé lo mejor. Gracias familia Ramos Domínguez por el apoyo y la confianza que me brindaron, siempre les estaré agradecida por todo.

En el trayecto de mi carrera, encontré profesores que fueron una pieza clave para mi formación académica, pocos son los que te dejan un gran aprendizaje y te generan respeto y admiración. Para mí, mis profesores **Brígida** y **Mario Arturo**, encargados del laboratorio de Farmacognosia y Fitoquímica y del cual, orgullosamente formo parte, no tengo más palabras que darle las gracias, por abrirme sus puertas en su laboratorio, por sus enseñanzas, consejos y opiniones, por orientarnos y motivarnos a tomar decisiones correctas para nuestra formación y desarrollo profesional, tanto para mí como para el resto de mis compañeros que forman parte del grupo de investigación. Gracias ser unas excelentes personas, que nos han transmitido no solo aprendizajes dentro de su área de conocimiento sino también experiencias personales y vivencias; gracias por la confianza, gracias por creer y confiar en mí, por lograr tener un excelente ambiente de trabajo, en verdad muchas gracias por tanto apoyo y cariño.

A mis amigos de generación, mis queridos **QFB's, Sandra, Calorina, Eduardo, Jannine, Luisa, Mariana y Fernando**; ustedes en especial les agradezco mucho su amistad, las experiencias que vivimos juntos, los momentos tanto alegres como desagradables, gracias por hacer que, durante la carrera, el estrés y la presión no fueran tan grandes. Los quiero mucho les deseo lo mejor estén en donde estén.

Gracias **Sandra**, eres una gran amiga, una excelente persona, sencilla, amable, tierna, te agradezco tanto haberme brindado tu amistad, tu confianza, por haber sido un gran apoyo en el transcurso de la carrera, por llamarme la atención cuando lo necesitaba y por preocuparte mucho por mí. Gracias por enseñarme tus gustos, así como adoptar algunos, gracias por estos años de amistad.

**Caro**, mi querida amiga, que te puedo decir; tu amistad, tu cariño, tu confianza y tus consejos, han sido de los mejores regalos que me has podido dar. Gracias porque a pesar de tanto tiempo de no vernos, me has demostrado que el cariño y la amistad





perdura a pesar del paso del tiempo y sin saber mucho uno de la de la otra, te quiero y te aprecio mucho.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de Farmacognosia y Fitoquímica, que les puedo decir; varios de ustedes ya no se encuentran con nosotros, pero me da mucho gusto saber que han acumulado muchos éxitos y se han desarrollado profesionalmente. Desde que he estado en el laboratorio he conocido a chicos de diferentes carreras: **QFB's**: Jannine, Luisa, Liz, Alejandra, Isboset y actualmente Nancy; **Químicos**, Mario, Sara, Sergio, Daniel, Toño, Ángel, Oscar, Beto, Miri, Eli, Fernando; **BQD**: Mary Carmen; **Farmacia**: Miguel Ángel, Imelda, Issac; **Ingeniería en Alimentos**: Melissa; **Químicos Industriales**: Marisol, Azucena.

Cada uno con sus propias cualidades, su peculiar manera de ser alegres, reservados, bromistas, callados, parlanchines, risueños, enojones, divertidos, cada uno de ustedes inyectando un toque, haciendo que dentro del laboratorio se haya formado no solo una buena relación de compañerismo, muchos de nosotros lo vemos ya como una familia que poco a poco ha crecido y seguirá creciendo. Gracias chicos, en verdad muchas gracias, no saben todo lo que he aprendido de cada uno de ustedes, les deseo lo mejor en la vida.

De forma particular, quiero agradecer a una persona que quiero mucho y es muy importante para mí. **Alejandra**, hay amiga no sabes la gran sorpresa y alegría que me ha regalado el destino, Dios, la vida misma o como lo quieras llamar, por haberte puesto en mi camino y me haya permitido conocerte. No solo eres mi cómplice y confidente; eres mucho más que eso y lo sabes.

Gracias Ale por tu amistad, por estar constantemente pendiente y al cuidado de mí, por el gran apoyo y la confianza; por bromear conmigo o andar de traviesas siempre que se ha dado la oportunidad. Por regañarme y llamarme la atención cuando me has visto tomar malas decisiones o cometer errores. Gracias por brindarme un hombro para llorar, gracias por ser unos ojos cuando necesito que veas lo que escribo, lo que pienso, gracias por ser un oído cuando necesito ser escuchada, gracias por ser unas manos que me regalan un abrazo cuando me hace mucha falta, gracias por ser una boca, cuando necesito recibir un consejo o mil regañones, gracias por permitirme ser tu pañuelo de lágrimas cuando lo necesitas, gracias por tantas cosas más Ale. En verdad espero que sigamos fortaleciendo esta gran amistad de hermandad, te quiero mucho, amiga mía y espero que logres y alcances todas tus metas tanto personales como profesionales, solo te deseo que seas muy feliz.





**Mary Carmen**, tu confianza y amistad, han sido cosas que apreció y agradezco mucho, te deseo lo mejor y espero en verdad logres todo aquello que te has propuesto.

**Ángel**, te has convertido en un amigo que he aprendido a apreciar mucho, generalmente conservó amistades con mujeres, pero me da gusto por tener esa confianza, amistad y compañerismo contigo, donde podemos bromear, molestarnos, divertirnos y apoyarnos, gracias Ángel por permitirme conocerte un poco más.

**Oscar**, eres un chico muy agradable, tu forma de ser, y el compañerismo que tienes con todos, hace más agradable el ambiente en el laboratorio.

**Señor Rodolfo**, no tuve el gusto de haberlo tratado y conocerlo lo suficiente, pero es muy cierto que el poco tiempo que lo traté, usted se ganó toda mi admiración y respeto, gracias por motivarnos, regañarnos y exigirnos más para avanzar en nuestros estudios, gracias por todo y ser una persona muy cálida y amable.

Algo que agradeceré a la UNAM, es que en ella conocí al amor de mi vida. **Arturo**, prácticamente tenemos casi la mitad de nuestras vidas de conocernos, el que formes parte de en ella ha sido la mayor de las bendiciones que he tenido y le doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino. No sabes todo lo que significas y representas para mí.

Te agradezco mucho por formar parte de esta etapa final del término de mi carrera. Gracias amor, por creer y confiar en mí cuando yo muchas veces suelo no hacerlo, gracias por ser mi pañuelo de lágrimas, mi mejor amigo, un gran novio, un excelente prometido, una extraordinaria persona. Gracias por regalarme bellos momentos, alegrías, diversiones, tristezas, emociones; por permitirme conocerte y a la par tú me conozcas también. Te agradezco mucho que no dejes que me rinda y luche por lo que ambos queremos construir en un futuro, no tengo las palabras suficientes para expresarte todo lo que eres para mí, pero si una vida para demostrártelo. Gracias muchas gracias, porque a pesar de mi negativa y miedos constantes me has mostrado que realmente me amas como yo te amo a ti.

Gracias **familia Vera Moreno** por hacerme sentirme como una integrante más de su familia. Muchas gracias por el cobijo, las atenciones, los cuidados y el cariño que me han brindado. Gracias por permitirme conocer a excelentes personas cada uno con una personalidad diferente, por todo muchas gracias.





Gracias **FES Cuautitlán, Campus I**, por permitirme estar tanto tiempo en tus instalaciones, por brindarme una formación académica constante y de excelente calidad, gracias por el apoyo y las bases para una mayor competencia en el ámbito laboral.

Y finalmente solo me resta agradecerme a mí misma. Muchas gracias **Lidia** porque a pesar de ser mi mayor limitante, así como mi batalla constante, ante mis miedos e inseguridades, me has permitido culminar esta etapa de mi vida que me ha costado mucho trabajo concluir. Gracias Lidia por regalarme esta gran alegría y felicidad que siento, por alcanzar este logro en mi vida que desde hace muchos años no tenía.





■ Agradezco de antemano el apoyo económico que recibí del proyecto **PAPIME PE204814** “Actualización y fortalecimiento de la enseñanza experimental de la asignatura de Farmacognosia y Fitoquímica de la licenciatura en Farmacia y Licenciatura en Bioquímica Diagnóstica “.

■ Al técnico académico Alejandra Sánchez Barrera, quien fue la responsable y encargada de tomar las micrografías en el Microscopio Electrónico de Barrido, expuestas en este trabajo.

■ Al técnico Académico Draucin Jiménez Celi, que se encargó de la realización del material de vidrio utilizado para la experimentación.





Este trabajo ha sido expuesto en:

- Segundo Congreso de Ciencia, Educación y Tecnología, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campus I, UNAM, realizado los días 22 y 23 de junio del 2016. Presentando la ponencia del trabajo titulado:

“Método sostenible para la extracción de aceite esencial, naringina y pectina, presentes en el bagazo de *Citrus x paradisi Macfaed*”

- Segundo Congreso Universitario de Ciencias Agroalimentarias, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campus 4, UNAM, realizado los días 03, 04, 05, 06 y 07 de abril del 2017. Participando en la exposición de cárteles, presentando el trabajo titulado:

“Método sostenible para la extracción de aceite esencial, naringina y pectina, presentes en el bagazo de *Citrus x paradisi Macfaed*”



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE DIAGRAMAS .....	IV
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
ÍNDICE DE MICROGRAFÍAS .....	VII
ABREVIATURAS .....	VIII
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>2</b>
2.1 DESARROLLO SOSTENIBLE .....	2
2.1.1 <i>Origen y definición</i> .....	2
2.2 IMPACTO DE LOS RESIDUOS SOBRE LA POBLACIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE .....	3
2.2.1 <i>¿Qué son los residuos?</i> .....	4
2.2.2 <i>Gestión y valorización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)</i> .....	4
2.2.3 <i>Residuos Cítricos (RC)</i> .....	4
2.2.4 <i>Situación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en México</i> .....	5
2.3 QUÍMICA VERDE O QUÍMICA SOSTENIBLE .....	5
2.3.1 <i>Aceptación Internacional</i> .....	5
2.3.2 <i>Diferencias entre la Química Verde y la Química Sostenible</i> .....	6
2.3.2.1 <i>Química Verde</i> .....	6
2.3.2.2 <i>Química Sostenible</i> .....	6
2.3.3 <i>Los Principios de la Química Verde</i> .....	7
2.4 TORONJA .....	8
2.4.1 <i>Reseña histórica del origen del fruto de toronja</i> .....	8
2.4.2 <i>Etimología</i> .....	9
2.4.3 <i>Sinonimia popular</i> .....	9
2.4.4 <i>Sinonimia botánica</i> .....	9
2.4.5 <i>Taxonomía</i> .....	9
2.4.6 <i>Valor nutricional</i> .....	10
2.4.7 <i>Descripción botánica</i> .....	10
2.4.7.1 <i>Morfología</i> .....	10
2.4.8 <i>Distribución geográfica y comercial a nivel nacional e internacional</i> .....	12
2.4.9 <i>Variedades de toronja</i> .....	13
2.5 SUBPRODUCTOS DE CÍTRICOS (COMPUESTOS DE ALTO VALOR AGREGADO) .....	14
2.6 ACEITE ESENCIAL DE CÍTRICOS .....	14
2.6.1 <i>Definición</i> .....	14
2.6.2 <i>Distribución y localización de los Aceites Esenciales (AE)</i> .....	15
2.6.3 <i>Generalidades de los Aceites Esenciales de Cítricos (AEC)</i> .....	15
2.6.3.1 <i>Factores que afectan la composición química de los Aceites Esenciales</i> .....	15
2.6.3.2 <i>Biosíntesis de los Aceites Esenciales de Cítricos</i> .....	16
2.6.3.3 <i>Composición química de los AEC</i> .....	16
2.6.4 <i>Control de calidad en Aceites Esenciales</i> .....	17



2.6.5	<i>Usos y propiedades de los AEC</i> .....	18
2.6.6	<i>Métodos de extracción de Aceites Esenciales de Cítricos</i> .....	18
2.6.6.1	Método de expresión o prensado en frío.....	19
2.6.6.2	Método de hidrodestilación o destilación en agua.....	19
2.7	FLAVONOIDES.....	19
2.7.1	<i>¿Qué son los flavonoides?</i> .....	19
2.7.2	<i>Biogénesis</i> .....	19
2.7.3	<i>Estructura y composición química</i> .....	20
2.7.4	<i>Naringina</i> .....	21
2.7.4.1	Definición.....	21
2.7.4.2	Propiedades de la naringina.....	22
2.7.4.3	Usos y aplicaciones de naringina.....	23
2.7.4.4	Métodos de extracción de naringina.....	23
2.8	EXTRACCIÓN DE PECTINA.....	24
2.8.1	<i>Definición</i> .....	24
2.8.2	<i>Localización</i> .....	25
2.8.3	<i>Composición química de la pectina</i> .....	25
2.8.4	<i>Clasificación de las pectinas</i> .....	27
2.8.5	<i>Propiedades fisicoquímicas y funciones biológicas de las pectinas</i> .....	27
2.8.6	<i>Usos y aplicaciones industriales de las pectinas</i> .....	28
2.8.7	<i>Métodos de extracción de las pectinas</i> .....	28
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	29
3.2	OBJETIVOS PARTICULARES.....	29
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>30</b>
4.1	SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	31
4.1.1	<i>Herborización e identificación del fruto cítrico</i> .....	31
4.1.2	<i>Parte utilizada del fruto</i> .....	31
4.1.3	<i>Control de calidad al fruto de toronja</i> .....	31
4.2	EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE TORONJA.....	31
4.2.1	<i>Método mecánico por expresión o prensado</i> .....	31
4.2.1.1	Recolección y separación de la emulsión aceite esencial-agua.....	31
4.2.2	<i>Método por hidrodestilación</i> .....	32
4.2.2.1	Separación de la emulsión aceite esencial-agua.....	32
4.2.3	<i>Control de calidad del aceite esencial</i> .....	33
4.2.3.1	Análisis sensorial.....	33
4.2.3.2	Propiedades físicas.....	34
4.2.3.3	Cromatografía en Capa Fina (CCF).....	34
4.2.3.4	Espectroscopía Infrarroja (IR).....	34
4.3	EXTRACCIÓN DEL FLAVONOIDE NARINGINA.....	34
4.3.1	<i>Aclaramiento del extracto de naringina</i> .....	35
4.3.2	<i>Concentración del extracto acetónico</i> .....	36
4.3.3	<i>Precipitación y recristalización de la naringina</i> .....	36
4.3.4	<i>Caracterización e identificación</i> .....	36
4.3.4.1	Propiedades físicas.....	37
4.3.4.2	Punto de fusión.....	37
4.3.4.3	Microscopía.....	37
4.3.4.4	Espectroscopía Infrarroja.....	37
4.4	EXTRACCIÓN DE PECTINA.....	37



4.4.1	<i>Hidrólisis ácida</i> .....	37
4.4.2	<i>Filtración</i> .....	38
4.4.3	<i>Precipitación</i> .....	39
4.4.4	<i>Secado, molienda y tamizado</i> .....	39
4.4.5	<i>Caracterización de las pectinas</i> .....	39
4.4.5.1	Propiedades sensoriales .....	39
4.4.5.2	Propiedades químicas .....	39
4.4.5.3	Microscopía .....	40
4.4.5.4	Espectroscopía infrarroja.....	40
4.4.5.5	Evaluación ecológica de la metodología experimental .....	40
4.4.5.6	Análisis de costos de la metodología de la extracción de pectina .....	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>41</b>
5.1	MATERIA PRIMA (RESIDUOS DE TORONJA) .....	41
5.1.1	<i>Selección y control de calidad del fruto</i> .....	41
5.1.2	<i>Identificación botánica de la especie cítrica</i> .....	42
5.1.3	<i>Análisis macroscópico del fruto del pericarpio de toronja</i> .....	43
5.2	ACEITE ESENCIAL DE TORONJA.....	44
5.2.1	<i>Métodos de extracción</i> .....	44
5.2.2	<i>Evaluación ecológica de los procesos de extracción de aceite esencial</i> .....	45
5.2.3	<i>Propiedades fisicoquímicas</i> .....	47
5.2.3.1	Densidad .....	47
5.2.3.2	Índice de Refracción.....	47
5.2.4	<i>Evaluación de las propiedades sensoriales</i> .....	48
5.2.5	<i>Cromatografía de Capa Fina de los aceites esenciales extraídos</i> .....	48
5.2.6	<i>Interpretación de espectros infrarrojos del aceite esencial</i> .....	50
5.2.6.1	Espectroscopía Infrarroja.....	51
5.2.7	<i>Análisis de costos del aceite esencial de toronja (AET)</i> .....	54
5.3	EXTRACCIÓN DE NARINGINA.....	55
5.3.1	<i>Evaluación ecológica del método de extracción por disolventes</i> .....	55
5.3.2	<i>Determinaciones específicas para la selección del disolvente</i> .....	56
5.3.3	<i>Propiedades físicas de la naringina</i> .....	58
5.3.4	<i>Rendimiento</i> .....	58
5.3.5	<i>Caracterización microscópica</i> .....	60
5.3.5.1	Micrografías de naringina .....	60
5.3.6	<i>Fotografías de naringina por Microscopio Óptico</i> .....	61
5.3.7	<i>Análisis de espectros infrarrojos de naringina</i> .....	62
5.3.7.1	Espectroscopía Infrarroja.....	63
5.3.8	<i>Costo/beneficio de la extracción de naringina cruda</i> .....	65
5.4	EXTRACCIÓN DE PECTINA .....	67
5.4.1	<i>Evaluación ecológica de la reacción de hidrólisis de pectina cruda</i> .....	67
5.4.2	<i>Características y análisis de las propiedades de las pectinas</i> .....	69
5.4.3	<i>Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las pectinas</i> .....	69
5.4.4	<i>Rendimiento del subproducto</i> .....	70
5.4.5	<i>Análisis microscópico de las pectinas</i> .....	71
5.4.5.1	Micrografías de las pectinas .....	71
5.4.6	<i>Espectroscopía IR de pectinas de toronja</i> .....	72
5.4.6.1	Espectroscopía Infrarroja.....	74
5.4.7	<i>Costo de pectina de la cáscara de toronja</i> .....	76
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>77</b>



<b>7</b>	<b>PROSPECTIVAS.....</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>
8.1	ANEXO A .....	79
8.1.1	<i>Glosario .....</i>	<i>79</i>
8.2	ANEXO B .....	80
8.2.1	<i>Certificado e identificación de la especie botánica.....</i>	<i>80</i>
8.3	ANEXO C .....	82
8.3.1	<i>Parámetro de evaluación ecológica del proceso experimental.....</i>	<i>82</i>
8.4	ANEXO D .....	83
8.4.1	<i>Registro de la materia prima utilizada en todo el desarrollo experimental.....</i>	<i>83</i>
8.5	ANEXO E .....	84
8.5.1	<i>Índice de refracción .....</i>	<i>84</i>
8.6	ANEXO F.....	85
8.6.1	<i>Determinación de la densidad relativa de los aceites esenciales .....</i>	<i>85</i>
8.7	ANEXO G .....	87
8.7.1	<i>Espectros de IR de naringina cruda extraída a partir de otros disolventes.....</i>	<i>87</i>
8.8	ANEXO H .....	91
8.8.1	<i>Análisis de costos de los subproductos del bagazo de toronja.....</i>	<i>91</i>
8.9	ANEXO I.....	93
8.9.1	<i>Método de Cenizas.....</i>	<i>93</i>
8.9.1.1	<i>Cálculos para la determinación de cenizas totales.....</i>	<i>93</i>
8.9.2	<i>Método para calcular el peso equivalente de la muestra de pectina .....</i>	<i>93</i>
8.9.3	<i>Método para evaluar el porcentaje de metoxilo de las pectinas .....</i>	<i>94</i>
8.9.4	<i>Cálculo de ácido galacturónico presente en pectinas .....</i>	<i>94</i>
8.9.5	<i>Porcentaje del grado de Esterificación (GE) o grado de metoxilación.....</i>	<i>94</i>
8.10	ANEXO J .....	95
8.10.1	<i>Créditos de las fotografías y micrografías realizadas en el proyecto.....</i>	<i>95</i>
8.10.2	<i>Registro de los aparatos utilizados en el desarrollo experimental .....</i>	<i>95</i>
8.11	ANEXO K .....	96
8.11.1	<i>Modelo de color RGB .....</i>	<i>96</i>
8.11.2	<i>Cartas Munsell.....</i>	<i>97</i>
8.12	ANEXO Lg.....	98
8.12.1	<i>Espectro Infrarrojo del Limoneno .....</i>	<i>98</i>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>99</b>

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Metodología de la extracción de tres subproductos de la cáscara de toronja.....	30
Diagrama 2. Evaluación ecológica de los métodos de extracción para aceites esenciales .....	46
Diagrama 3. Evaluación ecológica del método de extracción de naringina .....	57
Diagrama 4. Evaluación ecológica del método de extracción de pectina .....	68

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Fruto de toronja.....	8
Fotografía 2. Cédula de identificación de la especie de toronja.....	43
Fotografía 3. Vesículas jugosas del Mesocarpio.....	43
Fotografía 4. Corte transversal de toronja.....	43
Fotografía 5. Albedo de toronja.....	43
Fotografía 6. Semilla de toronja.....	43
Fotografía 7. Flavedo o exocarpio de toronja.....	44
Fotografía 8. Muestra del estándar de naringina observada a 40 X.....	61
Fotografía 9. Muestra de naringina cruda observada en objeto de 40 X.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los tres pilares del Desarrollo Sostenible.....	3
Figura 2. Composición de los residuos en México, 2011.....	3
Figura 3. Principales objetivos de la Química Verde en procesos de producción industrial.....	6
Figura 4. Árbol de toronja con sus hojas, frutos y flores característicos.....	11
Figura 5. Composición morfológica de la toronja.....	12
Figura 6. Principales estados productores de toronja en México.....	13
Figura 7. Parámetros de Control de Calidad para aceite esenciales.....	17
Figura 8. Estructura química de la flavanona.....	20
Figura 9. Principales componentes de hidrólisis de naringina.....	21
Figura 10. Componentes principales de la pared vegetal.....	25
Figura 11. Estructura química del ácido D-galacturónico.....	26
Figura 12. Estructura química de la pectina.....	26
Figura 13. Componentes principales de la estructura de la pectina.....	26
Figura 14. Equipo de hidrodestilación con una trampa tipo Clevenger.....	32
Figura 15. Sistema de extracción de naringina.....	35
Figura 16. Aclaramiento del extracto de naringina.....	36
Figura 17. Pasos principales en la reacción de hidrólisis ácida de la cáscara de toronja.....	38
Figura 18. Residuos sólidos filtrados de la reacción de hidrólisis ácida.....	38
Figura 19. Placas cromatográficas con muestra s de aceite esencial.....	49
Figura 20. limoneno.....	50
Figura 21. mirceno.....	50
Figura 22. sabineno.....	50
Figura 23. $\alpha$ -pineno.....	50
Figura 24. Espectro de IR de aceite esencial del pericarpio de toronja por expresión.....	51
Figura 25. Espectro de IR del aceite esencial del pericarpio de toronja por hidrodestilación.....	52
Figura 26. Espectro de IR del estándar de naringina.....	63
Figura 27. Espectro de IR de naringina cruda.....	64
Figura 28. Espectro de IR de estándar de pectina.....	74
Figura 29. Espectro de IR de pectina cruda.....	75
Figura 30. Certificado de identificación de la especie de toronja.....	80
Figura 31. Rodajas de toronja deshidratadas con su cédula de identificación.....	81



Figura 32. Espectro de IR de naringina cruda extraída a partir de agua destilada .....	87
Figura 33. Espectro de IR de naringina cruda extraída a partir de etanol.....	88
Figura 34. Espectro de IR de naringina cruda extraída a partir de la mezcla de etanol/agua ....	89
Figura 35. Espectro de naringina cruda extraída en acetona/agua.....	90
Figura 36. Sistema RGB en un aparato computacional .....	96
Figura 37. Representación esquemática de una carta del Sistema Munsell .....	97
Figura 38. Espectro de IR del limoneno.....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Los Doce Principios de la Química Verde .....	7
Tabla 2. Sinónimos de la especie de Citrus x paradisi .....	9
Tabla 3. Clasificación de la especie cítrica .....	9
Tabla 4. Cuadro nutricional de toronja por cada 100 g de parte comestible.....	10
Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas de los AEC .....	15
Tabla 6. Composición química del aceite esencial de toronja.....	16
Tabla 7. Principales usos de los AEC en el sector industrial.....	18
Tabla 8. Cualidades que presentan los AEC .....	18
Tabla 9. Características específicas de la naringina .....	22
Tabla 10. Principales propiedades biológicas y farmacológicas de la naringina .....	22
Tabla 11. Principales funciones y aplicaciones de la naringina en el área de la salud.....	23
Tabla 12. Principales características fisicoquímicas que presentan las pectinas .....	27
Tabla 13. Principales usos de las pectinas .....	27
Tabla 14. Funciones de las pectinas en el sector industrial .....	28
Tabla 15. Clasificación de aromas presentes en vinos .....	33
Tabla 16. Propiedades sensoriales de los frutos seleccionados de toronja.....	41
Tabla 17. Características físicas de los frutos de toronja .....	41
Tabla 18. Datos de certificado de identidad de toronja .....	42
Tabla 19. Parámetros específicos en cada método de extracción de aceite esencial.....	45
Tabla 20. Porcentaje de rendimiento de aceite esencial en cada método extractivo .....	45
Tabla 21. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales obtenidos .....	47
Tabla 22. Comparativo entre las propiedades sensoriales teóricas con las experimentales de los aceites esenciales extraídos.....	48
Tabla 23. Grupos funcionales del espectro de IR del aceite esencial extraído por .....	53
Tabla 24. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR del aceite esencial de.....	53
Tabla 25. Rendimiento del AET por expresión en proporción a la cantidad de residuos cítricos .....	54
Tabla 26. Relación costo/beneficio entre los métodos de extracción.....	54
Tabla 27. Cuadro comparativo de las propiedades físicas de la naringina.....	58
Tabla 28. Cantidad de naringina presente en el bagazo de toronja.....	59
Tabla 29. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR del estándar de naringina.....	65
Tabla 30. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina cruda .....	65
Tabla 31. Precio de naringina cruda en relación al consumo de los insumos utilizados .....	65
Tabla 32. Cotejo de precios de estándares de naringina .....	66
Tabla 33. Rendimiento económico de la naringina cruda en comparación con los .....	66

Tabla 34. Propiedades físicas del estándar de pectina y pectina cruda .....	69
Tabla 35. Propiedades fisicoquímicas del estándar de pectina .....	70
Tabla 36. Rendimiento de la pectina extraída .....	71
Tabla 37. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR del estándar de pectina.....	72
Tabla 38. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de la pectina cruda .....	73
Tabla 39. Cantidad y precio de los insumos de extracción de pectina cruda .....	76
Tabla 40. Cotejo de precios de los estándares comerciales en relación a la pectina cruda .....	76
Tabla 41. Código de color en función del número de los Principios de la Química Verde .....	82
Tabla 42. Codificación de color en función del tipo de residuo regenerados en la metodología	82
Tabla 43. Relación de la materia prima empleada periódicamente en todo el experimento .....	83
Tabla 44. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina.....	87
Tabla 45. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina.....	88
Tabla 46. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina cruda .....	89
Tabla 47. Grupos funcionales en el espectro de IR de naringina cruda .....	90
Tabla 48. Análisis de costos de naringina cruda .....	91
Tabla 49. Detallado análisis de costos de la pectina cruda de la cáscara de toronja.....	92
Tabla 50. Lista de aparatos empleados en el desarrollo experimental .....	95

## ÍNDICE DE MICROGRAFÍAS

Micrografía 1. Muestra de estándar de naringina observada a 10 X en el MEB.....	60
Micrografía 2. Naringina cruda observada a 2000 X a través del MEB.....	60
Micrografía 3. Pectina cruda observada a 10 X en el MEB.....	71
Micrografía 4. Estándar de pectina observada en 10 X en el MEB.....	72

## ABREVIATURAS

<b>AEC</b>	Aceites Esenciales de Cítricos
<b>AET</b>	Aceite Esencial de Toronja
<b>AGa</b>	Ácido Galacturónico
<b>Bot.</b>	Botánica
<b>CCF</b>	Cromatografía en Capa Fina
<b>DE</b>	Grado de Esterificación
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>HD</b>	Hidrodestilación
<b>HM</b>	Alto Metoxilo
<b>GRAS</b>	Generalmente Reconocido como Seguro
<b>LM</b>	Bajo de Metoxilo
<b>MVA</b>	Vía Mevalonato
<b>MEP</b>	Vía del 2-C-metil-D-eritritol-4-fosfato
<b>MMt</b>	Millones de toneladas
<b>PQVCE</b>	Principios de la Química Verde que Cumple el Experimento
<b>RC</b>	Residuos Cítricos
<b>t</b>	toneladas

# 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el planeta está viviendo una serie de cambios debido al deterioro ambiental y a la sobreexplotación de los recursos naturales; provocando modificaciones en el hábitat de la flora y fauna, alteraciones climáticas, desgaste de la capa de ozono, altos índices de contaminación del agua, del aire, la erosión del suelo, entre otros problemas ambientales.

El hombre por su afán de poder y riquezas ha dañado gravemente el ecosistema. Debido a lo anterior, organizaciones internacionales han mostrado un gran interés, en plantear propuestas, soluciones, leyes y otras alternativas para reivindicar los agravios provocados a la naturaleza. Desde hace algunas décadas se ha insistido en la elaboración de proyectos y procesos amigables con el medio ambiente, beneficiando no solo al ecosistema sino también ha permitido reeditar a otros sectores del tipo económico, político y social en diferentes regiones del mundo.

En la mayoría de las actividades laborales y personales del ser humano es común que se generen cierta cantidad de desechos (como materiales, sustancias, objetos, entre otros), los cuales, se tiran prácticamente y no se tratan de manera adecuada por considerarse de poca o escasa utilidad; debido a la falta de orientación y educación inapropiada de la sociedad. Por lo tanto, la posibilidad de reintegrar a la vida útil estos desechos utilizando procesos amigables con el medio ambiente puede considerarse como una alternativa de solución al deterioro de nuestro entorno ambiental.

Es por este motivo que el grupo de investigación de Farmacognosia (L-324) de la FES Cuautitlán, Campus I, ha mostrado un interés por aprovechar los residuos de cítricos (específicamente toronja) generados por el consumo cotidiano, ya sea dentro de los hogares, en puestos de la calle o locales. Estos residuos se han convertido en un foco de atención ya que al no ser tratados debidamente generan una fuerte contaminación afectando al medio ambiente.

Se plantea una propuesta metodológica regida por los principios de la química verde que nos permita el aprovechamiento de estos residuos para la extracción de subproductos presentes en el bagazo de la toronja, principalmente; aceite esencial, naringina y pectina. Se ha comprobado que estos compuestos suelen ser muy benéficos y de gran utilidad en diferentes sectores industriales, ya sea, en área alimentaria, farmacéutica o cosmética, adquiriendo un valor agregado, y obteniéndolos de una manera más sencilla, económica y principalmente rentable.

El propósito de este proyecto es aprovechar los residuos sólidos de cítricos mediante un proceso sostenible para obtener productos útiles para la industria.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Desarrollo Sostenible

#### 2.1.1 Origen y definición

A partir de la década de los cincuenta surge una gran inquietud en la sociedad internacional, tras la necesidad de introducir modificaciones en el sistema económico. Dicho modelo de desarrollo se fundamentó en explotar al máximo los recursos naturales para su producción y consumo, manteniendo como único beneficio “una economía más estable”. Sin embargo, presentó deficiencias debido a su insostenibilidad e incompatibilidad con el cuidado ecológico del planeta, el cual, empezó a adquirir una mayor importancia al término de la Segunda Guerra Mundial, tras el surgimiento de una conciencia ecológica mundial derivada de la emisión de contaminantes a la atmósfera y los efluentes (Meléndez & Camacho, 2008).

A inicios de los años sesenta se dio la pauta en muchas regiones del mundo en plantear y elaborar tratados, leyes, acuerdos y foros para contrarrestar la afectación al medio ambiente, así como, el efecto del modelo de desarrollo económico; buscando ser más enfáticos con la sociedad internacional en concientizar su comportamiento en relación al cuidado ecológico ambiental.

En 1987, la Comisión del Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, en el informe “Nuestro futuro común”, definió al Desarrollo Sostenible como: *“el desarrollo que permite satisfacer las necesidades de la generación actual sin afectar las necesidades de las generaciones futuras”* (SEMARNAT, 2012). Este concepto pretendía compatibilizar las actividades productivas del hombre, con la economía, política y el medio ambiente.

En 1990, Estados Unidos impulsó un Acta de Prevención de la Contaminación, estableciendo la reducción de las fuentes de contaminación como prioridad para solucionar los problemas ambientales. La aprobación de esta acta significó un alejamiento de los antiguos conceptos de control de la contaminación buscando prevenir que remediar. Para lograr lo anterior, se requirió del apoyo de diversas disciplinas involucradas en la generación de productos químicos, impulsando con esto, el origen de “La Química Verde o Sostenible”, que actualmente tiene como objetivo reducir el uso o producción de sustancias peligrosas en el diseño, fabricación y uso de los productos químicos (Meléndez & Camacho, 2008).

Finalmente, en 1992, en la conferencia “La Cumbre de la Tierra” en Río de Janeiro, se describió al *Desarrollo Sostenible* como: *“el mejoramiento de la vida humana sin dañar los ecosistemas que la sustentan”*; así como, el planteamiento de nuevos modelos y estrategias que permitieran el aprovechamiento, reciclado y reusó de los recursos naturales que ofrece el medio ambiente a nuestro entorno común, sin llegar a los límites de sobreexplotación. A partir de este momento se

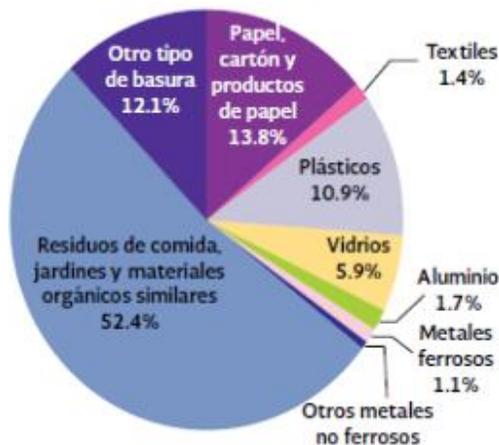
defendieron ideologías por la necesidad de invertir en programas con un progreso científico y tecnológico, encaminados a cumplir con las necesidades del presente y del futuro (ONU, 2011). En la *Figura 1*, se observan los principales pilares que engloban al desarrollo sostenible.



**Figura 1.** Esquema de los tres pilares del Desarrollo Sostenible  
 Nota: Adaptado de Dréo, Johann, (2006)

## 2.2 Impacto de los residuos sobre la población y el medio ambiente

El desarrollo comercial, la tecnología, y la implantación de modelos económicos, han ocasionado un aumento considerable en el uso de materias primas, generando un impacto significativo en el volumen y la composición de los residuos producidos por las sociedades en todo el mundo. En la *Figura 2*, se observa un gráfico, clasificando los diferentes tipos residuos generados en el país durante el 2011; los residuos orgánicos presentan una mayor proporción en relación a los demás; provocando una mayor vulnerabilidad a los recursos naturales, así como, un mayor grado de contaminación (SEDEMA, 2014).



**Figura 2.** Composición de los residuos en México, 2011  
 Nota: Adaptado de SEMARNAT, (2012)

En el siglo XX, México vivió un gran auge en la industrialización, presentando una fuerte demanda de materias primas para satisfacer el consumo elevado de bienes y servicios de una población en pleno desarrollo, con modificaciones en sus

patrones de consumo cada vez más demandantes y al mismo tiempo, generando un aumento de residuos, con repercusiones monetarias y ambientalistas por su inadecuada disposición, como: 1) la formación de contaminantes y gases de efecto invernadero, 2) adelgazamiento de la capa de ozono, 3) contaminación de los cuerpos de agua, 4) proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades (SEMARNAT, 2012).

### 2.2.1 ¿Qué son los residuos?

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los ha definido de la siguiente manera: *“Los residuos son aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha. Se encuentran en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, almacenados en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles al ser valorizados, requieren sujetarse a un tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma ley”*.

En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: a) residuos sólidos urbanos (RSU), b) residuos de manejo especial (RME) y c) residuos peligrosos (RP) (Carrasco Escobar, 2015).

### 2.2.2 Gestión y valorización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

La importancia de gestionar los RSU producidos en la sociedad, se debe al acelerado crecimiento que se ha observado en estos últimos años. Por lo que se busca reincorporarlos a procesos ambientales y a cadenas económicas para su aprovechamiento, sometiéndolos a un proceso de transformación; impactando en el ahorro de materias primas, llevando a cabo prácticas de uso y reciclado de los recursos naturales, así como, apoyo al desarrollo sostenible.

Se requiere de la participación consciente de la sociedad y de instituciones gubernamentales que promuevan las actividades de reúso y reciclaje, como de políticas para el fomento a la educación y cultura ambiental, referentes a la disminución de los residuos sólidos (Cruz Sotelo, 2013).

### 2.2.3 Residuos Cítricos (RC)

Los residuos cítricos son una atracción para el sector industrial ya que adquieren un alto valor agregado tras extraer subproductos de gran interés comercial. Se producen alrededor de 500 toneladas (t) por cada 1000 t de fruta procesada, es decir, entre un 40-55% es utilizado por la agroindustria para la extracción del jugo o zumo del cítrico y del 45-60% son residuos compuestos de corteza, semillas, y pulpa (Lane, 1983b) (Lohrasbi, 2010). Estos residuos se clasifican en:

- 1) *Residuos de cítricos líquidos*: Se producen en fábricas para la elaboración y embotellamiento de productos cítricos (líneas de extracción de jugo o lavados de cáscara y en procesos de centrifugación para la recuperación de aceites esenciales).

- 2) *Residuos de cítricos sólidos*: La cáscara es el principal desecho, representa alrededor del 50% del peso total de fruta. En la industria se generan a partir de la fabricación de zumos mientras que en tiendas de autoservicio o tianguis se desechan las frutas dañadas, así como, las frutas descartadas debido a las regulaciones que limitan la producción y no entran a la cadena alimenticia.

La cantidad de residuos generados dependen en parte por la cosecha, por ser una fracción de la cantidad total de fruta producida (Arthey, 1997). Comercialmente, el porcentaje de fruta desechada varía de un 2% a 10%, dependiendo del tipo de cítricos y aspectos ambientales (Ruiz, 2014).

Los RC presentan un pH bajo (entre 3-4), un alto contenido de agua (80%-90%) y un alto contenido de materia orgánica (95% de sólidos totales), en su composición química se encuentran presentes los ácidos orgánicos, azúcares, fibras, aminoácidos, minerales, flavonoides, vitaminas, aceites esenciales, dependiendo de su estado de madurez y el sistema utilizado para la extracción del jugo (Lohrasbi, 2010).

#### 2.2.4 Situación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en México

El Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI), en base al Censo Nacional de Gobiernos Municipales, reporta una recolección diaria de 86 mil 343 toneladas de basura en todo el territorio nacional y sólo se trata el 6% de los residuos, detallando que el 87% de los desechos se depositan en tiraderos a cielo abierto. En México, existen 1882 sitios de disposición final, de los cuales, el 13% son rellenos sanitarios y el resto son tiraderos a cielo abierto (SEMARNAT, 2012).

En la Ciudad de México se registra la mayor proporción con 19.7% del total nacional, le siguen el Estado de México con 9.6%, Jalisco con 7.6%, Veracruz con 5.2% y Guanajuato con 4,3% (SEMARNAT, 2012).

## 2.3 Química Verde o Química Sostenible

### 2.3.1 Aceptación Internacional

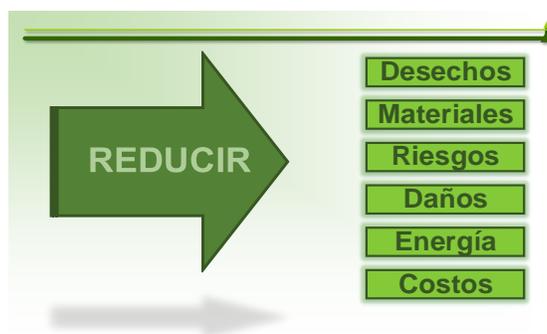
A inicios de los años noventa, la Química Verde o Sostenible, adquirió una gran importancia y aceptación por numerosas industrias e instituciones académicas y gubernamentales en países como: Estados Unidos, Europa, Japón, China, Canadá, Iberoamérica y los países del Pacífico. Organizaciones multinacionales como, la Organización para el Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (ONUDI o también conocida como UNIDO), la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) han realizado iniciativas para el desarrollo de programas de

investigación, educación, y divulgación de la Química Verde, buscando concientizar una sociedad enfocada en el desarrollo sostenible (Estévez, 2005). Según Morales, Martínez, & et.al, (2011), la Química Verde, es percibida mundialmente como una filosofía de trabajo cuyo objetivo principal es prevenir la contaminación, no remediarla: *reducir al mínimo o eliminar por completo, la contaminación desde el inicio mediante el uso de procesos limpios, evitando al máximo el desperdicio o uso indiscriminado de materias primas no renovables, así como el uso de materiales peligrosos y contaminantes en la elaboración de productos químicos que no atenten contra la salud o el medio ambiente.*

### 2.3.2 Diferencias entre la Química Verde y la Química Sostenible

#### 2.3.2.1 Química Verde

Es una herramienta conceptual para la protección del medio ambiente ante la contaminación originada principalmente por el sector industrial, sustentada a partir de los 12 principios de la Química Verde por Paul Anastas y John Warner (1988). Este concepto no se basa únicamente en aspectos éticos, si no también se enfoca en aspectos financieros por lo que se han generado modificaciones económicamente rentables en los procesos industriales en el mundo, reduciendo sustancialmente los costos que son imprescindibles cuando se generan y manejan sustancias peligrosas (Meléndez & Camacho, 2008). En la *Figura No. 3*, se mencionan los principales objetivos que busca reducir o eliminar la química verde en los procesos de producción industrial.



**Figura 3.** Principales objetivos de la Química Verde en procesos de producción industrial  
Nota: Fuente adaptada de Meléndez & Camacho, (2008)

#### 2.3.2.2 Química Sostenible

Se basa en la obligación ética de contribuir al desarrollo y bienestar de todas las naciones del planeta, sin afectar a la naturaleza ni a las generaciones futuras. Esta contribución es primordial por la sostenibilidad de la actividad química industrial, al ser amenazada la viabilidad de su producción por el agotamiento irreversible de las fuentes de todas las materias primas.

Su objetivo principal es reducir la contaminación por sustancias nocivas para la salud y para el medio ambiente. Los principios de Anastas y Warner constituyen el principal fundamentó de la Química Sostenible (Meléndez & Camacho, 2008).

### 2.3.3 Los Principios de la Química Verde

Los 12 principios de la Química Verde establecidos por Anastas y Warner se sustentan a partir de 3 apartados fundamentales y distintivos:

- 1) Prevención de la causa de riesgo
- 2) Metodologías químicas
- 3) Acción de acuerdo con un diseño

A continuación, se enlistan los principios en que se rige la Química Verde

*Tabla 1. Los Doce Principios de la Química Verde*

<b>No. Principios</b>	<b>Descripción</b>
<b>1) Prevención</b>	Prevenir la generación de un residuo, tratarlo o eliminarlo después de haberlo generado
<b>2) Economía atómica</b>	Diseñar métodos sintéticos para lograr la máxima incorporación de todas las materias al producto final.
<b>3) Síntesis químicas menos peligrosas</b>	Diseñar metodologías sintéticas para el uso y generación de sustancias con escasa toxicidad humana y ambiental.
<b>4) Diseños de químicos seguros</b>	Diseñar productos químicos preservando la eficacia de su función y presenten una toxicidad escasa.
<b>5) Uso de disolventes seguros o auxiliares</b>	Evitar el uso o disminución de disolventes, agentes de separación, etc., o por lo menos que sean inocuas.
<b>6) Diseño de la eficiencia energética</b>	Utilizar los métodos de síntesis a temperatura y presión ambiente, para evitar impactos económicos en relación a los procesos energéticos
<b>7) Uso de materias primas renovables</b>	Usar materia prima renovable siempre y cuando la técnica sea económicamente viable.
<b>8) Reducir derivados</b>	Evitar la formación innecesaria de derivados (bloqueo de grupos, protección/desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos)
<b>9) Catálisis</b>	Los reactivos catalíticos son superiores a los estequiométricos.
<b>10) Diseñar sustancias biodegradables</b>	Diseñar productos químicos que, al término de su función, se fragmenten en productos de degradación inertes y no persistan en el ambiente,
<b>11) Análisis en tiempo real para revertir la contaminación</b>	Desarrollar metodologías analíticas que permitan el monitoreo en tiempo real durante el proceso y control previo a la formación de sustancias peligrosas.
<b>12) Químicos seguros para prevenir accidentes</b>	Elección de sustancias y su uso adecuado en procesos químicos para disminuir accidentes.

Nota: Fuente adaptada de (Meléndez & Camacho, 2008) y (Morales, Martínez, & et.al, 2011)

## 2.4 Toronja



**Fotografía 1.** Fruto de toronja

Fuente: [Fotografía de Lidia Martínez Vargas] (FESC, 2017).  
Colección de toronja. Propiedad del autor<sup>1</sup>

### 2.4.1 Reseña histórica del origen del fruto de toronja

Los cítricos son frutos nativos de las regiones tropicales y subtropicales del Asia sudoriental. Sus ramas filogenéticas se extienden por el centro de China y Japón, a través de las Indias Orientales a Nueva Guinea, Australia, India, el Mar de las Filipinas hasta el Océano Índico y parte del continente africano. La expansión colonial europea fue responsable de la introducción y distribución de los cítricos en el resto del mundo (Barreiro Perera, 1999). Estos frutos han evolucionado con el paso del tiempo, presentando modificaciones genéticas en base: a la selección natural, a hibridaciones generadas por la misma naturaleza o manipuladas por el hombre, dando origen a muchas variedades e híbridos de interés comercial.

Dentro de la familia Rutaceae, el género *Citrus* se encuentra la toronja cuyo nombre científico es *Citrus x paradisi*, se cree que es una mutación o una alteración genética producida de manera espontánea entre la naranja dulce (*Citrus sinensis*) y la naranja amarga (*Citrus máxima*) o pampelmusa, originaría del Mar Caribe en la Isla de Barbados, por el siglo XVII. La toronja se comenzó a producir en América por el año de 1823, en la región de Tampa, Florida, actualmente una de las regiones más importantes en el cultivo de este fruto (Morton, 1987).

En el caso de México, la toronja se comenzó a producir en 1940, en una plantación de Loma Bonita, Oaxaca. Actualmente se ha logrado expandir a 28 entidades federativas del territorio nacional, teniendo al estado de Veracruz, con la mayor producción registrada de este cítrico (SAGARPA, 2015).

---

<sup>1</sup> Consultar anexo J

## 2.4.2 Etimología

El nombre “*Citrus x paradisi*”, etimológicamente deriva del griego y del latín, *Citrus*-del vocablo *kitrón*. Significa limón y *paradisi* perteneciente al paraíso.

En 1830, el médico y botánico escocés James Macfadyen, le dio el nombre botánico al híbrido de la toronja, (*Citrus x paradisi Macfad.*).

## 2.4.3 Sinonimia popular

La toronja al ser un fruto cítrico reconocido a nivel mundial presenta una sinonimia popular en diferentes regiones del mundo, por ejemplo:

**Tabla 2.** Sinónimos de la especie de *Citrus x paradisi*

Idioma	Nombres comunes
Alemán	Palpelmuse
Español	Toronja
Francés	Pamplemousse
Inglés	Grapefruit
Italiano	Pompelmo
Portugués	Pomelo

Nota: Adaptada de Lexicoon, ( 2017)

## 2.4.4 Sinonimia botánica

- a) *Citrus x aurantium* L.
- b) *Citrus maxima* (Burm.) Merr
- c) *Citrus grandis* (L.) Osb.
- d) *Citrus medica* L.

## 2.4.5 Taxonomía

**Tabla 3.** Clasificación de la especie cítrica

Categoría taxonómica	Grupo
Reino	Plantae
Subreino	Trachebionata
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Geraniales
Familia	Rutaceae
Subfamilia	Citroideae
Tribu	Citreae
Género	<i>Citrus</i>
Especie	<i>Citrus x paradisi</i>

Nota: Obtenido de Wikishysop, 2015

## 2.4.6 Valor nutricional

**Tabla 4.** Cuadro nutricional de toronja por cada 100 g de parte comestible

Nutrientes	Unidad	Valor	Vitaminas	Unidad	Valor
<b>Agua</b>	g	88.06	Ácido ascórbico (vitamina C)	mg	31.2
<b>Energía</b>	Kcal	176	Tiamina (vitamina B1)	mg	0.043
<b>Proteína</b>	g	0.77	Ribloflavina (vitamina B2)	mg	0.031
<b>Lípido total (grasa)</b>	g	0.14	Niacina (vitamina B3)	mg	2.04
<b>Carbohidratos</b>	g	10.66	Ácido Pantoténico	mg	0.262
<b>Fibra total</b>	g	1.6	Vitamina B6	mg	0.053
<b>Azúcares totales</b>	g	10.66	Folato	µg	13
<b>Sacarosa</b>	g	3.51	Ácido fólico	µg	0
<b>Glucosa (dextrosa)</b>	g	1.61	Colina	µg	7.7
Minerales	Unidad	Valor	Carotenos	Unidad	Valor
<b>Calcio (Ca)</b>	mg	12	Luteína + Zeaxantina	µg	5
<b>Hierro (Fe)</b>	mg	0.1	β-Criptoxantina	µg	6
<b>Magnesio (Mg)</b>	mg	9	β-Caroteno	µg	686
<b>Fósforo (P)</b>	mg	8	α-Caroteno	µg	3
<b>Potasio (K)</b>	mg	148	Licopeno	µg	1419
Zinc (Zn)	mg	0.007	Aminoácidos	Unidad	Valor
<b>Cobre (Cu)</b>	mg	0.032	Triptófano	mg	2
<b>Manganeso (Mn)</b>	mg	0.022			
<b>Selenio (Se)</b>	µg	0.1			

Nota: Adaptado de USDA, 2009

## 2.4.7 Descripción botánica

### 2.4.7.1 Morfología

- **Árbol:** Es un árbol pequeño perennifolio, con bastante volumen y copa redondeada, con una altura entre 4.5-13.7 m, el ramaje es poco denso y el fuste ancho, el tallo alcanza diámetros que exceden los 15 cm.
- **Hojas:** Las hojas son perennes, dentadas y ovaladas, de 7.5 a 15 cm de largo y de 4.5 a 7.5 cm de ancho. Tienen pecíolos cortos y alados con escasas espinas flexibles y olor típico con nervios muy marcados. El haz de la hoja tiene un color verde oscuro, mientras que el envés es verde claro.
- **Flores:** Son hermafroditas, tetrámeras, grandes y olorosas, de color blanco, purpúreas, forman pequeños racimos terminales situadas en las axilas de las hojas. Contienen 5 sépalos y 5 pétalos, estambres de 20 a 25, ovario esférico, delimitado del estilo, con 12 a 14 lóculos.

- **Fruto:** Baya de hesperidio globoso o subpiriforme que surge a través del crecimiento y del desarrollo del ovario; presenta de 9 a 12 carpelos, constituyen la parte comestible del fruto y se encuentran cubiertos por una cáscara correosa; se componen de pulpa y semillas, las cuales, son escasas, poliembriónicas, lisas, elípticas o apicadas y blancas, por dentro miden 1.25 cm de largo.

En la *Figura 4*, se ilustran los principales componentes que conforman al árbol de toronja y son apreciados a simple vista



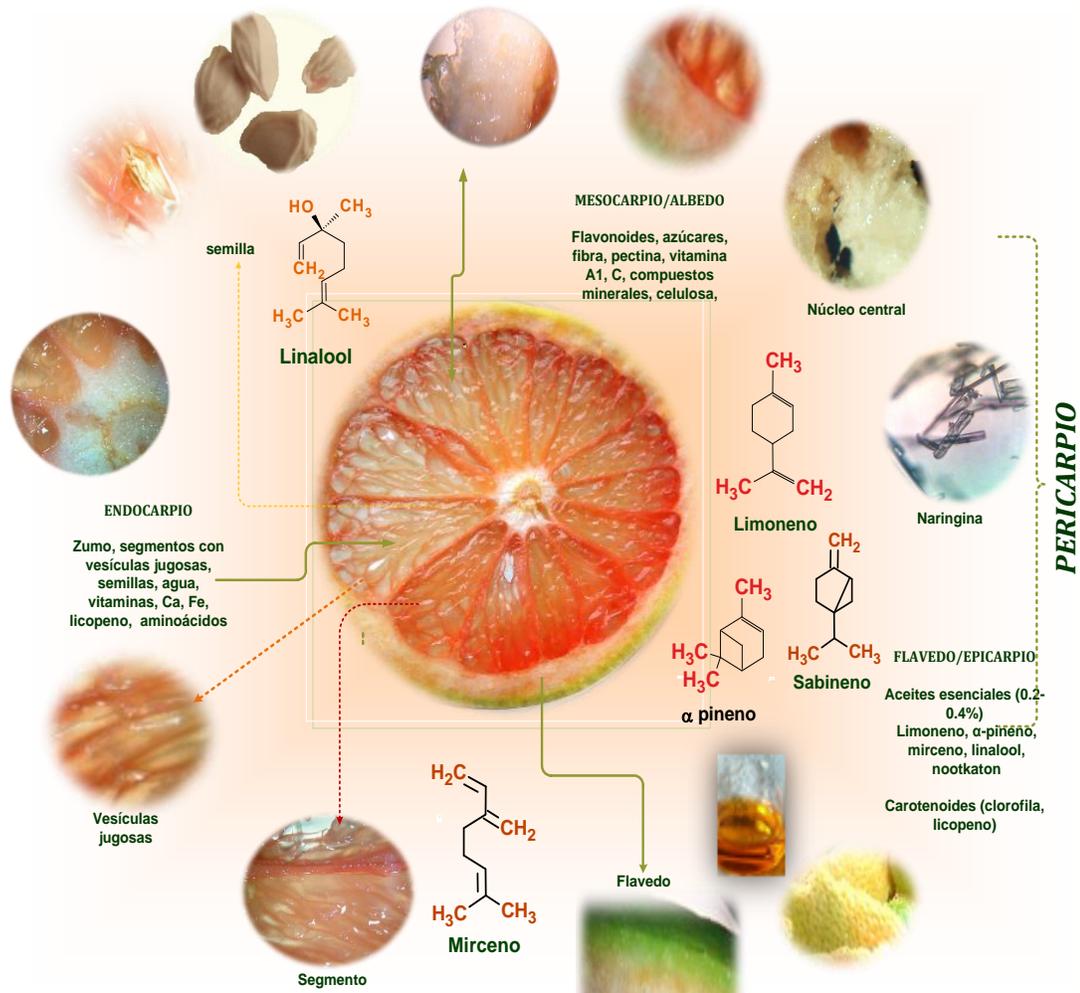
**Figura 4.** Árbol de toronja con sus hojas, frutos y flores característicos  
 Nota: Fuente adaptada de a y c) Mari Mut, (2016), b) Areces, (2016), d) Mérida, (2014)

La toronja se compone de regiones morfológicamente distintas (El-Otmani, 2011). En la corteza del fruto se distinguen dos zonas: una externa coloreada y compacta, flavedo, y otra interna, blanca y esponjosa, el albedo.

- **Exocarpio, epicarpio o flavedo:** Capa parenquimatosa rica en cloroplastos, contiene sacos de aceite esencial. Se ubica debajo de una capa continua de células epidérmicas con una gruesa cutícula cerosa con estomas. Es de coloración verdosa debido a los pigmentos de clorofila, que son sustituidos durante el proceso de maduración por cromoplastos (pigmentos carotenoides) (Spiegel-Roy, 1996).
- **Mesocarpio o albedo:** Parte media del fruto con textura porosa, parenquimatosa y de color blanco. En la maduración, las células del albedo se vuelven más alargadas formando una intrincada malla de células con espacios intercelulares, generando en la corteza una apariencia esponjosa.

Tiende a adelgazar conforme crece y madura el fruto, Constituye un 20% a 60% de la totalidad del fruto, variando el grosor de la corteza.

- **Endocarpio o pulpa:** La parte interior comestible del fruto cítrico, contiene tricomas y de 9 a 12 gajos o carpelos y semillas blancas. Se constituye de bolsas de zumo llenos de jugo, envueltas por una delgada membrana carpelar blanca, formada por un tejido de origen epidérmico. La pulpa se inicia en el momento de la floración. Sus células se dividen y se llenan de agua, ácidos, azúcares, minerales, pigmentos conforme la fruta crece y madura. En la *Figura 5*, se ilustran los componentes principales característicos de la morfología del fruto de toronja.



**Figura 5.** Composición morfológica de la toronja  
Fuente: Elaboración propia

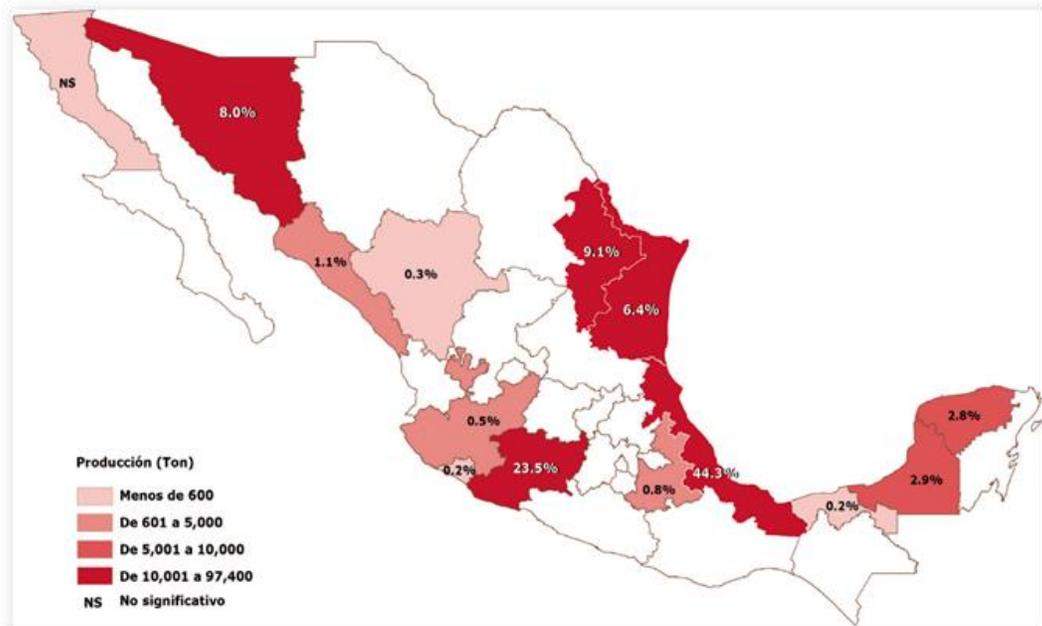
#### 2.4.8 Distribución geográfica y comercial a nivel nacional e internacional

La toronja es el tercer cítrico de importancia comercial en el país, detrás de la naranja y el limón. Actualmente, México es considerado el quinto líder mundial en

la producción de cítricos, representando el 4.6% del total, detrás de China (21%), Brasil (18%), Estados Unidos (8%) y la India (6%).

La citricultura en México es una actividad de importancia económica, se realiza en regiones tropicales y subtropicales de 28 entidades federativas, donde se concentran el 91% del total de la producción nacional.

La cosecha se realiza en 10 estados principalmente: Veracruz; con el 40% de superficie territorial, genera el 44.3% de producción; Michoacán (23.5%), Nuevo León (9.1%), Sonora (8.0%), Tamaulipas (6.4%), Campeche (2.9%), Yucatán (2.8%), Sinaloa (1.1%), Puebla (0.8%), Jalisco (0.5%) y Durango (0.3%) (Cruz, 2007) (SIAP-SAGARPA, 2012).



*Figura 6. Principales estados productores de toronja en México*  
Nota: Obtenido de SIAP-SAGARPA, (2012)

#### 2.4.9 Variedades de toronja

En México se cultivan distintas variedades de toronja y su tonalidad de pulpa es la principal característica que las diferencia, siendo Veracruz el estado en que más predominan. Entre ellas se ubican:

- **Blancas o comunes:** Presenta una coloración translúcida a amarillo tenue.
- a) **Marsh Seedless o White Marsh:** Son frutos medianos de 300 g en promedio, su pulpa es de color crema claro con glándulas jugosas; generalmente sin semillas, se utilizan en la industria de jugos.
- **Pigmentadas:** La cáscara es de color anaranjado con una pulpa de color rosa tenue a rojo debido a la presencia de licopeno. Esta variedad se

desarrolla a temperaturas elevadas, factor que influye en el color (García Pérez, Ponciano, & García Días, 2010).

Las principales variedades de toronjas pigmentadas distribuidas en México son:

- a) **Ruby Red o Red Blush:** Presenta coloración rosada en algunas zonas de la cáscara, en las membranas de la pulpa, paredes de las vesículas jugosas, con pocas semillas y se consume en fresco.
- b) **Star Ruby:** Fruto mediano sin semillas y muy jugoso; su pulpa es de color rojo tenue (varía en función de la región del cultivo); a altas temperaturas presenta mayor intensidad de coloración, contrario a lo que sucede con otras especies. La cáscara es delgada de color amarillo a rojo.
- c) **Río Red:** Es una mutación de la variedad Ruby Red, originaria de Texas. El fruto mide de 9.5 a 11.5 cm de diámetro, el color de la cáscara es amarilla con tonalidades rojizas; la pulpa es de color rojo con escasas semillas y sabor agradable. Es la principal variedad cultivada en México.

## 2.5 Subproductos de cítricos (compuestos de alto valor agregado)

El procesamiento de frutos cítricos ha tenido un gran impacto en el área industrial empleando grandes volúmenes de fruta y al mismo tiempo generando elevadas cantidades de desechos de corteza, semillas y pulpa.

Recientemente, la industrialización de subproductos de residuos cítricos ha tenido un incremento considerable debido a su aprovechamiento y valor agregado. Logrando extraer compuestos como: aceites esenciales, terpenos, pectinas, material péctico (celulosa, hemicelulosa), lignina, flavonoides, carotenoides, resinas, ceras, celulosa, ácidos (acético, cítrico y láctico), permitiéndole una ganancia económica más redituable a la industria citrícola debido a la demanda de estos compuestos en diversos sectores industriales del área alimentaria, farmacéutica y cosmética (Elías, 2012) (Gutiérrez, Medina, & et.al., 2002).

## 2.6 Aceite Esencial de Cítricos

### 2.6.1 Definición

Son matrices complejas de compuestos con diferente naturaleza química. Se caracterizan por ser líquidos oleosos, aromáticos con fracciones volátiles, presentes en plantas lipofílicas y perfumadas (Ortuño, 2006).

De acuerdo con la Organización Internacional de Normalización en aceites esenciales (ISO 9235: 2013) y la Farmacopea Europea; un **aceite esencial** se define como: “el producto manufacturado a partir de materia prima vegetal,

obtenido por hidrodestilación, destilación por arrastre de vapor, mediante un proceso mecánico por expresión o por destilación en seco” (Zuzarte, 2015).

### 2.6.2 Distribución y localización de los Aceites Esenciales (AE)

La biosíntesis, acumulación y almacenamiento de AE se asocia con la presencia de estructuras histológicas especializadas; en el caso de los cítricos, el AE se localiza en el tejido de las hojas, diferentes partes de la flor (pétalos, estilos o estambres), tejidos subepidérmicos como: el flavedo y tejidos adyacentes a la epidermis de los pétalos y el cáliz (Harbone, 1998) (Soto Arrieta, 2010).

### 2.6.3 Generalidades de los Aceites Esenciales de Cítricos (AEC)

A continuación, se enlistan algunas propiedades de los AEC.

*Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas de los AEC*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados</b>
<b>Estado de agregación</b>	Líquido
<b>Olor</b>	Frutal, Cítrico
<b>Color</b>	Incoloro-amarillo claro-rojo naranja
<b>Densidad</b>	0.840-0.880
<b>Índice de Refracción (20°C)</b>	1.4738-1.486
<b>Rotación óptica (+°)</b>	34-99
<b>Residuos de evaporación (%)</b>	2.35-10
<b>Solubilidad</b>	Alcoholes de alta graduación, éter de petróleo, tetracloruro de carbono
<b>Insolubilidad</b>	Disolventes orgánicos apolares

*Nota: Adaptado de Bruneton, (2001)*

Los aceites esenciales al ser compuestos volátiles son inestables y frágiles; pueden ser degradados fácilmente (por oxidación, volatilización, calefacción o por presencia de luz), si no se protegen de factores externos (El Asbahani, 2015).

#### 2.6.3.1 Factores que afectan la composición química de los Aceites Esenciales

Kuklinski, (2003) cita que la cantidad, la calidad y la presencia o ausencia de componentes químicos presentes en cada aceite esencial de plantas y frutos, varía notablemente en base a ciertos factores, como:

- a) El origen botánico (la especie y/o composición de su naturaleza química)
- b) El ciclo del vegetal
- c) El clima
- d) Las condiciones geobotánicas
- e) Método de cultivo (riego, abono, suelo, etc.)
- f) Época de recolección de la planta
- g) Método de almacenamiento del material vegetal
- h) Método de extracción del aceite
- i) Edad o grado de madurez de la planta o fruto

### 2.6.3.2 Biosíntesis de los Aceites Esenciales de Cítricos

Los AEC se sintetizan en las plantas, mediante reacciones químicas que conducen a la formación de los metabolitos secundarios, provenientes de tres rutas biosintéticas: a) la vía del ácido mevalónico (MVA); b) la vía de 2C-metil-D-Eritritol-4-fosfato (MEP), y c) la vía del ácido Shikímico (Hüsnü Can Baser, 2010).

### 2.6.3.3 Composición química de los AEC

Los AEC contienen de 20 a 60 variedades de compuestos químicos, conformados entre el 85 al 99 % de compuestos volátiles (Bakkali, 2008), que a su vez, se caracterizan por ser una mezcla de monoterpenos (limoneno,  $\beta$ -pineno,  $\gamma$ -terpineno, etc.), representando el 97% de la composición del aceite, mientras que los sesquiterpenos, hidrocarburos y derivados oxigenados (aldehídos, cetonas, alcoholes y ésteres) constituyen del 1.8 al 2.2 % de su composición química (Fisher, 2008). El resto son cumarinas, antraquinonas, alcaloides y pigmentos naturales (Ríos, 2016). El aceite esencial de toronja tiene Nootkatona (cetona sesquiterpénica), que le da sabor y aroma, conforme aumenta su madurez; éste se compone de 20 alcoholes, 14 aldehídos, 13 ésteres, 3 cetonas y 14 monoterpenos y sesquiterpenos. La porción no volátil constituye el 7% del aceite y representan a las cumarinas, flavonoides, tocoferoles y ceras (Kimball, 1999). En la *Tabla 6*, se enlista los compuestos del AE.

**Tabla 6.** Composición química del aceite esencial de toronja

Compuestos	Métodos de Extracción		
	Destilación (Dugo, 2011)	Prensado en frío (Pino, 2011)	Prensado en frío (Droby, 2008)
<b>Volátiles</b>			
<b>Autores</b>			
<b>MONOTERPENOS</b>	<b>% A. p.</b>	<b>% A. p.</b>	<b>% A. p.</b>
Limoneno	70.9	84.8	92.34
Mirceno	13.6	6.9	2.31
$\alpha$ -Pineno	3.8	1.7	0.8
$\beta$ -Pineno	-	0.1	-
(E)- $\beta$ - Ocimeno	-	-	0.17
Sabineno	0.2	-	0.71
<i>cis</i> -Óxido de limoneno	0.1	0.1	-
<i>trans</i> -Óxido de limoneno	Tr	0.1	-
Acetato de nerilo	0.1	0.1	-
Geranial	0.3	0.4	-
Neral	0.3	0.2	-
<b>SESQUITERPENOS</b>			
$\alpha$ -Copaeno	0.2	0.4	-
$\beta$ -Cubebeno	0	0.5	-
Longifoleno	0.1	-	-
$\beta$ -Cariofileno	0.6	1.1	0.37
$\alpha$ -Humuleno	0.1	0.2	-
Germacreno D	-	0.3	-
Biciclogermacreno	-	0.1	-
$\delta$ -Cadineno	0.1	0.4	-
Elemón	-	0.2	-
Germacreno D-4-ol	-	Tr	-
<b>ALDEHÍDOS</b>			
Citronelal	-	0.2	-

Continuación de la **Tabla 6...**

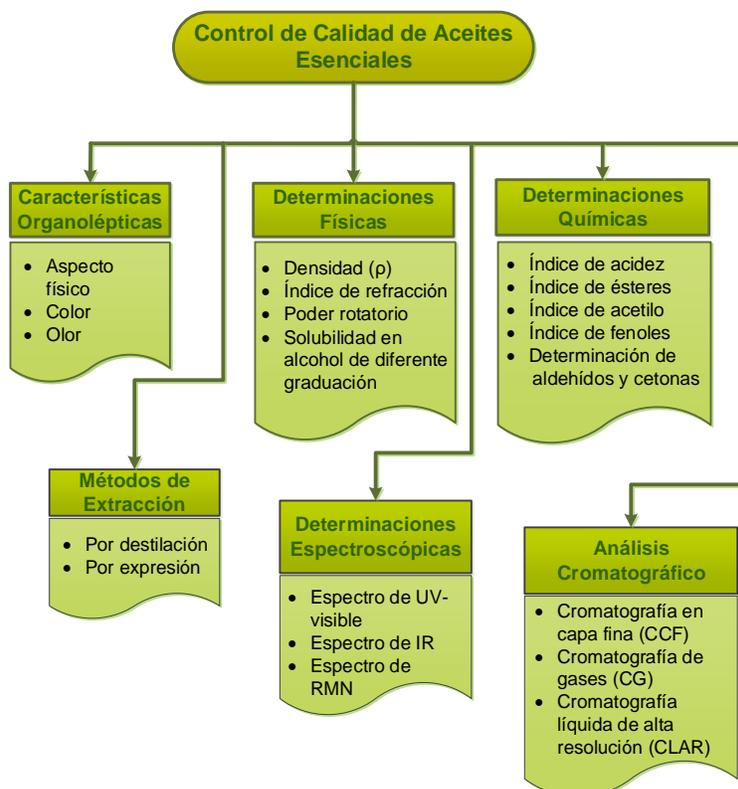
<b>Decanal</b>	<b>0.1</b>	<b>1.4</b>	<b>0.33</b>
<b>Nonanal</b>	-	0.5	0
<b>Octanal</b>	-	-	0.4
<b>ALCOHOLES</b>			
<b>Octanol</b>	0.9	-	-
<b>Linalol</b>	1.6	0.5	0.1
<b>cis-Óxido de linalol</b>	1	-	-
<b>trans-Óxido de linalol</b>	0.4	-	-
<b>Terpinen-4-ol</b>	0.8	-	-
<b><math>\alpha</math>-Terpineol</b>	2.3	0.2	0
<b>Dihidrocarveol</b>	0.1	-	-
<b>Neohidrocarveol</b>	Tr	-	-
<b>cis-Carveol</b>	Tr	-	-
<b>trans-Carveol</b>	0.1	-	-
<b>(E)- Nerolidol</b>	-	Tr	-
<b>CETONAS</b>			
<b>Carvona</b>	Tr	-	-
<b>Carvotanacetona</b>	0.1	-	-
<b>Nootkatona</b>	-	Tr	0.37

Nota: Tr=Trazas

Adaptado de Dugo & Mondello, (2011)

#### 2.6.4 Control de calidad en Aceites Esenciales

Las determinaciones para evaluar la calidad de los aceites esenciales se efectúan en diferentes categorías, como se muestran en la *Figura 7*.



**Figura 7.** Parámetros de Control de Calidad para aceite esenciales

Nota: Adaptado de Kukulinski, (2003)

## 2.6.5 Usos y propiedades de los AEC

**Tabla 7.** Principales usos de los AEC en el sector industrial

Industria	Usos
	Saborizantes
	Aromatizantes de bebidas azucaradas, alcohólicas, jugos, néctares
<b>Alimentaria</b>	Elaboración de confitería(dulces)
	Elaboración de postres
<b>Farmacéutica</b>	Conservador de productos cárnicos, frutas y vegetales
	enmascara sabores desagradables de emulsiones, jarabes, sueros, suspensiones, entre otros
<b>Química</b>	Elaboración de jabones, detergentes aromatizantes de ropa
	Desinfectantes y aromatizantes de limpieza
	Perfumería
<b>Cosmética</b>	Elaboración de cremas, champús, geles, acondicionadores, desodorantes, etc.

*Nota:* Adaptado de Bousbia, (2008) y Steuer, (2001)

**Tabla 8.** Cualidades que presentan los AEC

Propiedades	Características
<b>Farmacológico</b>	Antiinflamatorio
	Anticoagulante
	Antiespasmódico
	Antiséptico
	Diurético
	Antidepresivo
	Sedante
<b>Terapéutico</b>	Antimicrobiano
	relajante
	Cicatrizante
	Purificante
	Tonificante
<b>Biológico</b>	Estimula los sentidos
	Mantiene estable el sistema inmunológico y linfático
	Fungicidas
	Insecticidas
	Protectores contra herbívoros
	Atraen insectos para favorecer la dispersión del polen y las semillas de las plantas

*Nota:* Fuente adaptado de Fisher, (2008) y Soto Arrieta, (2010)

## 2.6.6 Métodos de extracción de Aceites Esenciales de Cítricos

En la obtención de los aceites esenciales de cítricos se emplean dos tipos de métodos:

### 2.6.6.1 *Método de expresión o prensado en frío*

Método de extracción mecánica para la obtención de AEC o principios activos de plantas a temperatura ambiente (Osorio Durango, 2009). Se realiza ejerciendo una presión a mano, con exprimidores o prensas automáticas sobre el pericarpio de los cítricos, aplastando las glándulas oleosas para liberar el aceite, dejando caer un rocío de agua constante. Se somete a una fuerza centrífuga para separar los residuos no volátiles del aceite esencial.

### 2.6.6.2 *Método de hidrodestilación o destilación en agua*

Es un proceso de extracción de aceite esencial de alguna planta aromática o materia vegetal, mediante el uso de vapor saturado a presión atmosférica (Cerpa, 2007). Se lleva a estado de ebullición una suspensión acuosa del material vegetal de tal manera que los vapores generados pueden ser condensados y recolectados; deben estar en contacto directo con el agua, manteniendo una fuente de calor directa, y una agitación constante para impedir la formación de aglomeraciones, sedimentaciones o la carbonización del marco sólido, para evitar la presencia de olores desagradables en el producto final. Se emplea una trampa de Clevenger permitiendo del retorno del agua hacia el matraz, en el ciclo de la destilación (Álvarez, 2012).

## 2.7 Flavonoides

### 2.7.1 ¿Qué son los flavonoides?

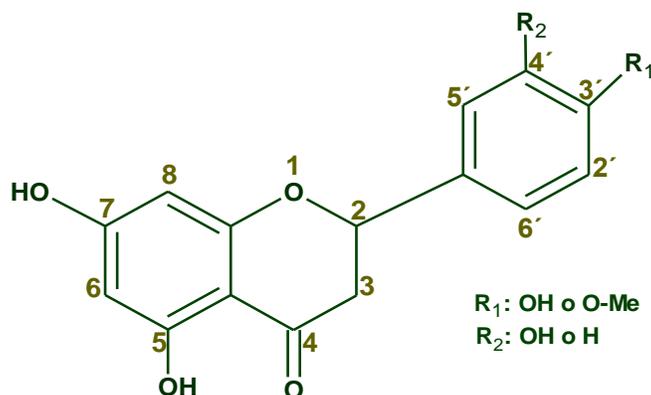
Son metabolitos secundarios de carácter polifenólico distribuidos ampliamente en plantas medicinales y alimentos de origen vegetal de consumo animal, por ser considerados micronutrientes en su dieta habitual. Se producen en la corteza de cítricos, hojas, ramas, flores y frutos de una amplia variedad de plantas vasculares o superiores. Son responsables del sabor de los alimentos, y bebidas de origen natural, así como, la coloración que presentan las hojas, flores y frutos (Ballesteros, 2013). Contribuyen a las cualidades sensoriales de frutas y verduras como: el color, astringencia, amargura y aroma.

### 2.7.2 Biogénesis

Se genera a partir de la derivatización de subunidades de dos rutas biosintéticas específicas: a) **Ruta del acetato-malonato**, donde se origina el anillo A y b) **Ruta del Ácido Shikímico**, en la cual surge el anillo B y la cadena de 3C, (formación de anillo C). A partir de una molécula de fenilalanina y reacciones enzimáticas se forma la subunidad del ácido cinámico, que se condensa con 3 moléculas de malonil CoA y es catalizada por la enzima chalcona isomerasa. A partir de la enolización del ciclo generado de la ruta del acetato-malonato se forma el anillo A, produciendo la formación de la **chalcona**, considerada la precursora de las flavanonas y compuestos derivados de los flavonoides (Ballesteros, 2013).

### 2.7.3 Estructura y composición química

Los compuestos polifenólicos presentan una estructura química, cuyo núcleo principal es un benzo- $\gamma$ -pirano (2-fenilbenzopirano), esqueleto hidrocarbonado de 15C, del tipo **C<sub>6</sub>C<sub>3</sub>C<sub>6</sub>**, que se compone de dos anillos bencénicos (A) y (B), unidos por un puente de 3 Carbonos, el cual se cicla formando un anillo pirano (C) con oxígeno como heteroátomo (*ver la fig. 7*). El anillo C sufre ciertas modificaciones de acuerdo con su insaturación y el grado de oxidación del heterociclo oxigenado generando de esta manera la formación de una variedad de flavonoides como: flavonas, flavanonas, flavanol, isoflavona, flavonol, antocianinas (Londoño, 2012).



**Figura 8.** Estructura química de la flavanona

*Nota:* Adaptada de Marteatena, (2007)

Cada tipo de flavonoide se caracteriza por brindarles propiedades benéficas y específicas a una gran variedad de especies y familias del reino vegetal, en el cual se encuentran ampliamente distribuidos, siendo más abundantes en frutas, verduras y plantas medicinales. Un ejemplo, es el género Citrus de la familia de las Rutaceae, que se caracterizan por tener en su composición química compuestos como **flavanonas**, (tienen el anillo C saturado); **flavonas**, (presentan una insaturación en los C2 y C3), así, como las **chalconas** y **dihidrochalconas**, (tienen una estructura abierta, provocando una ruptura en el anillo C).

Este tipo de compuestos se encuentran presentes en el flavedo y el albedo de los frutos cítricos (González Sánchez Avel, 2011).

Las flavanonas son el grupo de flavonoides más representativos en los cítricos; de ellas se derivan las *flavanonas glicosídicas*, donde la aglicona puede combinarse con 2 o más estructuras de azúcares (D-glucosa, L-ramnosa, galactosa, arabinosa o ácido glucurónico). Los azúcares se unen a los grupos -OH de la aglicona en posición 7 ó 3 y en algunos casos en 4', 3' o 5.

Generalmente, presentan dos tipos de glucósidos:

1. **Neohesperidósidos** (2-O- $\alpha$ -L-ramnopiranosil- $\beta$ -D-glucopiranososa), ( $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 2)-ramnosil glucósidos). Se caracterizan por ser compuestos amargos.

2. **Rutinósidos** (6-O- $\alpha$ -L-ramnopiranosil- $\beta$ -D-glucopiranososa,  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6)-ramnosil glucósidos). Se caracterizan por ser compuestos insípidos.

La toronja al ser considerada un híbrido se caracteriza por presentar una mezcla de glucósidos neohesperidósido y rutinósido (Londoño, 2012).

## 2.7.4 Naringina

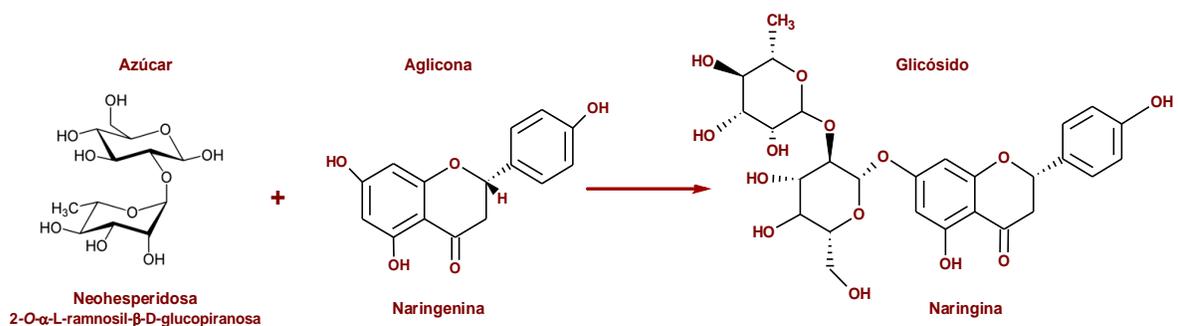
### 2.7.4.1 Definición

Es una flavanona glicosilada que contiene la naranja agria (*Citrus aurantium*) y en mayor concentración en la cáscara de toronja (*Citrus paradisi*); principalmente en el albedo y en la pulpa de los frutos. También se encuentra en flores, hojas, semillas y en las glándulas jugosas de los frutos cítricos.

Estructuralmente se compone de una aglicona, conocida como naringenina que se une con un disacárido neohesperidósido (2-O- $\alpha$ -L-ramnosil- $\beta$ -D-glucopiranososa), a partir de un enlace *O-glicósido* en el C7, que le confiere su propiedad amarga al cítrico.

La concentración de naringina en los cítricos depende de factores ambientales, genéticos y del grado de madurez de los frutos; siendo el estado inmaduro el que posee una mayor proporción de flavanona.

La hidrólisis de la naringina presenta como productos: una aglicona llamada **naringenina** y carbohidratos (glucosa y ramnosa). En la *figura 8* se observan la estructura molecular de la flavanona glicosilada a partir de la reacción de la aglicona y el azúcar.



**Figura 9.** Principales componentes de hidrólisis de naringina

#### 2.7.4.1.1 Sinónimos

7-[[2-O-(6-Deoxi- $\alpha$ -L-manopiranosil)-oxi]-2,3-dihidro-5-hidroxi-2-(4-hidroxifenil)-4H-1-benzopiran-4-ona; 4',5,7-trihidroxi-flavanona-7-ramnoglucósido; naringenina-7-ramnoglucósido, naringenina-7- $\beta$ -neohesperidósido, aurantiina.

### 2.7.4.2 Propiedades de la naringina

**Tabla 9.** Características específicas de la naringina

Propiedades Físicas	Valor	Propiedades Sensoriales	Características
<b>Fórmula Molecular</b>	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	Apariencia	Polvo sólido
<b>Peso Molecular</b>	580.53 g/mol	Color	Blanco a ligeramente amarillo
<b>Densidad</b>	1.66 g/ml	Olor	Cítrico
<b>Índice de Refracción</b>	1.708	Sabor	Amargo
<b>Punto de Fusión</b>	83° (6-8 mol H <sub>2</sub> O) 171° (peso constante a 110°, con 2 mol H <sub>2</sub> O)		
<b>Punto de Ebullición</b>	928.1°C (760 mmHg)		
<b>Solubilidad</b>	Metanol, etanol, acetona, ácido acético caliente, agua caliente		
<b>Insolubilidad</b>	Agua fría, éter de petróleo, éter, benceno y cloroformo		

*Nota:* Información adaptada de Budavari & O'Neil, (1989)

#### 2.7.4.2.1 Propiedades farmacológicas

**Tabla 10.** Principales propiedades biológicas y farmacológicas de la naringina

Propiedades farmacológicas y biológicas	Acciones
<b>Antiinflamatorio</b>	Reduce la permeabilidad capilar, insuficiencia venosa crónica
<b>Antiedemagénico</b>	Combate la insuficiencia venosa crónica, retención de líquidos
<b>Antiagregante plaquetario</b>	Inhibición de plaquetas, evita la formación de trombos y coágulos en venas y arterias
<b>Antiaterogénico</b>	Prevención de enfermedades aterotrombóticas
<b>Antiúlcero</b>	Protector y cicatrizantes de úlceras o lesiones abiertas de la piel
<b>Anticancerígeno</b>	Prevención o retraso de la proliferación de células cancerígenas (Apoptosis)
<b>Antidiabético</b>	Disminución en los niveles de glucosa en sangre
<b>Hipolipemiente</b>	Reducción de lípidos en sangre
<b>Inhibidor potencial</b>	Inhibición de fármacos metabolizando enzimas CYP1A2 y CYP3A4 del citocromo P-450
<b>Antimutagénico</b>	Regulación de la expresión génica, protección contra la mutación por radicales libres
<b>Antioxidante</b>	Captación de radicales libres
<b>Antihipertensivo</b>	Prevención de enfermedades cardiovasculares
<b>Antimicrobiano</b>	Inhibición de crecimiento bacteriano
<b>Antiviral</b>	Prevención de proliferación de virus al sistema inmune

*Nota:* Obtenido de García Mesa, Armenteros Herrera, & Mahía Vilas, (2002)

### 2.7.4.3 Usos y aplicaciones de naringina

**Tabla 11.** Principales funciones y aplicaciones de la naringina en el área de la salud

Aplicaciones y usos	Características
	Antiséptico natural
	Mejora el rendimiento del aparato digestivo y respiratorio
	Aumenta las defensas del sistema inmunológico
	Preserva la flora bacteriana, elimina las levaduras responsables de la fermentación y otros patógenos
<b>Medicinal</b>	Tranquilizante
	Previene enfermedades cardiovasculares
	Con Vitamina C combate resfriados, moretones, úlceras gástricas
	Tratamiento de quemaduras por frío y por irradiación
	Con el consumo prolongado se incrementan los niveles de estrógenos en el cuerpo
	Presenta efecto sinérgico con medicamentos y suplementos alimenticios
<b>Farmacéutica</b>	Sirve para el tratamiento de herpes, diabetes, insuficiencia cardíaca, hematomas, insuficiencia venosa crónica, alcoholismo
	Inhibe secreción de ácidos gástricos y promueve la proliferación celular epitelial
	Precursora del edulcorante “dihidrochalcona”
	Inhibe la oxidación térmica del aceite de palma
	Saborizantes de golosinas, bebidas y productos de panadería
<b>Alimentaria y nutricional</b>	Mejora la microcirculación de los alimentos
	Potencia el sabor de los alimentos, mediante estimulación de las papilas gustativas
	Alarga la vida de los nutrientes de los suplementos y aumenta su potencia
	Reduce el apetito para la pérdida de peso
<b>Químico</b>	Capacidad quelante, formación de complejos

*Nota:* Obtenido de Elías, (2012); Giannuzzo, (2000) y Mc Guire´s, (2005)

#### 2.7.4.4 Métodos de extracción de naringina

Se emplean métodos convencionales de extracción con disolvente, desde, una simple maceración o decocción, hasta el uso de sistemas de Soxhlet, percolación o reflujo. Entre los métodos más modernos, eficaces y reproducibles, se encuentran, la Extracción de fluidos supercríticos (SFE), Extracción Asistida por Microondas (MAE) y Extracción Asistida por Ultrasonido (UAE) (Kuklinski, 2003) y (Yamane & Kato, 2012).

##### 2.7.4.4.1 Extracción por disolventes

La *extracción por disolventes* consiste en poner en contacto la parte seleccionada de la planta o el pericarpio del fruto, con un disolvente capaz de solubilizar los compuestos químicos presentes. Estos compuestos deben de pasar de la materia

prima al disolvente de manera que se obtenga un extracto líquido. Posteriormente, dicho extracto se concentra eliminando la mayor parte del disolvente (Villar del Fresno, 1999). Para que la extracción se lleve a cabo correctamente se deben considerar el cuidado y control de ciertos factores: a) Características de la droga, b) Naturaleza del disolvente, c) Temperatura, d) Tiempo de contacto entre la materia prima y el disolvente, e) Control de difusión celular.

## 2.8 Extracción de Pectina

Los residuos de cítricos, manzanas y otras especies vegetales, presentan un alto porcentaje de material pectínico en la pared celular de sus cortezas. La fibra es el constituyente principal en la pared, le da resistencia, firmeza y textura externa a los frutos y plantas (Valencia & Francia, 2004). Se presentan como:

- *Fibra Insoluble (Polisacáridos estructurales)*: celulosa, pectinas, hemicelulosa y trazas de Lignina.
- *Fibra Soluble (Polisacáridos no estructurales)*: gomas y mucílagos.

La pared de las células vegetales es una matriz compleja que protege y da rigidez a las células, define la estructura y da soporte a los tejidos. Está compuesta por una red de carbohidratos (polisacáridos pécticos, celulosa y hemicelulosa), proteínas, polímeros complejos derivados de los fenilpropanoides y alcoholes aromáticos, como la lignina, suberina y ceras como la cutina. (Suárez & Orozco, 2014). Los 3 grupos principales de polisacáridos estructurales que presenta la pared celular vegetal son:

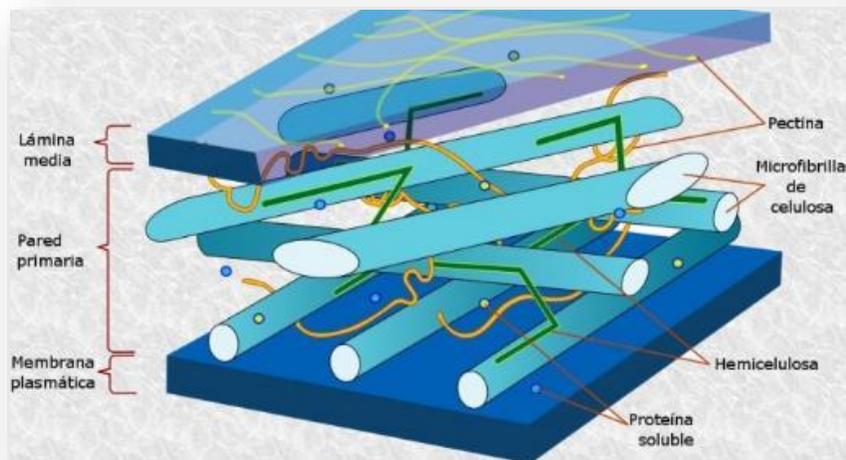
- a) **Celulosa**: Estructura principal de soporte de la pared. Se compone de 8 enlaces  $\beta$ -(1-4)-glucano organizadas en microfibrillas cristalinas. Confiere la estructura y rigidez a las células.
- b) **Hemicelulosa**: Conjunto heterogéneo de diferentes monómeros (xilanos, arabinosa, manosa, galactosa, etc.), unidos con enlaces  $\beta$ -(1-4)-glucano.
- c) **Pectina**: Mezcla de polímeros ácidos y neutros que se extienden por la lámina media y mantiene las células adyacentes; tiene un alto contenido de ácido D-galacturónico, confiere la textura a las plantas y frutos.

### 2.8.1 Definición

El término **pectina** proviene de la palabra griega “*pekos*” que significa, denso, espeso, coagulado, es una sustancia mucilaginoso de las plantas superiores (Rodríguez & Román Henríquez, 2004). Son heteropolisacáridos no estructurales de tejidos vegetales, (parenquimáticos y merismáticos). Se caracterizan por ser polvos blancos amorfos de moléculas complejas con un elevado peso molecular y solubles en agua (Valencia & Francia, 2004).

### 2.8.2 Localización

Se encuentran en la pared celular primaria y en las laminillas medias; las cuales, se comportan como cemento intracelular y conforman la parte estructural interna de frutos y vegetales (Lanrewaju, Adekunle, Orsat, & Vijaya, 2016).



**Figura 10.** Componentes principales de la pared vegetal

Nota: Obtenida de Ruíz V. M., (2014)

Los tejidos vegetales se componen de sustancias pécticas que conforman parte de la pared celular. Se dividen en:

- **Protopectina:** Polímero de ácido galacturónico no metilado que se encuentra en las frutas inmaduras, no forma geles.
- **Ácido pectínico:** Polímero de ácido galacturónico metilado, se forma a partir de la protopectina cuando la fruta es madura, tiene un elevado peso molecular y forma geles, como las pectinas.
- **Ácido péctico:** Derivado desmetilado del ácido pectínico de cadena corta que se encuentra en frutas muy maduras, no forma geles (Arthey, 1997).

### 2.8.3 Composición química de la pectina

El ácido D-galacturónico es la principal unidad monomérica de la estructura molecular de la pectina (ver figura 11); se caracteriza por tener la forma oxidada de la D-galactosa. Estas unidades moleculares se enlazan mediante enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1,4 galacturónico, la unión de estas moléculas genera la estructura de un ácido poligalacturónico.

La estructura lineal de la pectina está parcialmente interrumpida por cadenas laterales (1,2), enlazadas en su mayoría por unidades de L-ramnosa y de otros azúcares neutros, puede tener hasta 17 moléculas de monosacáridos como: xilosa, arabinosa, y ácido glucurónico que conforman la estructura molecular de la

pectina provocando una discontinuidad en la conformación lineal (Vaclavik & Christian, 2002).

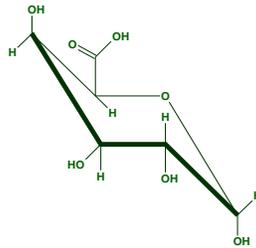


Figura 11. Estructura química del ácido D-galacturónico

La galactosa es el azúcar neutro que se encuentra en mayor proporción en la estructura de pectinas tanto en cítricos como en manzanas, sin embargo, estudios recientes de Methacanon, Krongsin, & Gamonpilas (2014), establecen que la *arabinosa* es el azúcar neutro con mayor proporción en la pectina del pomelo (toronja).

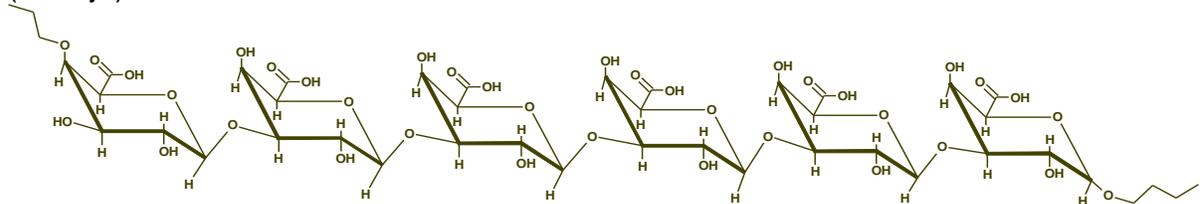


Figura 12. Estructura química de la pectina

La estructura de la pectina se presenta en diferentes secciones poliméricas de carbohidratos como:

- ✓ *Homogalacturano (HG)*, constituye el 65% de la estructura de pectina
- ✓ *Xilogalacturano (XGA)*, constituye menos del 10% de pectina
- ✓ *Ramnogalacturano I (RGI)*, constituye entre un 20%-35% de pectina
- ✓ *Ramnogalacturano II (RGII)*, constituye menos del 10% de la pectina

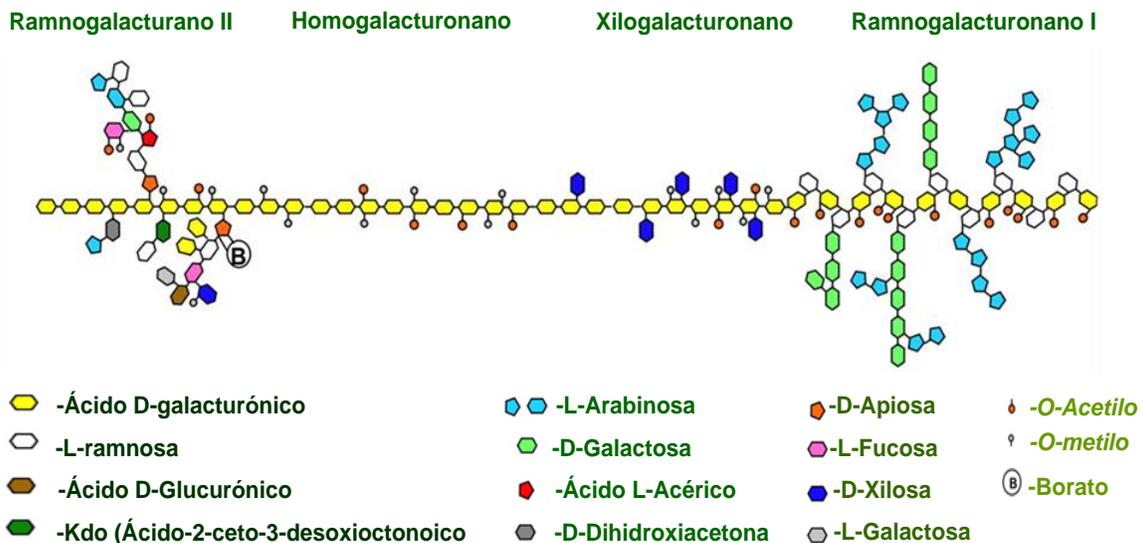


Figura 13. Componentes principales de la estructura de la pectina

Nota: Adaptada de Jesper & Anongpat, (2010)

## 2.8.4 Clasificación de las pectinas

Las pectinas presentan grupos carboxilo a lo largo de la cadena de ácido galacturónico, algunos de ellos se presentan como ésteres metílicos y otros como amidas. La ruptura del éster puede ser provocado por una enzima o por el método de extracción generando un cambio en el grado de esterificación (DE), este último depende de la especie, el tejido y madurez del vegetal (Piriyaprasarth & Sriamornsak, 2011). Tanto el DE como el grado de amidación (DA) son un parámetro importante para clasificar a las pectinas como:

- **Pectinas de bajo metoxilo (LM):** Tienen entre 20-40% de grupos carboxilo esterificados. Forman enlaces cruzados con iones divalentes ( $\text{Ca}^{2+}$ ), generando una red tridimensional que atrapa el líquido y forma geles.
- **Pectinas de alto metoxilo (HM):** Tienen 50-58% de grupos carboxilo esterificados, pueden gelificarse por la presencia de azúcares y ácidos. Se utilizan para formar geles.
- **Pectinas amídicas (LMA):** Se obtienen de pectinas LM, al someterse a un tratamiento ácido o alcalino. Las pectinas LM pueden ser amidadas (LMA), o no amidadas (LMC). También se puede realizar con pectinas HM mediante una hidrólisis alcalina en amoníaco. Los grupos metoxilo que se sustituyen por grupos amidas, requieren calcio para gelificar (Arthey, 1997).

## 2.8.5 Propiedades fisicoquímicas y funciones biológicas de las pectinas

**Tabla 12.** Principales características fisicoquímicas que presentan las pectinas

Propiedades	Características
Aspecto	Polvo
Color	Amarillo claro a café claro
Olor	Inoloro
Peso molecular	(20,000-30,000) g/mol
Acidez	pH=7.0
Cte. de disociación ( $\alpha$ )	(0.1-10) $\times 10^{-4}$ (19°C)
Solubilidad	Agua a (25°C), Formamida, dimetilformamida, dimetilsulfóxido (DMSO), glicerina caliente
Insolubilidad	Solventes orgánicos, detergentes cuaternarios, polímeros y proteínas

Nota. Adaptado de Suárez & Orozco, (2014)

**Tabla 13.** Principales usos de las pectinas

Funciones biológicas	Características
Salud Humana	Contiene fibras que le ayudan al sistema digestivo
	Disminución de colesterol en sangre
	Protector y regulador del sistema gastrointestinal
	Regulan el crecimiento de la planta
	Desarrollo de la morfogénesis
Reino Vegetal	Defensa ante agentes externos
	Adhesión célula-célula
	Porosidad de la célula
	Unión de iones
	Modulación de enzimas
	Hidratación de semillas
	Abscisión de hojas y frutos
Crecimiento del tubo polínico	

Nota: Adaptado de Ochoa Villarreal, Aispuro Hernández, & Aispuro, (2012)

## 2.8.6 Usos y aplicaciones industriales de las pectinas

A continuación, se mencionan las principales industrias que utilizan las pectinas tanto para la elaboración de productos comercializados como en el desarrollo de los procesos industriales, siendo la industria alimentaria y farmacéutica las que le dan una amplia utilidad, como se observa en la *Tabla 14*.

**Tabla 14.** *Funciones de las pectinas en el sector industrial*

Industrias	Propiedades
<b>Alimentaria</b>	Espesante
	Texturizador
	Emulsificante
	Estabilizador
	Agente gelificante en mermeladas y jaleas
	Materiales de relleno o estabilizador en confitería
	Productos lácteos
	Panadería
	Helados y glaseados
	Sustituto de grasa en cremas para untar
	Aderezos para ensaladas
	Productos cárnicos emulsionados
Industrias	Propiedades
<b>Farmacéutica</b>	Espesante
	Emulsificante
	Estabilizante
	Efecto terapéutico
	Antidiarreico
	Gelificante
	Aglutinante y formador de películas
	Potenciador de la acción de principios activos
	Polímero mucoadhesivo para el suministro de fármacos
	Coagulante sanguíneo
	Antídoto en intoxicaciones con metales pesados
	Preparación de los medios de cultivo bacteriológico

*Nota:* Fuente adaptada de Ochoa Villarreal, Aispuro Hernández, & Aispuro, (2012) y Rodríguez & Román Henríquez, (2004)

## 2.8.7 Métodos de extracción de las pectinas

En cada método de extracción se obtienen pectinas de diferentes propiedades, debido a su compleja estructura y variación natural. Muchas de sus diferencias se sustentan por el tipo de especie, grado de maduración, y condiciones de almacenamiento (Ochoa Villarreal, Aispuro Hernández, & Aispuro, 2012).

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo General

Diseñar una metodología con enfoque sostenible para la obtención de aceite esencial, naringina y pectina, presentes de los residuos generados de la obtención del jugo de la especie de *Citrus x paradisi Macfaed* (toronja) utilizando un proceso amigable con el medio ambiente.

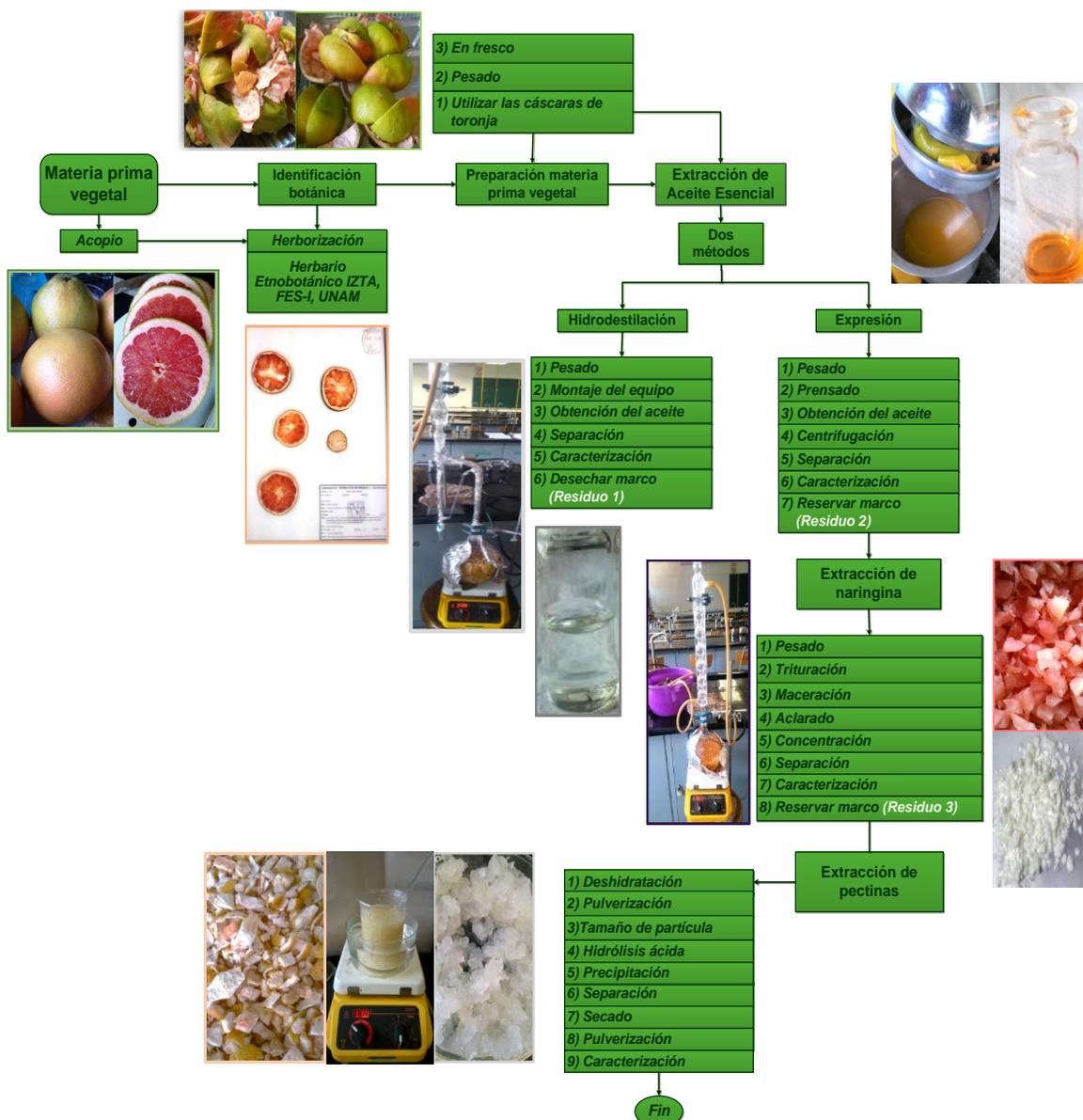
### 3.2 Objetivos Particulares

- Realizar una investigación documental en diversas fuentes de información que permitan justificar y fundamentar el desarrollo del proyecto.
- Acopiar un ejemplar vegetal para herborizar e identificar la especie botánica a través del herbario etnobotánico IZTA de la FES IZTACALA, UNAM.
- Implementar una metodología para el proceso de extracción y caracterización del aceite esencial mediante diferentes técnicas para la obtención de un producto de mejor calidad.
- Elaborar un método de obtención e identificación de naringina a través de técnicas de extracción y pruebas fisicoquímicas para la optimización del rendimiento y mejoramiento de las propiedades del producto bruto.
- Establecer las condiciones apropiadas para un método extractivo de pectinas mediante la modificación de factores específicos que permitan generar un material pectínico en específico.
- Estimar los costos de la metodología empleada a través de la búsqueda de información con proveedores para comprobar que la metodología es económicamente viable.

## 4 METODOLOGÍA

El procedimiento experimental para la extracción de 3 subproductos del bagazo de toronja se divide de la siguiente manera (*Diagrama 1*):

- Selección, herborización e identificación
- Extracción, separación, identificación y caracterización de:
  - I. Aceite esencial
  - II. Naringina
  - III. Pectina
- Análisis de costos



*Diagrama 1. Metodología de la extracción de tres subproductos de la cáscara de toronja*

Fuente: Elaboración propia

## 4.1 Selección de la materia prima

Las toronjas se adquirieron en la tienda comercial Walt Mart “Town Center El Rosario” ubicada en Av. Rosario, No. 1025, El Rosario, C.P. 02430, Ciudad de México.

### 4.1.1 Herborización e identificación del fruto cítrico

Se deshidrataron dos frutos de toronja con etanol, se cubrieron para evitar su contaminación. Se llevaron al Herbario Etnobotánico IZTA de la FES IZTACALA, UNAM para su identificación botánica.

### 4.1.2 Parte utilizada del fruto

Se trabajó únicamente con la cáscara de toronja.

### 4.1.3 Control de calidad al fruto de toronja

Para el control de calidad de la cáscara se consideró los siguientes aspectos:

- Textura, color (de la cáscara y gajos), olor, sabor, tamaño del fruto, peso del fruto.

## 4.2 Extracción del Aceite Esencial de Toronja

Para la selección de los métodos de extracción de aceite esencial se consideraron factores como:

- La naturaleza de la materia prima (cítricos)
- La parte del fruto a utilizar (pericarpio)
- La densidad del aceite esencial (con valor  $<1$ , respecto a la densidad del agua)

### 4.2.1 Método mecánico por expresión o prensado

- 1) Se realizó un lavado y secado previo a las toronjas, registrando el peso de cada fruto. Posteriormente se cortaron a la mitad separando el pericarpio de la parte comestible, se registró el peso.
- 2) Las toronjas se prensaron con un exprimidor de naranjas manual, cuidando de adicionar agua destilada de manera continua (*residuo 2*).

#### 4.2.1.1 Recolección y separación de la emulsión aceite esencial-agua

La mezcla aceite-agua se recolectó en un recipiente de metal de 1 L, se conservó en refrigeración por 24 h. La separación de la emulsión fue por centrifugación a

una velocidad de 3000 rpm/min por 20 min. El aceite esencial obtenido se almacenó en un frasco ámbar previamente etiquetado a 4°C. Posteriormente, se determinó el rendimiento del aceite.

#### 4.2.2 Método por hidrodestilación

- 1) La preparación de la materia prima vegetal consistió en lavar, secar y registrar los pesos de cada fruto. Se separó el pericarpio de la parte comestible del fruto (gajos). Se cortaron las cáscaras en pedazos de aproximadamente 1x1 cm, se pesaron y se colocaron en un matraz bola de 3 L, añadiendo 1.5 L de agua destilada.
- 2) Se montó un equipo de Hidrodestilación utilizando una trampa tipo Clevenger (*Fotografía 2*). Se calentó a ebullición por 2 h aproximadamente.

##### 4.2.2.1 Separación de la emulsión aceite esencial-agua

Se recolectó el aceite directamente de la trampa y se almacenó en un frasco ámbar a 4°C de temperatura.



**Figura 14.** Equipo de hidrodestilación con una trampa tipo Clevenger  
Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3 Control de calidad del aceite esencial

Para evaluar la calidad de los aceites esenciales se consideraron los siguientes parámetros:

#### 4.2.3.1 Análisis sensorial

- a) **Aspecto físico:** El estado de agregación en que se encuentra el material a evaluar.
- b) **Olor:** Se tomó como referencia, la clasificación de los aromas en base a las cualidades aromáticas de los componentes químicos que entrecruzan en el vino (Services, Consulting Network, 2016) y (Arthey, 1997).

En la siguiente tabla se muestran los diferentes tipos de aromas:

*Tabla 15. Clasificación de aromas presentes en vinos*

Tipo de Serie	Descripción
<b>Floral</b>	Olor que asemeja a las rosas, jazmín, violetas
<b>Frutal</b>	Se distingue un olor semejante a plátano, melocotón o cítrico y el grado de madurez de los frutos: fresco, maduro, confitado, escarchado.
<b>Vegetal</b>	Olores de hierbas, hojas verdes
<b>Animal</b>	Corresponden con los aromas almizclados de determinadas variedades de uva y con las notas de caza y carne que aparecen en ciertos vinos al envejecer.
<b>Madera</b>	Olores originados por taninos o derivados de maderas para envejecer los vinos
<b>Especiada</b>	Espicias como: el clavo, canela, pimienta, vainilla, mostaza
<b>Balsámica</b>	Olores de resina fina como: pino alcanfor, incienso
<b>Química</b>	Presencia de olores azufrados o ácido acético en vinos
<b>Ésteres</b>	Formados por la fermentación y combinación de ácidos o alcoholes. Los ácidos volátiles producen aromas afrutados y desagradables como el ácido acético
<b>Empireumática</b>	Olores a quemado, ahumado, cocido

*Nota:* Adaptado de Services, Consulting Network (2016)

- c) **Color:** Esta propiedad se caracteriza en base a la interpretación del modelo de color RGB y de las Cartas Munsell<sup>2</sup> (Lynn & Pearson, 2000).

<sup>2</sup> En el anexo K se hace mención acerca del modelo RGB y Cartas Munsell

#### 4.2.3.2 Propiedades físicas

##### 4.2.3.2.1 Índice de Refracción

Se utilizó un refractómetro ABBE, con precisión de 0.0002 (calibrando el instrumento con agua destilada,  $n_D^{20}=1.3330$ ). Se limpiaron los prismas con alcohol isopropílico y se registró las lecturas de los aceites esenciales; así como, sus temperaturas, (corregir los resultados del  $n_D^{20}$  en base a lo establecido en la norma (NMX-F-074-SCFI, 2011) utilizando el factor de correlación, ajustando la temperatura ambiental con la establecida en la norma (20°C)<sup>3</sup>.

##### 4.2.3.2.2 Densidad Relativa o Gravedad Específica ( $\rho$ )

Se determinó la densidad relativa empleando el método del picnómetro, de acuerdo con la (NMX-F-075-SCFI, 2012)<sup>4</sup>. Se modificó el método sustituyendo el picnómetro por matraces aforados de 1 mL, (debido a la falta del material y por el bajo rendimiento de los aceites esenciales). Se lavaron y limpiaron dos matraces aforados de 1 mL llevándolos a peso constante y se calibraron con agua destilada cuidando la temperatura de ambos; se registró el peso de cada uno.<sup>5</sup>

##### 4.2.3.3 Cromatografía en Capa Fina (CCF)

Se utilizó como sistema de elución una mezcla de tolueno-acetato de etilo 0.4:7; como fase estacionaria, cromatofolios de aluminio, silica gel 60 con indicador de fluorescencia marca Sigma-Aldrich; placas de 2 x 5 cm y luz UV como revelador, (ver Figura No. 18).

##### 4.2.3.4 Espectroscopía Infrarroja (IR)

Para la obtención de espectros IR se utilizó un espectrofotómetro de Infrarrojo, FT-IR Thermo Scientific™ Nicolet™ iS™ 10 con punta de diamante; las muestras se colocaron sin tratamiento previo.

### 4.3 Extracción del flavonoide naringina

En la extracción se utilizó el método de maceración dinámica con la siguiente secuencia: Se trituraron los residuos sólidos del pericarpio prensado (*Residuo 1, método por expresión*), hasta obtener fragmentos de tamaño de 1 mm en promedio. Se pesaron en una balanza granataria, 300 g de cáscara trituradas, colocándolas dentro de un matraz bola de 3 L, se adicionaron 1.5 L de acetona (previamente destilada) hasta cubrir toda la materia prima.

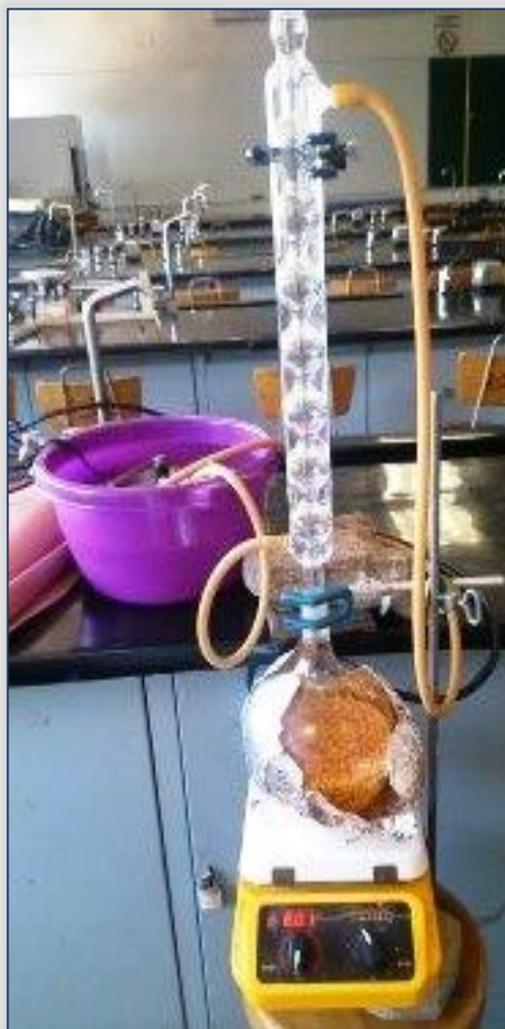
---

<sup>3</sup> El cálculo del índice de refracción (nD) se presenta en el Anexo E. Todos los aparatos utilizados en el desarrollo experimental se enlistan en el anexo J

<sup>4</sup> Para la determinación de la densidad relativa se ocupan matraces volumétricos de 1 mL

<sup>5</sup> El cálculo de la densidad relativa ( $\rho$ ) se muestra en el Anexo F

Se montó un sistema como el ilustrado en la *figura 14*. El proceso se realizó con las siguientes condiciones: temperatura ambiente, agitación constante por un tiempo de 1-1.5 h y protegido de la luz, repitiendo el proceso dos veces más. El extracto recolectado se cubrió de la luz; el marco sólido se reservó y se secó para la obtención de pectinas (*residuo 3*)<sup>6</sup>.



**Figura 15.** Sistema de extracción de naringina  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.3.1 Aclaramiento del extracto de naringina

Para el aclaramiento del extracto se procedió a empacar una columna cromatográfica con los siguientes materiales en orden de abajo hacia arriba: trocito de algodón, 1.5 cm de sulfato de sodio anhidro y 2.0-2.5 cm de carbón

---

<sup>6</sup> El marco sólido del proceso de extracción se recuperó extendiéndolo dentro de una charola o papel absorbente hasta quedar completamente seco

activado. Se percoló el extracto acetónico a través de estos materiales; el percolado se recibió en un matraz Erlenmeyer de 500 mL, protegido de la luz.



**Figura 16.** Aclaramiento del extracto de naringina  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.3.2 Concentración del extracto acetónico

El percolado se concentró en un rotavapor hasta casi sequedad. La acetona recuperada se destila para su posterior reutilización.

#### 4.3.3 Precipitación y recristalización de la naringina

Al extracto concentrado se le adicionó el mismo volumen de agua destilada caliente, dejando está solución precipitar de 1 a 2 días. Se filtró a vacío para enjuagar la naringina cruda. Posteriormente se secó, pesó y se calculó el rendimiento.

#### 4.3.4 Caracterización e identificación

Para caracterizar e identificar la naringina cruda extraída se comparó con un estándar de naringina, Marca Sigma Life Science, Lote: BCBC7695, CAS: 10236-47-2.

#### 4.3.4.1 Propiedades físicas

Se realizó un comparativo de las propiedades organolépticas que presentan los sólidos del estándar y de la naringina cruda. Para la determinación del color, se tomó como referencia el código RGB y las cartas Munsell (Lynn & Pearson, 2000).

#### 4.3.4.2 Punto de fusión

Se determinaron los puntos de fusión del estándar y naringina cruda en un aparato de Fisher-Johns.

#### 4.3.4.3 Microscopía

Se obtuvieron las micrografías de la naringina cruda y estándar en un Microscopio óptico, y en un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)<sup>7</sup> para su posterior análisis.

#### 4.3.4.4 Espectroscopía Infrarroja

Se obtuvieron los espectros infrarrojos de naringina estándar y cruda en un espectrofotómetro de Infrarrojo, con punta de diamante para su posterior análisis<sup>8</sup>.

### 4.4 Extracción de Pectina

El marco obtenido del proceso anterior (*residuo 2*) se trituró y pasó a través de los tamices No. 30 y 100. Se determinó el peso del polvo obtenido.

#### 4.4.1 Hidrólisis ácida

Se preparó una solución de ácido cítrico 0.5 M ajustada a un pH=2.2. Por cada gramo de polvo de cáscara tamizada se utilizaron 15 mL de solución de ácido cítrico. Se pesaron 30 g polvo de cáscara y se midieron 450 mL de ácido cítrico, se colocaron en un vaso de precipitados de 1 L.

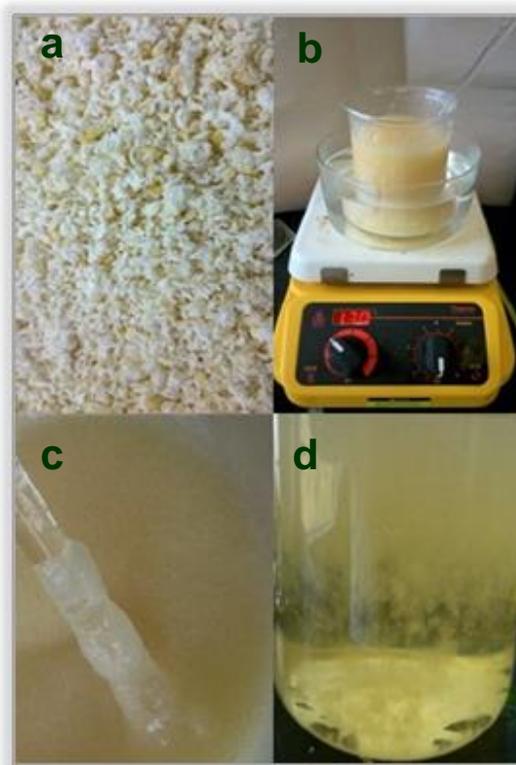
Toda la mezcla se llevó a baño maría con agitación constante a 70°C por 1 h. En la *Figura 17* se ilustra el procedimiento general de la reacción de hidrólisis ácida partiendo de:

- a) cáscara o pericarpio deshidratado de la toronja
- b) calentamiento y agitación constante a un tiempo determinado
- c) formación de la pectina
- d) precipitación de la pectina con alcohol etílico.

---

<sup>7</sup> Ver anexo J

<sup>8</sup> Utilizar la punta para sólidos en forma plana



**Figura 17.** Pasos principales en la reacción de hidrólisis ácida de la cáscara de toronja.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 Filtración

Completado el tiempo de la reacción de hidrólisis, se dejó enfriar por 30 min. Se filtró la mezcla pasándola a través de una gasa o manta de cielo, el filtrado se colecta en un recipiente y se reservan los residuos retenidos (*residuo 3*).



**Figura 18.** Residuos sólidos filtrados de la reacción de hidrólisis ácida  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3 Precipitación

Al filtrado se le agregó alcohol etílico (96°) utilizando el mismo volumen (1:1) que, de agua acidificada para precipitar la pectina, se dejó reposar por 2 h.

Transcurrido el tiempo se filtró el material pectínico, se recolectó y centrifugo el filtrado a 2500 rpm/min por 20 min. Se realizaron dos lavados más a la pectina extraída con una mezcla de alcohol etílico/agua destilada (70:30), para eliminar residuos e impurezas al producto final<sup>9</sup>.

#### 4.4.4 Secado, molienda y tamizado

Se secó el material pectínico en una estufa, a una temperatura de 50°C, por un tiempo de 12 a 24 h. La pectina se trituro en un mortero y se tamizó por medio de una malla No. 100. Se pesó y se almacenó la pectina en un frasco ámbar para después calcular el rendimiento.

#### 4.4.5 Caracterización de las pectinas

Para caracterizar las pectinas, se realizó un comparativo con un estándar de pectinas de cáscara de cítricos, marca Sigma-Aldrich, Lote: SLBH9128V, conteniendo un porcentaje de ácido Galacturónico  $\geq 74\%$  (base seca).

##### 4.4.5.1 Propiedades sensoriales

Se compararon y evaluaron las características de cada material pectínico considerando las siguientes especificaciones:

- a) **Aspecto físico:** sólido, polvo, granulado, si se encuentra apelmazado o tamizado.
- b) **Color:** Se determinó el color por comparación de la muestra con el sistema RGB y cartas Munsell (Lynn & Pearson, 2000).

##### 4.4.5.2 Propiedades químicas

Para evaluar las propiedades de las pectinas obtenidas se efectuaron las siguientes determinaciones:

##### 4.4.5.2.1 Determinación de cenizas

La determinación se realizó siguiendo el procedimiento A.O.A.C., 923.03, (Howitz, 2005). *Ver anexo F.*

---

<sup>9</sup> El alcohol etílico (96°) que es recuperado se destila nuevamente para ser reutilizado.

#### 4.4.5.2.2 *Determinación de grupos metoxilo*

Para la determinación se utilizó como referencia “*El ensayo de grupos metoxilo*”, descrito en la monografía de *Pectina (9000-69-5) de la USP 29*, (Hong, 2015).

#### 4.4.5.2.3 *Determinación de ácido galacturónico*

La determinación se realizó de acuerdo con el procedimiento “*Ensayo para ácido Galacturónico*”, descrita en la monografía de *Pectina (9000-69-5) de la USP 29*, (Hong, 2015).

#### 4.4.5.2.4 *Determinación del grado de Esterificación (DE)*

Esta determinación se llevó a cabo siguiendo el método de Owens (1952).

#### 4.4.5.3 *Microscopía*

Se obtuvieron las micrografías correspondientes a la pectina estándar y cruda, utilizando un microscopio óptico y un microscopio electrónico de barrido.

#### 4.4.5.4 *Espectroscopía infrarroja*

Se obtuvieron los espectros infrarrojos correspondientes a las muestras de pectina estándar y cruda.

#### 4.4.5.5 *Evaluación ecológica de la metodología experimental*

Se evaluó la metodología desarrollada conforme a los principios de la química verde de Vargas y cols. (2016), así como, la clasificación de los residuos generados.

#### 4.4.5.6 *Análisis de costos de la metodología de la extracción de pectina*

##### 4.4.5.6.1 *Análisis comparativo de los precios comerciales de los subproductos de toronja*

Se realizó un análisis del costo generado de cada subproducto extraído de las cortezas de toronja de la metodología utilizada para compararlo con el precio de estándares.

## 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 Materia prima (residuos de toronja)

#### 5.1.1 Selección y control de calidad del fruto

*Tabla 16. Propiedades sensoriales de los frutos seleccionados de toronja*

Indicadores sensoriales	Criterios de aceptación	Resultados
Estado Físico	Forma, tipo de piel, defectos, material extraño	Redondeada, Piel rugosa a lisa, sin grietas ni m.o. <sup>10</sup>
Color de la cáscara	Verde-amarillo, amarillo-naranja	Verde-amarillo <sup>11</sup>
Color de la pulpa	Modelo de color RGB Cartas Munsell	RGB: 220,20,60 <sup>12</sup> Munsell: 5/8 Hue 10R
Olor	Aroma primario (frutal)	Cítrico
Sabor	Agridulce-amargo	Amargo

*Tabla 17. Características físicas de los frutos de toronja*

Indicadores Físicos	Especificaciones	Resultados
Peso de toronja (g)	200-600 g	445.18 g
Tamaño del diámetro fruto (mm)	>89 mm	106.48 mm
Peso de pericarpio (g)	-	129.45 g
(%)	45-60%	28.71%
Peso de albedo (g)	-	76.25 g
(%)	45-60%	58.76%
Peso de flavedo (g)	-	53.20 g
(%)	45-60%	41.24%

La selección y control de calidad de las toronjas se realizó en base a “la apariencia externa de los frutos”, mediante una inspección sensorial, así como, la presencia o ausencia de contaminación bacteriana o suciedad (ver *Tabla 16*). Al ser productos frescos comercializados de exportación e importación y con una alta demanda por el consumidor se someten a un monitoreo constante en su calidad con el fin de cumplir con las normas y especificaciones establecidas nacional e internacionalmente<sup>13</sup>.

En su trabajo, Márquez (2009), argumenta que la maduración o índice de madurez de los cítricos afecta directamente en las propiedades sensoriales de los frutos debido a las reacciones internas que sufre conforme éste se va desarrollando hasta ser recolectado, provocando la aparición o pérdida de pigmentos u otros componentes, sin descartar la influencia de otros factores como el tipo de especie cítrica, fenotipos o factores de carácter ambiental.

<sup>10</sup> m.o = microorganismos

<sup>11</sup> Estado inmaduro, presencia de clorofila y en estado maduro prevalecen los carotenoides

<sup>12</sup> Para la evaluación de la coloración de la pulpa me base en el modelo RGB y cartas Munsell, ver anexo K

<sup>13</sup> Consultar la NMX-FF-039-1995. Productos alimenticios no industrializados para uso humano, fruta fresca, Toronja (*Citrus paradisi*), CODEX STAN 219-1999. Normas para Citrus paradisi.

Para la determinación del **color**, se recurrió a la consulta de Cartas Munsell, por ser un sistema preciso en mostrar la relación de colores, registrado a base de su tono/valor/saturación, en relación a lo argumentado por García de la Fuente, Pardo-B., & al., (2017). Así como el uso del modelo RGB, en el que se hace referencia a la proporción de los colores primarios empleados para lograr un color específico, como se muestra en la *Tabla 16*, al determinar y registrar el color de la cáscara y pulpa de la toronja.

Respecto a la asignación del **olor** se consultó la clasificación de los descriptores de vinos, aunque en este caso, fue muy evidente el olor característico del cítrico de toronja en fresco.

En la *Tabla 17*, se muestra el peso de toronja, así como el porcentaje promedio de la cáscara que contiene. En base a lo establecido por autores como Cohn, (1997) y García Pérez, Ponciano & García Días, (2010), reportan un porcentaje de cáscara que varía entre un 45-60% de peso del cítrico. Sin embargo, en este trabajo se observó que el porcentaje promedio de cáscara o pericarpio de toronja es del 29%, descartando el resto del bagazo del fruto, lo cual, contrasta con lo establecido en la literatura y por lo tanto el rendimiento de los subproductos extraídos varían, pero manteniéndose dentro de los valores de rango reportados<sup>14</sup>.

En el *anexo D*, se muestra en la *Tabla 43*, un registro periódico del trabajo experimental en relación con el peso del fruto y de la cáscara (materia prima), para determinar la variación del porcentaje del pericarpio en distintas temporadas del año. Como puede observarse en el primer cuatrimestre se registran los pesos más bajos del fruto de toronja, con un porcentaje de cáscara inferior en comparación con lo registrado en el último cuatrimestre del año. En donde el cítrico presenta mayor peso, más cantidad de jugo y un porcentaje mayor del pericarpio de los frutos. Se registra también el porcentaje del albedo partiendo del peso de la cáscara que, en promedio representa el 60%, mientras el 40% restante es del flavedo.

### 5.1.2 Identificación botánica de la especie cítrica

En el herbario etnobotánico IZTA de la FES Iztacala, UNAM, se expidió un certificado y cédula de identificación (*Fotografía 2*) proporcionando la información que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 18.** Datos de certificado de identidad de toronja

Nombre Común	Nombre Científico	Familia	No. de Registro IZTA
Toronja	<i>Citrus x paradisi</i> Macfady	Rutaceae	2396IZTA

<sup>14</sup> Consultar Anexo K

HERBARIO IZTA	FLORA ÚTIL DE MEXICO	FES-IZTACALA
Nº REG. 2396	FAM.: RUTACEAE	
N.C.: <i>Citrus x</i>	<i>paradisi</i>	Macfady
N.P.: Toronja		
EDO. Distrito Federal		
LOC.: Tienda de autoservicio Walt Mart, unidad El Rosario.		
TIPO DE VEG.:		
COORD. y	ALT.:	m.s.n.m
OBS.: Tesis QFB FES-C: "Extracción, separación, purificación e identificación de los componentes químicos presentes en el bagazo de <i>Citrus x paradisi</i> Macfady (RUTACEAE) (toronja) de importancia industrial".		
COL. Lidia Martínez Vargas		
Nº DE COL: s.n.	FECHA: 20 / Octubre / 2014	
DET.: Patricia Jáquez Ríos		
USOS: Medicinal (para la prevención de enfermedades circulatorias: hipertensión, acciden		

**Fotografía 2.** Cédula de identificación de la especie de toronja

### 5.1.3 Análisis macroscópico del fruto del pericarpio de toronja



**Fotografía 3.** Vesículas jugosas del Mesocarpio



**Fotografía 4.** Corte transversal de toronja



**Fotografía 5.** Albedo de toronja



**Fotografía 6.** Semilla de toronja



*Fotografía 7. Flavedo o exocarpio de toronja*

Se muestran algunos de los componentes que caracterizan a la fisiología de un fruto de toronja, por ejemplo:

En la *Fotografía 3*, se presentan con mayor acercamiento las vesículas jugosas de los carpelos, en el centro se ilustra el septum, la línea rojiza definida.

En la *Fotografía 4*, se observa la parte transversal de una toronja, (mesocarpio), está conformada con 13 carpelos firmes, compuestos con glándulas jugosas y separadas por líneas llamadas septos o “septum”, en el centro se ubica el eje transversal, el cual suele ser sólido o amorfo, a las orillas de los carpelos presenta una proporción de albedo.

En la *Fotografía 5*, se presenta, una parte del albedo o endocarpio, la cual, tiene un aspecto esponjoso de color blanco, se observa la separación delineada entre el albedo y la orilla de un carpelo.

En la *Fotografía 6*, se muestran las semillas de la toronja. Presentan una forma elíptica u ovalada, es de color blanco, son muy escasas en este fruto cítrico, se caracterizan por ser poliembriónicas suele tener entre 4 a 6, dependiendo la variedad.

En la *Fotografía 7*, se ilustra una parte de la corteza de toronja.

La parte externa, flavedo o exocarpio, se caracteriza por contener glándulas oleosas, que le dan un brillo y atracción particular al fruto. Presenta un color característico que depende entre varios factores de su proceso de madurez, de pigmentos carotenoides, clorofila; así como, la presencia de flavonoides que ocasionan un cambio en la coloración durante el desarrollo del fruto tanto en su interior como exterior.

## **5.2 Aceite Esencial de Toronja**

### **5.2.1 Métodos de extracción**

En la *Tabla 19* se muestran los principales factores empleados en ambos métodos de extracción, teniendo como principal variación el tiempo y la temperatura, utilizando la misma materia prima en ambos métodos extractivos.

**Tabla 19.** Parámetros específicos en cada método de extracción de aceite esencial

Condiciones Específicas	Métodos de extracción	
	Hidrodestilación	Expresión
Materia prima	Residuos sólidos	Residuos sólidos
Cantidad de materia prima (g)	300 g	300 g
Cantidad de agua (mL)	1.5 L	1L
Temperatura (°C)	T. ebullición	T. ambiente
Tiempo (h)	2 h	30-45 min

En la *Tabla 20* se muestran los rendimientos de los aceites esenciales, a pesar de utilizar la misma cantidad de cáscaras de toronja, se obtienen rendimientos y cantidades diferentes.

**Tabla 20.** Porcentaje de rendimiento de aceite esencial en cada método extractivo

Métodos de extracción	Cantidad de materia prima	Volumen de AE	Rendimiento teórico (%)	Rendimiento experimental (%)
Hidrodestilación	300 g	1.8 ml	(0.01-0.79) % <sup>15</sup>	<b>0.51%</b>
Expresión	300 g	0.8 ml	0.20% <sup>16</sup>	<b>0.22%</b>

De acuerdo con la literatura el método de extracción más recomendable para aceites cítricos es el de expresión, aunque tiene la desventaja de tener rendimientos bajos (0.22%) con respecto a la hidrodestilación (0.51%). Esta diferencia de rendimientos se puede deber a que la presión ejercida durante el proceso no fue la suficiente para obtener un mayor rendimiento, sin embargo, como se observa en la *Tabla 20*, ambos rendimientos están dentro de lo documentado.

### 5.2.2 Evaluación ecológica de los procesos de extracción de aceite esencial

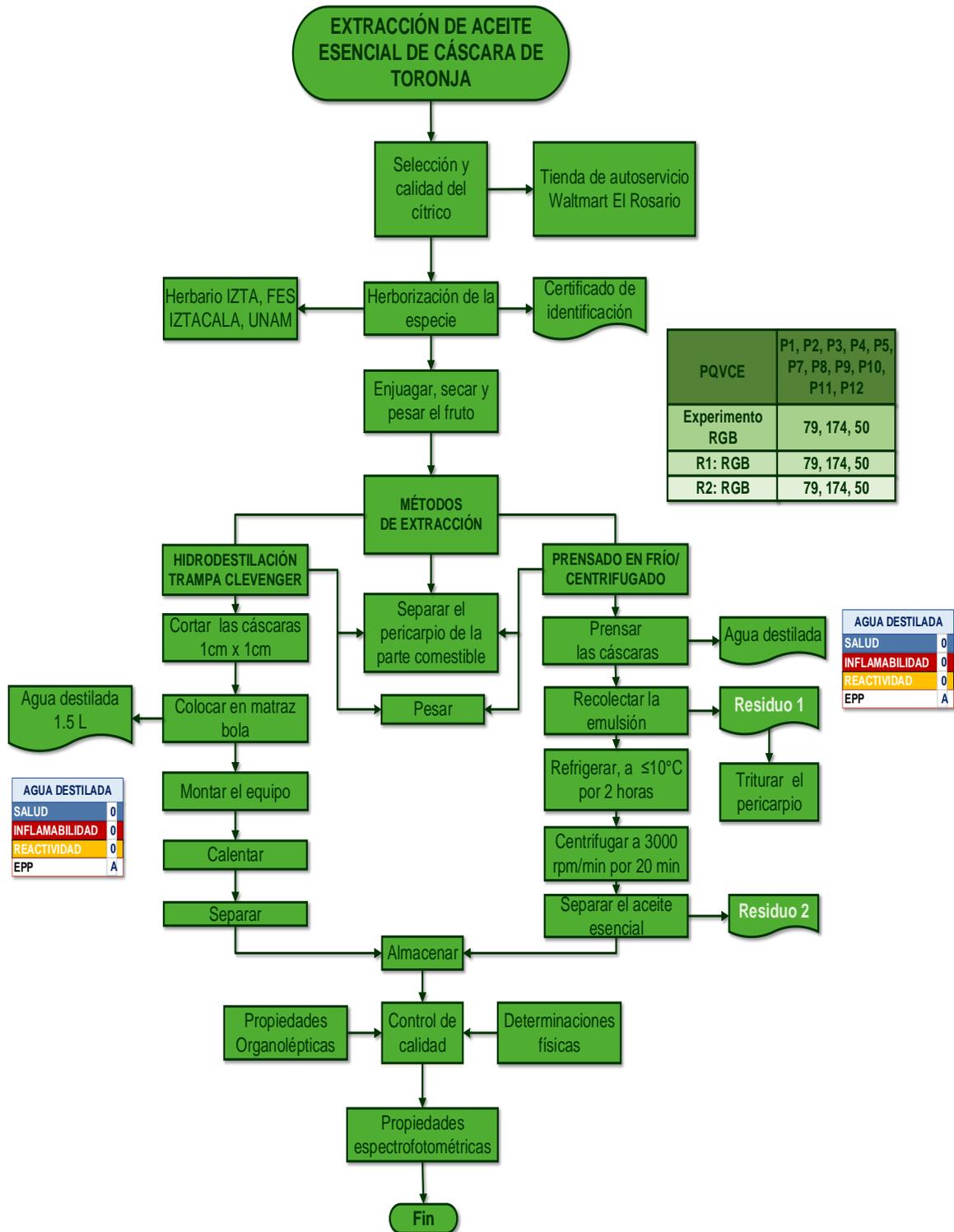
Como se observa en el *Diagrama 2*, los dos procedimientos de extracción empleados en la obtención del aceite esencial de la cáscara de toronja son amigables con el medio ambiente de acuerdo con lo propuesto por Vargas, & et. al. (2016). En el caso de la extracción por expresión, este cumple los 12 principios de la Química Verde, pero no en la hidrosdestilación, por ser un método en que se emplean altas temperaturas y tiempos prolongados, genera un mayor gasto de energía eléctrica, por lo cual, cumple solo 11 de los 12 principios estipulados (ver la *Tabla 1*). Debido a la propuesta metodológica se trabajo con el marco sólido generado de la extracción por expresión (*residuo 1*), debido a que no fue expuesto a cambios de temperatura elevada, se logró extraer los otros dos subproductos seleccionados (naringina y pectina).

El *residuo 2* fue desechado fácilmente por ser una mezcla de agua con restos de la cáscara del cítrico durante el proceso mecánico. Los residuos del método de

<sup>15</sup> Los valores teóricos se obtuvieron en base a lo establecido por Okunowo, O. (2013)

<sup>16</sup> Valor teórico según Arthey, (1997)

hidrodestilación se desecharon sin tratamiento previo, dado su naturaleza biodegradable.



**Diagrama 2.** Evaluación ecológica de los métodos de extracción para aceites esenciales  
 Nota: Fuente elaboración propia

### 5.2.3 Propiedades fisicoquímicas

En la *tabla 21* se contrastan los valores de dos propiedades fisicoquímicas características de los aceites esenciales obtenidos de los métodos de extracción más empleados para cáscaras de cítricos en fresco.

*Tabla 21. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales obtenidos*

Métodos de extracción	Propiedades fisicoquímicas	Valores teóricos	Resultados experimentales	
			Expresión	Hidrodestilación
Hidrodestilación	Densidad <sup>17</sup>	0.848-0.856 (20°C)	0.85351 (28°C)	0.76041 (28°C)
Expresión	Índice de refracción <sup>18</sup>	1.4750-1.4780 (20°C)	1.4768 (28°C)	1.4703 (28°C)

#### 5.2.3.1 Densidad

En relación con lo establecido en la NMX-F-075, SCFI-2012, se calculó y corrigió la densidad relativa de los aceites esenciales de la cáscara de toronja.

En la *Tabla 21*, se registraron los resultados de los aceites esenciales de este parámetro evaluado; observando que la calidad del aceite esencial extraído por hidrodestilación no entra dentro de los valores teóricos propuestos en la literatura por Okunowo, Oyedeji, & et. al. (2013). Mientras que el aceite de expresión si cumple con la especificación establecida de calidad. Este resultado enfatiza que el método de expresión es más recomendable que la hidrodestilación, porque se obtiene una mayor masa por unidad de volumen.

#### 5.2.3.2 Índice de Refracción

Para esta evaluación se consultó la NMX-F-074-SCFI-2011, con este parámetro se determinan las impurezas y calidad de los aceites puros.

Como se observa en la *Tabla 21*, cada método de extracción influye mucho en la calidad de los aceites esenciales, demostrando que el aceite esencial obtenido mediante el método de expresión presenta una mayor pureza al comparar con las especificaciones establecidas en la literatura, caso contrario que ocurre con el aceite esencial obtenido por la hidrodestilación.

<sup>17</sup> Los valores de densidad se corrigieron en base a lo establecido en la NMX-F-075, SCFI-2012 (ver anexo F).

<sup>18</sup> Los valores de índice de refracción se modificaron en base a lo establecido en la NMX-F-074-SCFI-2011, (ver anexo E).

## 5.2.4 Evaluación de las propiedades sensoriales

A continuación, se presenta en la *Tabla 22*, las principales propiedades sensoriales que se determinan en los aceites esenciales obtenidos de la cáscara de toronja en fresco.

*Tabla 22. Comparativo entre las propiedades sensoriales teóricas con las experimentales de los aceites esenciales extraídos*

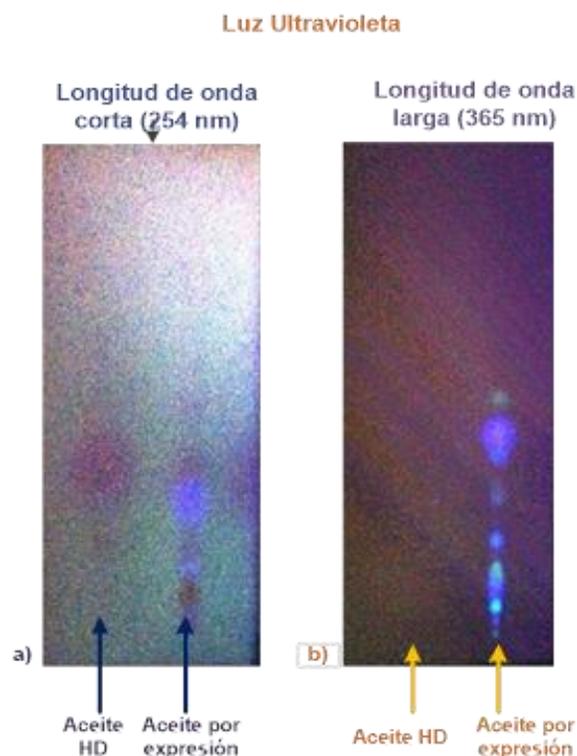
Materia prima	Propiedades organolépticas	Criterios de aceptación	Resultados Experimentales	
			Expresión	Hidrodestilación (HD)
Residuos sólidos de toronja	<b>Aspecto Físico</b>	Líquido cristalino, precipitado ceroso	Líquido cristalino	Líquido cristalino
	<b>Color</b>	Observación directa		
	<b>Olor</b>	Frutal, cítrico	Cítrico intenso	Cítrico ligero
		Modelo de color RGB	255,85,0 rojo naranja	255,255,255 incoloro
		Cartas Munsell	7/8, Hue 10YR Amarillo-naranja	8/1, Hue 5YR Incoloro

De acuerdo con la norma mexicana NMX-F-074-SCFI-2011, el color característico del aceite esencial de toronja es de amarillento a amarillo verdoso o del anaranjado pálido al anaranjado rojizo, parámetro que cumple nuevamente el método de expresión al igual que el olor que es de mayor intensidad.

## 5.2.5 Cromatografía de Capa Fina de los aceites esenciales extraídos

Se utilizó como fase móvil o eluyente, una mezcla de disolventes, tolueno-acetato de etilo (7:0.4) y como revelador, anisaldehído-ácido sulfúrico.

Aceite HD: Aceite esencial por hidrodestilación  
Aceite esencial por expresión



*Figura 19. Placas cromatográficas con muestras de aceite esencial de toronja revelados con luz ultravioleta*

Para el revelado de las placas cromatográficas se utilizó luz UV, detectando la presencia de compuestos fluorescentes, principalmente de cumarinas que son compuestos químicos ampliamente distribuidos en el reino vegetal y forman parte de la composición química de varias familias como es el caso de las Rutáceas.

En su trabajo Wagner & Bladt, (1996), mencionan que a:

- **UV-254 nm** se observa la escasa o nula fluorescencia para todas las cumarinas.
- **UV-365 nm** se identifican las cumarinas simples con fluorescencia de un azul intenso a un azul-verde y la presencia de furano y piranocumarinas con fluorescencia variada de amarillo, café, azul, azul verdoso.

En la *Figura 19*, inciso b, se aprecia en la placa cromatográfica que los aceites esenciales presentan una diferencia en su composición química tras emplear dos métodos diferentes de extracción.

En el método de expresión, el aceite contiene una mayor cantidad de compuestos fluorescentes, caso contrario al de hidrodestilación. Para los aceites esenciales exprimidos de cáscaras frescas, son características las zonas fluorescentes azules de antranilato de metilo, cumarinas y flavonoides lipofílicos metoxilados (por ejemplo, sinensetina).

### 5.2.6 Interpretación de espectros infrarrojos del aceite esencial

Schulz & Malgorzata, (2009), establece que la composición química de los aceites esenciales de cítricos es una mezcla de monoterpenos y sesquiterpenos en la forma de aldehídos, cetonas, alcoholes, entre otros. En el caso del aceite esencial de cáscara de toronja, se presentan principalmente los alcanos, alquenos, hidrocarburos aromáticos y éteres, (*ver las Tablas 23 y 24*).

Al comparar los espectros infrarrojos de los aceites extraídos por expresión e hidrodestilación se observa una cierta semejanza, sin embargo, en el aceite esencial obtenido por expresión tiene una banda del grupo carbonilo, que se puede asignar a compuestos como Nootkatona, el cual, le otorga el olor característico a la toronja y a lactonas como las cumarinas.

También se identifican bandas características de los alquenos, que presentan vibraciones de estiramiento en enlaces de C=C st en un rango de frecuencia entre (1690-1638)  $\text{cm}^{-1}$ , banda que es característica de compuestos como: el limoneno (1678  $\text{cm}^{-1}$ ),  $\alpha$ -pineno (1658  $\text{cm}^{-1}$ ),  $\beta$ -pineno (1640  $\text{cm}^{-1}$ ), mirceno (1637  $\text{cm}^{-1}$ ), sabineno (1653  $\text{cm}^{-1}$ ), entre otros. Cabe señalar que al hacer una comparación entre el espectro infrarrojo del limoneno puro y los obtenidos en los aceites hay una gran similitud<sup>19</sup>.

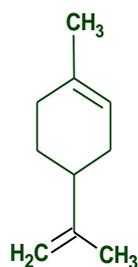


Figura 20. limoneno

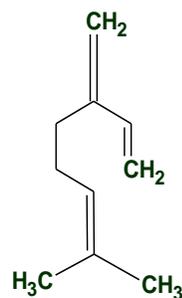


Figura 21. mirceno

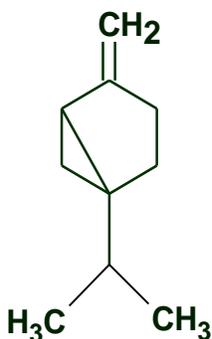


Figura 22. sabineno

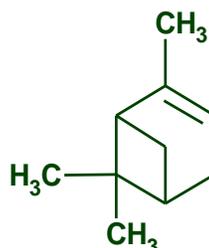


Figura 23.  $\alpha$ -pineno

<sup>19</sup> Ver anexo L

## 5.2.6.1 Espectroscopía Infrarroja

### 5.2.6.1.1 Extracción por expresión o prensado

toronja pren

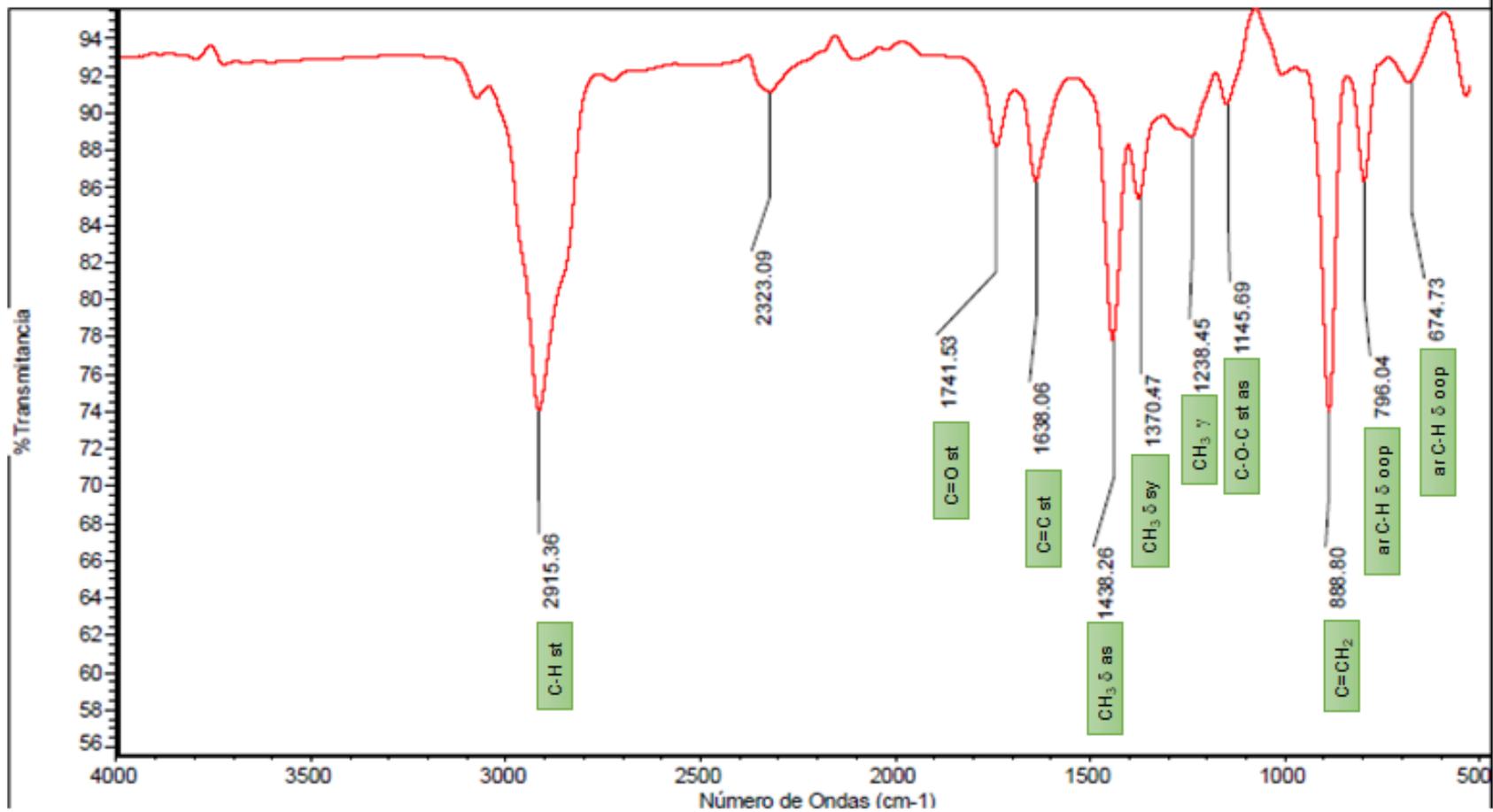


Figura 24. Espectro de IR de aceite esencial del pericarpio de toronja por expresión

5.2.6.1.2 Extracción por hidrodestilación  
AET HD

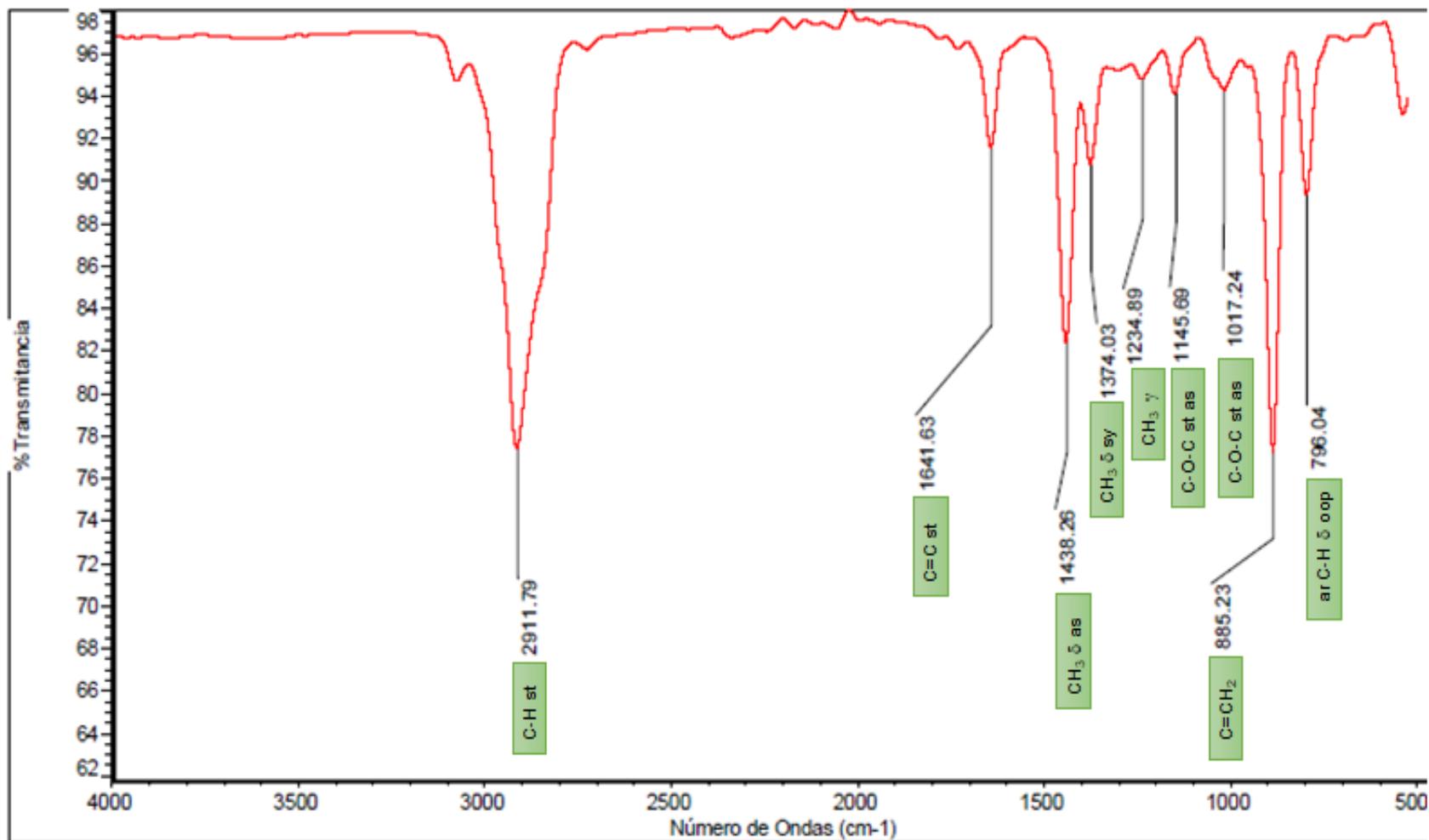


Figura 25. Espectro de IR del aceite esencial del pericarpio de toronja por hidrodestilación

**Tabla 23.** Grupos funcionales del espectro de IR del aceite esencial extraído por expresión

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
<b>Alcanos</b>	C-H st	3000-2840	2951.36
	CH <sub>3</sub> δ as	1470-1430	1438.26
	CH <sub>3</sub> δ sy	1395-1365	1370.47
	CH <sub>3</sub> γ	1250-800	1238.45
<b>Alquenos</b>	C=C st	1690-1635	1638.06
	C=CH <sub>2</sub>	900-800	888.8
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>	ar C-H δ oop	900-650	796.04
			674.73
<b>Éteres</b>	C-O-C st as	1310-1000	1145.69
<b>Cetonas</b>	C=O st	1775-1705	1741.53

**Tabla 24.** Grupos funcionales presentes en el espectro de IR del aceite esencial de toronja por hidrodestilación

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
<b>Alcanos</b>	C-H st	3000-2840	2911.79
	CH <sub>3</sub> δ as	1470-1430	1438.26
	CH <sub>3</sub> δ sy	1395-1365	1374.03
	CH <sub>3</sub> γ	1250-800	1234.89
<b>Alquenos</b>	C=C st	1690-1635	1641.63
	C=CH <sub>2</sub>	900-800	885.23
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>	ar C-H δ oop	900-650	794.04
			1145.69
<b>Éteres</b>	C-O-C st as	1310-1000	1017.24

### 5.2.7 Análisis de costos del aceite esencial de toronja (AET)

El análisis de costos se realizó considerando solamente el precio de todos los insumos que se utilizaron para la extracción de cada uno de los subproductos extraídos del bagazo de toronja. Se tomaron como referencia los costos de los estándares de naringina y pectina de la marca Sigma-Aldrich.

**Tabla 25.** Rendimiento del AET por expresión en proporción a la cantidad de residuos cítricos

Método de extracción	No. de toronja	Peso de toronja (g)	Precio (\$/g toronja)	Cáscara (g)	Precio de cáscara (\$)	AET (mL)	AET (%)
	1	445.18	3.12	129.45	0.91	0.3	0.09
<b>Expresión</b>	2.32	1032.82	7.23	300.32	2.1	<b>0.8</b>	<b>0.22</b>
	87	38730.66	271.11	11262.15	78.84	30	8.25
<b>Hidrodestilación</b>	2.32	1032.82	7.23	300.32	2.1	<b>1.8</b>	<b>0.51</b>
	38.67	17213.67	120.5	5005.4	35	30	8.5

En la *Tabla 25*, se muestra el porcentaje de aceite esencial del cítrico que se obtiene en cada método de extracción utilizado. Se toma como base la cantidad de cáscara promedio que se utilizó en cada extracción, es decir, 300 g. En el contenido de la tabla se hace una relación proporcional entre la cantidad de toronja (completa, fresca y de su cáscara) con su precio respectivo.

Se observó que hay una diferencia amplia con el rendimiento del aceite esencial de un método a otro; para el método de expresión el rendimiento es del 0.22% (0.8 mL), mientras que en método de hidrodestilación experimentalmente se obtuvo el 0.51% (1.8 mL). Haciendo una relación comparativa entre la presentación comercial de un aceite esencial de toronja de 30 ml con la misma cantidad de aceite esencial obtenidas en cada método extractivo. Se observa que la cantidad de cáscara de toronja que se requiere para lograr los mL requeridos es aproximadamente el 56% más de gramos de cáscara para la expresión en comparación con lo que se requiere en la hidrodestilación.

**Tabla 26.** Relación costo/beneficio entre los métodos de extracción

Tipo de aceite esencial de toronja	No. de toronja	Peso (g)	Precio (\$)	Peso Cáscara (g)	Precio (\$)	Precio AET (\$)	IVA (16%)	Residuo de cáscara	Rentabilidad %
<b>Comercial</b>	0	0	0	0	0	97.44	113.03		0
<b>Expresión</b>	87	38730.66	271.11	11262.15	78.84	78.84	91.45	29%	19.09
<b>Hidrodestilación</b>	38.67	17213.67	120.5	5005.4	35	35	40.6		64.08

En la *Tabla 26* se muestra una relación de los precios de los aceites esenciales del cítrico en que pueden ser comercializados en el mercado, incluyendo el 16% del IVA. Si nos enfocamos a nivel empresarial se busca aprovechar al máximo toda la materia prima orgánica y más si se encuentran en estado fresco como sucede con la toronja. Como se mencionó anteriormente, de los frutos evaluados

en promedio, se utilizó el 29 % del peso del fruto, el cual representa únicamente el pericarpio de la toronja, considerando que éste forma parte del gasto de la materia prima adquirida desde el inicio, se presenta la proporción y el precio que corresponde con la finalidad de determinar cuánto es el aprovechamiento y rentabilidad comercial que realmente se obtiene al emplear los dos tipos de métodos de extracción de aceites esenciales para cítricos. Por lo que se demuestra que el mejor aceite en aprovechamiento y valor agregado es el de hidrodestilación presentando un ahorro económico del 64.08% en comparación con el precio del aceite comercial mientras que el aceite por expresión, solo presenta un ahorro económico del 19.90%.

Ahora, si nos basamos en solo recolectar y aprovechar los residuos que se generan en el hogar, puestos, tiendas, tianguis, etc., evidentemente el mejor método en costo/beneficio será el de hidrodestilación, ya se requerirán menos cantidades de cáscara de cítricos con un rendimiento de aproximadamente 50 % más de aceite que en relación con el método de expresión.

Cabe señalar que, aunque el aceite esencial obtenido por hidrodestilación es más rentable, el aceite esencial por expresión es de mejor calidad.

### 5.3 Extracción de Naringina

#### 5.3.1 Evaluación ecológica del método de extracción por disolventes

En el *Diagrama 3*; se esquematiza el procedimiento para la extracción de naringina, empleando el código de color propuesto por Vargas y cols., (2016) en base a los principios de la Química Verde; determinando de esta manera ser un proceso amigable con el ambiente. En este proceso se generan residuos: en el caso de *residuo No. 3*, solo se requirió secarlo por completo para la extracción de pectinas.

Para la identificación de la naringina se requirieron de pruebas químicas cualitativas (*residuos No. 4 y No. 5*) cuya preparación fue a base de compuestos tóxicos y dañinos para la salud y el medio ambiente; debido a esto una parte del diagrama se torna amarillo, color que caracteriza a los residuos que requieren de algún tratamiento previo (*ver Tabla 42, Anexo C*).

En base a trabajos previos realizados en el laboratorio de Farmacognosia y Fitoquímica de la FES Cuautitlán, se hicieron pruebas de toxicidad con la *Artemia franciscana Kellogg*, determinando que la cantidad de reactivos que se manejaron a nivel microescala no impacta de manera significativa un impacto al medio ambiental. El único tratamiento a seguir fue desechar los residuos a la tarja y lavar con abundante agua el material (Sánchez, 2015).

### 5.3.2 Determinaciones específicas para la selección del disolvente

Durante el proceso de extracción se trató de reutilizar y aprovechar toda la acetona que se recuperó al concentrar el extracto en el rotavapor, disminuyendo así la cantidad del disolvente empleado.

Para la designación de la acetona fueron considerados los siguientes factores:

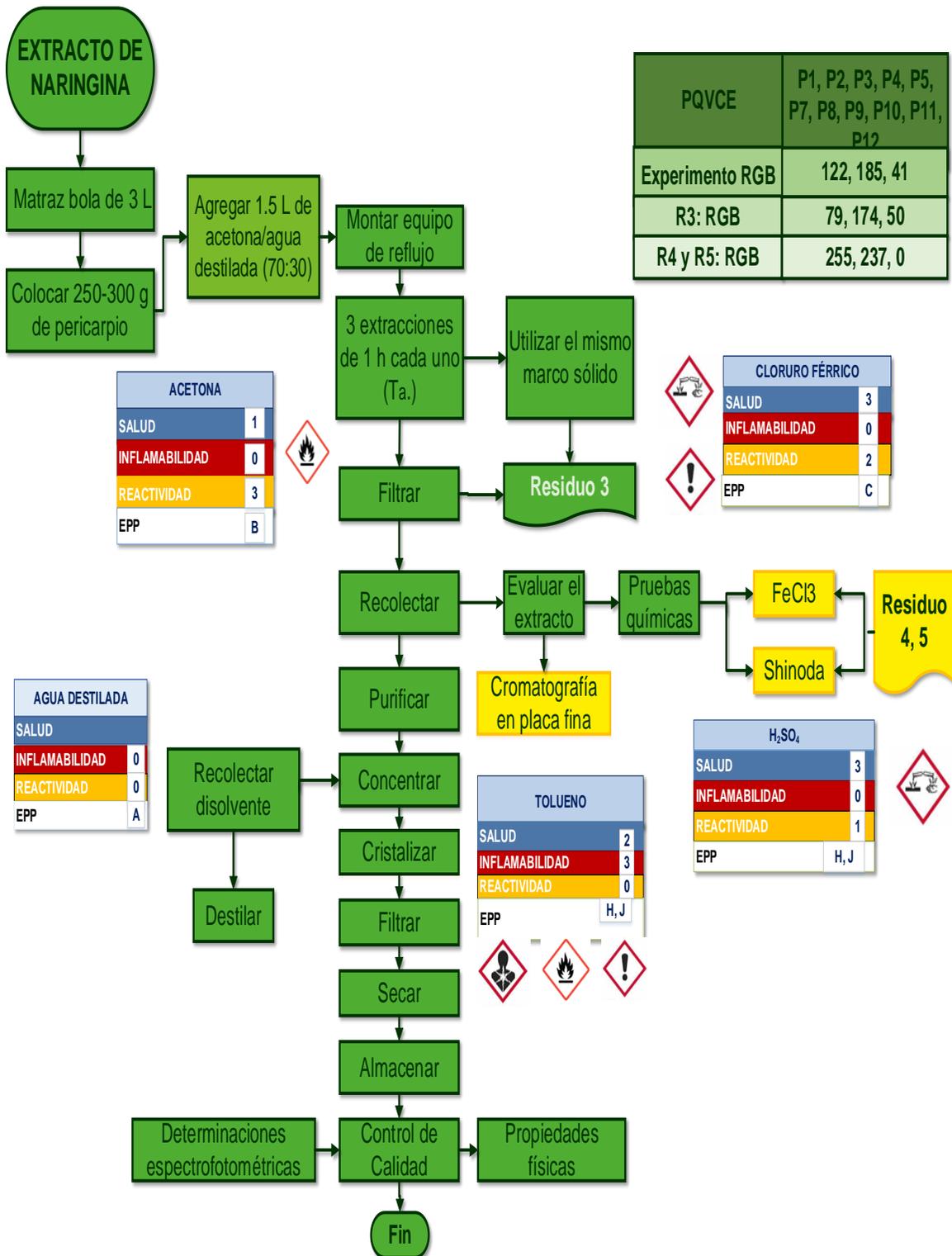
- 1) No afectar o dañar el marco sólido de la extracción, permitiendo trabajar adecuadamente con el residuo para la obtención de pectinas de las cáscaras de toronja
- 2) Solubilidad de la naringina
- 3) Disponibilidad financiera
- 4) Cantidad y costo del disolvente u otros insumos empleados en el procedimiento experimental
- 5) Trabajar a temperatura ambiente el proceso extractivo
- 6) Obtener un mejor rendimiento y calidad del producto final
- 7) Rentabilidad del proceso

La acetona ha sido considerada un disolvente tóxico y dañino a la salud del hombre. La Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades ATSDR, (2016), menciona que exponerse a cantidades moderadas de acetona puede ocasionar una irritación en los ojos, en el sistema respiratorio, garganta, pulmones; así como, producir mareos, aceleración en el pulso o vómitos. A niveles de alta exposición puede ocasionar en las personas la pérdida del conocimiento y daño a la mucosa bucal, así como en la piel. Sin embargo, la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA) determinó que este compuesto es seguro como aditivo alimentario indirecto en adhesivos y envases que contienen productos de consumo, además es una Sustancia Altamente Reconocida como Segura, (GRAS) en ciertas concentraciones.

También fue revisada y avalada por otras organizaciones o programas como: el programa voluntario de evaluación de productos químicos para niños (VCCEP Voluntary Children's Chemical Evaluation Program), el programa REACH de la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, el programa Internacional para la Seguridad Química de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de Evaluación del Sistema de Información de Riesgo Integrado (IRIS) de la EPA (ACC, 2017).

En el caso del medio ambiente, llega a liberarse hasta un 97% en el aire libre, donde factores como la luz solar u otras sustancias del medio lo degradan hasta un 50% en aproximadamente 22 días.

La lluvia y la nieve transportan la acetona del aire en el suelo o agua y viceversa, en este proceso puede presentar degradación en donde los microorganismos interfieren y por tal motivo no es nocivo al ecosistema.



**Diagrama 3.** Evaluación ecológica del método de extracción de naringina  
 Nota: Fuente elaboración propia

### 5.3.3 Propiedades físicas de la naringina

Para la evaluación del subproducto se realizó una comparación sensorial con un estándar comercial de naringina de la marca Sigma Aldrich.

**Tabla 27.** Cuadro comparativo de las propiedades físicas de la naringina

Propiedades Físicas	Valores teóricos	Resultados experimentales	
		Estándar de naringina	Naringina cruda
		Polvo Cristalino	Polvo Cristalino
<b>Aspecto</b>	Polvo Cristalino		
<b>Olor</b>	Inodoro	Inodoro	Inodoro
	Blanco a amarillo pálido	Blanco a amarillo pálido	Blanco
	Modelo de color RGB	255, 255, 224	255, 255, 255
	Cartas Munsell	8/2 HUE 2.5Y amarillo pálido	8/1 5YR incoloro
<b>Color</b>			
<b>Sabor</b>	Amargo	Amargo	Amargo
<b>p. fusión</b>	166°C-173°C	170°C	171°C

En la tabla anterior se enlista las propiedades sensoriales que ambas muestras de naringina presentan, como la misma apariencia y sin olor.

En el caso de la designación del color, se recurrió a la consulta de cartas Munsell y el modelo RGB<sup>20</sup>. Este parámetro es un indicador confiable para la calidad y pureza de los compuestos, por lo tanto, visualmente la naringina cruda supera al estándar comercial del flavonoide, no se debe descartar que presentan el mismo sabor amargo característico del compuesto y que el punto de fusión es muy similar (171°C).

### 5.3.4 Rendimiento

En la *Tabla 28*, se registra el rendimiento de la naringina cruda cuyo valor entra dentro del rango de rendimiento teórico, siendo de 13.38 mg/g de cáscara de toronja. El rendimiento obtenido del flavonoide es prácticamente de la mitad de lo que se reporta en la literatura. No se puede determinar que el proceso de extracción haya sido inadecuado, ya que no se deben descartar la influencia de ciertos factores externos que pudieron haber afectado el valor del rendimiento

<sup>20</sup> Consultar anexo K

experimental, como: la especie del cítrico, su estado de madurez, la solubilidad del disolvente empleado en la extracción del flavonoide, entre otros factores.

**Tabla 28.** Cantidad de naringina presente en el bagazo de toronja

Subproducto	Rendimiento teórico	Rendimiento experimental
Naringina	(9.94-27) mg/g cáscara <sup>21</sup>	13.38 mg/g de cáscara

La estructura de la flavanona glicosilada se compone de la aglicona naringenina unida a azúcares como ramnosa y glucosa principalmente; debido a su presencia, la molécula del flavonoide puede solubilizarse en agua u otros disolventes de diferente polaridad (etanol, acetona metanol, DMSO).

En un estudio realizado por Caviedes, Sotomayor, & et. al., (2015), plantean que la naringina presenta una mejor solubilidad al estar en contacto con una mezcla de cosolventes de etanol con agua, esto le permite adquirir una mejor solvatación.

El etanol contribuye a esta solubilidad del compuesto por lo menos en tres mecanismos:

- 1) Promueve la desestructuración del agua alrededor de los grupos no polares del flavonoide aumentando el agua libre, por ende, se tiene una mayor interacción agua/naringina.
- 2) El aumento de la concentración de etanol en la mezcla cosolvente favorece las interacciones no polares entre etanol y la naringina.
- 3) Al aumentar la concentración del etanol, la polaridad de la mezcla disminuye hasta igualar la del flavonoide.

Esto nos hace suponer que el etanol junto con el agua es el mejor medio de extracción, por lo tanto, se puede tener un mayor rendimiento del compuesto. Además, hay que considerar la naturaleza del etanol, el cual es un disolvente polar prótico, esta característica le permite estabilizar las cargas entre las moléculas para formar puentes de hidrógeno, adquiriendo una mayor capacidad de solvatación.

En el caso de la acetona ocurre algo distinto ya que esté es un disolvente polar aprótico, el cual se caracteriza por no formar enlace O-H, y no presenta la capacidad de aceptar o donar protones, lo cual pudo haber afectado el rendimiento del subproducto. Sin embargo, no se debe descartar otros factores que influyen en el rendimiento como: la temperatura que al elevarla aumenta el valor de su rendimiento, el tamaño de partícula de la materia prima, así como el grado de madurez o inmadurez que presenten los frutos cítricos (Caviedes, Sotomayor, & et.al, 2015).

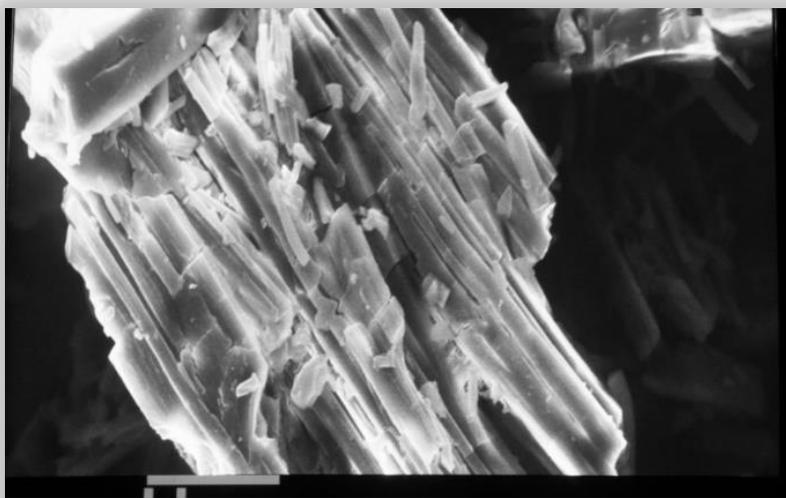
---

<sup>21</sup> Los valores teóricos del porcentaje de naringina se consultaron en la referencia bibliográfica de González Sánchez Avel, (2011)

### 5.3.5 Caracterización microscópica

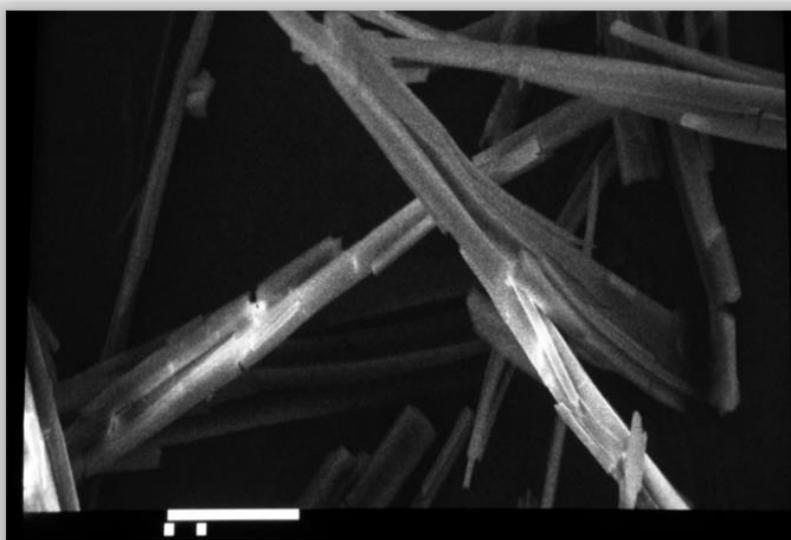
#### 5.3.5.1 Micrografías de naringina

Por medio de micrografías obtenidas a partir de un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) se puede comparar la estructura interna que presentan las muestras de la naringina cruda y del estándar, siendo ésta una manera de evaluar la calidad de ambos compuestos.



**Micrografía 1.** Muestra de estándar de naringina observada a 10 X en el MEB

En la *Micrografía 1*, se muestran agujas aglomeradas de los cristales del estándar comercial de naringina, no se observa una forma definida entre ellos, y es muy notorio la ruptura de las estructuras cristalinas, lo cual nos permite considerar que la calidad del estándar no es buena en comparación con la naringina cruda que se obtuvo de la parte experimental.



**Micrografía 2.** Naringina cruda observada a 2000 X a través del MEB

En la *Micrografía 2*, se observan cristales en forma de agujas perfectamente definidas, sin ninguna ruptura en la muestra de naringina cruda.

### 5.3.6 Fotografías de naringina por Microscopio Óptico

Las muestras de naringina también fueron observadas a través de un Microscopio Óptico, esto nos sirve de soporte para determinar efectivamente que la naringina cruda, es un compuesto más puro con una mejor calidad tanto interna como externamente, (Ver las *Fotografías 8 y 9*).



**Fotografía 8.** Muestra del estándar de naringina observada a 40 X en un Microscopio óptico



**Fotografía 9.** Muestra de naringina cruda observada en objeto de 40 X en un Microscopio óptico

A nivel de calidad la naringina cruda es un producto que cumple con las especificaciones sensoriales, físicas, químicas, y análisis microscópico, contrario al estándar comercial de naringina que se utilizó para comparar ambos compuestos químicos, siendo la diferencia más obvia, su apariencia y color de cada compuesto, como se observa en la *Tabla 27*, donde se presenta una muestra de naringina cruda y otra del estándar comercial.

### 5.3.7 Análisis de espectros infrarrojos de naringina

En las Figuras 26 y 27 se observan los espectros infrarrojos del estándar de naringina y de naringina cruda respectivamente. Prácticamente tienen el mismo comportamiento y bandas de absorción de los grupos funcionales que las constituyen, los cuales se enlistan en las *Tablas 29 y 30*.

En su estructura molecular presenta grupos hidroxilo (-OH) característicos de los alcoholes y fenoles con vibraciones de estiramiento (*st*) en  $3361.35\text{ cm}^{-1}$  para el estándar, mientras que en la naringina cruda, la frecuencia de absorción es de  $3471.41\text{ cm}^{-1}$ , presentan vibraciones de deformación (O-H  $\delta$ ) en un rango de frecuencia de  $1475\text{-}1315\text{ cm}^{-1}$ .

En la parte de la aglicona naringenina que compone a la estructura de la naringina, se puede observar la presencia de éteres (COO<sup>-</sup> *st sy*) que se ubica en una frecuencia de  $1450\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ , alcanos (C-H *st*) a una frecuencia de  $3000\text{-}2840\text{ cm}^{-1}$ , alquenos (C=CH<sub>2</sub>) que están presentes tanto en la aglicona como en la parte glicosídica a intervalos de frecuencia entre  $900\text{-}880\text{ cm}^{-1}$ .

Un grupo característico son los hidrocarburos aromáticos (ar C-C  $\delta$  *ip*), ubicada en el espectro a una frecuencia de  $1250\text{-}950\text{ cm}^{-1}$ , así como la presencia de grupos carbonilo (C=O *st*) con un rango de frecuencia entre  $1740\text{-}1630\text{ cm}^{-1}$ , (C-O *st as*) entre  $1330\text{-}1050\text{ cm}^{-1}$  y (C-O *st*) en un rango de  $1075\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ , (ver anexo G)<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Se muestran los espectros infrarrojos de la naringina extraída por diferentes disolventes.

### 5.3.7.1 Espectroscopía Infrarroja

#### 5.3.7.1.1 Estándar de naringina

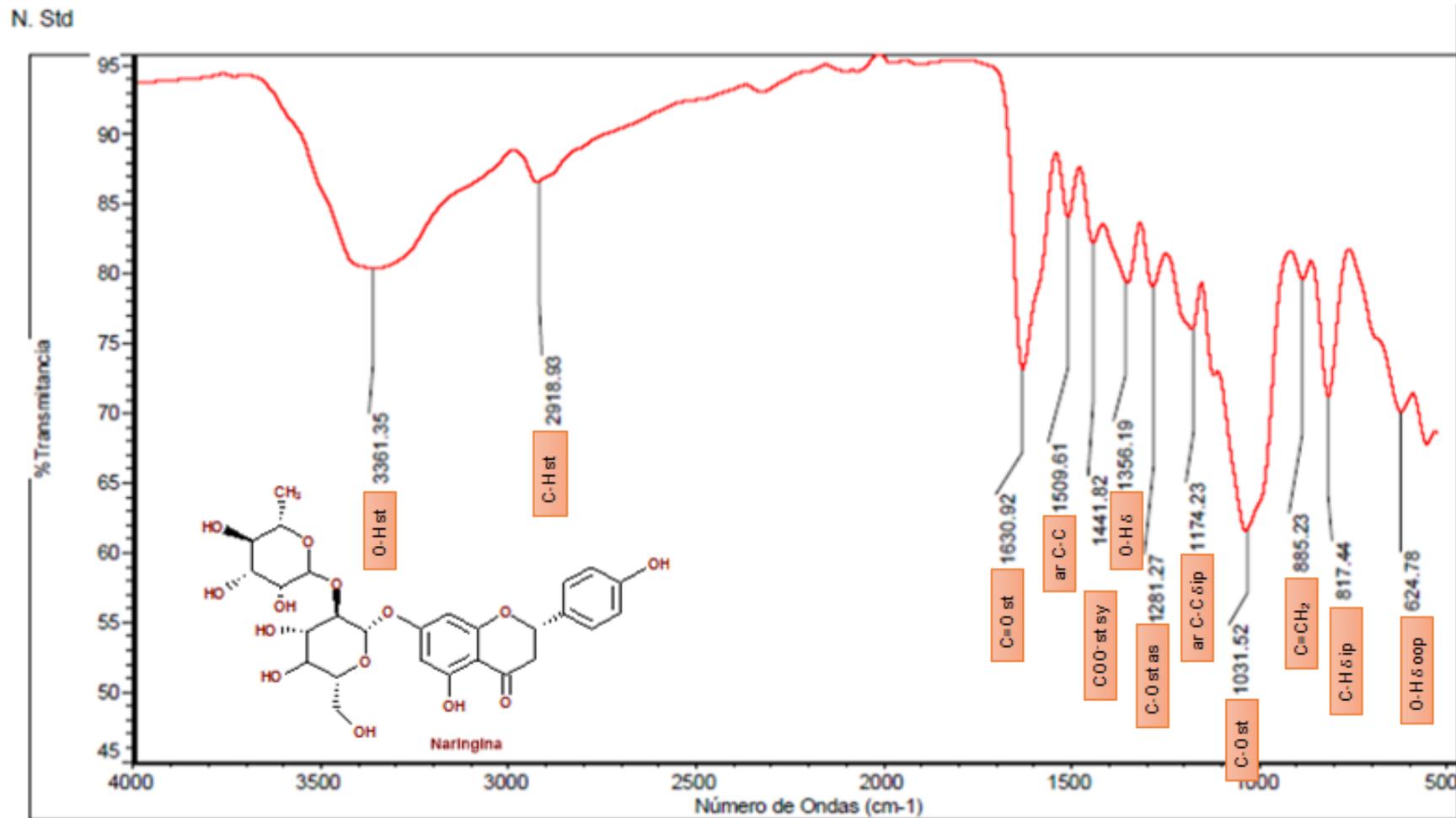


Figura 26. Espectro de IR del estándar de naringina

5.3.7.1.2 Naringina cruda

naringina-acetona

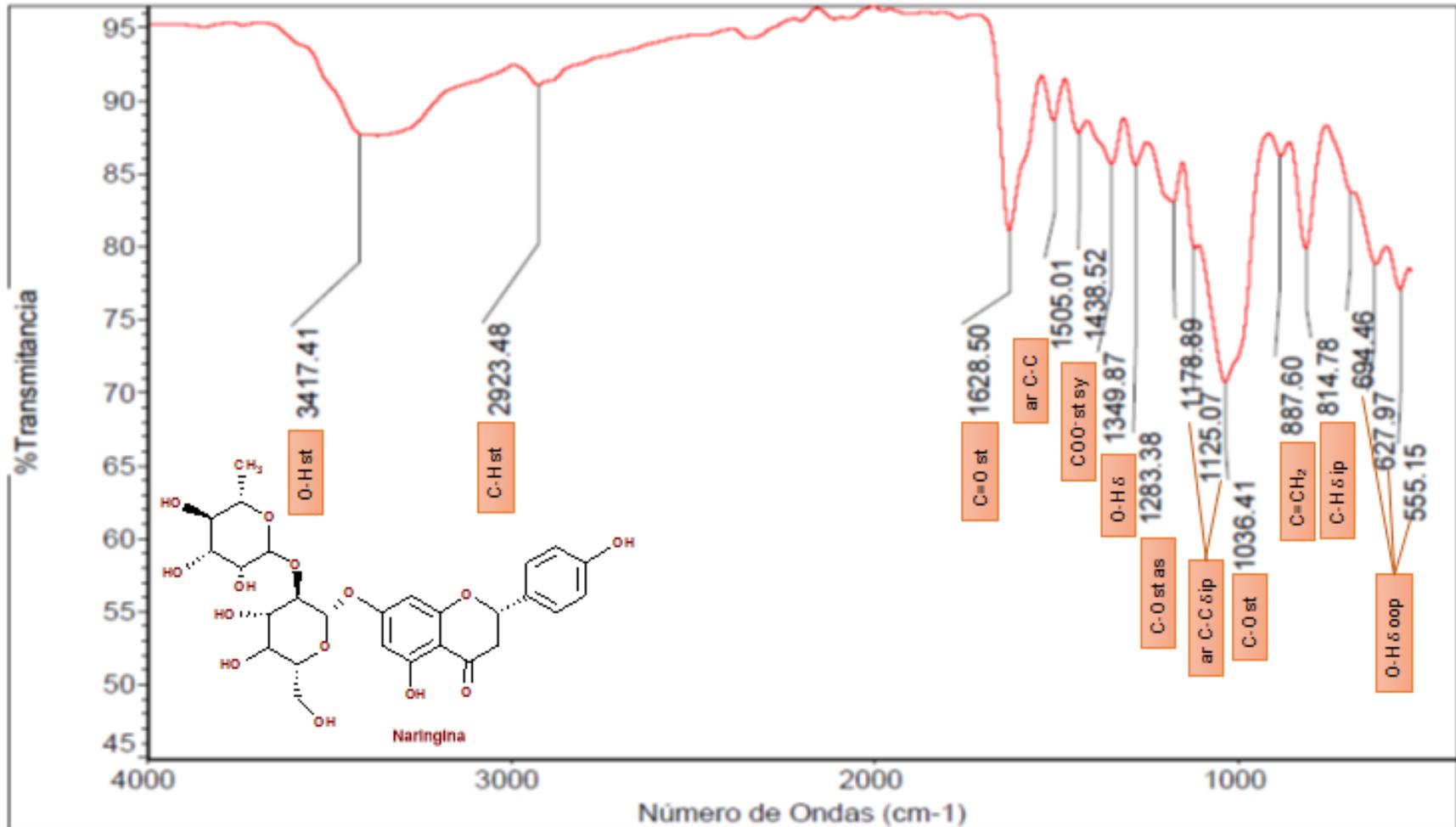


Figura 27. Espectro de IR de naringina cruda

**Tabla 29.** Grupos funcionales presentes en el espectro de IR del estándar de naringina

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcanos	C-H st	3000-2840	2918.93
	C-H δ ip	1005-675	817.44
Alquenos	C=CH <sub>2</sub>	900-880	885.23
	ar C-C	1525-1450	1509.61
Hidrocarburos aromáticos	ar C-C δ ip	1250-950	1174.23
	O-H st	3650-3200	3361.35
Alcoholes y fenoles	O-H δ	1475-1315	1356.19
	O-H δ oop	<700	624.78
Éteres, ácidos carboxílicos	COO <sup>-</sup> st sy	1450-1400	1441.82
	C=O st	1740-1630	1630.92
Carbonilos	C-O st as	1330-1050	1281.27
	C-O st	1075-1000	1031.52

**Tabla 30.** Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina cruda

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcanos	C-H st	3000-2840	2923.48
Alquenos	C-H δ ip	1005-675	814.78
	C=CH <sub>2</sub>	900-880	887.6
Hidrocarburos aromáticos	ar C-C	1525-1450	1505.01
	ar C-C δ ip	1250-950	1178.89
Alcoholes y fenoles	O-H st	3650-3200	1125.07
	O-H δ	1475-1315	3471.41
Éteres	O-H δ oop	<700	1349.87
	COO <sup>-</sup> st sy	1450-1400	694.46
Carbonilos	C=O st	1740-1630	627.97
	C-O st as	1330-1050	555.15
Carbonilos	C-O st	1075-1000	1438.52
	C-O st	1075-1000	1628.5
Carbonilos	C-O st as	1330-1050	1283.38
	C-O st	1075-1000	1036.41

### 5.3.8 Costo/beneficio de la extracción de naringina cruda

**Tabla 31.** Precio de naringina cruda en relación al consumo de los insumos utilizados<sup>23</sup>

No. toronja	Peso toronja (g)	Cantidad cáscara (g)	de Naringina (mg)	Acetona (mL)	Acetona (\$)	Precio de Naringina (\$)
0.01	3.44	1	13.38	4.48	0.81	0.81
1.00	445.18	129.45	1732.04	579.74	104.70	104.7
14.43	6425.6	1868.46	25000	8367.89	1511.3	1511.3

Fuente: Elaboración propia

<sup>23</sup> Ver análisis de costos completo de naringina y pectina cruda en el anexo H

En la tabla anterior, se observa la relación proporcional entre la cantidad requerida de acetona (mL) con los gramos de cáscara de toronja, así como los mg de naringina obtenidos.

Se realizaron los cálculos correspondientes determinando que por cada gramo de cáscara triturada se obtiene en promedio 13.38 mg de naringina. Si se compara con la presentación comercial del estándar de naringina se calcula el gasto de acetona y se determina la cantidad de cáscaras requeridas para obtener los mg de naringina que se requieren siendo en este caso de 250 g.

El precio de la acetona gastada determina el precio de la naringina ya que la cáscara o pericarpio de la toronja es considerada un desecho después de ser consumida la parte comestible del fruto cítrico.

**Tabla 32.** Cotejo de precios de estándares de naringina

Producto	Pureza	Cantidad (g)	Precio (\$)	Precio + IVA
<b>Naringina cáscara de cítricos</b>	≥90	25	1098	1273.68
<b>Naringina HPLC</b>	≥95	25	1143	1325.88
<b>Naringina std Analítico</b>	-	0.5	1757	2038.12
<b>Naringina cruda</b>	-	<b>25</b>	<b>1511.3</b>	<b>1753.11</b>

El contenido de la tabla anterior muestra un comparativo de precios de algunos estándares comercializados de naringina de la marca Sigma-Aldrich con el precio de la naringina cruda, siendo evidente una marcada diferencia monetaria donde el subproducto extraído no se ve favorecido.

**Tabla 33.** Rendimiento económico de la naringina cruda en comparación con los estándares comerciales

Naringina extraída	Estándares Comerciales	Cantidad (g)	Precio +IVA (\$)	Pérdida y/o ganancia económica (%)
<b>Naringina cruda, 25 g (1753.11)</b>	Naringina cáscara de cítricos	25	1273.68	138.83 <b>-38.83</b>
	Naringina HPLC	25	1325.88	133.36 <b>-33.36</b>
	Naringina std analítico	0.5	2038.12	-
		25	101906	1.73 <b>98.27</b>

En la *tabla No. 33*, se observa el costo/beneficio del método de extracción, el cual muestra poca rentabilidad en relación con los precios que se ofertan en el mercado.

Considerando los precios de los estándares de naringina de cáscara de cítricos y HPLC, el precio de la naringina cruda es un 38.83% y 33.36% más cara respectivamente, mientras que en el caso del estándar analítico es muy rentable ya que se tendría una ganancia del 98% del precio comercializado.

La diferencia en precio es mucha y probablemente las principales razones se debe a que el método de extracción empleado es más específico, el precio de los insumos más costoso y la calidad del estándar de naringina presenta un grado de pureza superior en relación con otros estándares, permitiendo de esta manera presentar un alto valor agregado a nivel comercial. Esto permite que la naringina cruda sea una buena alternativa ya que la calidad de este producto es superior en relación con los estándares comercializados.<sup>24</sup>

## 5.4 Extracción de Pectina

### 5.4.1 Evaluación ecológica de la reacción de hidrólisis de pectina cruda

En el *Diagrama 4*, se esquematiza el proceso de extracción de la pectina; mediante la propuesta ecológica por Vargas & et. al. (2016), fue evaluado el proceso extractivo (ver *Tabla 41, Anexo C*). Como se observa el procedimiento es completamente ecológico, cumple con 11 de los 12 principios establecidos en la Química Verde (consultar *Tabla No. 1*).

Se recolectó la mayor parte de etanol que se ocupó y se destiló para reutilizarlo nuevamente, recuperando un porcentaje entre 25-35% del disolvente total.

El *residuo No. 6* que se genera en este proceso presenta la misma tonalidad de verde que el resto del proceso, de acuerdo con la *tabla No. 41*, el marco sólido que se generó es catalogado como un residuo biodegradable, por lo tanto, puede ser aprovechado para otras funciones.

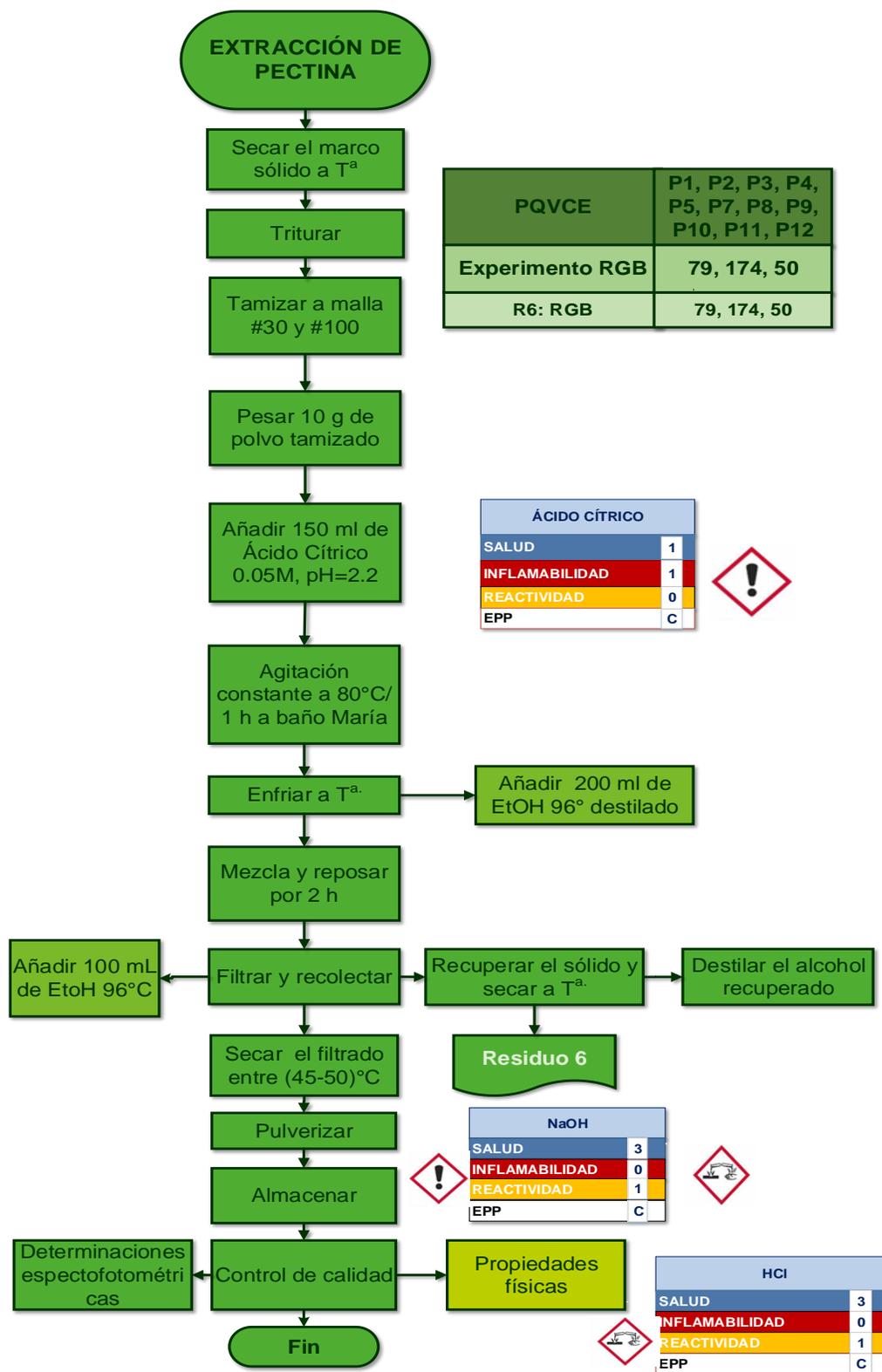
Para contribuir con el aspecto sostenible y manteniendo un proceso verde, amigable con el ambiente se sustituyó la presencia de ácidos fuertes (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, por ser más nocivos para el ecosistema) en la reacción de hidrólisis que se empleó para la extracción de pectinas (Liu, Shi, & al., 2006).

Como una alternativa se utilizan mezclas de agua con un ácido débil, como es el caso del ácido cítrico, el cual presenta características de naturaleza química distintas a los ácidos más fuertes, éste agente extractante es más respetuoso con la naturaleza y la salud del hombre (Osamu, Takayuki, & al., 2008).

Existen factores en el proceso de extracción que alteran significativamente, a la calidad y el rendimiento de la pectina, como son: la naturaleza del disolvente y su concentración, la proporción de la materia prima con la solución ácida o alcalina, la temperatura, el pH, y el tiempo.

---

<sup>24</sup> No se puede generalizar que todos los estándares comerciales de naringina presentan las mismas propiedades y características, ya que cada empresa maneja sus propios procesos, calidad de insumos y presentaciones comerciales. En este caso solo nos limitamos en hacer este comparativo con el producto comercializado del estándar de naringina de la marca Sigma-Aldrich.



**Diagrama 4.** Evaluación ecológica del método de extracción de pectina  
 Nota: Fuente elaboración propia

### 5.4.2 Características y análisis de las propiedades de las pectinas

De acuerdo con las especificaciones en la hoja de seguridad del estándar de pectinas de cáscara de cítricos de la marca Sigma-Aldrich, se observa que la pectina cruda en relación al estándar cumple con la mayoría de los criterios de aceptación, como su apariencia física, olor y sabor, (ver *tabla 34*). Sin embargo, hay una diferencia en la coloración que muestran ambas pectinas; el estándar tiene una coloración amarillo claro mientras que la pectina cruda es café claro<sup>25</sup>.

Varios factores pudieron haber influido en la diferencia de color, como: el tipo de reacción empleada (Hidrólisis ácida), concentración del ácido cítrico, tiempo de reacción o un aumento en la temperatura extrayendo una pectina cruda distinta a la del estándar comercial.

**Tabla 34.** Propiedades físicas del estándar de pectina y pectina cruda

Propiedades Físicas	Valores teóricos	Resultados experimentales			
		Estándar de pectina cítrica		Pectina Cruda	
		Polvo fino		Polvo fino	
<b>Aspecto</b>	Polvo fino				
<b>Olor</b>	Inodoro	Inodoro	Inodoro		
<b>Color</b>	Amarillo pálido a un café claro	amarillo pálido		Café claro	
	Modelo de color RGB	255, 255, 224	255, 222, 179 trigo		
	Cartas Munsell	9/6	HUE 10YR	8/3 10YR amarillo claro	

### 5.4.3 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las pectinas

Los parámetros de calidad, que se emplearon fueron establecidos por organizaciones internacionales (USP, FAO, FDA, WHO). En la *tabla 35*, se enlistan los valores del % *Cenizas*, % *-OCH<sub>3</sub>*, % *AGa* y % *DE* o *grado de Metoxilación* del estándar y de la pectina cruda, en comparación con los valores normalizados de cada parámetro.

<sup>25</sup> Se consultaron las cartas Munsell y el modelo RGB para la designación de la coloración de las muestras de pectinas.

**Tabla 35.** Propiedades fisicoquímicas del estándar de pectina y pectina cruda

Propiedades Fisicoquímicas	Valores normalizados internacionales	Resultados experimentales	
		Estándar de pectina	Pectina Cruda
<b>Grado de Esterificación (G.E.)</b>	>81.5%	76.4%	53.28%
<b>Ácido galacturónico (AGa)</b>	>74%(USP) >65% (UE, FAO, WHO, FDA)	77.69%	69.138 %
<b>Metoxilo</b>	>6.70% (USP)	9.49%	5.89%
<b>Cenizas</b>	<10	6.10%	5.55%

El % AGa, evalúa el grado de pureza del material pectínico; mientras que los otros criterios de calidad: % (Cenizas, -OCH<sub>3</sub> y DE) caracterizan su capacidad de gelificación (Osamu, Takayuki, & al., 2008).

El estándar de pectina presenta una pureza aceptable; así como, su capacidad de gelificación. El % DE no entra dentro del rango de valor normalizado, sin embargo, de acuerdo al Comité de Estandarización de Pectinas (1959) se mantiene en la categoría de altos metoxilos, de rápida gelificación.

Respecto a la pectina cruda, a excepción del % Cenizas, los demás criterios no cumplen con los valores normalizados, esto nos hace suponer que el proceso de extracción que se propuso no fue la adecuada para la extracción de pectina de altos metoxilos. Sin embargo, basándonos en Osamu, Takayuki, & al., (2008), se encontró que el trabajar con ácido cítrico no solo afecta las propiedades fisicoquímicas de la pectina, sino también reduce su rendimiento, aumenta su viscosidad y se tiene una mejor precipitación con iones divalentes como el Ca<sup>2+</sup>.

Estas características le permiten ser clasificadas como pectinas de bajos metoxilos. Dicho material pectínico lejos de ser un producto de calidad inferior, ha llegado a ser muy atractivo para la industria alimentaria, ya que no requiere de un porcentaje exagerado de azúcares o ácidos para su gelificación o consistencia espesante para ciertos productos de consumo humano; caso opuesto a las pectinas que presentan un mayor porcentaje de grupo metoxilos.

#### 5.4.4 Rendimiento del subproducto

Como se observa en la *Tabla 36*, el rendimiento de la pectina cruda es de (15.26%), un porcentaje inferior al referido por Lanrewaju, & et. al. (2016) y Baltazar, & et. al., (2013) que reportan un rango entre el 20-35% de pectina en cáscara de cítricos, en base seca.

**Tabla 36.** Rendimiento de la pectina extraída

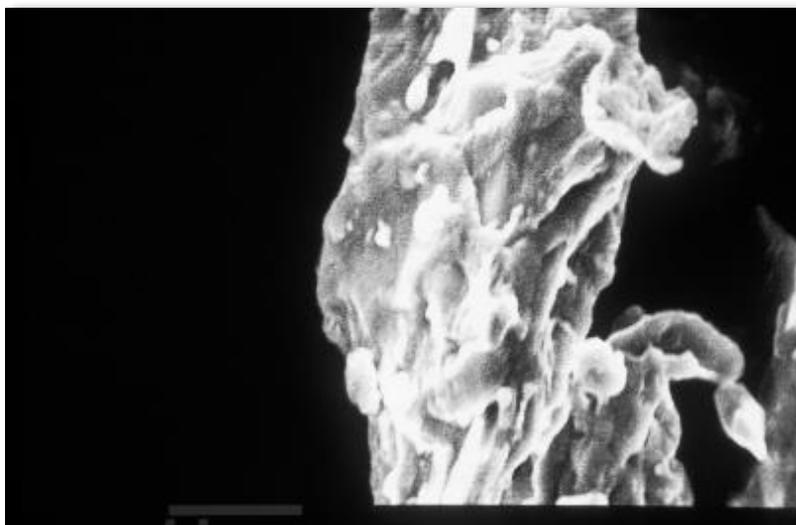
Subproducto	Rendimiento teórico	Rendimiento experimental
Pectinas	20-35 % <sup>26</sup>	15.26%

En un estudio de Zanella & Pereira, (2015) se reporta un rendimiento de pectina de la naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) de 29.79-38.21 % en el albedo y 20.28-29.35 % en el flavedo (g de pectina hidratada/100 g de muestra deshidratada). Estos valores son superiores y contrastan con lo reportado por Osamu, Takayuki, & et. al., (2008), ya que plantean rendimientos inferiores, lo que asemeja al porcentaje del rendimiento de la pectina cruda. Por tanto, el ácido cítrico puede ser un factor que debió alterar el rendimiento del producto final, al trabajarse con una sola concentración (0.5 M), así como altas temperaturas, tiempos (reducidos o prolongados), y con diferentes intervalos de pH; la combinación de estos factores es clave para que el rendimiento sea alto o bajo. Además no se deben descartar otros factores como el tipo de especie cítrica, su grado de madurez o la solubilidad de protopectina en el material pectínico, que también juegan un papel muy importante para el rendimiento del producto final. Otro aspecto a considerar es que en el trabajo de Zanella & et. al (2016), reportan el rendimiento como: g de pectina hidratada/ sobre g de muestra seca, mientras que el rendimiento reportado de la pectina cruda es en base seca.

#### 5.4.5 Análisis microscópico de las pectinas

##### 5.4.5.1 Micrografías de las pectinas

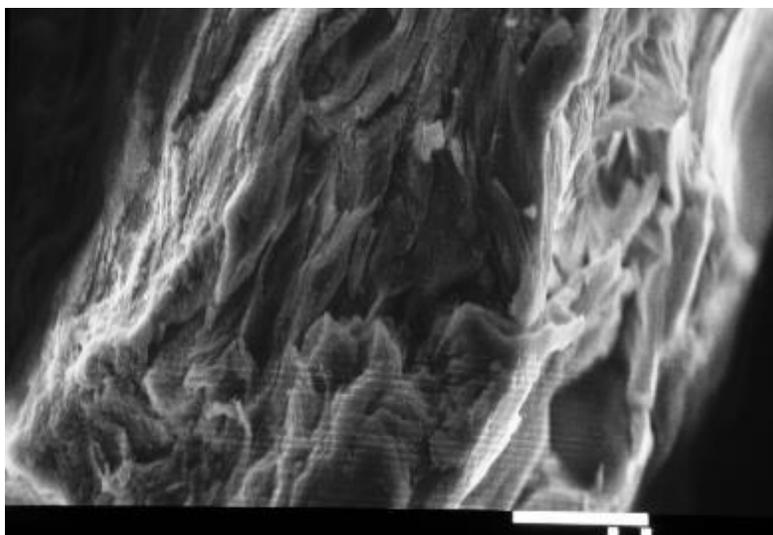
A través del microscopio electrónico de barrido (MEB) se obtuvieron las siguientes micrografías haciendo un comparativo entre las estructuras morfológicas entre el estándar y la pectina extraída.



**Micrografía 3.** Pectina cruda observada a 10 X en el MEB

<sup>26</sup>Los valores teóricos se obtuvieron de Lanrewaju, et. al., (2016) y Baltazar & et. al., (2013)

En esta micrografía se aprecia la estructura morfológica de la pectina cruda extraída del tejido celular de las cáscaras de toronja tratada con ácido cítrico, presenta una microestructura interna porosa, unida con residuos de otros componentes.



**Micrografía 4.** Estándar de pectina observada en 10 X en el MEB

En esta micrografía se observa la muestra de un estándar de pectina de cáscaras de cítricos comercial, cuya microestructura interna presenta una porosidad más clara y definida, mayor firmeza sin presencia de residuos de otros componentes, más pura con relación a la pectina cruda.

#### 5.4.6 Espectroscopía IR de pectinas de toronja

En las Figuras 28 y 29 se observan los espectros de las pectinas; cada uno tiene diferencias respecto a la intensidad de la señal de bandas de sus grupos funcionales (ver Tablas 37 y 38).

**Tabla 37.** Grupos funcionales presentes en el espectro de IR del estándar de pectina

Grupo Funcional	Enlace/tipo vibración	Intervalos de frecuencia teórico (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcoholes y ácidos carboxílicos	O-H st	3650-3200	3343.51
Alcanos	C-H st	3000-2840	2943.9
Carbonilo, Ésteres conjugados	C=O st	1790-1650	1730.82
	C-O st	1330-1050	1231.32
Ésteres de ácidos carboxílicos	COO <sup>-</sup> st as	1610-1550	1602.38
Éteres, Acetales y cetales	C-O-C st as	1310-1000	1081.47
	C-O-C st sy	1055-870	1010.11

**Tabla 38.** Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de la pectina cruda

Grupo Funcional	Enlace/tipo vibración	Intervalos de frecuencia teórico (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcoholes y ácidos carboxílicos	O-H st	3650-3200	3329.24
Alcanos	C-H st	3000-2840	2918.93
Carbonilo	C=O st	1730-1710	1712.98
Ésteres conjugados	C-O st	1300-1050	1217.05
Ésteres de Ácidos carboxílicos	COO <sup>-</sup> st as	1610-1550	1602.38
Éteres, acetales y cetales	C-O-C st sy	1055-870	1010.11

Se pueden apreciar bandas con valores de 3343.51 cm<sup>-1</sup> para el estándar y 3329.24 cm<sup>-1</sup> para la pectina cruda, que caracteriza a las vibraciones de tensión de O-H, esto nos permite suponer que la estructura molecular presenta muchos grupos de -OH, igual que grupos de ácido carboxílicos que también se ubican dentro de esos rangos de frecuencia.

Presentan una banda en 2943.9 cm<sup>-1</sup> (std de pectina) y 2918.93 cm<sup>-1</sup> (pectina cruda), que corresponde a las vibraciones de estiramiento de los C-H del anillo piránico. Se observa una banda de C-O st que se encuentra entre un rango de frecuencia de 1260-970 cm<sup>-1</sup>, se tienen vibraciones de estiramiento de grupos cetales (C-O-C st as) en un rango de (1300-1000) cm<sup>-1</sup>, el estándar de pectina presenta una banda en 1081.47 cm<sup>-1</sup> y 1010.11 cm<sup>-1</sup>, éste último valor lo tiene el espectro de la pectina cruda que solo se ve como un pequeño hombro.

Chasquibol, Arroyo, et. al., (2008), argumentan que los espectros de las pectinas presentan dos bandas características. Una de ellas se ubica en un rango de frecuencia (1790-1650) cm<sup>-1</sup>, donde se identifica a las vibraciones de tensión de los grupos carbonilo éster (C=O st) del ácido galacturónico.

En los espectros del estándar y pectina cruda; esta banda se ubica en 1730.82 cm<sup>-1</sup> y 1712.98 cm<sup>-1</sup>, respectivamente. La segunda banda, se localiza en un rango de frecuencia de (1610- 1550) cm<sup>-1</sup>, que caracteriza a las vibraciones de tensión de los grupos de éster metílico (COO<sup>-</sup> st as); en los espectros del estándar y pectina cruda se ubica en 1602.38 cm<sup>-1</sup>. Estas bandas permiten determinar el grado de esterificación de las pectinas, y si son de altos o bajos metoxilos.

### 5.4.6.1 Espectroscopía Infrarroja

#### 5.4.6.1.1 Estándar de pectina

Std

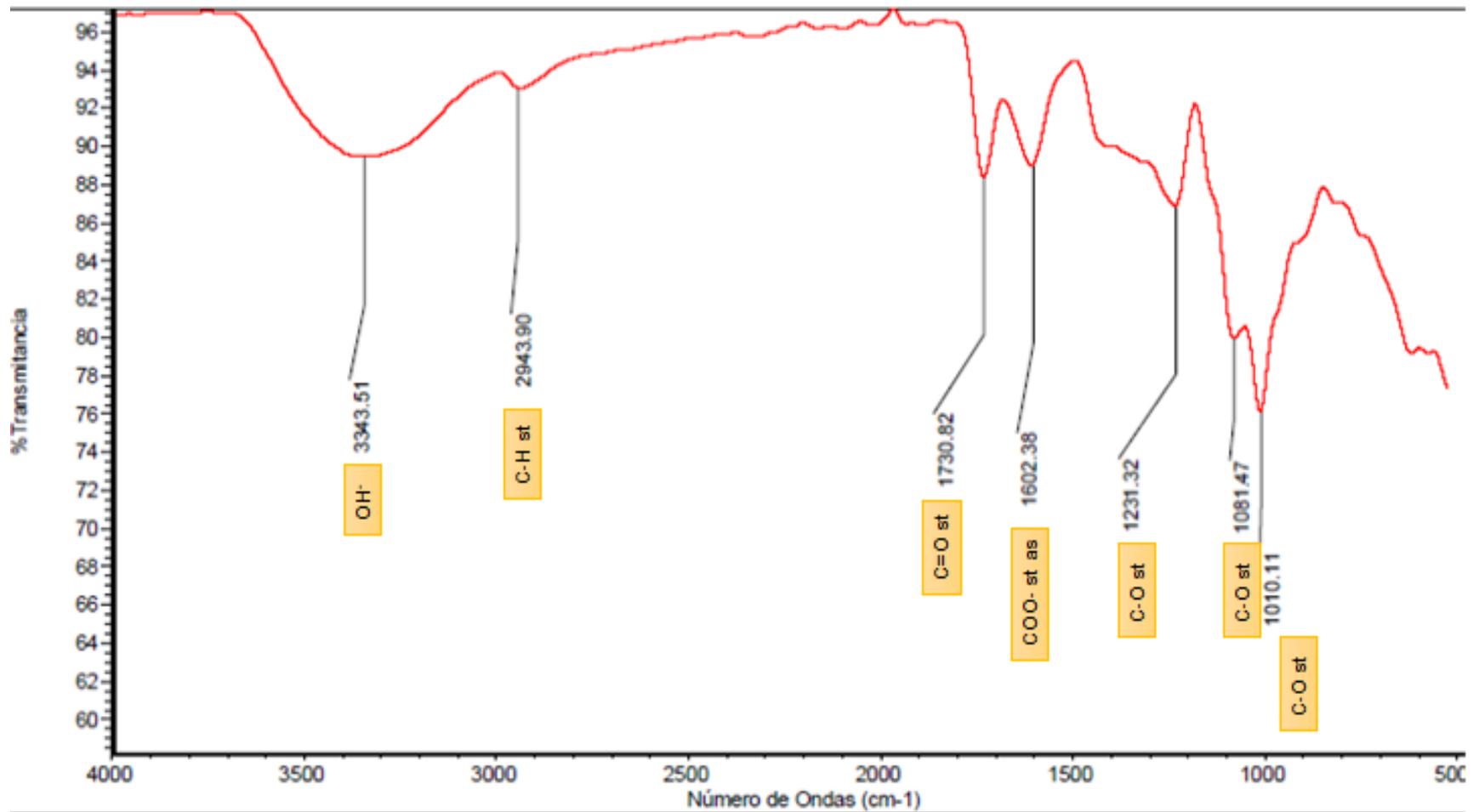


Figura 28. Espectro de IR de estándar de pectina

5.4.6.1.2 *Pectina cruda*

P. Mtra

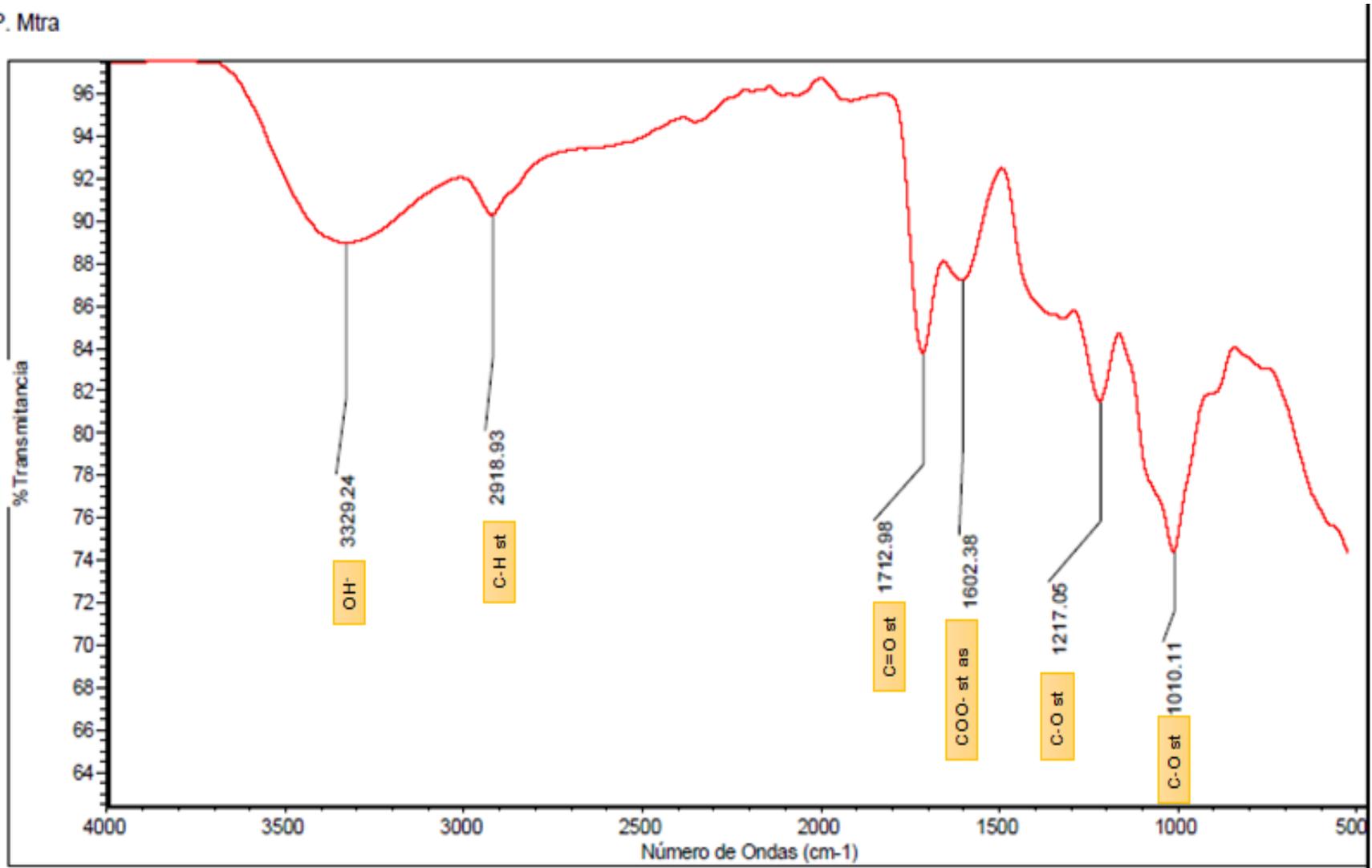


Figura 29. Espectro de IR de pectina cruda

### 5.4.7 Costo de pectina de la cáscara de toronja

Como puede apreciarse en la *Tabla 39*, se muestra una relación de la cantidad de cáscara de toronja con la cantidad de pectina que puede ser extraída incluido el costo de cada insumo; buscando mostrar un panorama más claro del gasto económico que se genera en la extracción del subproducto. En el anexo H, se presenta una tabla más detallada sobre el costo/beneficio del método extractivo.

*Tabla 39. Cantidad y precio de los insumos de extracción de pectina cruda*

No. de toronja	Peso (g)	Peso de cáscara (g)	GGG	Pectina extraída (g)	Ácido cítrico (\$)	Precio etanol (\$)	Precio de pectina cruda (\$)	Precio de pectina + IVA
1	445.18	129.45	11.56	1.76	0.14	11.92	12.2	14.15
2	890.36	258.9	23.12	3.53	0.29	23.83	24.4	28.30
<b>2.32</b>	<b>1032.82</b>	<b>300.324</b>	<b>26.82</b>	<b>4.09</b>	<b>0.33</b>	<b>27.648</b>	<b>28.3</b>	<b>32.83</b>
3	1335.54	388.35	34.68	5.29	0.43	35.75	36.6	42.46
5	2225.9	647.25	57.80	8.82	0.57	47.67	47.89	55.55
10	4451.8	1294.5	115.60	17.64	1.43	119.17	121.99	141.51
20	8903.6	2589	231.20	35.28	2.86	238.34	243.98	283.02
30	13355.4	3883.5	346.80	52.92	4.3	357.52	365.97	424.53
40	17807.2	5178	462.40	70.56	5.73	476.69	487.95	566.02
50	22259	6472.5	577.99	88.20	7.16	595.86	609.94	707.53
<b>56.69</b>	<b>25236.47</b>	<b>7338.28</b>	<b>655.31</b>	<b>100.0</b>	<b>15.96</b>	<b>675.57</b>	<b>691.53</b>	<b>802.17</b>

En la *Tabla 40*, se muestra un comparativo de precios de diferentes estándares de pectina cítrica. Se determina que la pectina extraída adquiere una mayor rentabilidad en comparación con los estándares de la marca Sigma-Aldrich, al presentar una ganancia económica de un 42.42% a 99.14%. Este último valor se calculó en base a la presentación comercial de pectina esterificada (5 g), el costo es muy elevado para una pequeña presentación, pero presenta un grado de pureza superior en relación con los otros estándares, esto provoca un aumento en costos, sin descartar el método de extracción empleado y los insumos requeridos.

*Tabla 40. Cotejo de precios de los estándares comerciales en relación a la pectina cruda*

Pectina cruda	Estándares comerciales	Pureza (%)	Cantidad (g)	Precio (\$)	Precio + IVA (\$)	Ganancia (%)
Pectina cruda, 100g (\$802.17 IVA incluido)	Pectina de cáscara cítrico	≥74	100	1201	1393.16	42.42
	Pectina esterificada	≥74	0	1201		
	Pectina esterificada	≥85	5	4005	4645.8	99.14
			100	80100	92916	

## 6 CONCLUSIONES

- Se identificó la especie de toronja que se utilizó en el procedimiento experimental, a través del herbario etnobotánico de la FES Iztacala, UNAM, con el nombre científico *Citrus x paradisi Macfady.*, de la familia Rutaceae, conocida popularmente con el nombre de Toronja con un número de registro 2396 IZTA
- Se logró extraer el aceite esencial de las cáscaras de toronja empleando dos métodos extractivos, amigables con el medio ambiente, siendo el marco sólido de la extracción por expresión, la materia prima para la obtención de los dos subproductos restantes (naringina y pectina) propuestos en la metodología. El rendimiento del AET en ambos métodos es proporcional con la cantidad de bagazo de toronja utilizado, se caracterizaron ambos productos demostrando las diferencias de calidad entre ellos, así como la rentabilidad económica de ambos métodos en comparación con la presentación de otros aceites que se venden a nivel comercial. Se determinó que el aceite de expresión es de mejor calidad, pero en rendimiento es muy poco y, por lo tanto, más costoso contrario al aceite de hidrodestilación, pero cuya calidad es inferior.
- Se obtuvo una metodología ecológica aprovechando los residuos de la extracción de aceite esencial; se obtuvo el compuesto naringina como segundo subproducto extraíble de las cáscaras de toronja. El cual presenta una calidad y pureza superior en comparación con un producto comercial pero no recomendable debido al bajo porcentaje en su rendimiento y rentabilidad económica, ya que se invierte prácticamente lo doble que en la extracción de una naringina comercial.
- El proceso de extracción para la obtención de pectinas es amigable con el medio ambiente, a pesar de obtener un rendimiento bajo de este subproducto, y no entrar dentro de los parámetros normalizados, este material pectínico presenta características que son de atracción para la industria en especial para el área alimentaria. Además, de que económicamente el proceso propuesto es rentable al tener una ganancia del 38.80 % en comparación con el precio de los estándares comerciales con los que se comparó.

## 7 PROSPECTIVAS

- Con relación a los resultados presentados con la calidad del aceite esencial de cáscaras de toronja, éste puede ser estudiado a mayor profundidad, empleando para su extracción nuevos métodos como gases en condiciones súper críticas. Para la caracterización utilizar técnicas más sofisticadas como cromatografía de gases-masas para comparar la composición química de los aceites obtenidos.
- Dada la calidad y pureza de la naringina cruda, se puede utilizar como materia prima para la obtención de la dihidrochalcona de la naringina que tiene propiedades edulcorantes, proponiendo una metodología amigable con el medio ambiente.
- Para la extracción de pectinas en cáscaras de toronja, se recomienda modificar los parámetros en el proceso de extracción, para lograr un mejor rendimiento del material pectínico y realizar pruebas de identificación y caracterización más detalladas que permitan comprobar la calidad del subproducto. Se pueden emplear los residuos de otras especies cítricas, para determinar el rendimiento y calidad de pectinas de una especie cítrica a otra.

## 8 ANEXOS

### 8.1 Anexo A

#### 8.1.1 Glosario

**Aglicona flavonoide:** (aglucona o genina). Se llama así al núcleo básico de los flavonoides 2-fenil-benzopirano que no está ligada a moléculas de azúcares.

**Bagazo:** Residuos de los frutos que son exprimidos para extraerles su jugo (cítricos).

**Baya:** (bot.) Fruto indehisciente (que no se abre espontáneamente) con el epicarpio (parte más externa) delgado y el mesocarpio y endocarpio carnosos y jugosos. Generalmente es de forma esférica o elíptica y tiene colores vivos.

**Esencia:** Secreciones naturales producidas en la planta por células secretoras especializadas.

**Híbrido:** (bot.) Planta cuyo resultado se debe al cruce de dos especies diferentes.

**Mutación:** Alteración de un genotipo que puede verse afectado en calidad como en cantidad del material genético, puede producirse de forma espontánea o inducida.

**Pecíolo:** (bot.) Raballo que une a la hoja al tallo o la rama.

**Pericarpio:** (bot.) Parte de los frutos que rodea las semillas y protege de agentes externos.

**Subproducto:** Producto secundario que se obtiene a partir de un proceso industrializado de un producto primario; adquiere un valor agregado, útil y comercializable.

**Residuo:** Es aquel material que se genera a partir del consumo directo de productos primarios industrializados, no son de utilidad para el proceso que los generó, pero pueden tener o no un valor comercial, debido a su bajo rendimiento que presentan.

**Valor agregado:** Es el valor económico/valor adicional que adquieren los bienes y servicios al ser transformados durante el proceso productivo.

## 8.2 ANEXO B

### 8.2.1 Certificado e identificación de la especie botánica



**Lidia Martínez Vargas,**  
Alumna de la Carrera de  
Química Farmacéutica Bióloga de la  
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-Campo 1, UNAM,  
Presente.

Por este conducto me permito proporcionarle a usted la identificación taxonómica del material botánico de respaldo de la tesis titulada: "Extracción, separación, purificación e identificación de los componentes químicos presentes en el bagazo de *Citrus x paradisi* Macfady (RUTACEAE) (toronja) de importancia industrial", que se realiza en el Laboratorio de Farmacognosia y Fitoquímica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (UNAM), bajo la dirección de la QFB Brígida del Carmen Camacho Enriquez.

Así mismo, le informo que la planta ha sido integrada en la **Colección Etnobotánica** del Herbario Iztacala con el siguiente número de registro:

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	NOMBRE POPULAR	NO. DE REGISTRO
<i>Citrus x paradisi</i> Macfady	RUTACEAE	"Toronja"	2396 IZTA

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Los Reyes Iztacala, Edo. de México, 23 de enero de 2015

  
**M. EN C. MA. EDITH LÓPEZ VILAFRANCO**  
RESPONSABLE DEL HERBARIO IZTACALA



Oficina de gestión, planta baja  
Tel. 5623 11 87 • 5623 11 99  
Fax: 5623 11 49  
Av. de los Reyes, R.P. 1, Los Reyes Iztacala  
Cuautitlán, CP 54000  
Estado de México



Herbario IZTA  
Edificio 14, Planta Baja  
Av. de los Reyes, No. 1  
Los Reyes Iztacala, Cuautitlán  
Estado de México, CP 54000 México  
Tel/Fax: 5623 1178  
herbario\_izta@campus.unam.mx



Figura 30. Certificado de identificación de la especie de toronja  
Fuente: Elaboración propia

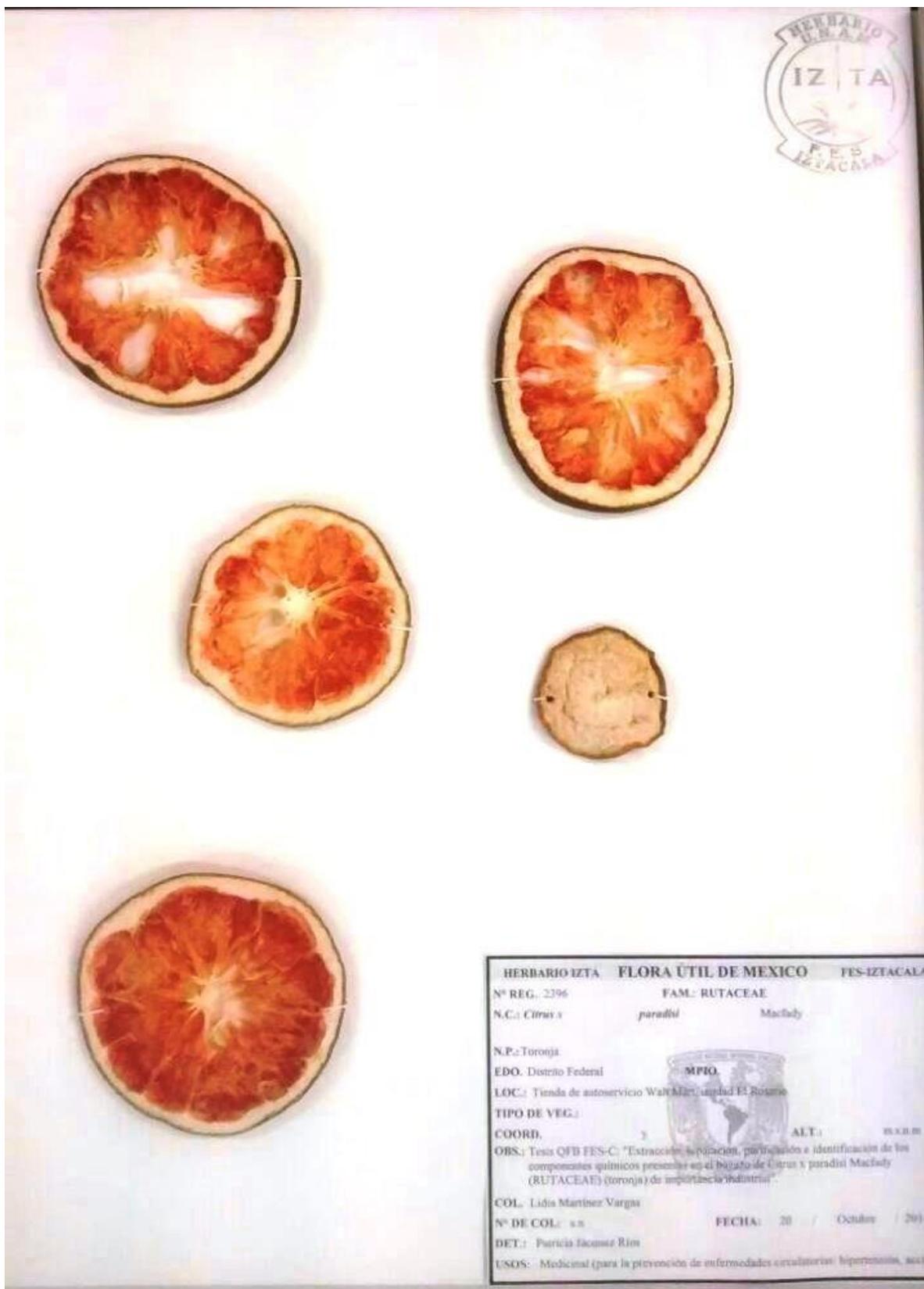


Figura 31. Rodajas de toronja deshidratadas con su cédula de identificación

Fuente: Elaboración propia

## 8.3 ANEXO C

### 8.3.1 Parámetro de evaluación ecológica del proceso experimental

**Tabla 41.** Código de color en función del número de los Principios de la Química Verde que cumple con la metodología experimental

No. PQVCE	Color observado	Modelo de color RGB	Modelo de color CMYK
0		237, 28, 37	0.00, 0.882, 0.844, 0.071
1		240, 81, 35	0.00, 0.663, 0.854, 0.059
2		237, 110, 5	0.00, 0.54, 0.98, 0.07
3		243, 146, 0	0.00, 0.40, 1.00, 0.05
4		249, 179, 0	0.00, 0.28, 1.00, 0.02
5		255, 210, 0	0.00, 0.18, 1.00, 0.00
6		255, 237, 0	0.00, 0.07, 1.00, 0.00
7		239, 227, 0	0.00, 0.05, 1.00, 0.06
8		214, 217, 0	0.01, 0.00, 1.00, 0.15
9		187, 207, 0	0.10, 0.00, 1.00, 0.19
10		157, 196, 26	0.20, 0.00, 0.87, 0.23
11		122, 185, 41	0.34, 0.00, 0.78, 0.27
12		79, 174, 50	0.55, 0.00, 0.71, 0.32

Nota: No. PQVCE: número de principios de la química verde que cumple el experimento  
Obtenida de Vargas (2016)

**Tabla 42.** Codificación de color en función del tipo de residuo regenerados en la metodología experimental

Tipo de residuo	Color Observado	Modelo de color RGB	Modelo de color CMYK
Residuos que requieren tratamiento		255,237,0	0.00, 0.07, 1.00, 0.00
Residuos reutilizables		187, 207,0	0.10, 0.00, 1.00, 0.19
Agua, disolventes acuosos con solutos biodegradables		79, 174, 50	0.55, 0.00, 0.71, 0.32

Nota: Adaptada de Vargas, (2016)

## 8.4 ANEXO D

### 8.4.1 Registro de la materia prima utilizada en todo el desarrollo experimental

**Tabla 43.** Relación de la materia prima empleada periódicamente en todo el experimento

Fecha	No. Toronja	Peso Toronja (g)	Tamaño de diámetro (mm)	Peso Cáscara (g)	% Cáscara	Peso de Albedo (g)	% Albedo	Peso del Flavado (g)	% Flavado
	1	286.8	84	84.6	29.5	51.4	60.76	33.2	39.24
	2	298.4	91	87.3	29.3	56.8	65.06	30.5	34.94
24/03/14	3	308.5	93	104.9	34	67.4	64.25	37.5	35.75
	4	292.3	92	81.9	28	46.7	57.02	35.2	42.98
	5	389.7	97	98.1	25.2	58.5	59.63	39.6	40.37
	6	470.7	112	136.8	29.1	72.6	53.07	64.2	46.93
	7	436.6	107	117	26.8	68.1	58.21	48.9	41.79
	8	454	111	127.1	28	70.6	55.55	56.5	44.45
	1	535.8	117	178.4	33.3	96.8	54.26	81.6	45.74
	2	504.7	114	128.6	25.5	68.4	53.19	60.2	46.81
	3	440.7	107	129.3	29.3	70.2	54.29	59.1	45.71
01/09/14	4	425.4	103	109.9	25.8	65.7	59.78	44.2	40.22
	5	394.7	97	103.6	26.2	62.1	59.94	41.5	40.06
	6	510.4	116	130.7	25.6	78.7	60.21	52	39.79
	7	462.2	112	134.2	29	79.4	59.17	54.8	40.83
	8	575.5	116	171.6	29.8	98.6	57.46	73	42.54
	1	645	119	192.3	29.8	121.6	63.23	70.7	36.77
	2	483.6	115	146.2	30.2	94.8	64.84	51.4	35.16
	3	542	118	187.2	34.5	115.2	61.54	72	38.46
	4	566.2	119	191.9	33.9	123.6	64.41	68.3	35.59
29/09/14	5	672.3	118	205.3	30.5	133.7	65.12	71.6	34.88
	6	585	115	197.6	33.8	128.9	65.23	68.7	34.77
	7	454	110	142.6	31.4	88.3	61.92	54.3	38.08
	8	484.9	113	152.1	31.4	95.6	62.85	56.5	37.15
	1	383.1	97	97.3	25.4	56.9	58.48	40.4	41.52
	2	373.7	96	87.8	23.5	53.1	60.48	34.7	39.52
	3	442.5	109	129.8	29.3	83.2	64.1	46.6	35.9
09/02/15	4	494.8	115	159.3	32.2	88.1	55.3	71.2	44.7
	5	411.2	100	107.8	26.2	57.4	53.25	50.4	46.75
	6	408.9	101	106.5	26	55.3	51.92	51.2	48.08
	7	494.2	116	155.2	31.4	98.1	63.21	57.1	36.79
	8	346.1	96	88.3	25.5	47.4	53.68	40.9	46.32
	1	451.8	114	140.1	31	83.3	59.46	56.8	40.54
	2	472.8	112	139.1	29.4	81.9	58.88	57.2	41.12
26/03/15	3	503.6	118	165.3	32.8	102.8	62.19	62.5	37.81
	4	530.6	112	175.1	33	113.4	64.76	61.7	35.24
	5	445.2	110	131.7	29.6	78.5	59.61	53.2	40.39
	6	530.2	116	164.4	31	89.2	54.26	75.2	45.74
	7	472.8	114	138.2	29.2	76.3	55.21	61.9	44.79
	8	503.6	118	161.6	32.1	88.6	54.83	73	45.17
	1	445.2	110	133.8	30.1	71.3	53.29	62.5	46.71
	2	315.2	96	82.2	26.1	48.7	59.25	33.5	40.75
14/04/15	3	530.6	115	166.2	31.3	92.8	55.84	73.4	44.16
	4	530.2	116	159.3	30	89.9	56.43	69.4	43.57
	5	533.5	117	165.8	31.1	92.3	55.67	73.5	44.33
	6	360.5	96	86.3	23.9	47.2	54.69	39.1	45.31
	7	367.7	97	89.8	24.4	48.7	54.23	41.1	45.77
	8	348	95	84.7	24.3	49.1	57.97	35.6	42.03
	1	249	84	63.3	25.4	41.9	66.19	21.4	33.81
04/06/15	2	378	96	91.6	24.2	56.3	61.46	35.3	38.54
	3	401.1	99	102.4	25.5	62.2	60.74	40.2	39.26
	4	444.3	109	136.1	30.6	71.1	52.24	65	47.76
	5	367	95	89.1	24.3	52.3	58.7	36.8	41.3
	6	354.6	97	87.9	24.8	52.9	60.18	35	39.82
	7	386	97	92.3	23.9	53.5	57.96	38.8	42.04
	8	434.6	104	131.6	30.3	72.6	55.17	59	44.83
Suma		24930	5963	7249.1	1607.7	4270	3290.6	2979.1	2309.38
		445.18	106.4	129.45	28.71	76.25	58.76	53.20	41.24

## 8.5 ANEXO E

### 8.5.1 Índice de refracción

#### a) Cálculos para obtener el índice de Refracción del aceite esencial

$$R = R' + K (T' - T)$$

En donde:

**R:** Lectura del índice de refracción modificada a T en K (°C)

**R':** Lectura tomada a la temperatura (T') indicada en el refractómetro en K (°C)

**K:** Factor de corrección establecido

**T':** Temperatura a la que se efectuó la lectura

**T:** Temperatura de referencia (a 20°C, en el caso de los aceites)

#### Correcciones por temperatura

**K=** 0.00035 para T= 20 °C

**K=** 0.00036 para T= 40, 50, Y 60 °C

**K=** 0.00037 para T= 80 °C y más

- 1) *Índice de refracción de Aceite Esencial de Toronja por el método de prensado*

$$n_D^t = 1.4740 + 0.00035 (28 - 20)$$

$$n_D^t = 1.4740 + 0.0028$$

$$n_D^t = \mathbf{1.47680}$$

- 2) *Índice de refracción de Aceite Esencial de Toronja por el método de Hidrodestilación*

$$n_D^t = 1.4675 + 0.00035 (28 - 20)$$

$$n_D^t = 1.4675 + 0.0028$$

$$n_D^t = \mathbf{1.47030}$$

## 8.6 ANEXO F

### 8.6.1 Determinación de la densidad relativa de los aceites esenciales

En base a lo establecido en la (NMX-F-075-SCFI, 2012), “*Determinación de la densidad relativa, método de prueba*”, se utiliza la siguiente fórmula para calcular el parámetro fisicoquímico:

$$\delta(20^{\circ}\text{C}) = M1 - M$$

Ecuación de densidad corregida  $\delta = G1 + F(T' - T)$

$$G1 = M1 - M$$

En donde:

M1= Masa del matraz aforado de 1 ml con la muestra

M= Masa del matraz aforado de 1 ml vacío

G1= Masa neta del aceite esencial

$\delta$ = Densidad relativa del aceite esencial

T(°C) = Temperatura que presente el agua durante la medición

T'(°C) = Se considera la temperatura del agua a 25°C o lo que indica la norma del aceite esencial

F= Factor de correlación= 0.00057 (cuando la temperatura sea diferente a 25°C)

#### 1) *Densidad relativa del aceite esencial de toronja por el método de prensado*

$$M1 = 7.4950 \text{ g} \quad G1 = 7.4950 \text{ g} - 6.6432 \text{ g}$$

$$M = 6.6432 \text{ g} \quad G1 = 0.8518$$

$$T = 21^{\circ}\text{C}$$

$$\delta = 0.8518 + (0.00057)(28 - 25)$$

$$\delta = 0.8518 + (0.00057)(3)$$

$$\delta = 0.8274 + 0.00171$$

$$\delta = 0.85351$$

#### 2) *Densidad relativa del aceite esencial de toronja por el método de Hidrodestilación*

$$M1 = 7.4263 \text{ g} \quad G1 = 7.4263 \text{ g} - 6.6676 \text{ g}$$

$$M = 6.6676 \text{ g} \quad G1 = 0.7587$$

$$T = 21^{\circ}\text{C}$$

$$\delta = 0.7587 + (0.00057) (28 - 25)$$

$$\delta = 0.7587 + (0.00057)(3)$$

$$\delta = 0.7587 + 0.00171$$

$$\delta = 0.76041$$

### a) Cálculos para el Rendimiento de los aceites esenciales

Utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{\text{g de aceite obtenidos}}{\text{g de materia prima}} 100$$

#### a) Rendimiento del aceite esencial por el método de prensado

Peso de la cáscara = 300g

Densidad relativa ( $\delta$ ) = 0.82569 g/ml

Volumen = 0.8 ml

$$\left(\frac{0.82569 \text{ g}}{1 \text{ ml}}\right) (0.8 \text{ ml}) = 0.660552 \text{ g}$$

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{0.660552 \text{ g}}{300 \text{ g}} 100$$

$$\% \text{ de rendimiento} = 0.22\%$$

#### b) Rendimiento del aceite esencial por el método de Hidrodestilación

Peso de la cáscara = 300g

Densidad relativa ( $\delta$ ) = 0.85009 g/ml

Volumen = 1.8 ml

$$\left(\frac{0.85009 \text{ g}}{1 \text{ ml}}\right) (1.8 \text{ ml}) = 1.530162 \text{ g}$$

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{1.530162 \text{ g}}{300 \text{ g}} 100$$

$$\% \text{ de rendimiento} = 0.51\%$$

## 8.7 ANEXO G

### 8.7.1 Espectros de IR de naringina cruda extraída a partir de otros disolventes

naringina-agua

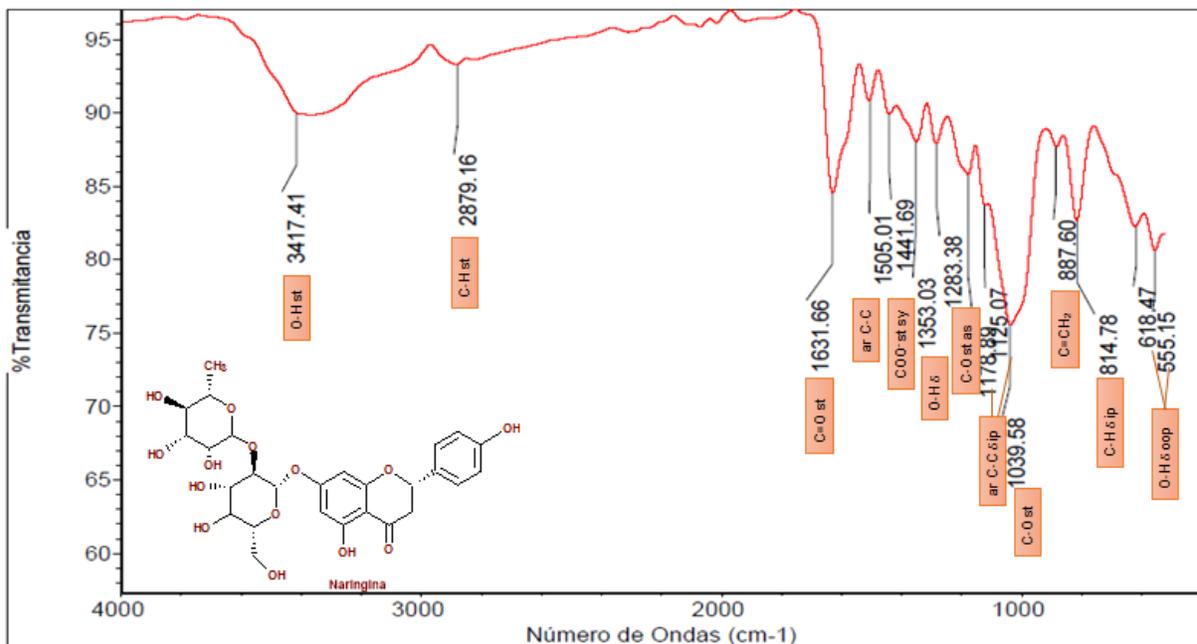


Figura 32. Espectro de IR de naringina cruda extraída a partir de agua destilada

Tabla 44. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina cruda en agua

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcanos	C-H st	3000-2840	2879.16
	C-H δ ip	1005-675	814.78
Alquenos	C=CH <sub>2</sub>	900-880	887.6
	ar C-C	1525-1450	1505.01
Hidrocarburos aromáticos	ar C-C δ ip	1250-950	1178.89
			1125.07
Alcoholes y fenoles	O-H st	3650-3200	3471.41
	O-H δ	1475-1315	1353.03
	C-O st	1330-1050	1283.38
	C-O st	1075-1000	1039.58
	O-H δ oop	<700	618.47
			555.15
Éteres	COO <sup>-</sup> st sy	1450-1400	1441.69
	C=O st	1740-1630	1631.66

naringina-etanol

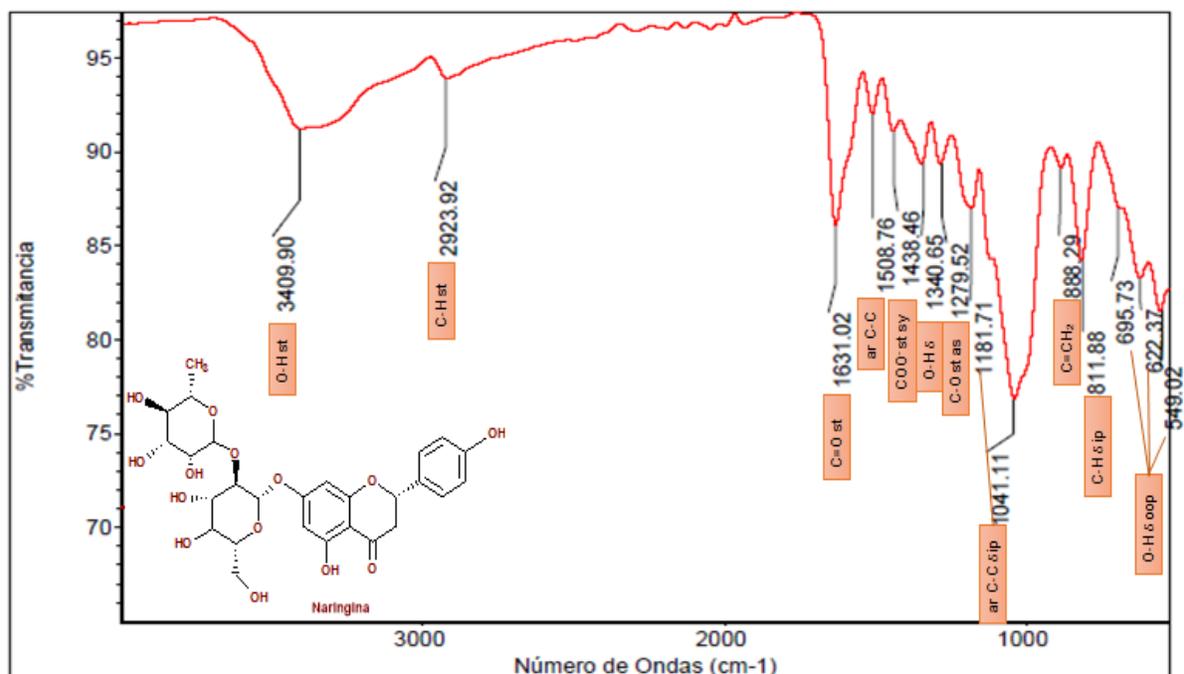


Figura 33. Espectro de IR de naringina cruda extraída a partir de etanol

Tabla 45. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina cruda en etanol

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcanos	C-H st	3000-2840	2923.92
	C-H δ ip	1005-675	811.88
Alquenos	C=CH <sub>2</sub>	900-880	888.29
	ar C-C	1525-1450	1508.76
Hidrocarburos aromáticos	ar C-C δ ip	1250-950	1181.71
			1041.11
Alcoholes y fenoles	O-H st	3650-3200	3409.9
	O-H δ	1475-1315	1340.65
	C-O st as	1330-1050	1279.52
			695.73
	O-H δ oop	<700	622.37
			549.02
Éteres	COO <sup>-</sup> st sy	1450-1400	1438.46
	C=O st	1740-1630	1631.02

naringina-EtOH-H2O

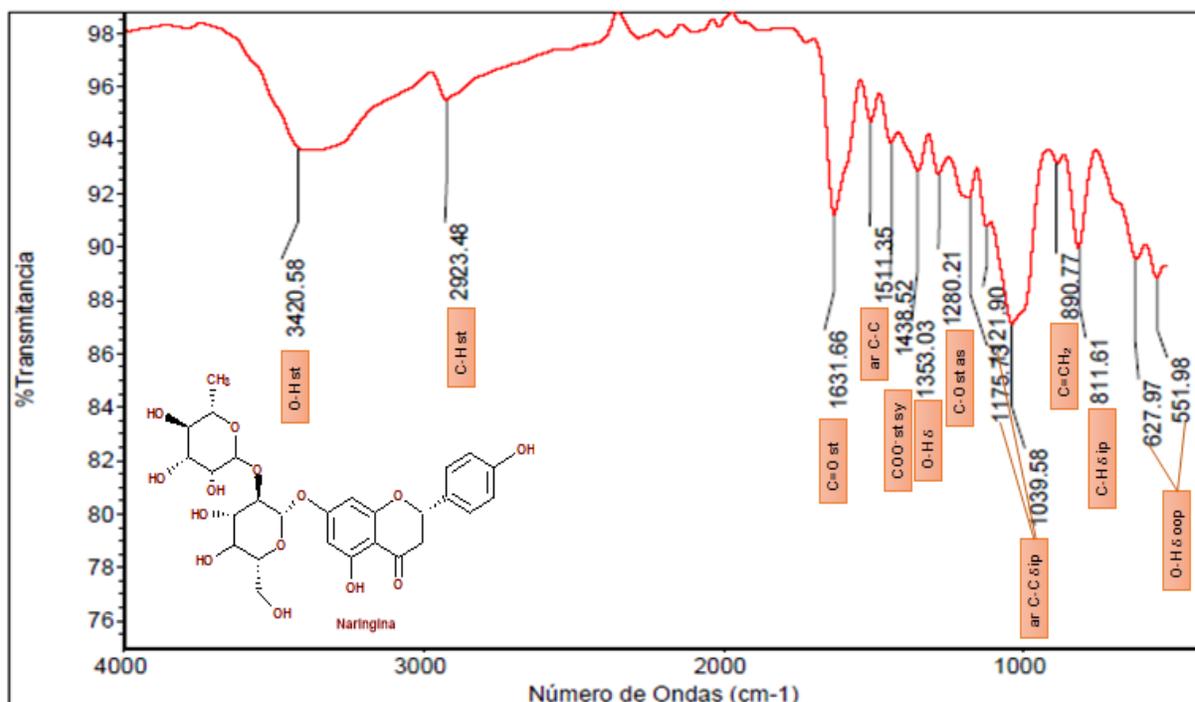


Figura 34. Espectro de IR de naringina cruda extraída a partir de la mezcla de etanol/agua

Tabla 46. Grupos funcionales presentes en el espectro de IR de naringina cruda a partir de una mezcla de etanol/agua

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcanos	C-H st	3000-2840	2923.48
	C-H δ ip	1005-675	811.61
Alquenos	C=CH <sub>2</sub>	900-880	890.77
Hidrocarburos aromáticos	ar C-C	1525-1450	1511.35
	ar C-C δ ip	1250-950	1175.73
			1121.9
Alcoholes y fenoles	O-H st	3650-3200	3420.58
	O-H δ	1475-1315	1353.03
	C-O st as	1330-1050	1280.21
	O-H δ oop	<700	627.97
Éteres			551.98
	COO <sup>-</sup> st sy	1450-1400	1438.46
	C=O st	1740-1630	1631.02
	C-O st as	1330-1050	1280.21

## naringina-acetona-agua

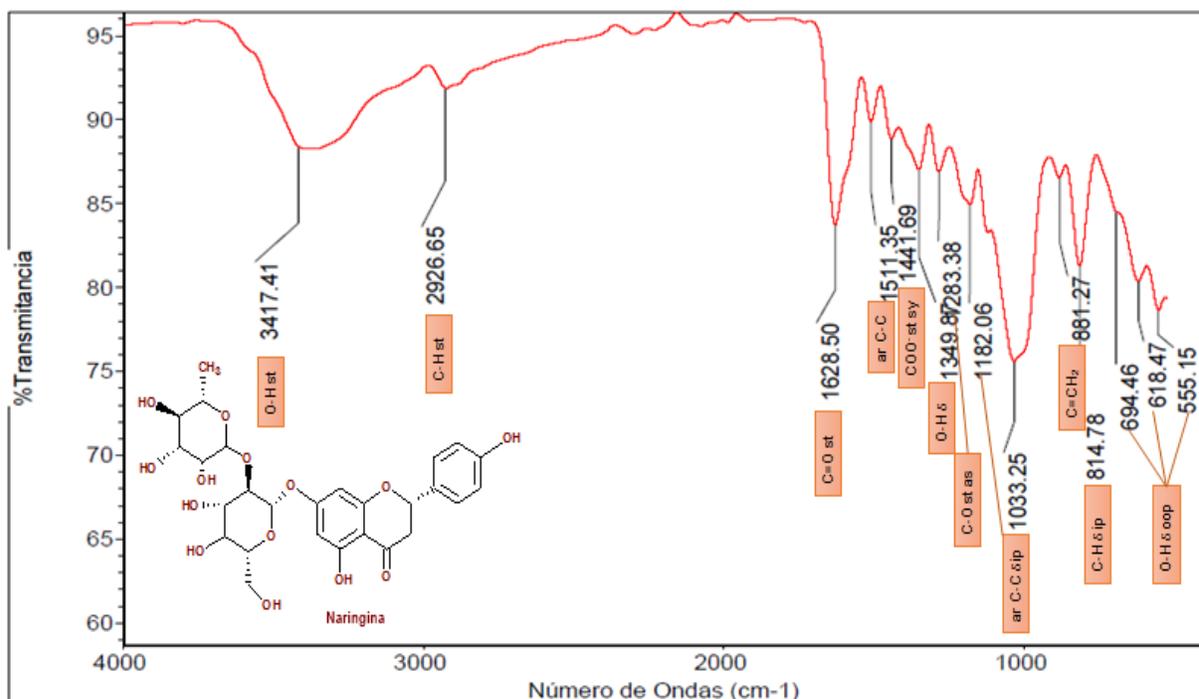


Figura 35. Espectro de naringina cruda extraída en acetona/agua

Tabla 47. Grupos funcionales en el espectro de IR de naringina cruda extraída en acetona/agua

Grupos Funcionales	Enlace/tipo de vibración	Intervalos de frecuencia teóricos (cm <sup>-1</sup> )	Intervalos de frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Alcanos	C-H st	3000-2840	2926.65
	C-H δ ip	1005-675	814.78
Alquenos	C=CH <sub>2</sub>	900-880	881.27
Hidrocarburos aromáticos	ar C-C	1525-1450	1511.35
	ar C-C δ ip	1250-950	1182.06 1033.25
Alcoholes y fenoles	O-H st	3650-3200	3471.41
	O-H δ	1475-1315	1349.87
	C-O st as	1330-1050	1283.38
			694.46
	O-H δ oop	<700	618.47 555.15
Éteres	COO- st sy	1450-1400	1441.69
	C=O st	1740-1630	1628.5

## 8.8 ANEXO H

### 8.8.1 Análisis de costos de los subproductos del bagazo de toronja

**Tabla 48.** Análisis de costos de naringina cruda

No. de toronja	Peso promedio (g)	Precio promedio (\$/g toronja)	Peso de cáscara (g)	Precio de la cáscara (\$)	Naringina (mg)	1er. Extracción acetona (mL)	2da. Extracción acetona (mL)	3er extracción (1er y 2da. Extracción acetona mL) (34.5% acetona recuperada)	Precio 1er extracción (\$)	Precio 2da. Extracción (\$)	Precio 3er. Extracción (\$)	Costo total de acetona (\$)	Precio total de naringina (\$)
		7											
0.01	3.44	0.02	1	0.007	13.38	1.66	1.66	1.15	0.30	0.30	0.21	0.81	0.81
0.08	34.39	0.24	10	0.07	133.8	16.65	16.65	11.49	3.01	3.01	2.07	8.09	8.09
0.77	343.90	2.41	100	0.7	1338	166.49	166.67	114.88	30.07	30.10	20.75	80.91	80.91
1	445.18	3.12	129.45	0.91	1732.04	215.517	215.517	148.71	38.92	38.92	26.86	104.70	104.70
2	890.36	6.23	258.9	1.81	3464.08	431.03	431.03	297.41	77.84	77.84	53.71	209.40	209.40
<b>2.32</b>	<b>1032.82</b>	<b>7.23</b>	<b>300.324</b>	<b>2.1</b>	<b>4018.34</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>345</b>	<b>90.3</b>	<b>90.3</b>	<b>62.31</b>	<b>242.91</b>	<b>242.91</b>
3	1335.54	9.35	388.35	2.72	5196.12	646.55	646.55	446.12	116.7	116.7	80.57	314.10	314.10
4	1780.72	12.47	517.8	3.62	6928.16	862.07	862.07	594.83	155.69	155.69	107.43	418.81	418.81
5	2225.9	15.58	647.25	4.53	8660.21	1077.59	1077.59	743.53	194.61	194.61	134.28	523.50	523.50
6	2671.08	18.7	776.7	5.44	10392.25	1293.10	1293.10	892.24	233.53	233.53	161.14	628.21	628.21
7	3116.26	21.81	906.15	6.34	12124.29	1508.62	1508.62	1040.95	272.46	272.46	188.00	732.91	732.91
8	3561.44	24.93	1035.6	7.25	13856.33	1724.14	1724.14	1189.66	311.38	311.38	214.85	837.61	837.61
9	4006.62	28.05	1165.05	8.16	15588.37	1939.66	1939.66	1338.36	350.30	350.30	241.71	942.31	942.31
10	4451.8	31.16	1294.5	9.06	17320.41	2155.17	2155.17	1487.07	389.22	389.22	268.56	1047.01	1047.01
11	4896.98	34.28	1423.95	9.97	19052.45	2370.69	2370.69	1635.78	428.15	428.15	295.42	1151.71	1151.71
12	5342.16	37.4	1553.4	10.87	20784.49	2586.21	2586.21	1784.48	467.07	467.07	322.28	1256.42	1256.42
13	5787.34	40.51	1682.85	11.78	22516.53	2801.72	2801.72	1933.19	505.99	505.99	349.13	1361.12	1361.12
14	6232.52	43.63	1812.3	12.69	24248.57	3017.24	3017.24	2081.90	544.91	544.91	375.99	1465.82	1465.82
15	6677.7	46.74	1941.75	13.59	25980.62	3232.76	3232.76	2230.60	583.85	583.85	402.85	1570.52	1570.52
16	7122.88	49.86	2071.2	14.5	27712.66	3448.28	3448.28	2379.31	622.76	622.76	429.70	1675.22	1675.22
17	7568.06	52.98	2200.65	15.4	29444.70	3663.79	3663.79	2528.02	661.68	661.68	456.56	1779.92	1779.92
18	8013.24	56.09	2330.1	16.31	31176.74	3879.31	3879.31	2676.72	700.60	700.60	483.42	1884.62	1884.62
19	8458.42	59.21	2459.55	17.22	32908.78	4094.83	4094.83	2825.43	739.53	739.53	510.27	1989.32	1989.32
20	8903.6	62.33	2589	18.12	34640.82	4310.34	4310.34	2974.14	778.45	778.45	537.13	2094.03	2094.03
21	9348.78	65.44	2718.45	19.03	36372.86	4525.86	4525.86	3122.84	817.37	817.37	563.99	2198.73	2198.73
22	9793.96	68.56	2847.9	19.94	38104.90	4741.38	4741.38	3271.55	856.29	856.29	590.84	2303.43	2303.43
23	10239.14	71.67	2977.35	20.84	39836.94	4956.90	4956.90	3420.26	895.22	895.22	617.70	2408.13	2408.13
24	10684.32	74.79	3106.8	21.75	41568.98	5172.41	5172.41	3568.97	934.14	934.14	644.56	2512.83	2512.83
25	11129.5	77.91	3236.25	22.65	43301.03	5387.93	5387.93	3717.67	973.06	973.06	671.41	2617.53	2617.53
26	11574.68	81.02	3365.7	23.56	45033.07	5603.45	5603.45	3866.38	1011.98	1011.98	698.27	2722.23	2722.23
27	12019.86	84.14	3495.15	24.47	46765.11	5818.97	5818.97	4015.09	1050.91	1050.91	725.12	2826.93	2826.93
28	12465.04	87.26	3624.6	25.37	48497.15	6034.48	6034.48	4163.79	1089.83	1089.83	751.98	2931.64	2931.64
29	12910.22	90.37	3754.05	26.28	50229.19	6250.00	6250.00	4312.50	1128.75	1128.75	778.84	3036.34	3036.34
30	13355.4	93.49	3883.5	27.18	51961.23	6465.52	6465.52	4461.21	1167.67	1167.67	805.69	3141.04	3141.04
31	13800.58	96.6	4012.95	28.09	53693.27	6681.03	6681.03	4609.91	1206.59	1206.59	832.55	3245.74	3245.74
32	14245.76	99.72	4142.4	29	55425.31	6896.55	6896.55	4758.62	1245.52	1245.52	859.41	3350.44	3350.44
33	14690.94	102.84	4271.85	29.9	57157.35	7543.10	7543.10	4907.33	1284.44	1284.44	889.26	3532.99	3532.99
34	15136.12	105.95	4401.3	30.81	58889.39	7327.59	7327.59	5056.03	1323.36	1323.36	913.12	3559.84	3559.84
35	15581.3	109.07	4530.75	31.72	60621.44	7543.10	7543.10	5204.74	1362.28	1362.28	939.98	3664.55	3664.55

**Tabla 49. Detallado análisis de costos de la pectina cruda de la cáscara de toronja**

No. de toronja	Peso (g)	Precio (\$/g fruto)	Peso de cáscara (g)	Precio de la cáscara (\$)	Cáscara seca (g)	Pectina extraída (g)	Ácido Cítrico (g)	Ácido Cítrico (mL)	Precio Ácido Cítrico (\$)	Etanol 96° (mL)	Etanol 96° (mL)	Etanol 96° (mL)	Total, de Etanol utilizado (mL)	Precio de etanol (\$)	precio de pectina cruda (\$)	Precio de pectina + IVA	
										1er lavado	2do. lavado	3er. Lavado					
7																	
0.01	3.44	0.02	1	0.007	0.09	0.01	0.03	1.34	0.00	1.07	0.75	0.75	2.56	0.09	0.09	0.11	
0.08	34.39	0.24	10	0.07	0.89	0.14	0.27	13.40	0.02	10.66	7.46	7.46	25.57	0.92	0.94	1.09	
0.77	343.90	2.41	100	0.7	8.93	1.36	2.68	133.95	0.22	106.55	74.59	74.59	255.72	9.21	9.42	10.94	
1	445.18	3.12	129.45	0.91	11.56	1.76	3.47	173.40	0.28	137.93	96.55	96.55	331.03	11.92	12.2	14.15	
2	890.36	6.23	258.9	1.81	23.12	3.53	6.94	346.80	0.56	275.86	193.10	193.10	662.07	23.83	24.40	28.30	
2.32	1032.82	7.23	300.324	2.1	26.82	4.09	8.05	402.28	0.65	320	224	224	768	27.65	28.3	32.83	
3	1335.54	9.35	388.35	2.72	34.68	5.29	10.40	520.19	0.84	413.79	289.66	289.66	993.10	35.75	36.60	42.46	
4	1780.72	12.47	517.8	3.62	46.24	7.06	13.87	693.59	1.13	551.72	386.21	386.21	1324.14	47.67	48.8	56.61	
5	2225.9	15.58	647.25	4.53	57.80	8.82	17.34	866.99	1.41	689.66	482.76	482.76	1655.17	59.59	61	70.76	
6	2671.08	18.7	776.7	5.44	69.36	10.58	20.81	1040.39	1.69	827.59	579.31	579.31	1986.21	71.50	73.20	84.91	
7	3116.26	21.81	906.15	6.34	80.92	12.35	24.28	1213.79	1.97	965.52	675.86	675.86	2317.24	83.42	85.40	99.10	
8	3561.44	24.93	1035.6	7.25	92.48	14.11	27.74	1387.19	2.25	1103.45	772.41	772.41	2648.28	95.34	97.60	113.22	
9	4006.62	28.05	1165.05	8.16	104.04	15.88	31.21	1560.58	2.53	1241.38	868.97	868.97	2979.31	107.26	109.80	127.40	
10	4451.8	31.16	1294.5	9.06	115.60	17.64	34.68	1733.98	2.82	1379.31	965.52	965.52	3310.34	119.17	122.00	141.52	
11	4896.98	34.28	1423.95	9.97	127.16	19.40	38.15	1907.38	3.10	1517.24	1062.07	1062.07	3641.38	131.09	134.20	155.68	
12	5342.16	37.4	1553.4	10.87	138.72	21.17	41.62	2080.78	3.38	1655.17	1158.62	1158.62	3972.41	143.01	146.40	169.82	
13	5787.34	40.51	1682.85	11.78	150.28	22.93	45.08	2254.18	3.66	1793.10	1255.17	1255.17	4303.45	154.92	158.60	183.98	
14	6232.52	43.63	1812.3	12.69	161.84	24.70	48.55	2427.58	3.94	1931.03	1351.72	1351.72	4634.48	166.84	170.80	198.13	
15	6677.7	46.74	1941.75	13.59	173.40	26.46	55.02	2600.97	4.22	2068.97	1448.28	1448.28	4965.52	178.76	183.00	212.28	
16	7122.88	49.86	2071.2	14.5	184.96	28.22	58.49	2774.37	4.51	2206.90	1544.83	1544.83	5296.55	190.68	195.20	226.43	
17	7568.06	52.98	2200.65	15.4	196.52	29.99	58.96	2947.77	4.79	2344.83	1641.38	1641.38	5627.59	202.59	207.40	240.60	
18	8013.24	56.09	2330.1	16.31	208.08	31.75	62.42	3121.17	5.07	2482.76	1737.93	1737.93	5958.62	214.51	219.60	254.74	
19	8458.42	59.21	2459.55	17.22	219.64	33.52	65.89	3294.57	5.35	2620.69	1834.48	1834.48	6289.66	226.43	231.80	268.90	
20	8903.6	62.33	2589	18.12	231.20	35.28	69.36	3467.97	5.63	2758.62	1931.03	1931.03	6620.69	238.34	244.00	283.01	
21	9348.78	65.44	2718.45	19.03	242.76	37.04	72.83	3641.36	5.91	2896.55	2027.59	2027.59	6951.72	250.26	256.20	297.16	
22	9793.96	68.56	2847.9	19.94	254.32	38.81	76.30	3814.76	6.20	3034.48	2124.14	2124.14	7282.76	262.18	268.40	311.31	
23	10239.14	71.67	2977.35	20.84	265.88	40.57	79.76	3988.16	6.48	3172.41	2220.69	2220.69	7613.79	274.10	280.60	325.47	
24	10684.32	74.79	3106.8	21.75	277.44	42.34	83.23	4161.56	6.76	3310.34	2281.59	2281.59	7873.53	283.45	290.20	336.64	
25	11129.5	77.91	3236.25	22.65	289.00	44.10	86.70	4334.96	7.04	3448.28	2413.79	2413.79	8275.86	297.93	305.00	353.77	
26	11574.68	81.02	3365.7	23.56	300.56	45.86	90.17	4508.36	7.32	3586.21	2510.34	2510.34	8606.90	309.85	317.20	367.92	
27	12019.86	84.14	3495.15	24.47	312.12	47.63	93.64	4681.75	7.60	3724.14	2606.90	2606.90	8937.93	321.77	329.40	382.07	
28	12465.04	87.26	3624.6	25.37	323.68	49.39	97.10	4855.15	7.88	3862.07	2703.45	2703.45	9268.97	333.68	341.60	396.22	
29	12910.22	90.37	3754.05	26.28	335.24	51.16	100.57	5028.55	8.17	4000.00	2800	2800	9600.00	345.60	353.80	410.37	
30	13355.4	93.49	3883.5	27.18	346.80	52.92	104.04	5201.95	8.45	4137.93	2896.55	2896.55	9931.03	357.52	366.00	424.52	
31	13800.58	96.6	4012.95	28.09	358.36	54.69	107.51	5375.35	8.73	4275.86	2993.10	2993.10	10262.07	369.43	378.20	438.67	
32	14245.76	99.72	4142.4	29	369.92	56.45	110.97	5548.74	9.01	4413.79	3089.66	3089.66	10593.10	381.35	390.40	452.82	
33	14690.94	102.84	4271.85	29.9	381.48	58.21	114.44	5722.14	9.29	4551.72	3186.21	3186.21	10924.14	393.27	402.60	466.97	
34	15136.12	105.95	4401.3	30.81	393.04	59.98	117.91	5895.54	9.57	4689.66	3282.76	3282.76	11255.17	405.19	414.80	481.12	
35	15581.3	109.07	4530.75	31.72	404.60	61.74	121.38	6068.94	9.86	4827.59	3379.31	3379.31	11586.21	417.10	427.00	495.27	
36	16026.48	112.19	4660.2	32.62	416.16	63.51	124.85	6242.34	10.14	4965.52	3475.86	3475.86	11917.24	429.02	439.20	509.42	
37	16471.66	115.3	4789.65	33.53	427.72	65.27	128.32	6415.74	10.42	5103.45	3572.41	3572.41	12248.28	440.94	451.40	523.57	
38	16916.84	118.42	4919.1	34.43	439.28	67.03	131.78	6589.13	10.70	5241.38	3668.97	3668.97	12579.31	452.86	463.60	537.72	
39	17362.02	121.53	5048.55	35.34	450.84	68.80	135.25	6762.53	10.98	5379.31	3765.52	3765.52	12910.34	464.77	475.75	551.88	
40	17807.2	124.65	5178	36.25	462.40	70.56	138.72	6935.93	11.26	5517.24	3862.07	3862.07	13241.38	476.69	488.00	566.03	
41	18252.38	127.77	5307.45	37.15	473.96	72.33	142.19	7109.33	11.55	5655.17	3958.62	3958.62	13572.41	488.61	500.20	580.18	
42	18697.56	130.88	5436.9	38.06	485.52	74.09	145.65	7282.73	11.83	5793.10	4055.17	4055.17	13903.45	500.52	512.35	594.33	
43	19142.74	134	5566.35	38.96	497.08	75.85	149.12	7456.13	12.11	5931.03	4151.72	4151.72	14234.48	512.44	524.60	608.48	
44	19587.92	137.12	5695.8	39.87	508.63	77.62	152.59	7629.52	12.39	6068.97	4248.28	4248.28	14565.52	524.36	536.75	622.63	
45	20033.1	140.23	5825.25	40.78	520.19	79.38	156.06	7802.92	12.67	6206.90	4344.83	4344.83	14896.55	536.28	548.95	636.78	
46	20478.28	143.35	5954.7	41.68	531.75	81.15	159.53	7976.32	12.95	6344.83	4441.38	4441.38	15227.59	548.19	561.20	650.93	
47	20923.46	146.46	6084.15	42.59	543.31	82.91	162.99	8149.72	13.24	6482.76	4537.93	4537.93	15558.62	560.11	573.40	665.08	
48	21368.64	149.58	6213.6	43.5	554.87	84.67	166.46	8323.12	13.52	6620.69	4634.48	4634.48	15889.66	572.03	585.50	679.23	
49	21813.82	152.7	6343.05	44.4	566.43	86.44	169.93	8496.52	13.80	6758.62	4731.03	4731.03	16220.69	583.94	597.74	693.38	
50	22259	155.81	6472.5	45.31	577.99	88.20	173.40	8669.91	14.08	6896.55	4827.59	4827.59	16551.72	595.86	610.00	707.53	
56.69	25236.47	176.661643	7338.28	51.31	655.31	100.00	196.59	9829.62	15.96	7819.05	5473.33	5473.33	18765.72	675.57	691.50	802.17	

## 8.9 ANEXO I

### 8.9.1 Método de Cenizas

El contenido de cenizas fue determinado por el método de Ranganna (1995).

#### Procedimiento

Se introdujeron 2 crisoles previamente lavados y secados, en una mufla, Sybron Thermolyne, a una temperatura aproximadamente de 550-600 °C, entre 3 a 4 h. Transcurrido el tiempo se sacaron los crisoles de la mufla con unas pinzas, colocándolos en un desecador hasta que se enfriarán totalmente. Se pesó en una balanza analítica, y se anotó el valor de cada medida, (peso 1 y 1').

En cada crisol se pesó de 1 a 2 g de estándar de pectina y de pectina cruda, registrando el valor de cada peso (peso 2 y 2').

Posteriormente, se precalentaron con un mechero, las muestras evitando que se inflamarán y enseguida se colocaron dentro de la mufla a 550 °C, dejándolas en ese lugar hasta lograr unas cenizas blancas o grisáceas. Se sacaron de la mufla las muestras y fueron colocadas en un desecador hasta llegar a temperatura ambiente y se determinó el peso de cada muestra (3 y 3').

#### 8.9.1.1 Cálculos para la determinación de cenizas totales

El valor se expresa en %.

$$\%Cenizas = \frac{Peso\ 3 - Peso\ 1}{Peso\ 2 - Peso\ 1} (100)$$

Donde:

Peso 1, 1': gramos del crisol vacío

Peso 2, 2': gramos del crisol con muestra

Peso 3, 3': gramos de crisol con cenizas

### 8.9.2 Método para calcular el peso equivalente de la muestra de pectina

Se utiliza para calcular el valor del porcentaje de grado de Esterificación (DE) y el contenido de ácido D-galacturónico que presentan las pectinas.

#### Procedimiento

Se realiza una titulación con NaOH a pH de 7, se utiliza rojo de fenol. Se coloca 0.5 g de muestra de pectina en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se le añade 5 mL de etanol y 1 g de NaCl para determinar el punto final de la valoración y se agrega 100 mL de agua destilada. Se le agregan 6 gotas de indicador y se titula con NaOH 0.1 N. El punto final de la titulación se presenta una coloración púrpura en la solución, hasta tornarse transparente nuevamente.

*Nota:* La solución neutralizada se almacena para la determinación del contenido de Metoxilos.

### 8.9.3 Método para evaluar el porcentaje de metoxilo de las pectinas

Cada mL de 0.5 N de hidróxido de sodio utilizado en la titulación de saponificación descrita en la USP, en el ensayo de grupos metoxilo (-OCH<sub>3</sub>), equivalen a 15.52 mg de Metoxilo (-OCH<sub>3</sub>)

**Especificación:** Los grupos metoxilo (-OCH<sub>3</sub>), presentan un porcentaje no menor del 6.7%

$$\text{-OCH}_3 (\%) = \frac{(\text{Volumen gastado de NaOH (mL)}) \times (\text{Equivalentes de metoxilo}) \times (100)}{(\text{Peso de la muestra (g)})}$$

### 8.9.4 Cálculo de ácido galacturónico presente en pectinas

Cada mL de 0.5 N de NaOH utilizado en la titulación total (título inicial añadido a la titulación de saponificación) en el ensayo de grupos metoxilo, es equivalente a 97.07 mg de ácido galacturónico (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>7</sub>).

**Especificación:** El ácido galacturónico (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>7</sub>) es >74% (USP)

>65% (UE, FAO, WHO, FDA)

**Volumen inicial + Volumen de Saponificación = Volumen total gastado de NaOH**

$$\text{AGa}\% = \frac{(\text{volumen total gastado de NaOH}) \times (\text{Equivalente de ácido galacturónico}) \times (100)}{(\text{peso total de la muestra (g)})}$$

### 8.9.5 Porcentaje del grado de Esterificación (GE) o grado de metoxilación

El grado de esterificación es una de las principales características químicas que identifican a las pectinas, mediante su determinación se puede conocer su capacidad de gelificación. Tener un grado de esterificación elevado, significa que la pectina gelifica con mucha facilidad.

Se determina por saponificación de la pectina y titulación de los grupos carboxilos libres, permitiendo con eso una clasificación entre pectinas: altos metoxilos o bajos metoxilos.

En base a la técnica de Owens, et. al. (1952), se determina el % DE de la pectina haciendo una relación entre el % de metoxilos y %AGa.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

## Especificación:

- **altos metoxilos (HM)** – (50 a 58%) grupos carboxilos esterificados
- **bajos metoxilos (LM)**–(20 a 40%) grupos carboxilos esterificados

## 8.10 ANEXO J

### 8.10.1 Créditos de las fotografías y micrografías realizadas en el proyecto

Las **micrografías** que se muestran en los resultados experimentales fueron tomadas por la QFB Alejandra Sánchez Barrera, en el laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, FES Cuautitlán, Campo I.

Las **fotografías** mostradas en el escrito fueron tomadas por la tesista Lidia Martínez Vargas, en el Laboratorio de Farmacognosia y Fitoquímica, de la FES, Cuautitlán, Campo I, en el laboratorio L-324.

### 8.10.2 Registro de los aparatos utilizados en el desarrollo experimental

*Tabla 50. Lista de aparatos empleados en el desarrollo experimental*

APARATOS	MODELO/ MARCA	NO.DE INVENTARIO
Balanza Analítica	Marca OHAUS Pionner™	02367306
Balanza Granataria	Marca OHAUS	334112
Balanza Semi analítica	Marca OHAUS Pionner	0232347
Centrifuga	Modelo J-12/ Marca SOL-BAT	961184
Espectrofotómetro de Infrarrojo	Modelo Nicolet iS10FT	
Esteroscopio iluminado	Marca Leica Zoom 2000	2077758
Microscopio óptico	Modelo WB-3/Marca LEME	120371
Mufla	Marca Sybron Thermolyne	594214
Refractómetro ABBE	Marca ZEIGEN	991052
Rotavapor	Marca Buchi Switzerland, R-205, Buchi, Heating Batch, B-490	2068315

## 8.11 ANEXO K

### 8.11.1 Modelo de color RGB

Es un modelo cromático que consiste en una síntesis aditiva del color, a partir de la mezcla de tres colores primarios. Empleando la luminosidad del color rojo, verde y azul en diferentes proporciones, (por sus siglas en inglés se conoce como RGB, Red, Green, Blue), generando la formación de otras tonalidades de colores.

Para indicar la proporción en que se mezcla cada color en pantalla, se asigna un valor a cada uno de estos colores. En el caso del valor 0 (cero) se refiere a que no interviene en la mezcla, a medida que ese valor aumenta, incrementa la luminosidad de la mezcla. De esta forma, un color cualquiera se representa por el sistema RGB mediante la sintaxis decimal (RGB) o mediante la sintaxis hexadecimal #RRGGBB (Fotonostra, 2017).



**Figura 36.** Sistema RGB en un aparato computacional

*Nota: Adaptado de García de la Fuente, Pardo-B., & al., (2017)*

En la **sintaxis decimal**, la intensidad de cada una de las componentes se mide según una escala que va del 0 al 255. Por lo tanto, el rojo se obtiene con (R = 255, G = 0, B = 0); el verde con (R = 0, G = 255, B = 0) y el azul con (R = 0, G = 0, B = 255), obteniendo en cada caso un color resultante monocromático. En la *Figura 36*, se muestra la manera de designar un color en un archivo de Word variando los valores de los colores primarios.

En la **sintaxis hexadecimal**, la intensidad de las componentes se mide mediante una escala de 3 pares de valores: 1 par de valores para el color rojo, 1 par para el verde y 1 par para el azul. La escala para cada valor va del 0 al 9 continuando con las letras A la F, por lo que 0 corresponderá al valor más bajo y F al valor más alto. Entonces el rojo más saturado se escribirá #FF0000 (es decir R= FF, G=00, B=00), donde el primer par de valores (FF) contempla el máximo de color rojo, y los 2 pares siguientes (00) y (00), señalan la ausencia de verde y azul, respectivamente (Fotonostra, 2017).

### 8.11.2 Cartas Munsell

Es un sistema de ordenación del color, en donde se busca especificar de manera precisa las relaciones entre los colores. Cada color dispone de tres cualidades o atributos: tono, valor y croma o saturación.

La representación del Sistema Munsell para la identificación del color se muestra a partir de un conjunto de fichas de diferentes colores, confeccionado sistemáticamente mediante la modificación de ciertos atributos del color. Estas fichas son utilizadas generalmente como patrones de comparación visual con los valores que se pretenden analizar o crear. Se presentan como una colección de cuadritos identificados y coloreados mediante escalas de tono, valor y saturación, permitiéndonos identificar un cierto color bajo condiciones de iluminación conocidas (ver *Figura 37*), (García de la Fuente, Pardo-B., & al., 2017).



**Figura 37.** Representación esquemática de una carta del Sistema Munsell  
García de la Fuente, Pardo-B., & al., (2017) y Unitycolor, (2017)

La manera de interpretar las cartas Munsell es de la siguiente forma: Tono, Valor/Saturación, por ejemplo:

El color especificado como 4R5/14 significa; Tono 4R (anterior al tono rojo principal), valor (5), color intermedio entre el blanco y negro, Saturación 14 (color rojo vino).

Los grises neutros (acromáticos), no utilizan este tipo de notación, al no disponer de saturación solo se indica el tono y el valor (García de la Fuente, Pardo-B., & al., 2017).

## 8.12 ANEXO L

### 8.12.1 Espectro Infrarrojo del Limoneno LIMONENO

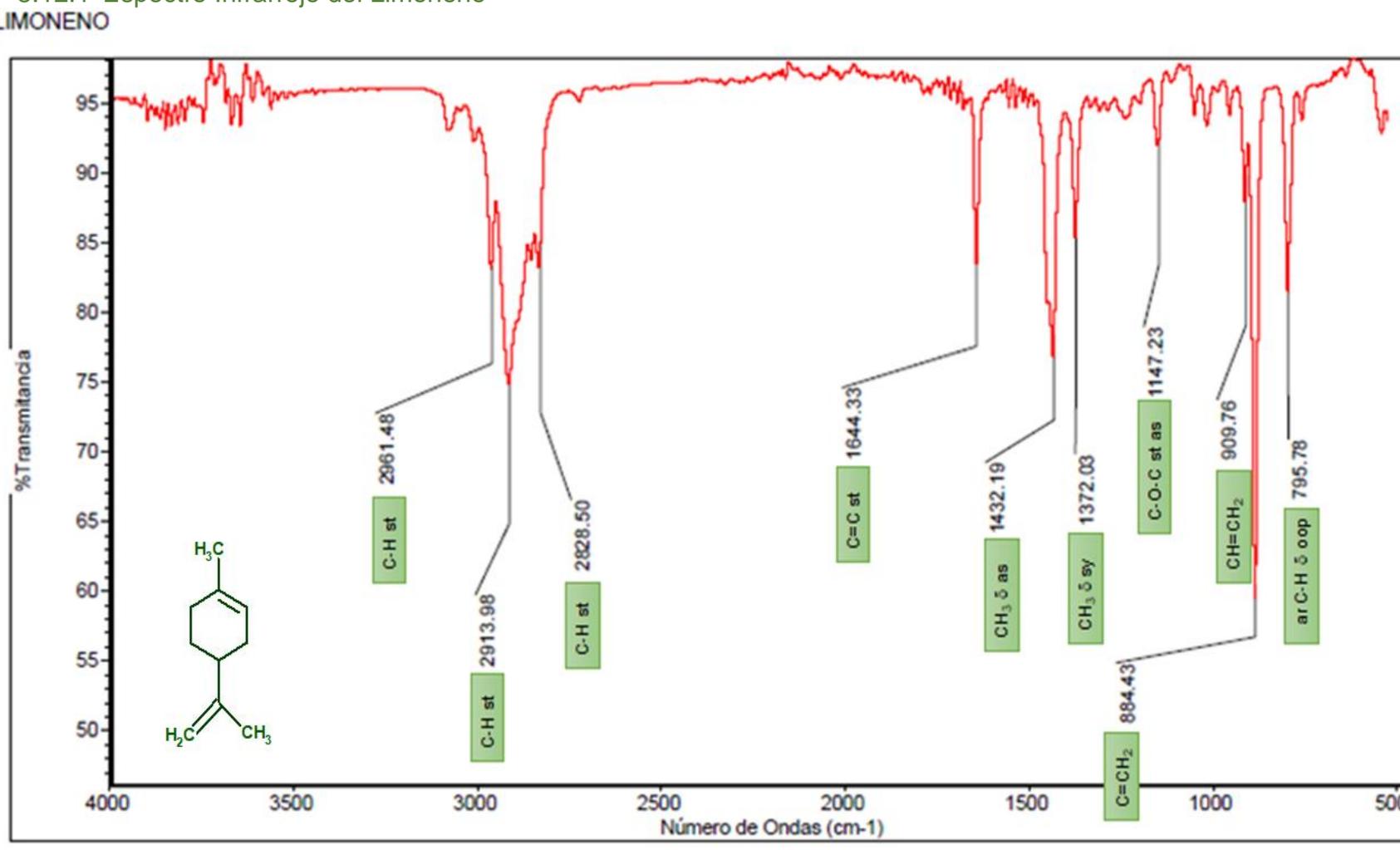


Figura 38. Espectro de IR del limoneno

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- ACC, A. C. (2017). *ChemicalSafetyFacts.org*. Retrieved Mayo 8, 2017, from <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/>
- Álvarez, C. N. (2012). *Tecnología Farmacéutica*. España, España: Club Universitario. Retrieved Junio 2015, 13, from [https://books.google.com.mx/books?id=w19eIC11H0IC&printsec=frontcover&dq=tecnologia+farmaceutica+nestor,+alvarez+cruz&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=tecnologia%20farmaceutica%20nestor%20%20alvarez%20cruz&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=w19eIC11H0IC&printsec=frontcover&dq=tecnologia+farmaceutica+nestor,+alvarez+cruz&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=tecnologia%20farmaceutica%20nestor%20%20alvarez%20cruz&f=false)
- Areces, F. (2016, Febrero 8). *Flora virtual, Estación biológica El Verde*. Retrieved from [http://floraelverde.catec.urp.edu/especie\\_info.php?id=92](http://floraelverde.catec.urp.edu/especie_info.php?id=92)
- Arthey, D. (1997). Subproductos del Procesado de las frutas. In C. A. Cohn R., *Procesado de frutas* (pp. 213-238). Zaragoza, España: Acribia S.A. de C. V.
- ATSDR. (2016, Julio 20). *ASTDR, Agencia de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*. Retrieved Mayo 8, 2017, from <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- Bakkali, F. A. (2008, February). Biological effects of essential oils. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475. doi: 10.1016/j.fct.2007.09.106
- Ballesteros, G. P. (2013). *Química Orgánica Avanzada*. España, Madrid: UNED Universidad Nacional de Educación a Distancia. Retrieved Enero 03, 2016
- Baltazar, R., Carbajal, D., & et.al. (2013). Optimización de las condiciones de extracción de pectina a partir de la cáscara de limón francés (*Citrus medica*) utilizando la metodología de superficies de respuesta. *Agroindustrial Science*(2), 13. Retrieved Febrero 3, 2016
- Banfi, G. C. (2012, Marzo 21). *INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. (P. d. Ministerio de la Agroindustria, Ed.) Retrieved Diciembre 11, 2015, from Manual para productores de naranja y mandarina de la región del Río Uruguay: <http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-productores-de-naranja-y-mandarina-de-la-región-del-rio-uruguay>
- Bardalez, M. R. (2005, Julio 30). *flickr.com*. Retrieved from <https://www.flickr.com/photos/40717090@N02/3749856982/>
- Barreiro Perera, M. (1999, Junio). Toronja y Cebada. *Claridades Agropecuarias*(70), 36. Retrieved from <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=70>

- Bousbia, N. V. (2008, Julio 03). A new process for extraction of essential al from citrus peel: Microwave hydrodiffusion and gravity. *Journal of Food Engineering*, 90, 409-413. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.06.034
- Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia y Fitoquímica. Plantas medicinales* (2 ed.). Zaragoza, España: Acribia S. A.
- Budavari, S., & O'Neil, M. e. (1989). *The Index Merck. An Encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals* (17a ed.). New York, U.S.A.: Merck & Co. Inc.
- Calvo, I. (2016, Julio). *Proyecta color*. Retrieved from <http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-rgb/>
- Cameron, R. G. (2003, June 30). Utilization of an evaporative light scattering detector for high-performance size-exclusion chromatography of galacturonic acid oligomers. *Journal of Chromatography A*, 1011(1-2), 227-231. doi:10.1016/S0021-9673(03)01171-3
- Carrasco Escobar, J. P. (2015, Enero-Abril). Análisis de Estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos. *Realidad, Datis y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6(1), 140. Retrieved Enero 13, 2016, from [http://www.inegi.org.mx/RDE/rde\\_14/rde\\_14\\_art2.html](http://www.inegi.org.mx/RDE/rde_14/rde_14_art2.html)
- Caviedes, R. D., Sotomayor, R. G., & et.al. (2015, Julio 25). Solvatación preferencial de la naringina en mezclas cosolventes etanol + agua mediante el método de integrales inversas de Kirkwood-Buff. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticos*, 44(2), 220-235. Retrieved Febrero 10, 2017, from <http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v44n2/v44n2a07.pdf>
- Cerpa, C. M. (2007). *Hidrodestilación de aceites esenciales: Modelado y caracterización*. Universidad de Valladolid, Departamento de Ingeniería y Tecnología medio ambiental. España: Universidad de Valladolid. Retrieved Julio 2015, 12, from <http://www.anipam.es/downloads/43/hidrodestilacion-de-aceites-esenciales.pdf>
- Cervantes, N. B. (2014). *Manual de prácticas de química general en microescala*. México: Trillas.
- Chasquibol, S. (2010). Aplicación de la espectroscopía FT-IR en la identificación de polisacáridos obtenidos de los frutos del "Níspero de la Sierra" y de la "Granadilla". *Revista Peruana de Perú*, 13(2), 12-21. Retrieved Marzo 03, 2017, from [revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/4596/3674](http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/4596/3674)
- Chasquibol, S. N., Arroyo, B. E., & et.al. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 13(2), 175-199. Retrieved Marzo 03, 2017, from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428492010>

- Chuen Wang Yuan, C. C. (2007). Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*, 102(4), 1163-1171. doi:10.1016/j.foodchem.2006.06.057
- Chuen Wang Yuan, C. C. (2008, Enero 01). The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*, 106(1), 277-284. doi:10.1016/j.foodchem.2007.05.086
- Cohn, R. (1997). Subproductos del procesado de las frutas. In D. Arthey, *Procesado de frutas* (pp. 213-238). Zaragoza, España: Acribia S. A. de C. V.
- Cronquist, A. (1981). *An integrated System of Classification of Flowering Plants*. USA: Columbia University Press.
- Cruz Sotelo, S. E. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 7-8. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37029665017>
- Cruz, F. M. (2007). *Varietades de toronja pr suelos arcillo limosos de la Huasteca Potosina*. Inifap. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste, campo experimental San Luis, sitio de Negocios Huichihuayan. México, San Luis Potosi: Fundación Produce A. C. Retrieved Marzo 09, 2016, from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/737/176.pdf?sequence=1>
- Devia, P. J. (2003, Marzo). Proceso para producir pectinas cítricas. *Universidad EAFIT*(29), 21-29. Retrieved Febrero 15, 2015, from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/918/823>.
- Dréo, J. (2006, Marzo 9). *Desarrollo Sostenible*. (Wikipedia, Editor) Retrieved Septiembre 02, 2015, from *Desarrollo Sostenible*: [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Desarrollo\\_sostenible.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Desarrollo_sostenible.svg)
- Droby, S. E. (2008, Septiembre). Role of citrus volatiles in host recognition, germination and growth of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3), 386-396. doi:10.1016/j.postharvbio.2008.01.016
- Drugand-Judek, A., Olry, A., & et.al. (2015, Noviembre 11). The distribution of coumarins and furanocoumarins in citrus species closely matches citrus phylogeny and reflects the organization of biosynthetic pathways. (U. U. Chunxian Chen, Ed.) *PLOS ONE*, 10(11), 25. doi:10.1371/journal.pone.0142757

- Dugo, G. &. (2011). *Citrus oils. Composition, advanced analytical techniques, contaminants, and biological activity*. United State of America: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- El Asbahani, A. M. (2015, Abril 10). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1-2), 220-243. doi: 10.1016 / j.ijpharm.2014.12.069
- Elías, X. (2012). *Reciclaje de residuos Industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora* (2a. ed.). Madrid, España: Díaz de Santos, S. A. Retrieved Octubre 09, 2016
- El-Otmani, M. A.-O. (2011). Citrus spp: naranja, mandarina, clementina, toronja, pomelo, limón, lima. *Biología y Tecnología de postcosecha de frutas tropicales*, 437-514, 515e, 516e. doi:10.1533/9780857092762.437
- EPA, U. S. (2016, Septiembre 20). *IRIS, Integral Risk Information System*. Retrieved Mayo 8, 2017, from <https://www.epa.gov/iris>
- Escobar, B. M. (2010). *Extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México*. Tesis de Maestría en Ciencias de Alimentos, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México, D.F. Retrieved Septiembre 12, 2015, from <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9612/34.pdf?sequence=1>
- Estévez, C. (2005, Septiembre- Diciembre). Dossier Química Verde. La Química de la vida. *daphnia*(38), 7-14. Retrieved Agosto 26, 2017, from <http://www.daphnia.es/revista/38/>
- FAO. (2016). *Food and Agriculture Organization of the United States*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/x5600s/x5600s05.htm>
- Fisher, K. P. (2008, March). Potencial antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? *Trends in Food Science and Technology*, 19(3), 156-164. doi:10.1016/j.tifs.2007.11.006
- Fotonostra. (2017). *Fotonostra*. Retrieved from <http://www.fotonostra.com/grafico/rgb.htm>
- Galant, A., Luzio, G. A., & et.al. (2014, Marzo). Compositional and structural characterization of pectic material from frozen concentrated orange juice. *Food Hydrocolloids*, 35, 661-669. doi:<http://dx.doi.org.pbbidi.unam.mx:8080/10.1016/j.foodhyd.2013.08.012>

- García de la Fuente, A. B., Pardo-B., S., & al., e. (2017, Abril 17). *RedGeomática. Cartografía II*. (Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía) Retrieved from <http://redgeomatica.rediris.es/carto2/>
- García Mesa, M., Armenteros Herrera, D. M., & Mahía Vilas, M. e. (2002). Plantas cítricas en el tratamiento de enfermedades vasculares. *Revista Cubana de Angiología y Cirugía Vascular*, 3(2), 39-46. Retrieved Octubre 08, 2016, from [http://bvs.sld.cu/revistas/ang/vol3\\_2\\_02/ang07202.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/ang/vol3_2_02/ang07202.pdf)
- García Pérez, E., Ponciano, P. H., & García Días, J. J. (2010, Agosto). *Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la cadena Agroalimentaria de Toronja, en el Estado de Veracruz*. Retrieved Septiembre 08, 2015, from FUNPROVER, Fundación Produce Veracruz: <http://www.funprover.org/Estudios%20Estrategicos%20Ovinos,%20Toronja%20y%20Bovinos%20Doble%20Proposito%20Colpos%20Veracruz/CadAgroaTor.pdf>.
- García, V. V., Borja, N., Guzmán, E., & et.al. (2013, Julio/Septiembre). Equilibrio de biosorción de plomo (II) y caracterización mediante FT-IR y SEM-EDAX en pectina reticulata proveniente de cáscaras de naranja. *Revista de la Sociedad Química de Perú*, 79(3), 256-265. Retrieved Marzo 04, 2017, from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2013000300008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2013000300008&script=sci_arttext)
- García-Castello, E., Rodríguez-López, A., Alcalde, L., & al., e. (2015, Diciembre). Optimización de la extracción convencional y asistida por ultrasonidos de flavonoides del pomelo (*C. paradisi* L.) residuos sólidos. *LWT. Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 64(2), 1114-1122. doi:<http://dx.doi.org/pbidi.unam.mx:8080/10.1016/j.lwt.2015.07.024>
- Giannuzzo, A. N. (2000). Extracción de naringina de *Citrus x paradisi* L. Estudio comparativo y optimización de técnicas extractivas. *SciELO Food and Technology (Campinas)*, 20(2), 1-7. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612000000200022>
- Gmitter, F. G. (1992). Citrus. In F. A. Hammerschlag, *Biotechnology of Perennial Fruit Crops* (pp. 335-361). Great Bretaña: C.A.B. International.
- González Sánchez Avel, C. W. (2011, Julio-Septiembre). Citroflavonoides como posible alternativa en el tratamineto de diabetes y sus complicaciones. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 42(3), 10. Retrieved Marzo 12, 2016, from <http://asociacionfarmaceuticamexicana.org.mx/revistas/2011/RMCF%20V42-3/ARTICULOS%20PDF/CITROFLAVONOIDES.pdf>
- Guidi A.; Arandia Q. Magaly Z. (2010, Octubre). Obtención de pectina a partir de la cáscara de maracuyá mediante hidrólisis ácida. *Journal Boliviano de Ciencias*, 6(21), 67-71. Retrieved Febrero 02, 2015, from

[http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2075-89362010000300014&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2075-89362010000300014&script=sci_arttext)

- Gutiérrez, E. L., Medina, G. B., & et.al. (2002). Obtención y Cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 9(1), 5-14. Recuperado el 17 de Junio de 2016, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169818118001>
- Harbone, J. (1998). *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis* (5 ed.). England: Chapman and Hall.
- Hong, W. (2015). *U.S. Pharmacopeia USP 29-NF 24*. Retrieved from [http://www.pharmacopeia.cn/v29240/usp29nf24s0\\_m61250.html](http://www.pharmacopeia.cn/v29240/usp29nf24s0_m61250.html)
- Howitz, W. W. (2005). *Official method of analysis A.O.A.C. 923.03* (18 ed.). Gaithersburg, Md: AOAC, International. Retrieved Diciembre 03, 2016, from <http://www.idal.cl/sgcidal/images/stories/Procedimientos/Laboratorio/Determinacion%20cenizas%20metodo%20gravimetrico.pdf>
- Hüsnü Can Baser, K. B. (2010). Handbook of essential oils; science technology and applications. In H. K. Karl, *History and sources of essential oil research* (pp. 3-39). E. U.: CRC PRESS.
- Jaramillo, S. M. (2014). *Extracción de aceite esencial de orégano (lippia graveolens kunth) y desarrollo de películas comestibles antimicrobianas para control de listeria monocytogenes*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. México: UNAM. doi:132.248.9.195/ptd2014/mayo/408070351/Index.html
- Jesper, H., & Anongpat, S. a. (2010, June). Biosynthesis of Pectin. *Plant Physiology*, 153(2), 384-395. doi:10.1104/pp110.156588
- Kimball, D. A. (1999). *Procesado de cítricos*. España: Acribia.
- Kuklinski, C. (2003). *Farmacognosia. Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural*. España: Omega.
- Lane, A. (1983b, Agosto 19). Anaerobic digestion of citrus peel press liquors before anaerobic digestion. *Environment Technology Letters*, 4(8-9), 349-352. doi:10.1080/0959333809384217
- Lanrewaju, R. A., Adekunle, A., Orsat, V., & Vijaya, R. (2016, Agosto 08). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, 62, 239-250. doi:8080/10.1016/j.foodhyd.2016.08.015
- Lexicoon. (2017, Enero). *Lexicoon*. Retrieved Junio 1, 2017, from <http://lexicoon.org/es/toronja>

- Liu, Y., Shi, J., & al., e. (2006, February 9). Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. *Chemical Engineering Journal*(120), 203-209.
- Lohrasbi, M. P. (2010, Octubre). Process design and economic analysis of a citrus waste refinery with biofuels and limonene as products. *Bioresour Technology*, 101(19), 7382-7388. doi:10.1016/j.biortech.2010.04.078
- Londoño, L. J. (2012, Agosto 2). Aprovechamiento de los subproductos cítricos. *Revista Lasallista de Investigación*, 43-367. Retrieved octubre 2, 2016, from <http://hdl.handle.net/10567/560>
- Londoño-Londoño, J. A. (2010). Aprovechamiento de residuos de la agroindustria de cítricos: extracción y caracterización de flavonoides. *Disertaciones Administrativas y Agropecuarias, Gestión y competitividad*, 395-416.
- López Muñoz, G. A. (2015, Marzo 10). Caracterización fototérmica de los aceites esenciales de cítricos y su derivados. *Acta Termoquímica*, 579, 40-44. doi:10.1016/j.tca.2014.01.009
- Lynn, W., & Pearson, M. J. (2000). *USDA Natural Resources Conservation Service Soils*. Retrieved from United State Department of Agriculture: [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2\\_054286](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054286)
- Maldonado, C. Y., & Salazar Ocampo, S. M. (2010). Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan (*Vasconcellea weberbaueri* (Harms) V.M. Badillo) provenientes del distrito del San Miguel de Soloco, región Amazonas. *Reporte Santiaguino*, 3(2), 177-184.
- Mari Mut, J. A. (2016, Febrero 3). *Ediciones Digitales*. Retrieved from <http://edicionesdigitales.info/arbolesrum/arbolesrum/toronja.html>
- Márquez, C. C. (2009). *Caracterización fisiológica, fisicoquímica, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana (Annona muricata L. ev. ELITA)*. Universidad Nacional de Colombia SEDE Medellín, Departamento de Ciencias Agronómicas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Retrieved Marzo 12, 2017, from [www.bdigital.unal.edu.co/1824/1/8740420.2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/1824/1/8740420.2009.pdf)
- Martearena, M. R. (2007). *Estudio de Síntesis enzimática de ramnósidos y oligosacáridos catalizados por alfa-L-ramnosidasas*. Universidad Nacional de Salta, Química en la Facultad de Ciencias Exactas e Instituto de Investigaciones para la Industria Química. Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Martínez Vargas, L. (2015, Abril 25). Composición morfológica de la toronja. México.
- Mc Guire's, P. (2005). *Supplements database. Empowered Nutrition*. Retrieved Octubre 10, 2016, from <http://empowerednutrition.com/supplement-database/naringin/>

- Meléndez, P. C., & Camacho, D. A. (2008, Enero-Marzo). Química verde, la química del nuevo milenio. *Synthesis. Aventuras del pensamiento*, 45(1), 1-5. Retrieved Agosto 26, 2017, from [http://www.uach.mx/extension\\_y\\_difusion/synthesis/2008/10/21/quimica.pdf](http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2008/10/21/quimica.pdf)
- Méndez, E. (2013, Abril 10). Generan al día 86 toneladas de basura. Estrena INEGI estadísticas verdes; concentran 5 estados la mitad de desperdicios del país. *Excelsior*, p. 17. Retrieved Noviembre 16, 2015, from <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2013/04/10/893153#view-3>
- Mérida, A. (2014, Agosto 2). *Fotos de aquí y de allá*. Retrieved from <https://fotosdeaquiydealla.wordpress.com/2014/08/02/flor-de-azahar-por-antonio-merida/>
- Mestres, R. (2013, Marzo). Química Sostenible: Naturales, fines y ámbito. (A. M. Vázquez, Ed.) *Educación Química*, 24(1), 103-112. doi:[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72503-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72503-5)
- Methacanon, P., Krongsin, J., & Gamonpilas, C. (2014, March). Pomelos (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties. *Food Hydrocolloids*, 35, 383-391. doi:8080/10.1016/j.foodhyd.2013.06.018
- Morales, G. M., Martínez, J., & et.al. (Julio de 2011). ¿Qué tan verde es un experimento? *Educación Química*, 22(3), 240-248. Recuperado el 26 de Agosto de 2017, de [http://www.quimicageneralpapimeunam.org.mx/Acceso\\_alumnos\\_archivos/Que\\_tan\\_verde\\_es\\_un\\_experimento.pdf](http://www.quimicageneralpapimeunam.org.mx/Acceso_alumnos_archivos/Que_tan_verde_es_un_experimento.pdf)
- Morales, V. X. (2013). *Los disolventes en la Química Verde*. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México: Instituto Politécnico Nacional. Retrieved Octubre 03, 2016, from <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17043/1/25-1-16614.pdf>
- Morton, J. F. (1987). Toronja. In J. F. Morton, *Frutas de climas cálidos* (pp. 152-158). Miami, Florida, U.S.A.: Creativo de recursos de Systems Inc. Retrieved Septiembre 13, 2015, from <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/grapefruit.html>
- Muhammad, K. K., E-Huma, Z., & Dangles, O. (2014, February). A comprehensive review on flavanones, the major citrus polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 85-104. doi:8080/10.1016/j.jfca.2013.11.004
- Muñoz, O. F. (2011). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (Solanum sessiliflorum), en diferentes grados de madurez; a nivel planta piloto*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá, D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Retrieved Diciembre 06, 2016, from <http://www.bdigital.unal.edu.co/4006/1/822093.2011.pdf>

- NMX-F-074-SCFI. (2011). *Alimentos para humanos, aceites esenciales, aceites, grasas vegetales o animales. Determinación del Índice de Refracción con el refractómetro de Abbé. Método de prueba (CANCELA A LA NMX-F-074-SCFI-2006)*. México: Diario Oficial de la Federación.
- NMX-F-075-SCFI. (2012). *Alimentos-aceites y grasas vegetales o animales. Determinación de la Densidad relativa- Método de prueba (Cancela a la NMX-075-SCFI-2006)*. México: Diario Oficial de la Federación.
- Ochoa Villarreal, M., Aispuro Hernández, E., & Aispuro, V. T. (2012). Plant Cell Wall Polymers: Function, structure and biological activity of their derivatives. In Polymerization, *De Souza Gomes, Ailton*. Intech.
- Okunowo, W. O., Oyedeji, O., & al, e. (2013). Essential Oil of Grape Fruit (*Citrus paradisi*) Peels and Its Antimicrobial Activities. *American Journal of Plant Sciences*(4), 1-9. doi:<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2013.47A2001>
- ONU. (2011). *Asamblea General de las Naciones Unidas. Presidente del 65° período de sesiones*. Retrieved from <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Ortuño, S. M. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes*. España: Aiyana Ediciones.
- Osamu, K., Takayuki, F., & al., e. (2008). Characterization of the pectin extracted from citrus peel in the presence of citric acid. *Carbohydrate Polymers*(74), 725-730. Retrieved Marzo 08, 2016
- Osorio Durango, E. J. (2009). *Aspectos básicos de Farmacognosia*. Colombia, Antioquia: Universidad de Antioquia. Retrieved Julio 2015, 17, from <http://farmacia.udea.edu.co/~ff/Farmacognosia.pdf>
- Pino, J. A. (1999, Febrero). Chemical composition of distilled grapefruit oil. *Journal of Essential Oil Research*, 11(1), 75-76. doi:10.1080/10412905.1999.9701076
- Pino, J. A. (2000). Chemical composition of grapefruit concentrates. In Lawrence, B.M. 2005. *Progress in Essential oils. Perf. Flav.*, 30, 70-81.
- Piriyaprasarth, S., & Sriamornsak, P. (2011, January 10). Flocculating and suspending properties of commercial citrus pectin and pectin extracted from pomelo (*Citrus maxima*) peel. *Carbohydrate polymers*, 83(2), 561-568. doi:8080/10.1016/j.carbpol.2010.08.018
- Porras Loaiza, A. y. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 3(1), 121-134. Retrieved Noviembre 29, 2015,

from [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TsIA-3\(1\)-Porras-Loaiza-et-al-2009.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TsIA-3(1)-Porras-Loaiza-et-al-2009.pdf)

- Pretsch Ernö, B. P. (2009). *Structure determination of organic compounds. Tables of spectral data*. (4a, Ed.) Berlin, Heidelberg, Germany: Springer. Retrieved Agosto 25, 2015
- Reyes-Sánchez, L. B. (2009). *Propuesta interdisciplinaria de enseñanza y aprendizaje de las ciencias de orden ambiental para la educación básica; utilizando el suelo como recurso*. México: ITCR-UNAM.
- Ríos, J. L. (2016). Aceites esenciales: Qué son y cómo se utilizan y se define las condiciones. *Aceites esenciales en la conservación de alimetros, sabor y seguridad*, 3-10. Retrieved Marzo 2, 2016
- Rodríguez, R. K., & Román Henríquez, A. M. (2004). *Extracción y evaluación de pectina a partir de la cáscara de naranja de las variedades de Citrus sinensis y Citrus paradisi y propuesta de diseño de planta piloto para su producción*. Tesis Nivel Licenciatura, Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia, El Salvador. Retrieved Enero 12, 2014, from <http://ri.ues.edu.sv/5623/1/10127872.pdf>
- Romero, J. L. (2015). *Definiciona. Definición, Historia y etimología de palabras*. Retrieved Octubre 12, 2015, from [www.definiciona.com/citrico](http://www.definiciona.com/citrico)
- Rosenbohm, C. L. (2003, October 22). Chemically methylated and reduced pectins: preparation, characterization by <sup>1</sup>H NMR spectroscopy, enzymatic degradation and gelling properties. *Carbohydrate Research*, 7(338), 637-649. doi:10.1016/S0008-6215(02)00440-8
- Ruiz, B. F. (2014, Noviembre). Citrus essential oils and their influence on the anaerobic gigestion process: An overview. *Waste Management*, 34(11), 2063-2079. doi:10.1016/j.wasman.2014.06.026
- Ruíz, G. G., & Saavedra, R. J. (2007). *Determinación de los parámetros óptimos de funcionamiento para un equipo de extracción sólido-líquido de aceite esencia de naranja usando un sistema de cáscara de naranja-alcohol etílico*. Facultad de Química e Ingeniería Química, E.A.P. de Ingeniería Química. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Retrieved Diciembre 07, 2015, from [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/cybertesis/431/Ruiz\\_gg.pdf?sequence=1](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/cybertesis/431/Ruiz_gg.pdf?sequence=1)
- Ruíz, V. M. (2014, Marzo 05). *Curso de Biología*. (A. Porto Andión, Producer) Retrieved Octubre 25, 2016, from Wikimedia Commons CC-BY-SA 3.0: <http://www.bionova.org.es/biocast/tema11.htm>

- SAGARPA. (2015, Diciembre 03). *México produce*. Retrieved 2015, from Cítricos, los preferidos de esta temporada decembrina: [www.mexicoproduce.mx/articulos/citricos.html](http://www.mexicoproduce.mx/articulos/citricos.html)
- Sánchez, B. A. (2015). *Toxicidad aguda en Artemia franciscana Kellogg de aceites esenciales de cinco especias*. FES Cuautitlán, Farmacognosia y Fitoquímica. México: UNAM. doi:<http://132.248.9.195/ptd2015/marzo/303257226/Index.html>
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Biotecnología*, 14-46.
- Schulz, H. a. (2007, January). Identification and quantification of valuable plant substances by IR and Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 1(43), 13-25. doi:10.1016/j.vibspec.2006.06.001
- Schulz, H., & Malgorzata, B. (2009). Fruits and vegetables. In D.-W. Sun, *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control* (pp. 321-353). USA: Academic Press. doi:doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/B978-0-12-374136-3.00012-2
- SEDEMA. (2014). *Inventario de residuos sólidos de la ciudad de México*. México, D. F.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental*. México: SEMARNAT.
- Services, Consulting Network. (2016, Junio). *Cata vino*. Retrieved from Cata vino: <http://www.catadelvino.com/blog-cata-vino/las-series-en-la-clasificacion-del-aroma-de-los-vinos>
- SIAP-SAGARPA. (2012). *Reporte especial de cítricos*. (S. d. Pesquera, Ed.) Retrieved Enero 07, 2016, from [http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/reporte\\_citricos.pdf](http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/reporte_citricos.pdf)
- Sigrist, S. (2015, Abril 04). *Medicina-Aromático-Condimentos. Contenido de calidad para la medicina a base de hierbas*. Retrieved Septiembre 2015, 13, from <http://www.ppmac.org/?q=content/pomelo-pomeleiro>
- Soto Arrieta, L. R. (2010). *Composición y actividad microbiana del aceite esencial de toronja (citrus x paradisi)*. Trabajo de grado, Universidad de Zulia, Facultad de Ingeniería, División de Estudios para graduados, Maracaibo, Venezuela. Retrieved Noviembre 19, 2015, from [http://tesis.luz.edu.ve/tde\\_arquivos/59/TDE-2014-05-20T08:53:10Z-4742/Publico/soto\\_arrieta\\_laura\\_rolymags.pdf](http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/59/TDE-2014-05-20T08:53:10Z-4742/Publico/soto_arrieta_laura_rolymags.pdf)
- Speciale, F. (2007). *Speciale. Machinery for citrus processing line*. Retrieved Septiembre 10, 2015, from Cítricos: [www.speciale.it/espanol/citricos.html](http://www.speciale.it/espanol/citricos.html)

- Spiegel-Roy, P. y. (1996). *Biología de la fruta cítrica*. Cambridge, Reino Unido: Press.
- Steuer, B. S. (2001, Enero). Classification and analysis of citrus oils by NIR spectroscopy. *Food Chemistry*, 72(1), 113-117. doi:10.1016/S0308-8146(00)00209-0
- Stuart, B. H. (2004). *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Suárez, R. D., & Orozco, G. D. (2014). *Obtención y caracterización de pectina a partir de la cascarilla de cacao del Theobroma cacao L., subproducto de una industria chocolatera nacional*. Facultad de Tecnología, Escuela de Química. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved Junio 12, 2016
- Suetsugu, T., Iwai, H., & et.al. (2013, Diciembre 15). Extraction of citrus flavonoids from peel of Citrus Junos using supercritical carbon dioxide with polar solvent. *Chemical Engineering and Science*, 1(4), 87-90. doi:10:12691/ces-1-4-7
- Synytsya, A., Copíkova, J., & et.al. (2003). Fourier transform Raman and infrared spectroscopy of pectins. *Carbohydrate Polymers*(54), 97-106. Retrieved Marzo 23, 2017
- Unitycolor. (2017). *TORSO-VERLAG. Publishing house*. Retrieved from Color cards- Standard light-testing technology: <http://www.unitycolor.com/index.php>
- Urias, O. V., Rascón, C. A., Lizardi, M. J., & et.al. (2010, Septiembre 28). A novel pectin material: Extraction, characterization and gelling properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 1(11), 3686-3695. doi:10.3390/ijms11103686
- USDA, A. d. (2009). *Adaptado de la base de datos nacional de nutrientes*. USDA.
- Vaclavik, V. A., & Christian, W. e. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos* (Vol. 485). Zaragoza, España: Acribia, S.A de C.V.
- Valencia, G., & Francia, E. (2004). La fibra dietaria como alimento funcional. *VITAE, Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 11(2), 12-17. Retrieved Junio 18, 2016, from <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/vitae/article/view/459/397>
- Vargas, & Cols. (2016, Enero). El diagrama de flujo como semáforo de seguridad ecológica de los experimentos de laboratorio. *Educación Química*, 27(1), 30-36. doi:10.106/j.eq.2015.04.013
- Villar del Fresno, Á. M. (1999). *Farmacognosia General*. Madrid, España: Síntesis.
- W., E., Shukla, R., K., B., & al., e. (2014, May). Extraction of pectin from citrus fruits peel and its utilization pf preparation of jelly. *International Journal of Engineering*

*Research & Technology (IJERT)*, 3(5), 1935-1932. Retrieved April 23, 2017, from <https://www.researchgate.net/publication/297695903>

Wagner, H., & Bladt, S. (1996). *Plant drug analysis. A Thin Layer Chromatography Atlas* (2a. ed.). Munich, Alemania: Springer. Retrieved Junio 27, 2017

Wang, X. C. (2014, December 2). Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water. *Food Hydrocolloids*(38), 129-137.

WCED, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza. Retrieved Julio 23, 2016, from <http://www.fao.org/docrep/s5780s/s5780s09.htm>

Wikishysop. (2015). *Ecured. Conocimiento de todos y para todos*. Retrieved Septiembre 09, 2015, from cured: Enciclopedia cubana: <http://www.ecured.cu/Toronja>

Xu, Y., Zhang, L., & al., e. (2014, April). Effects of ultrasound and/or heating on the extraction of pectrin from grapefruit peel. *Journal of Food Engineering*, 126(1), 72-81. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.11.004

Yamane, K., & Kato, Y. (2012). *Handbook on Flavonoids. Dietary sources, properties and health benefits*. (I. Nova Science Publishers, Ed.) New York, USA: Nova Biomedical.

Zanella, K., & Pereira, O. (2015). Influence of the drying operating conditions on the chemical characteristics of the citric acid extracted pectins from "pera" sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) albedo and flavedo. *Journal of Food Engineering*(166), 111-118. Retrieved Junio 13, 2016

Zuzarte, M. a. (2015). Essential Oils Chemistry. In D. Pergentino de Sousa, *Bioactive Essential Oils and Cancer* (p. 292). Switzerland: Springer International. Retrieved Marzo 2016, 12, from <https://books.google.com.mx/books?id=rZOKCgAAQBAJ&pg=PA19&dq=Essential+Oil+OF+CITRUS>